

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO**

**ANDRÉ MUNIZ DEMORI**

**UMA ABORDAGEM BASEADA EM ONTOLOGIA PARA REPRODUÇÃO DE  
CENÁRIOS DE OPERAÇÕES MILITARES**

**RIO DE JANEIRO  
2023**

ANDRÉ MUNIZ DEMORI

UMA ABORDAGEM BASEADA EM ONTOLOGIA PARA REPRODUÇÃO DE  
CENÁRIOS DE OPERAÇÕES MILITARES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia,  
como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre  
em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador(es): Maria Cláudia Reis Cavalcanti, D.Sc.  
Cel R1. David Fernandes Cruz Moura,  
D.Sc.

Rio de Janeiro  
2023

©2023

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

Demori, André Muniz.

Uma Abordagem Baseada em Ontologia para Reprodução de Cenários de Operações Militares / André Muniz Demori. – Rio de Janeiro, 2023.

104 f.

Orientador(es): Maria Cláudia Reis Cavalcanti e Cel R1. David Fernandes Cruz Moura.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Sistemas e Computação, 2023.

1. cenários de operações militares; ontologias militares; web semântica; simulação de operações militares; modelagem conceitual. i. Cláudia Reis Cavalcanti, Maria (orient.) ii. Fernandes Cruz Moura, Cel R1. David (orient.) iii. Título

**ANDRÉ MUNIZ DEMORI**

## **Uma Abordagem Baseada em Ontologia para Reprodução de Cenários de Operações Militares**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador(es): Maria Cláudia Reis Cavalcanti e Cel R1. David Fernandes Cruz Moura.

Aprovada em 18 de dezembro de 2023, pela seguinte banca examinadora:



---

Prof. **Maria Cláudia Reis Cavalcanti** - D.Sc. do IME - Presidente



---

Prof. **David Fernandes Cruz Moura** - D.Sc. do IME



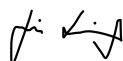
---

Prof. **Gabriela Moutinho De Souza Dias** - D.Sc. do IME



---

Prof. **Maria Luiza Machado Campos** - Ph.D. da UFRJ



---

Prof. **João Luiz Rebelo Moreira** - Ph.D. da Universidade de Twente

Rio de Janeiro  
2023

*Dedicado aos meus maiores apoiadores, pai e mãe.*

# AGRADECIMENTOS

Ao Exército Brasileiro, em especial ao Instituto Militar de Engenharia, por abrir as portas da instituição aos civis, como eu, que acreditam no serviço e no ensino fornecido pela instituição à sociedade.

Agradecimento aos meus brilhantes orientadores, Maria Cláudia Reis Cavalcanti e David Fernandes Cruz Moura, que me guiaram durante toda a pesquisa e desenvolvimento e que são inspirações não só para minha vida acadêmica, mas também para minha vida como um todo.

Agradecimento especial também a Julio Cesar Cardoso Tesolin, que durante o meu mestrado esteve cursando doutorado e também dedicou tempo a auxiliar na minha orientação de forma fundamental. Sua pesquisa de doutorado certamente é uma importante contribuição na área de redes de comunicações e foi uma inspiração para meu trabalho.

Agradecimento a toda equipe do projeto S2C2 (Sistemas de Sistemas de Comando e Controle), que inclui alunos e professores do IME e da UFRGS. O trabalho desempenhado no projeto certamente foi de grande importância para o meu trabalho de dissertação.

Agradeço também aqueles que exerceram de forma importante e fundamental o trabalho de coordenadores do curso de Sistemas e Computação, como a Major Gabriela Moutinho de Souza Dias, Professor Ronaldo Goldschmidt e minha orientadora, professora Maria Cláudia Reis Cavalcanti. Também agradeço ao Chefe da SE/9 durante meu período de mestrado, Cel. Julio Cesar Duarte.

Agradeço aos meus pais, Alcides e Adriana e irmãos Matheus e João Victor pela importante influência em minha vida e por me apoiarem durante toda essa caminhada no mestrado. Certamente estarão me apoiando e me incentivando em meus objetivos futuros e já agradeço por isso. Agradeço também aos meus pequenos sobrinhos Elisa e Daniel que trazem muita alegria para minha vida.

Finalmente, agradeço à FINEP/DCT/FAPEB pelo apoio ao projeto S2C2 (ref.: 2904/20 convênio 01.20.0272.00). O apoio desse convênio viabilizou a participação em atividades junto a outros pesquisadores e instituições que contribuíram significativamente para o desenvolvimento desta pesquisa.

*“São muitas, Senhor, Deus meu,  
as maravilhas que tens operado  
e também os teus desígnios para conosco;  
não há ninguém que possa se igualar a ti.  
Eu quisera anunciá-los e deles falar,  
mas são mais do que se pode contar.  
(Bíblia Sagrada, Salmos 40, 5)*

## RESUMO

A atuação em um cenário de operação militar exige que os tomadores de decisões tenham conhecimento aprofundado do domínio, sendo necessário estudar os elementos que participam do cenário para desenvolver estratégias antes de executar a missão. Formalizar o conhecimento sobre os recursos existentes no cenário de operações pode ajudar a organizar o conhecimento, compartilhar dados, tomar decisões, fornecer uma descrição consistente do domínio, facilitar a reutilização de recursos e permitir a reprodução de cenários mais confiáveis, com maior precisão terminológica. Dessa forma, é possível reduzir a complexidade do domínio e abstrair os elementos essenciais. No entanto, até onde foi possível investigar, os poucos trabalhos encontrados na literatura que tratam da formalização desses cenários, não chegam a identificar alguns elementos essenciais para a simulação de comunicações em operações militares. Este trabalho propõe que cenários de operações militares sejam formalizados através de modelagem conceitual utilizando conceitos de uma ontologia de fundamentação denominada *Unified Foundational Ontology* (UFO). Através dessa modelagem, conhecida como análise ontológica, foi criada uma ontologia de referência. Com isso, foi possível gerar as chamadas ontologias operacionais expressas na linguagem OWL, que são legíveis por máquina e permitem a realização de inferências através do raciocínio semântico. Este trabalho explica detalhadamente o processo de pesquisa e desenvolvimento das ontologias de referência e operacionais e explora algumas de suas aplicações práticas, demonstrando as contribuições já feitas e os resultados promissores, bem como possíveis extensões a serem feitas em trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** cenários de operações militares; ontologias; Web Semântica; simulação de operações militares; modelagem conceitual.



# ABSTRACT

Acting in a military operation scenario requires decision-makers to have in-depth knowledge of the domain, and it is necessary to study the elements that participate in the scenario to develop strategies before executing the mission. Formalizing knowledge about existing resources in the operations scenario can help organize knowledge, share data, make decisions, provide a consistent description of the domain, facilitate resource reuse, and allow the reproduction of more reliable scenarios, with greater terminological precision. This way, it is possible to reduce the complexity of the domain and abstract the essential elements. However, as far as it was possible to investigate, the few works found in the literature that deal with the formalization of these scenarios do not identify some essential elements for simulating communications in military operations. This work proposes that military operation scenarios be formalized through conceptual modeling using concepts from a foundational ontology called *Unified Foundational Ontology* (UFO). Through this modeling, known as ontological analysis, a reference ontology was created. With this, it was possible to generate so-called operational ontologies expressed in the OWL language, which are machine-readable and allow inferences to be made through semantic reasoning. This work explains in detail the research and development process of reference and operational ontologies and explores some of their practical applications, demonstrating the contributions already made and promising results, as well as possible extensions to be made in future work.

**Keywords:** military operations scenarios; military ontologies; Semantic Web; simulation of military operations; conceptual modeling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama com o processo de desenvolvimento. . . . .	25
Figura 2 – Taxonomia de Endurants. Fonte: (1) . . . . .	29
Figura 3 – Fundamentos básicos da teoria de modelagem multi-nível: tipos básicos e relações de instanciação. Fonte: (2) . . . . .	32
Figura 4 – Combinação UFO-MLT para criar um modelo conceitual multi-nível. Fonte: (3) . . . . .	33
Figura 5 – A pilha da Web Semântica (última forma pela W3C) Fonte: (4) . . . .	35
Figura 6 – As restrições do ambiente militar tático. Fonte: (5) . . . . .	39
Figura 7 – Comportamento da comunicação militar na hierarquia entre organizações	40
Figura 8 – Uma potencial rede de múltiplos portadores habilitada para RDS. Fonte: (6) . . . . .	42
Figura 9 – Visão operacional de alto nível do cenário IST-124. Fonte: (7) . . . . .	44
Figura 10 – Representação de um cenário de comunicação militar para operações de GLO utilizando construtos da UFO. Fonte: (8). . . . .	49
Figura 11 – Fragmento de CROMO-MOS representando uma Operação Militar Ofensiva. Fonte: (9). . . . .	50
Figura 12 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando <b>OperationalElement</b> e <b>InstitutionalElement</b> com suas respectivas relações de agregação para <b>MilitaryScenario</b> . . . . .	56
Figura 13 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando <b>MilitaryOrganization</b> e suas especializações. . . . .	57
Figura 14 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando a relação entre <b>MilitaryPerson</b> e <b>MilitaryOrganization</b> . . . . .	57
Figura 15 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando as especializações de <b>MilitaryPerson</b> , a categoria <b>MilitaryPlatform</b> , o <i>mixin</i> <b>CommDeviceCarrier</b> e seus atributos e por fim <b>CommDevice</b> . . . . .	58
Figura 16 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando as especializações do <i>Kind Vehicle</i> . . . . .	58
Figura 17 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando os principais elementos do sistema de comunicação. . . . .	59
Figura 18 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando <b>Interface</b> e seus atributos. . . . .	59
Figura 19 – Estruturas militares usando MLT. . . . .	61
Figura 20 – Tipos de veículos usando MLT. . . . .	61
Figura 21 – Modelagem conceitual da ontologia de referência MiScOn com a linguagem OntoUML. . . . .	62

Figura 22 – <i>PrintScreen</i> da tela do Protegé mostrando a implementação do conceito de <i>punning</i> . . . . .	70
Figura 23 – Arquitetura do MiScManager mostrando a divisão por módulos. . . . .	72
Figura 24 – Representação das tabelas do banco de dados no software DBeaver mostrando a relação entre MilitaryPerson, Node, MilitaryOrganization, Scenario e Carrier. . . . .	74
Figura 25 – Tela de configuração para estações no MiScManager MilitaryVersion . . . . .	75
Figura 26 – Tela de execução de rodada no MiScManager. . . . .	76
Figura 27 – Tela de configuração manual da hierarquia militar. . . . .	76
Figura 28 – Representação do cenário do experimento representando a hierarquia entre OMs, os militares, os veículos e as restrições na comunicação. . . . .	77
Figura 29 – <i>Printscreen</i> da tela do Protegé mostrando o resultado da inferência para o relacionamento <i>mayTalkTo</i> na interface sta2-wlan1. . . . .	79
Figura 30 – Ciclo mostrando as fases do experimento desde o desenvolvimento da ontologia de referência até a execução da rede no Mininet-WiFi. . . . .	81
Figura 31 – <i>Printscreen</i> da execução de um experimento mostrando que apenas os nós que possuem o relacionamento <i>mayTalkTo</i> se comunicam na emulação da rede. . . . .	82
Figura 32 – Registro das conversas capturadas pelo WireShark. Em <b>a)</b> é aplicado o <i>mayTalkTo</i> ; Em <b>b)</b> todas as interfaces podem se comunicar. . . . .	83
Figura 33 – <i>Printscreen</i> da movimentação dos nós dentro dos quadrantes definidos. . . . .	83
Figura 34 – <i>Printscreen</i> da tela de experimento do MiScManager com envio de pacote para os superiores até chegar ao destino final. . . . .	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz de comparação de trabalhos relacionados com a proposta. . . .	51
Quadro 2 – Matriz de comparação das principais ontologias exploradas neste trabalho.	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bat	Batalhão
BMO	<i>Battle Management Ontology</i>
C2	Comando e Controle
C-BML	Coalition-Battle Management Language
Cia	Companhia
COA	<i>Course of Actions</i>
CROMO	<i>Cognitive Radio Ontology for Military Operations</i>
CTEx	Centro Tecnológico do Exército
DCT	Departamento de Ciência e Tecnologia - Exército Brasileiro
EB	Exército Brasileiro
EBO	<i>Effects-Based Operations</i>
EME	Estado-Maior do Exército
ERM	<i>Entity-relationship model</i>
ETO	<i>Equipment Taxonomy Ontology</i>
FAPEB	Fundação de Apoio à Pesquisa Desenvolvimento e Inovação – Exército Brasileiro
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GC	Grupo de Combate
GLO	Garantia da Lei e da Ordem
HF	<i>High Frequency</i>
HINT	Heterogeneous wireless Network ontology
HPC	<i>High Performance Computing</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IRI	<i>Internationalized Resource Identifier</i>

LVC	<i>Live, virtual, and constructive</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MANET	<i>Mobile Ad hoc Network</i>
MAS	<i>Multi-Agent System</i>
MDE	<i>Model-Driven Engineering</i>
MiScOn	<i>Military Scenario Ontology</i>
MLT	<i>Multi-Level Theory</i>
M&S	Modelagem e Simulação
MSDL	<i>Military Scenario Definition Language</i>
MSO	<i>Military Scenario Ontology</i>
MVC	<i>Model-View-Controller</i>
NCW	<i>Network-Centric Warfare</i>
NEMO	Núcleo de Estudos em Modelagem Conceitual e Ontologias
OCL	<i>Object Constraint Language</i>
ODCM	<i>Ontology-driven conceptual modeling</i>
OM	Organização Militar
OMSRM	<i>Ontology-based Military Scenario Resources Management</i>
	ORM <i>Object-Relational Mapping</i>
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
OWL	<i>Web Ontology Language</i>
OWL S&AS	<i>OWL Semantics and Abstract Syntax</i>
Pel	Pelotão
QoI	<i>Quality of Information</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
RDFS	<i>Resource Description Framework Schema</i>

RDS	Rádio Definido por Software
RMCT	Revista Militar de Ciência e Tecnologia
S2C2	Sistemas de Sistemas de Comando e Controle
SAO	<i>Situation Awareness Ontology</i>
SABiO	<i>Systematic Approach for Building Ontologies</i>
SATCOM	<i>Satellite Communication</i>
SDN	<i>Software Defined Networks</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SISO	<i>Simulation Interoperability Standards Organization</i>
SKOS	<i>Simple Knowledge Organization System</i>
SPARQL	<i>SPARQL Protocol and RDF Query Language</i>
SWRL	<i>Semantic Web Rule Language</i>
TNT	<i>Tactical Network Test</i>
TTO	<i>Task Taxonomy Ontology</i>
Ue	<i>User equipment</i>
UFO	<i>Unified Foundational Ontology</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
UTO	<i>Unit Taxonomy Ontology</i>
VANT	Veículo aéreo não tripulado
VHF	<i>Very High Frequency</i>
WARP	<i>Wireless Open Access Research Platform</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	19
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	20
1.3	JUSTIFICATIVA	20
1.4	HIPÓTESE E OBJETIVOS	22
1.5	CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS	23
1.6	REVISÃO DA LITERATURA E METODOLOGIA	23
1.7	ESTRUTURA DO TEXTO	24
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>26</b>
2.1	ONTOLOGIAS E MODELAGEM CONCEITUAL BEM FUNDAMENTADA	26
2.2	UFO - <i>UNIFIED FOUNDATIONAL ONTOLOGY</i>	28
2.3	<i>MULTI-LEVEL CONCEPTUAL MODELING</i>	32
2.4	WEB SEMÂNTICA	33
2.5	SIMULAÇÃO E EMULAÇÃO	35
2.6	REDES TÁTICAS E CENÁRIOS DE OPERAÇÕES MILITARES	37
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>43</b>
3.1	CENÁRIOS MILITARES E REDES DE COMUNICAÇÕES TÁTICAS	43
3.2	ANÁLISE ONTOLÓGICA E WEB SEMÂNTICA APLICADA A CENÁRIOS MILITARES, REDES DE COMUNICAÇÕES OU EM SIMULAÇÃO	46
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS TRABALHOS RELACIONADOS	50
<b>4</b>	<b>ANÁLISE ONTOLÓGICA DO CENÁRIO DE OPERAÇÃO MILITAR</b>	<b>54</b>
4.1	MISCON - <i>MILITARY SCENARIO ONTOLOGY</i>	54
4.2	APLICAÇÃO DA UFO-MLT	60
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO</b>	<b>63</b>
5.1	ONTOLOGIA OPERACIONAL	63
5.2	IMPLEMENTAÇÃO DO MISCMANAGER	71
5.2.1	PRIMEIRA VERSÃO: MINIMANAGER	71
5.2.2	MISCMANAGER	71
5.2.3	IMPLEMENTAÇÃO DO BANCO DE DADOS RELACIONAL	73
5.2.4	INTERFACE DO MISCMANAGER	75
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO E PROVA DE CONCEITO</b>	<b>77</b>
6.1	DESCRIÇÃO DO CENÁRIO	77



6.2	ANÁLISES SOBRE OS EXPERIMENTOS . . . . .	78
6.3	APLICAÇÃO DA ONTOLOGIA NO S2C2 EMUSIM - <i>COMMAND AND CONTROL SIMULATION CONFIGURATION AND ORCHESTRATION</i> . .	84
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS . . . . .</b>	<b>86</b>
7.1	LIMITAÇÕES . . . . .	87
7.2	CONTRIBUIÇÕES . . . . .	87
7.3	POSSÍVEIS EXTENSÕES E TRABALHOS FUTUROS . . . . .	89
7.3.1	UTILIZAÇÃO DA ONTOLOGIA EM PROBLEMAS DE INTEROPERABILIDADE NOS APLICATIVOS DE C2 . . . . .	89
7.3.2	EXTENSÕES NA ONTOLOGIA MISCON . . . . .	90
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXO A – GLOSSÁRIO DA MODELAGEM CONCEITUAL . . .</b>	<b>102</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O planejamento de operações militares tem a necessidade de que haja um conhecimento sobre o cenário de operações, o que envolve desde o ambiente operacional até as tecnologias utilizadas. Ao compreender o cenário, pode-se ter ganhos no processo de tomada de decisões ajudando no sucesso das missões. Esse processo de tomada de decisões envolve uma vasta quantidade de ferramentas que auxiliam os agentes decisores a escolherem as melhores opções para determinadas situações. Algumas dessas ferramentas buscam reproduzir a realidade simulando eventos ou emulando tecnologias que podem estar presentes no cenário operacional, permitindo uma investigação acerca do impacto que certas mudanças podem realizar em um sistema (10). A reprodução da realidade por meios computacionais permite que os agentes decisores realizem uma análise crítica, descritiva e propositiva em cenários de interesse, verificando possibilidades fora do ambiente real, provendo através da análise estatística os dados necessários para lidar com cada cenário possível, ajudando nas interpretações ou percepções sobre os fatos e otimizando a capacidade de tomar decisões.

Todavia, os cenários a serem reproduzidos podem ter diversas variações e alguns cenários podem ser mais complexos e ricos em detalhes do que outros. Quando se trata de um cenário muito complexo a ser reproduzido, como os cenários de operações militares, as possibilidades se tornam muito vastas, sendo necessária uma abstração que contenha aqueles elementos que vão pertencer ao cenário a ser reproduzido. Cada cenário pode ter um objetivo diferente do outro, com diferentes dados e informações a serem coletadas (9, 11, 12). Cenários de operações militares se caracterizam por serem extremamente heterogêneos, possuindo elementos estratégicos, táticos, operacionais, institucionais e de comunicação. Para se obter a melhor representação possível de forma a se criar um cenário mais fidedigno, uma solução pode ser a formalização do cenário, de forma a ajudar a organizar o conhecimento, tomada de decisões, no conhecimento do domínio e no compartilhamento de dados, desde que essa formalização seja feita de uma forma que permita que o cenário seja facilmente compartilhável.

Ao tentar criar uma formalização de um cenário militar, para se obter uma representação coerente, essa tarefa envolve um processo complexo relacionado à questão semântica. Como Barcellos descreve em (13), o mesmo conceito pode ser designado por diferentes termos em diferentes padrões, ou o mesmo termo pode fazer referência a diferentes conceitos. Problemas semânticos como a plurivalência<sup>1</sup> podem estar presentes em padrões, protocolos, recomendações, manuais e glossários, causando problemas de compreensão, interoperabilidade e inconsistências. É possível observar, por exemplo, no

---

<sup>1</sup> Propriedade de um significante de apresentar vários significados.

Glossário das Forças Armadas (14) e no Glossário de Termos e Expressões para Uso no Exército (15), a utilização de diversos termos repetidos que são adotados com diferentes sentidos em cada definição ou contexto. Por exemplo, o termo “Plataforma” que possui 42 menções no Glossário das Forças Armadas e 39 menções no Glossário de Termos e Expressões para uso no Exército. Também existem termos diferentes que se referem a um mesmo significado, por exemplo, “Organização Militar” e “Unidade” que por muitas vezes podem possuir o mesmo significado ou também “Veículo”, “Viatura” e “Carro” muitas vezes usados no mesmo sentido semântico. Dessa forma, esses problemas semânticos podem afetar na representação formal do domínio.

Ainda, as questões voltadas para a interoperabilidade também estão relacionadas ao problema de representação de cenários de operações militares, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de sistemas. Por exemplo, cada equipe de desenvolvimento de sistemas pode ter uma interpretação dos elementos presentes em um cenário operacional de forma distinta, por conta da heterogeneidade do cenário e também por conta das questões semânticas supracitadas, fazendo com que aplicativos de comando e controle sejam desenvolvidos de forma paralela e pouco interoperável.

No contexto supracitado, uma solução para representar e formalizar tais cenários militares é por meio da análise ontológica, uma tarefa que envolve analisar as entidades, atributos, relacionamentos e variáveis explorando suas características ontológicas e metafísicas dentro do domínio através de estruturas taxonômicas. Esse processo de análise ontológica pode abranger conceitos como os princípios de classificação e categorização, identidade, unidade (parte-todo), individuação, mudança, classificação e estruturas taxonômicas, dependência (existencial, histórica, relacional, fictícia), casualidade, essencialidade, accidentalidade, caracterização, dentre outros. Essa tarefa pode ser feita através do exercício da modelagem conceitual bem fundamentada, resultando em uma representação mais rica semanticamente e com distinções mais refinadas dos conceitos. Dessa forma, a modelagem conceitual representa uma porção do mundo real em um determinado estudo de caso. Guizzardi apresenta em sua tese (16) o processo de modelagem como parte fundamental no desenvolvimento de sistemas e no processo de interoperabilidade.

Para se alcançar essa tarefa de representação de cenários de operações militares usando a modelagem bem fundamentada, este trabalho propõe a utilização de uma ontologia de fundamentação denominada *Unified Foundational Ontology* (UFO) (16), que possui suporte para modelagem conceitual através da linguagem OntoUML (17). Ainda, é implementada uma versão operacional da ontologia desenvolvida - ou seja, uma ontologia que possa ser interpretada e processada por meio de software. Por conseguinte, este trabalho propõe uma abordagem baseada na Web Semântica de forma a permitir a representação do conhecimento por meio de linguagens que possam representar uma ontologia, permitindo facilmente a leitura dessa por um sistema que irá executar emulações de redes baseadas

em SDN (18, 19), e que imitam o comportamento da comunicação em ambiente tático aplicando as restrições impostas pelo domínio representado pela ontologia.

A proposta apresentada pelo presente trabalho, baseia-se nos cenários de operação militar, em especial aqueles que envolvem Comando e Controle (C2), como descrito na seção seguinte.

## 1.1 Contexto e Motivação

Alberts e Hayes fazem uma ampla explanação sobre as funções, desafios e importância do Comando e Controle (C2) em sua obra *Understanding Command and Control* (20), uma das mais conhecidas publicações acerca do tema. Os autores enfatizam que as missões militares do século XXI diferem das missões tradicionais por serem mais complexas e dinâmicas, exigindo capacidades e esforços coletivos de muitas organizações para serem bem-sucedidas, e que existe um novo espaço de cooperação ao qual aqueles que souberam aproveitar tiveram grande vantagem competitiva. Desta forma, pode-se entender que os cenários militares estão cada vez mais complexos, com o aumento do uso da tecnologia, se tornando ambientes mais heterogêneos e de difícil planejamento.

Entende-se, portanto, que os ambientes de operações militares atuais são complexos, heterogêneos e estão sujeitos a constantes mudanças. Os autores em (7) reforçam a importância da experimentação e da análise no desenvolvimento de redes militares, defendendo a ideia de que, para se obter resultados válidos, é necessária a utilização de hardware de comunicação, topologias e operações militares realistas, existindo diferentes possibilidades, por exemplo, experimentos baseados em simulação e emulação, experimentos com hardwares reais em laboratório e exercícios militares. Adicionalmente, os autores apresentam vantagens como um baixo investimento em hardwares, a vantagem de não precisar executar o sistema em tempo real e controle de ambiente podendo alterar livremente os parâmetros.

Já em (11), os autores também destacam a importância do desenvolvimento de cenários, afirmando que significa um grande investimento de tempo e recursos antes de um exercício. A reprodução do ambiente real por meios computacionais está cada vez mais sendo aplicada pelas forças militares em todo o mundo com métodos cada vez mais sofisticados e realistas, que possam ajudar no planejamento e consequentemente na tomada de decisões. A simulação de eventos, a emulação de tecnologias e equipamentos e o desenvolvimento de *testbeds* são alternativas para se reproduzir o ambiente real por meios de hardware e software.

Não obstante, seguindo nessa estratégia de planejamento, os desenvolvedores devem tentar melhorar ao máximo o processo de tomada de decisões nesses ambientes computacionais, prevendo imprevistos e imprevistos que possam acontecer para reproduzir como seria o comportamento real. Para isso, é necessário entender os passos e os motivos que

levam um agente a tomar uma decisão específica. Para melhorar a capacidade de tomar decisões, os passos a serem seguidos precisam estar bem descritos.

## 1.2 Caracterização do Problema

Os cenários militares se caracterizam pela sua heterogeneidade, possuindo uma série de elementos e tecnologias, principalmente voltadas para o ambiente de comunicação. A partir de uma investigação nos trabalhos relacionados, foi relatado que muitas são as tentativas (7, 21, 22, 23) de se desenvolver cenários de operações ou de comunicações militares para ambientes de simulação, a fim de se obter um ganho de conhecimento no planejamento de missões.

É possível observar, que as redes de comunicações em ambientes táticos, além de possuírem as características habituais de uma rede convencional, também sofrem interferências em seu comportamento e configuração por conta do ambiente tático onde estão inseridas (24). Por conseguinte, o problema se insere, primeiramente, na dificuldade de se criar cenários militares complexos em ambientes de emulação de redes, tipicamente genéricos (18) e que não possuem os recursos necessários para fazer com que o comportamento da rede sofra interferências do ambiente operacional.

Ainda, na literatura encontrada, foi observado que as ontologias que existem para cenários militares (9, 25, 26) não são exploradas para serem reutilizadas em sistemas de simulação ou emulação para ajudar na criação de uma reprodução do cenário de comunicação. Assim, uma primeira questão de pesquisa pode ser enunciada da seguinte forma: É possível criar uma ontologia capaz de representar um cenário militar de comunicações típico e apoiar a tomada de decisões na execução de experimentos mais consistentes com o ambiente real?

Uma outra questão a ser destacada, é que a falta de formalização dos cenários de operações militares dificulta o compartilhamento das informações acerca do cenário. Não obstante, esses cenários seriam mais facilmente compartilhados e reproduzidos se fossem descritos em linguagem interpretável por máquina, de modo a facilitar sua reprodução.

Uma segunda questão de pesquisa se apresenta então: As linguagens voltadas para a Web Semântica, como a OWL e a RDF, podem se enquadrar como uma alternativa para representar tais cenários, diante de um complexo vocabulário militar, já que possuem alta expressividade semântica?

## 1.3 Justificativa

É possível identificar, na proposta deste trabalho, uma interseção com projetos de pesquisa estratégicos do Exército Brasileiro e do Ministério da Defesa, como o projeto

Sistemas de Sistemas de Comando e Controle (S2C2) (ref.: 2904/20 convênio 01.20.0272.00) e o projeto RDS-Defesa (Portaria nº 2.110/MD, de 09 de agosto de 2012) focado em Rádios Definidos por Software.

O projeto S2C2 possui participação do Instituto Militar de Engenharia em parceria com outras instituições. Sistemas de Sistemas, segundo Meier (27) é uma montagem de componentes que se forem considerados cada um separadamente, podem ser considerados como sistemas que possuem como propriedades adicionais a independência operacional e gerencial dos componentes. Dentro do contexto de Comando e Controle, essa montagem de componentes envolve os sistemas de Comando e Controle das Forças Armadas. Por isso, em tais sistemas é necessária uma troca eficiente de informações, de forma a integrar sistemas de diferentes naturezas e contribuir para a tomada de decisões, mitigando erros na transmissão de informações com a maior interoperabilidade possível. Questões expostas nesta dissertação, como a interoperabilidade entre sistemas, é alvo de pesquisa no projeto S2C2, que foca na Família de Aplicativos de Comando e Controle da Força Terrestre (FAC2FTer). Nesses aplicativos, a interoperabilidade está relacionada com a troca de informações e tomada de decisões entre sistemas e equipamentos, entre sistemas de C2 e com a própria doutrina militar.

Além de visar problemas com interoperabilidade voltados para a área de comando e controle, o projeto também lida diretamente com problemas envolvidos na reprodução de ambientes de operações militares com o desenvolvimento de simulações com um grupo de pesquisa que envolve o Instituto Militar de Engenharia e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O projeto do simulador denominado S2C2 Emusim, vem sendo desenvolvido buscando fazer uso da ontologia desenvolvida neste trabalho na concepção de cenários de operações.

Por sua vez, o projeto RDS-Defesa tem recebido investimentos do Ministério da Defesa desde 2012, ficando sob responsabilidade do CTEEx (Centro Tecnológico do Exército) e com participação de outras instituições. No caso dos rádios definidos por software, algumas pesquisas já vem sendo feitas para explorar a análise e tomada de decisões em rádios cognitivos, explorando questões como a aplicabilidade de ontologias para esse fim (9), possuindo portanto uma interseção com a proposta deste trabalho de dissertação.

Ainda, é possível justificar os problemas de pesquisa, à luz dos cinco aspectos de valoração abordados em *Técnicas de Pesquisa* de Marconi e Lakatos (28). Primeiramente, com relação à **viabilidade**, pode-se dizer que há um problema viável, uma vez que os cenários de operações militares são descritos nas doutrinas que estão disponíveis publicamente, e também há acesso às tecnologias utilizadas e a especialistas da área de comunicações e operações militares. Já com relação à **relevância**, como já foi dito, o problema tratado corresponde a uma demanda do EB, e é **oportuno** pois surge no contexto de dois projetos de pesquisa em andamento: S2C2 e RDS-Defesa. A **novidade**, como já

constatado pela caracterização do problema, está na busca por soluções ou abordagens ainda não apresentadas no estágio atual de evolução científica. Quanto à **exequibilidade**, a nova abordagem conta com linguagens e tecnologias que permitem o desenvolvimento de uma ontologia que possa ser reusada em diferentes problemas de pesquisa.

## 1.4 Hipótese e Objetivos

Para atender o problema apresentado e justificado anteriormente, foi formulada a seguinte hipótese:

**Hipótese:** O teatro de operações militares pode ser representado com maior fidedignidade e riqueza semântica através de uma ontologia, que por apresentar uma representação formal, permite o raciocínio semântico e ainda pode se tornar uma ontologia compartilhável e reutilizada para apoiar a reprodução de operações militares por meios computacionais e a interoperabilidade entre sistemas de C2.

Para comprovar tal hipótese, temos como objetivo geral desenvolver uma ontologia, de modo a permitir que o cenário seja melhor descrito, com fidedignidade ao ambiente real, e ainda ajudar na interoperabilidade de sistemas de C2, realizando a conexão da modelagem do ambiente militar com o sistema de comunicação. Assim, pretende-se criar uma ontologia do cenário operacional utilizando uma ontologia de fundamentação, realizando uma modelagem conceitual e fazendo o reúso de outros modelos existentes voltados para o domínio das comunicações (29) e para o domínio militar (9) que já abordam problemas semânticos e de interoperabilidade, e com isso, realizar a extensão dessas ontologias para se adequar ao cenário desejado, que envolve o sistema de comunicação militar e sistemas de C2.

Para atingir este objetivo, elencamos os seguintes objetivos específicos:

- Exploração de uma ontologia de fundamentação para criar uma ontologia no domínio militar, de modo a representar cenários de comunicação em operações militares;
- Geração de uma ontologia operacional, capaz de ser reusada por sistemas de C2;
- Desenvolvimento de um sistema que utilize a ontologia do cenário militar, de forma a auxiliar a tomada de decisões com base nas inferências geradas através do raciocínio semântico e na criação dos elementos do cenário no banco de dados;
- Realização de estudo de casos envolvendo o reúso da ontologia operacional em um sistema desenvolvido.

## 1.5 Contribuições Esperadas

- Um cenário militar bem fundamentado que envolva o ambiente operacional e o de comunicação militar;
- Ontologias operacionais do cenário militar;
- Um sistema de configuração e gerenciamento de emulações de redes que faça uso de ontologias operacionais para configuração e tomada de decisões;
- Contribuição para o projeto S2C2 através das ontologias de referência e operacionais;

## 1.6 Revisão da Literatura e Metodologia

A pesquisa se iniciou com o estudo acerca da aplicação das ontologias na área de sistemas e computação, buscando trabalhos relacionados ao tema, principalmente os desenvolvidos pelo grupo NEMO (Núcleo de Estudos em Modelagem Conceitual e Ontologias)<sup>2</sup> da Universidade Federal do Espírito Santo, que possuem diversos trabalhos publicados envolvendo ontologias de fundamentação e modelagem conceitual. Nessa etapa, foram desenvolvidos diversos exercícios de modelagem através de uma linguagem de modelagem denominada OntoUML, que é baseada em uma ontologia de fundamentação.

Em sequência, foram investigados alguns trabalhos que se propuseram a realizar a criação de cenários militares realistas para fins de simulação, suas formas de desenvolvimento, softwares utilizados, estratégias e objetivos. Nesse levantamento, foram alcançados artigos nas bases ResearchGate e IEEE Xplore utilizando também a plataforma Google Scholar para realização buscas. Foram utilizados como critérios de inclusão principalmente trabalhos que fizessem algum tipo de interseção entre os temas abordados no Capítulo 2, utilizando também como critério de exclusão o afastamento das propostas em relação ao domínio militar.

A partir dos artigos inicialmente encontrados, foram exploradas outras referências importantes citadas por eles. Outras fontes importantes foram as doutrinas, manuais, glossários militares e trabalhos acadêmicos, encontrados na biblioteca digital do exército<sup>3</sup> e Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT), alguns deles recomendados por especialistas da área militar.

Posteriormente, foram investigados trabalhos acerca da aplicação da modelagem multi-nível, onde foi possível estudar seus principais conceitos e sua aplicação na modelagem conceitual e no desenvolvimento de ontologias utilizando a técnica de *punning* e a UFO.

<sup>2</sup> <https://nemo.inf.ufes.br/publicacoes/peer-reviewed/>. Acesso em: 11 set. 2023

<sup>3</sup> <https://bdex.eb.mil.br/jspui/>. Acesso em: 11 set. 2023



Durante a revisão de literatura com trabalhos relacionados à simulação ou emulação de redes de comunicações militares ou desenvolvimento de cenários militares realísticos, não se encontrou uma abordagem que se propõe a criar o cenário a ser reproduzido com o suporte de uma ontologia de fundamentação, e ainda importar esse cenário utilizando uma abordagem baseada na Web Semântica, com suporte à decisão baseada no raciocínio semântico. Durante as conversas com especialistas na área de comunicação militar, em especial no projeto S2C2 (Sistemas de Sistemas em Comando e Controle), a proposta de se utilizar a ontologia para desenvolver cenários de operações militares foi vista com entusiasmo.

Para desenvolvimento de um software que atendesse aos objetivos de reuso de ontologia, partimos de um protótipo já desenvolvido para objetivo semelhante, reusando softwares de código aberto e em linguagem que permita a importação de bibliotecas que realizam a leitura de arquivos em linguagem voltada para Web Semântica, permitindo o reuso da ontologia.

Com base em algumas diretrizes da metodologia SABiO (30, 31), foi iniciado o desenvolvimento da ontologia. Essa metodologia fornece um conjunto de processos e fases para desenvolvimento de ontologias, e reforça o uso da UFO, de modo a conceber uma ontologia de referência por meio de modelagem conceitual bem fundamentada. Por conseguinte, para o desenvolvimento da ontologia de referência foi aplicado o reuso de ontologias já existentes acerca do domínio militar e de comunicações. Por conseguinte, foi realizada uma extensão das propostas já existentes.

Ainda em colaboração com o projeto S2C2, muitas foram as reuniões de equipe para debater temas relacionados a simulação de cenários militares e acerca dos elementos que deveriam estar presentes em um cenário a ser reproduzido, quais tecnologias utilizar, como emuladores de rede e bibliotecas que pudessem realizar a leitura das ontologias operacionais. Nessas reuniões, também foi discutido o reuso da ontologia no software de simulação denominado EmuSim, desenvolvido pela equipe do projeto.

A Figura 1 mostra um diagrama representando o processo de desenvolvimento do trabalho.

## 1.7 Estrutura do Texto

O texto está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 traz a fundamentação teórica da dissertação com os conceitos mais importantes para o entendimento do trabalho. O Capítulo 3 faz uma descrição dos trabalhos que mais se relacionam com este trabalho. O Capítulo 4 descreve a ontologia de referência, desde a conceituação até a modelagem conceitual em OntoUML e a aplicação da UFO-MLT. O Capítulo 5 descreve a implementação da ontologia operacional utilizando uma abordagem baseada na Web



Figura 1 – Diagrama com o processo de desenvolvimento.

Semântica. O Capítulo 6 faz um estudo de caso utilizando uma ontologia operacional do cenário militar em um software que gerencia emulações de rede. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as considerações finais desta dissertação e traz uma discussão sobre trabalhos futuros que podem usufruir dos resultados obtidos nessa pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para fundamentar o trabalho realizado, este capítulo apresenta os conceitos básicos que foram explorados durante as fases de pesquisa e de desenvolvimento. A Seção 2.1 apresenta os conceitos por trás da aplicação das ontologias na computação e da modelagem conceitual bem fundamentada. A Seção 2.2 apresenta os principais conceitos utilizados sobre a ontologia de fundamentação denominada UFO (*Unified Foundational Ontology*). Na Seção 2.3 são abordados os principais conceitos utilizados sobre a Modelagem Conceitual Multi-Nível e sua aplicação utilizando a UFO. Por sua vez, a Seção 2.4 aborda os principais conceitos sobre a Web Semântica, principalmente no que se refere as suas linguagens e sua relação com as ontologias. Na Seção 2.5 são apresentados alguns conceitos relacionados à simulação e à emulação. Por fim, a Seção 2.6 aborda alguns conceitos sobre as redes táticas e sobre os cenários de operações militares, mostrando alguns dos principais pontos como sua composição e o que trabalhos relacionados abordam sobre esses temas.

### 2.1 Ontologias e Modelagem Conceitual Bem Fundamentada

Desde que nascemos, já começamos a entender a realidade através de abstrações do mundo real, que são porções de modelos mentais da realidade necessárias para o compartilhamento de determinados conceitos entre indivíduos. A representação do mundo real, assim como o entendimento acerca dele sempre foi um desafio contemplado pelos filósofos. Por exemplo, se para Platão (427-347 a.C) a realidade concreta é um reflexo do "mundo das ideias", para Aristóteles (384-322 a.C), que foi seu aluno, os sentidos humanos e o uso da razão eram necessários para interpretar a realidade (32). Aristóteles ainda criou uma classificação de animais e plantas e também desenvolveu a conhecida lógica aristotélica de forma a organizar a realidade antes de interpretá-la, como por exemplo, por meio do silogismo. Assim, uma das ferramentas utilizadas para a representação da realidade até hoje é a lógica matemática. Através dela é possível detectar inconsistências lógicas em modelos ou na integração entre modelos. Não obstante, nem sempre a lógica ou modelos matemáticos podem expressar conceitos e a semântica por trás deles (33).

Ainda, expressar a semântica por trás dos conceitos pode ser uma tarefa difícil, pois existe a possibilidade de existir diferentes níveis de significados, abrindo espaço para possíveis problemas como a ambiguidade, sobrecarga, incompletude e a interoperabilidade (34), que podem causar diferentes interpretações e estão presentes em linguagens, padrões, leis, protocolos, recomendações e glossários dedicados a qualquer área do conhecimento. Como forma de se obter um enriquecimento semântico a fim de atenuar os problemas mencionados, a representação da realidade deve envolver também a investigação acerca da

existência, analisando quais tipos de entidades existem dentro do modelo a ser representado e também entender a natureza dessas entidades, o que faz parte dos estudos da ontologia e da metafísica (16).

O estudo da ontologia, palavra de origem grega que significa "Estudo do Ser", tem sido aplicado na ciência da computação como uma forma de se criar uma representação formal de um modelo de uma determinada porção da realidade. Dentro dessa área, existem várias formas de classificação de ontologias. Dentre elas, destacam-se aqui, para que haja entendimento da proposta, as **ontologias de domínio**, **ontologias de fundamentação** e **ontologias núcleo**. As ontologias de domínio se concentram nos conceitos que possuem dependência de um domínio específico. Por outro lado, as ontologias de fundamentação não são dedicadas a um domínio específico, fornecendo uma base conceitual comum para serem aplicadas a qualquer domínio. Por conseguinte, as ontologias de fundamentação são mais genéricas e as ontologias de domínio mais específicas em suas classificações. Por sua vez, as ontologias núcleo podem ser baseadas em ontologias de fundamentação e se propõem a realizar uma definição abstrata detalhada de conhecimento estruturado, dentro de determinado campo ou domínio, não sendo tão genéricas quanto as ontologias de fundamentação e nem tão específicas quanto as ontologias de domínio (35, 36, 37).

A primeira menção à ontologia na área da computação foi de George H. Mealy em 1967 (38). As ontologias têm sido cada vez mais aplicadas em várias áreas a fim de se criar representações fidedignas com o objetivo de interoperar e facilitar as análises de domínios, ajudando na resolução de problemas, na organização do conhecimento e na tomada de decisões. As áreas abrangidas envolvem sistemas de comunicações (8), telecomunicações (39, 40), cenários militares (41), legislação (42), entre outros. Na área de desenvolvimento de sistemas, a representação da realidade acerca de determinado domínio ou sistema implica diretamente na capacidade de transferência de informações e de interoperabilidade com outros sistemas. Dentro desse contexto, a modelagem conceitual tem sido usada como parte de metodologias de desenvolvimento de sistemas e banco de dados para representar porções do mundo real dentro de um determinado domínio ou sistema, representando o estado atual de compreensão e fornecendo uma base sólida para testar e melhorar nossa compreensão (20). A prática da modelagem conceitual baseada em ontologia é denominada como *Ontology-driven conceptual modeling* (ODCM) (43).

Assim, uma linguagem de modelagem conceitual deve possuir a capacidade de fornecer um conjunto de primitivas de modelagem que possam expressar diretamente conceitos relevantes do domínio, compreendendo o que é chamado de conceitualização de domínio (44). Ao se criar sistemas que irão compartilhar informações ou interoperar modelos, os conceitos acerca do domínio precisam ser bem definidos. Em (16), Guizzardi argumenta que a fidelidade à realidade de um determinado sistema depende muito da disponibilidade de linguagens de modelagem conceitual bem fundamentadas. Dessa forma,

o exercício da modelagem conceitual também se torna um desafio quando se propõe a realizar uma representação fidedigna do mundo real. Dentre as linguagens conhecidas para a realização dessa tarefa destacam-se a UML (Unified Modeling Language) (45), OCL (Object Constraint Language) (46), ERM (Entity-relationship model) (47), dentre outras.

Não obstante, essas linguagens foram desenvolvidas de forma a atender requisitos de desenvolvimento de sistemas, sem se ater aos princípios de representação da realidade já estudados em outras áreas do conhecimento. Dessa forma, essas linguagens trouxeram certa limitação na capacidade de representação e problemas de falta de expressividade, incompletude de linguagem, incompletude ontológica, interoperabilidade semântica e de ambiguidade, por utilizar um pensamento mecanicista que usa como base as experiências dos desenvolvedores de sistemas.

Por sua vez, um modelo conceitual bem fundamentado, propõe justamente o contrário, utilizando como base conceitos de representação da realidade bem fundamentados advindos da ontologia, aumentando a expressividade semântica nas representações, tornando possível a criação de ontologias de referência por meio da modelagem conceitual. Em (48) os autores realizam uma comparação entre modelos conceituais tradicionais e modelos conceituais dirigidos à ontologia, demonstrando que podem ser criados modelos com maior qualidade usando ODCM do que modelos conceituais tradicionais. Um exemplo de linguagem de modelagem conceitual voltada para ODCM é a OntoUML (17) que é baseada na ontologia de fundamentação denominada *Unified Foundational Ontology* (UFO) (16), que utiliza conceitos formais da ontologia para a criação de modelos conceituais bem fundamentados.

O processo de desenvolvimento de ontologias também pode seguir determinadas metodologias que possuem diretrizes, fases e recomendações. Uma metodologia que se destaca é a SABiO (30, 31). A metodologia SABiO sofreu algumas evoluções significativas em sua versão 2.0. Nessa nova versão, a SABiO traz algumas boas práticas adotadas em Engenharia de Software e Engenharia Ontológica. Essa metodologia distingue dois tipos de ontologias de domínio: de **referência** e **operacionais**. Uma ontologia de referência deve ser construída para fazer a melhor descrição possível do domínio em relação a um certo nível de granularidade e ponto de vista (44). Dessa forma, utiliza-se a modelagem conceitual para se criar essa ontologia de referência. Uma vez que essa conceitualização comum sobre o domínio foi concebida, as versões operacionais dessa ontologia de referência, que são ontologias legíveis por máquina poderão ser implementadas.

## 2.2 UFO - *Unified Foundational Ontology*

A *Unified Foundational Ontology* (UFO) foi proposta por Giancarlo Guizzardi em sua tese (16). Essa ontologia de fundamentação é baseada nos conceitos da Ontologia

Formal, Filosofia da Linguagem, Linguística e da Psicologia Cognitiva. Essa ontologia de alto nível (49) está dividida em três fragmentos. O primeiro deles é a UFO-A (*Ontology of Endurants*) (16) chamado de núcleo da UFO. O segundo é a UFO-B (*Ontology of Perdurants*) que pode ser definida como a parte dos fundamentos ontológicos de modelagem conceitual que aborda o conceito de eventos. O terceiro fragmento é a UFO-C (*Ontology of Social and Intentional Entities*). UFO-A e UFO-B foram usadas para criar a UFO-C, que trata de aspectos sociais como plano, ação, objetivo, agente, intencionalidade, compromisso, nomeação, entre outros, como pode ser visto com mais profundidade em (50).

UFO-A é a parte central dessa ontologia de nível superior, chamada de Ontologia de *Endurants* (*object-like entities*), os quais se caracterizam por serem entidades que existem no tempo e que podem mudar suas características qualitativamente sem perder sua identidade, diferentemente de eventos ou processos. Em (51), a UFO-A é definida como o núcleo da UFO. O autor classifica a UFO-A como o fragmento onde são sistematizados conceitos como tipos e estruturas taxonômicas (52), relações todo-parte (53, 54, 55, 56, 57), propriedades intrínsecas e espaços de valores de atributos (58), papéis (59, 60), propriedades relacionais (61), dentre outros (51). A Figura 2 mostra a representação da taxonomia dos *Endurants* segundo os autores em (1). Abaixo estão descritos alguns dos elementos dessa taxonomia mais importantes para a elaboração deste trabalho.

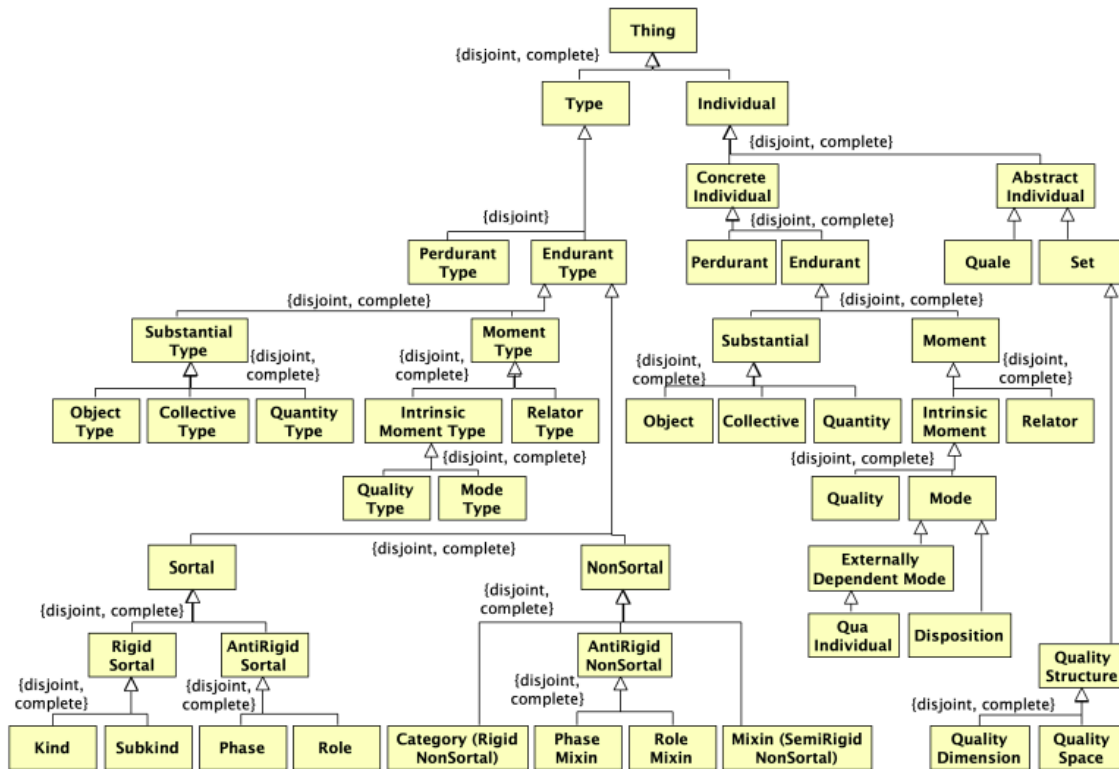


Figura 2 – Taxonomia de Endurants. Fonte: (1)

*Moments* são distinguidos entre *IntrinsicMoment* e *Relator*. *Relators* são descritos na literatura como relacionamentos representados como *Endurants* e que exercem essa

função conectando/mediando outros *Endurants* (16, 61, 62, 63). Ainda, *Relators* são a representação explícita de *Truthmakers* (62) com a finalidade de resolver problemas de ambiguidade em uma relação material entre diferentes *Endurants*. Isso é, através dele, a existência de determinada proposição se torna verdadeira.

*Mode* e *Quality* são *Intrinsic Moments*, se caracterizando por serem existencialmente dependentes de um particular. Para identificar a diferença entre *Mode* e *Quality* é preciso identificar se a entidade em questão possui ou não um valor estruturado, ou estrutura de *Quality*, que é quando a qualidade é uma propriedade intrínseca relacionada a um espaço conceitual. Se tiver um valor estruturado se classifica como *Quality*, se não tiver se classifica como *Mode*. Essa ideia de valor estruturado está ligada à noção do que é chamado de *Quality dimension* ou *Quality structures*, que é base da teoria denominada *Conceptual Models* de Peter Gardenfors (64, 65). Por exemplo, cor é uma propriedade representada por uma estrutura multidimensional, já que cor pode ser representada em termos das dimensões de tonalidade.

No que se refere a *Sortal* e *NonSortal*, *Sortal* pode ser *Rigid Sortal* e *AntiRigid Sortal*. *Rigid Sortal* se divide em *Kind* e *SubKind*. Todo objeto em uma modelagem conceitual que segue os padrões da UFO deve ser uma instância de um *Kind*, direta ou indiretamente, não obstante, não deve ser instância de mais de um *Kind* para respeitar o princípio de identidade, uma vez que identidade é algo único (52) e cada *Kind* possui um princípio de identidade.

Por sua vez, o *AntiRigid Sortal* se divide em *Role* e *Phase*. Pode parecer difícil diferenciar os estereótipos *Role* e *Phase*. Em (52), *Phases* representam estágios possíveis na história de um *Substance Sortal*. *Roles*, como o próprio nome indica, são papéis desempenhados por um tipo que possui princípio de identidade e, portanto, é especializado de acordo com seu papel. É importante perceber se determinada entidade é instanciada dependendo de suas propriedades intrínsecas, se caracterizando como *Phase*, por exemplo, um Adulto que é caracterizado pela idade, que é uma propriedade intrínseca dele, e é mutável. Caso contrário, pode se qualificar como *Role*, se estiver dependente de uma propriedade extrínseca, dependendo de uma relação com outras entidades. Além disso, tanto *Roles* quanto *Phases* podem ser subtipos daqueles que são provedores de identidade (16).

No que se refere aos *NonSortals*, *Mixin* deve ser um *supertype* de um *Rigidity* e um *Non-Rigidity*. Isso porque esse tipo se caracteriza por poder representar propriedades comuns a diferentes classes, porém *Mixin* como tipo *Semi-Rigidity* pode representar algo que seja necessariamente uma propriedade de uma classe, mas não necessariamente uma propriedade de outra classe. Em (52), *Mixin* é classificado como um *Universal* dispersivo e sendo de grande importância na estruturação de modelagens conceituais. Guizzardi faz uma explanação sobre a teoria bem fundamentada de *Substantial Universals* para

modelagem conceitual. (16).

*Categories* são geralmente usados em um processo de junção de classes que possuem diferentes princípios de identidade, mas que possuem uma generalização. Outra característica é que um *Category* é sempre abstrato. Em (52), *Category* é definido como um estereótipo para representar um *Mixin* rígido que engloba diferentes *Kinds*.

Para esclarecer a diferença entre *Substantial* e *Moment* é necessário entender a dependência e a independência existencial. Para exemplificar, considere (i) o aperto de mãos entre Bob e Lisa, e (ii) o furo do pneu. Na primeira sentença é perceptível que o aperto de mãos é existencialmente dependente de Bob e Lisa. Já na segunda sentença furo é existencialmente dependente de pneu. Portanto um elemento pode ser existencialmente dependente de um ou mais particulares. Essa e mais diferenças na dependência existencial caracteriza os diferentes tipos de *Moments*. Também podem haver elementos que não dependem de nada para existir, classificados como *Substantials*.

Outro conceito importante para o entendimento os conceitos da UFO-A é o princípio de rigidez. Definir que determinado tipo é rígido (*Rigidity*) significa que toda instância daquele tipo é necessariamente aquela instância e não irá deixar de ser aquela instância. Ou seja, verifica-se a presença de uma propriedade estática aos tipos rígidos. Por exemplo, uma instancia de um *Kind* Pessoa, nunca irá deixar de ser uma pessoa.

Para *Anti-Rigidity*, temos que todas as instâncias de determinado tipo podem deixar de ser elas mesmas (contingente para todas as instâncias). Por exemplo, uma instância de um *Role* Militar, pode deixar de ser um militar caso não possua mais um emprego em uma organização militar.

Para *Semi-Rigidity*, temos que nem todas as instâncias de determinado tipo podem deixar de ser elas mesmas, ou seja, a contingência vale para uns, mas não para outros. Nesse caso o tipo que tem essa característica é o *Mixin*. Por exemplo, um *Mixin* denominado Observado, que pode ser especializado tanto por um *Kind* Veículo, tanto pelo *Role* Militar, que especializa um outro *Kind* Pessoa. Porém todos os veículos serão observados, mas nem todas as pessoas, apenas militares.

Foram descritos aqui os principais conceitos que foram utilizados para o desenvolvimento da ontologia proposta nesta dissertação, onde o escopo abrange os conceitos da UFO-A. Em (16), Guizzardi descreve com mais detalhes os conceitos mais importantes de sua ontologia de fundamentação.

A aplicação de todos os conceitos de UFO-A supracitados podem ser colocados em prática através do exercício de modelagem conceitual com a linguagem OntoUML (17), que pode ser definida como uma linguagem usada para representação de distinções ontológicas e restrições definidas pela UFO-A e UFO-B. Para utilizar a linguagem pode-se usar o *plugin* da OntoUML para Visual Paradigm.



Através de modelagens feitas com a OntoUML, é possível obter representações com menos problemas de incompletude ontológica e interoperabilidade semântica. Com o *plugin* mencionado anteriormente, se obtém todo um suporte para formalização, verificação e também é possível submeter os modelos a validações semânticas com relatórios gerados para o modelador sobre eventuais problemas. Como o próprio nome sugere, essa linguagem é uma extensão da linguagem UML (*Unified Modeling Language*) (45).

## 2.3 Multi-Level Conceptual Modeling

A Modelagem Conceitual Multi-Nível explora maneiras de lidar com múltiplos níveis de classificação, onde se tem o desafio de classificar não somente instâncias de classes de forma tradicional, mas instâncias que são elas próprias tipos. Dessa forma, uma vez que um tipo pode ser uma instância de outro tipo, é possível conceber cadeias de instanciações a fim de representar vários níveis de classificação. (66).

Assim, um dos conceitos fundamentais dessa teoria é a definição de *powertypes*, em que instâncias de um tipo (*powertype*) são especializações de outro tipo (*base type*) (67). Tipos são entidades predicativas que podem ser aplicadas a várias entidades, incluindo a si mesmas. Entidades que não são tipos são consideradas indivíduos e são classificadas como *Individual*. Tipos que possuem *Individuals* como instâncias são chamados de tipos de primeira ordem (1stOT) e tipos cujas instâncias são tipos de primeira ordem são chamados de tipos de segunda ordem (2sdOT) e assim por diante, formando os tipos básicos da MLT. A Figura 3 extraída de (2) apresenta uma representação dessa conceitualização.

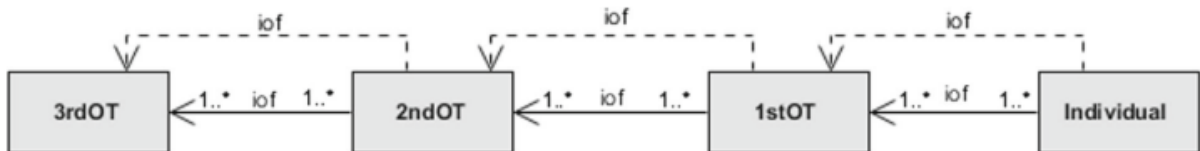


Figura 3 – Fundamentos básicos da teoria de modelagem multi-nível: tipos básicos e relações de instanciação. Fonte: (2)

Alguns conceitos são importantes para entender os relacionamentos entre os tipos de primeira e segunda ordem. Na MLT, um determinado tipo pode especializar outro tipo se todas as suas instâncias também forem instâncias do tipo que está sendo especializado. Outro conceito importante é o de partição, onde  $\mathbf{t}$  particiona (*partitions*)  $\mathbf{t'}$  se cada instância do tipo base  $\mathbf{t'}$  for uma instância de exatamente uma instância de  $\mathbf{t}$ . Em (67), os autores apresentam esses e mais outros conceitos com maior profundidade para lidar com problemas relacionados às relações entre diferentes ordens de tipos.

Alguns trabalhos (3, 68, 69, 70) apresentam uma extensão da UFO usando a *Multi-Level Theory* (MLT). Usando essa extensão, conhecida como UFO-MLT, é possível

aproveitar o sistema de categorias da UFO juntamente com os padrões de classificação multi-nível da MLT. Na UFO-MLT, os conceitos apresentados na taxonomia de indivíduos da UFO são instâncias de 1stOT que especializam *Individual*, e os conceitos na taxonomia de *Universais* são instâncias de 2ndOT que especializam 1stOT. Além disso, para cada entidade na taxonomia de *Indivíduos*, há uma entidade correspondente na taxonomia de *Universais*. Portanto, os tipos de primeira ordem do modelo devem especializar *Individuals* e devem ser uma instância de alguma categoria folha da taxonomia de *Universais* da UFO. A Figura 4 extraída de (3) mostra uma representação dessa conceitualização que combina a UFO e a MLT, onde as especializações de Legal Entity, sendo elas Person e Organization são instâncias de Legal Entity Kind. Já as especializações de Person, sendo elas Man e Woman, são instâncias de Person Gender Subkind. Por sua vez as especializações de Person, sendo elas Child e Adult, são instâncias de Person Age Phase.

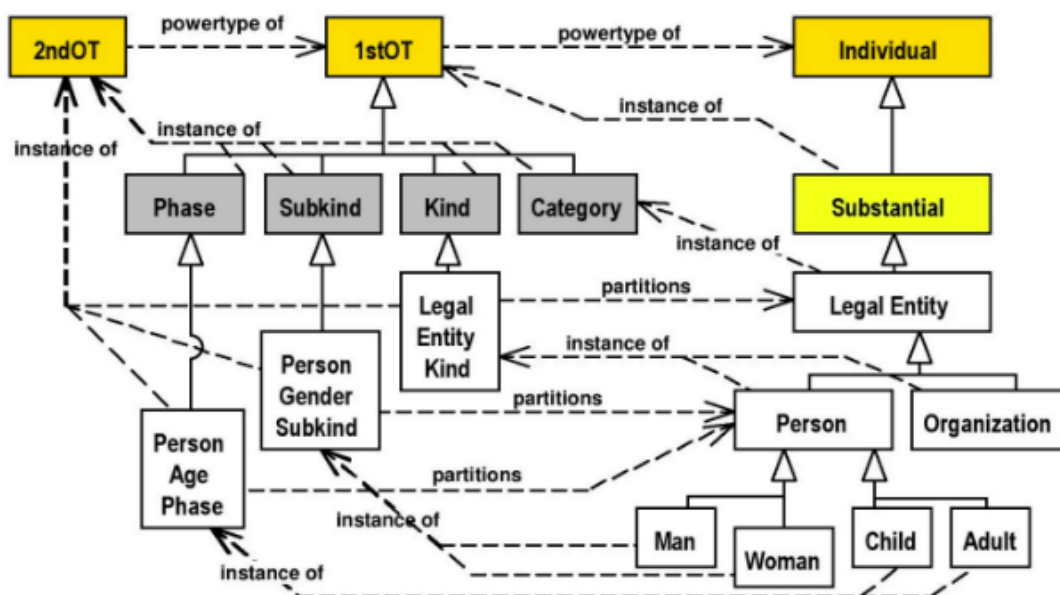


Figura 4 – Combinação UFO-MLT para criar um modelo conceitual multi-nível. Fonte: (3)

## 2.4 Web Semântica

Como definido por Tim Berners-Lee em (71), a Web Semântica é uma extensão da web em que a informação possui um significado bem definido, permitindo uma maior cooperação entre computadores e pessoas. Assim, as máquinas podem compreender, tornando-se não só uma rede de armazenamento de documentos, mas também um meio de processamento automático de informações. No entanto, muitos conceitos estão envolvidos na interpretação e no raciocínio sobre os dados.

Para que as máquinas possam raciocinar sobre os dados, são utilizadas tecnologias que fazem uso de um conjunto de regras e coleções bem estruturadas para a realização da

representação do conhecimento. Por exemplo, a utilização de tecnologias como XML, RDF, SPARQL, OWL, SWRL, e SKOS pode tornar possível a interoperabilidade dos dados e o raciocínio automatizado. A *Web Ontology Language* (OWL) do W3C, por exemplo, tem semântica formal proveniente da Semântica da *OWL Semantics and Abstract Syntax* (OWL S&AS).

Segundo a W3C, a linguagem OWL baseia-se em lógica computacional, sendo que um programa de computador pode verificar a consistência do conhecimento expresso na OWL ou tornar explícito um conhecimento implícito (72). A OWL possui uma maior capacidade de representação. Se comparada a outras linguagens tais como XML, RDF e RDFS, ela possui uma forma mais fácil de expressar significado e semântica. A OWL também permite representar os axiomas de regras gerados pela SWRL (*Semantic Web Rule Language*). A biblioteca owlready2 para linguagem Python, pode ajudar a gerenciar as ontologias em OWL, carregando, criando ou modificando essas ontologias como objetos, e ainda realizando o raciocínio sobre elas.

Por sua vez, A SWRL permite a criação de regras que consistem em um antecedente e um consequente, e pode ser utilizada para criar restrições na definição de relações, na criação de instâncias e para atribuir valores de atributos às instâncias de uma classe em uma ontologia.

No entanto, para que uma máquina faça inferências e interprete o conteúdo existente num conjunto de dados partilhados por diferentes agentes, deve haver um modelo formal de uma porção da realidade que lhe permita compreender, raciocinar, e tomar decisões. Na computação, construir tais modelos formais é o exercício de desenvolver ontologias, um componente essencial da Web Semântica, que pode ajudar a resolver problemas de ambiguidade, interoperabilidade, e formalização do conhecimento através de taxonomias e regras. Dessa forma, essas ontologias que podem ser lidas e processadas por máquina são denominadas ontologias operacionais, que se utilizam de artifícios da Web Semântica e são construídas tendo como base uma ontologia de referência que é um resultado de uma modelagem bem fundamentada.

As ontologias, são, portanto, fundamentais para a Web Semântica. Em (73), Pascal Hitzler revê o campo da Web Semântica nos últimos anos, incluindo temas tais como ontologias, dados ligados, gráficos de conhecimento, dentre outros. O autor define as ontologias na Web Semântica como um veículo principal para a integração de dados, partilha, descoberta, e reforça a ideia de que as ontologias devem ser reutilizáveis por outros. No entanto, é necessário utilizar linguagens com que possuam riqueza semântica para distinguir significados baseados na lógica, a fim de tornar possível a interpretação automática das ontologias.

A Figura 5 mostra a pilha da Web Semântica. Os elementos presentes apoiam as aplicações voltadas para questões semânticas, aumentando a expressividade, ajudando na

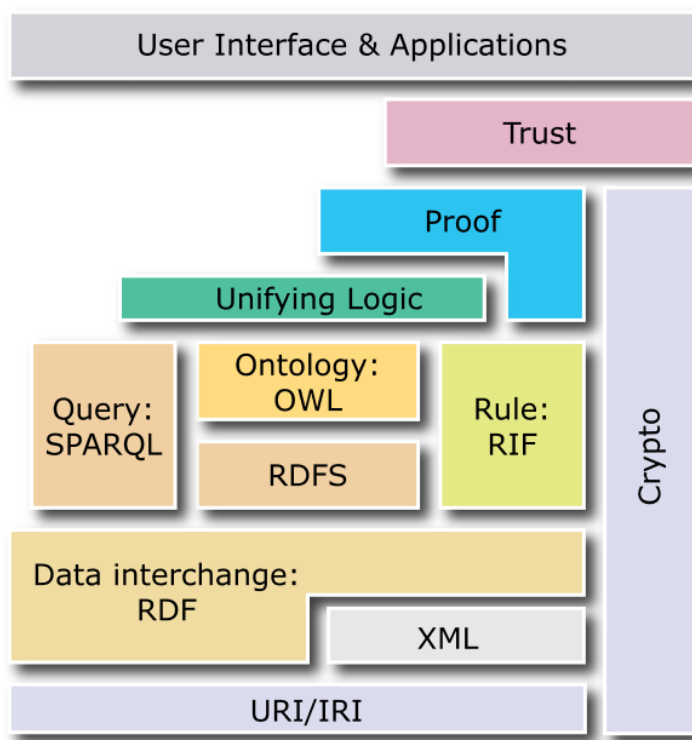


Figura 5 – A pilha da Web Semântica (última forma pela W3C) Fonte: (4)

realização de consultas, contemplando o raciocínio semântico e também questões de segurança como criptografia. Por conseguinte, a utilização desses elementos em conjunto podem trazer maior consistência lógica e confiabilidade para as aplicações da Web Semântica.

Lee W. Lacy, em (74), traz uma abordagem sobre as implicações para a interoperabilidade de sistemas de modelagem e simulação através da web semântica. O autor aponta dois grandes desafios para a modelagem e simulação dentro do domínio militar, que são: A interoperabilidade entre sistemas sem a intervenção humana e a comportabilidade, montando componentes de simulação reutilizáveis.

## 2.5 Simulação e Emulação

Para que seja executada a tomada de decisões em ambientes operacionais e críticos do mundo real, como no caso das operações militares, é necessário que seja feita uma coleta de informações baseada em análises sobre o ambiente, os sistemas utilizados e recursos disponíveis. Dessa forma, obtém-se uma maior aquisição de conhecimento para otimizar o processo de tomada de decisões. Uma das estratégias utilizadas, por exemplo, pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (12) para estudar quais são as melhores decisões a serem tomadas é a reprodução da realidade por meios computacionais, como por modelos de simulação que permitem aos agentes decisores verificar possibilidades fora do ambiente real, coletando informações para levantamentos de riscos, comparação de

dados históricos, análises estatísticas e comportamentais de determinado sistema, e avaliar cada cenário o mais próximo possível do mundo real.

Modelos de simulação são ferramentas que dão vida a modelos conceituais ou modelos matemáticos, produzindo saídas a partir de um conjunto de entradas (20). Existem vários tipos de modelos de simulação como os baseados em eventos discretos, modelos de agentes, modelos estocásticos, modelos matemáticos, dentre outros.

A simulação, a emulação e os *testbeds* são três alternativas para a reprodução do ambiente real em um ambiente computacional, porém possuem conceitos diferentes em suas abordagens. Em (75), é feita uma explanação sobre como a simulação e a emulação se inter-relacionam. De acordo com o autor, os modelos de simulação são mais usados para experimentação de diferentes soluções, pois os modelos de emulação são geralmente executados em tempo real, refletindo os sistemas do mundo real com mais profundidade e precisão em aplicações que necessitam de uma garantia de desempenho ou de reação do sistema, por exemplo, sob diferentes cargas. Já com a experimentação dos modelos de simulação, o sistema pode, por exemplo, ser melhor modelado fisicamente e como não se trata de uma reprodução em tempo real, o tempo de execução pode ser parado enquanto decisões são tomadas, e também apresentam vantagens como um baixo investimento em hardwares e controle de ambiente, podendo alterar livremente os parâmetros. Portanto, os simuladores representam uma forma de avaliar o comportamento de sistemas com grande flexibilidade aliada a um alto grau de controle e repetibilidade e baixos custos se comparado a outras soluções. Não obstante, a emulação representa um esforço para resolver as deficiências da simulação por meio da interação com o mundo real, porém, também possuindo alguns pontos fortes da simulação como a repetibilidade e a facilidade de configuração (76).

A reprodução de sistemas do mundo real é fortemente aplicada à área de redes de comunicação. Ramon Fontes faz uma extensa e aprofundada pesquisa em sua tese de doutorado (76) para apresentar alternativas atuais voltadas para a experimentação de redes de comunicação sem fio. Como simuladores é possível citar o OMNet++ (77) e o OpenNet (78). Por sua vez, o WARP e o EMULAB são representantes de ambientes de ensaio e o ns-3 (79) e o Mininet-WiFi (18, 19, 80) são representantes dos simuladores e emuladores respectivamente.

Como uma das estratégias escolhidas neste trabalho, está sendo proposta a implementação de uma emulação de redes que possa ter a tomada de decisões influenciada pelo ambiente externo que está sendo planejado através do uso de uma ontologia. Dessa forma, o cenário operacional militar é um contexto sintético onde a rede que está sendo emulada está inserida. Assim, é possível simular em uma rede a forma como o ambiente influencia na rede de comunicação, isso é, o comportamento da comunicação na rede que está sendo emulada. A mesma ontologia também está sendo usada em um outro sistema

de simulação multi-agente dentro do contexto do projeto S2C2, que também irá fazer a leitura da ontologia para criar os elementos no cenário.

## 2.6 Redes Táticas e Cenários de Operações Militares

Cada rede de comunicação militar possui diferentes características que envolvem diferentes expectativas e requisitos. Como requisitos, podemos destacar a alta mobilidade, grande agilidade, modularidade, interoperabilidade e independência, o que distingue essas redes das demais. (24). Para a criação de um sistema de comunicação militar, torna-se importante, portanto, uma avaliação sobre as variáveis da rede que podem envolver os nós, as conexões, a mobilidade dos equipamentos móveis, a taxa de transferência, atrasos na propagação de sinais e também variáveis de ambiente relacionadas ao contexto geográfico ou a partir da operação militar como missões específicas. No capítulo 5 do manual de emprego militar C11-1 – Emprego das Comunicações (EME, 1997) (81), são abordadas diversas questões acerca do planejamento e controle das comunicações. O manual afirma que durante o planejamento de um sistema de comunicação, as seguintes condicionantes devem ser levadas em consideração: Missão; Terreno; Inimigo; Meios; Espectro eletromagnético; Tempo disponível. Ou seja, o ambiente influencia diretamente no sistema de comunicação.

Os cenários militares que envolvem essas redes são extremamente heterogêneos, o que abrange uma série de desafios no planejamento e no uso prático dessas redes. Nesse tipo de cenário, uma série de tecnologias diferentes são usadas, como descrito pelo manual de emprego militar C11-1 – Emprego das Comunicações (EME, 1997), além de várias possibilidades envolvendo a diversidade das operações e requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) e Qualidade da Informação (QoI) (82). Em operações conjuntas, por exemplo, diferentes forças precisam interoperar para o transporte adequado de informações, mas possuindo padrões de redes e tecnologias distintas. A heterogeneidade abrange ainda diferentes sistemas de rádio em diferentes canais, postos de comando, plataformas aéreas e terrestres, variáveis como distância, terreno, clima, movimento constante das tropas, necessidade por interoperabilidade, alta demanda por taxa de transferência de informações e níveis sigilo nas comunicações (23, 83). Em (84) os autores demonstram um pouco dessa complexidade realizando uma análise baseada em cenários que envolve uma série de variáveis de diferentes cenários que possuem dependências e diferentes níveis de relevância. O relatório da OTAN IST-124 intitulado *Heterogeneous Tactical Networks – Improving Connectivity and Network Efficiency* (85), traz uma série de informações sobre como construir redes táticas heterogêneas interoperáveis. Por exemplo, no Anexo E do documento pode-se observar a tabela E-2 que aborda os requisitos de redes táticas heterogêneas, como o roteamento de rede heterogêneo, a robustez para garantir a disponibilidade, escalabilidade para que um grande número de plataformas militares possam trocar informações, ter eficiência de recursos e Qualidade de Serviço (QoS), configuração e gestão da rede e

facilidade de implantação.

Com os avanços tecnológicos do mundo atual, especialmente na área de telecomunicações, o paradigma de Guerra Centrada em Redes (*Network-Centric Warfare* - NCW) tem estado cada vez mais presente nas publicações acerca das redes militares táticas. Esse paradigma emerge na era da informação e é definido no livro *Network centric warfare: Developing and leveraging information superiority* (86) como "um conceito de operações habilitado para superioridade de informações que gera maior poder de combate por sensores de rede, tomadores de decisão e atiradores para alcançar consciência compartilhada..." (tradução nossa). Essa filosofia de combate valoriza a superioridade da informação no campo de batalha (87). Portanto, pelo paradigma de NCW entende-se que hoje as redes de comunicações são de extrema importância tática para o sucesso de uma operação militar.

Em (5), os autores trazem um *overview* dos problemas do espaço das redes militares táticas, em especial no que se refere às redes móveis ad hoc (MANET). No que se refere ao cenário de operações, os autores apresentam como elementos possivelmente presentes os soldados à pé, veículos terrestres, veículos aéreos não tripulados (VANET), plataformas de apoio aéreo aproximado, caças estratégicos e bombardeiros e plataformas navais (marítimas e anfíbias). Haverá também meios de comando e controle (C2) e de inteligência, vigilância e reconhecimento, que podem ser fixos ou móveis. Os autores apresentam a Figura 6 para representar algumas das dificuldades que o espaço tático impõe à tecnologia MANET. Na figura estão representados a mobilidade extrema de veículos supersônicos (*Extreme mobility (potentially supersonic)*), conectividade intermitentes devido à mobilidade (*Intermittent connectivity due to mobility*), baixa qualidade de canal (*Poor channel quality*), conectividade intermitente do terreno/ambiente (*Intermittent connectivity from terrain/environment*), Requisitos ambientais limitando a capacidade (*Environmental requirements (ruggedization) limiting capability*), baixa largura de banda (*Low bandwidth*), Restrições da plataforma (tamanho/peso/potência) (*Platform constraints (size/weight/power)*), Risco de captura/comprometimento (*Risk of capture/compromise*) e Segurança operacional (cobertura) (*Operational security (covertness)*).

Além das tecnologias mais conhecidas como rede ad hoc, em (24) os autores também apontam os rádios cognitivos como uma tecnologia em desenvolvimento e promissora para ser utilizada no enfrentamento dos problemas em redes militares atuais como a mudança de tecnologia em tempo de operação e a segurança na camada física em redes de comunicações táticas sem fio. Esse tipo de rádio tem a capacidade de aprender com experiências anteriores e mudar suas características em tempo real e de maneira autônoma (9).

Uma forte característica na comunicação militar se refere à hierarquia das organizações (88). Nas redes de comunicações em operações de guerra, por exemplo, os

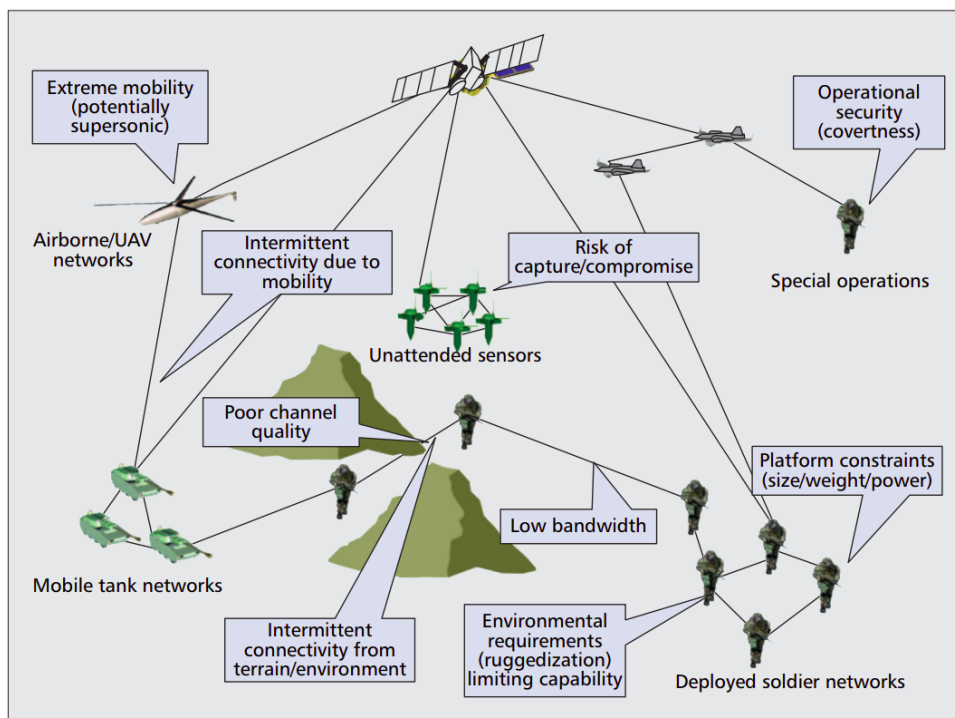


Figura 6 – As restrições do ambiente militar tático. Fonte: (5)

comandantes das brigadas ou dos batalhões, quando se encontram embarcados no Posto de Comando, se comunicam com os demais elementos desdobrados por meio de redes de dados hierárquicas, utilizando faixas UHF e VHF (24). O comportamento dos nós da rede de comunicação militar também é caracterizado por possuir regras e procedimentos que levam em consideração a hierarquia entre as diferentes organizações militares, com o objetivo de manter a informação segura e para que decisões de encaminhamento sejam tomadas pelos superiores. A Figura 7<sup>1</sup> é uma representação desse comportamento, onde ocorre o encaminhamento de mensagens sempre para o superior, para que então possa chegar ao destino final. Por exemplo, Pel1 quer se comunicar com o Pel3; portanto, precisa encaminhar para o superior Cia1 para fazer a mensagem chegar até o destino. Da mesma forma, Cia2 quer se comunicar com Pel7 e portanto a mensagem é encaminhada para Bat1 que é o comandante de Cia2, e depois encaminhada para Com3 que é o comandante de Pel7 para finalmente a mensagem chegar até Pel7.<sup>2</sup>

As redes táticas militares possuem uma complexidade que vai além das redes convencionais, possuindo uma série de elementos que operam de forma muito singular, além de uma série de dificuldades não encontradas em redes convencionais ou comerciais. O processo de planejamento das redes militares deve levar em consideração esses aspectos

<sup>1</sup> Imagem adaptada das topologias apresentadas nas reuniões do S2C2 e da Nota Doutrinária Nr 04/2021 Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre (89).

<sup>2</sup> Essa estrutura de rede e esse conceito de encaminhamento de mensagens foi discutido no workshop que aconteceu em Brasília com a equipe do projeto S2C2 e CDS (Centro de Desenvolvimento de Sistemas do Exército Brasileiro).



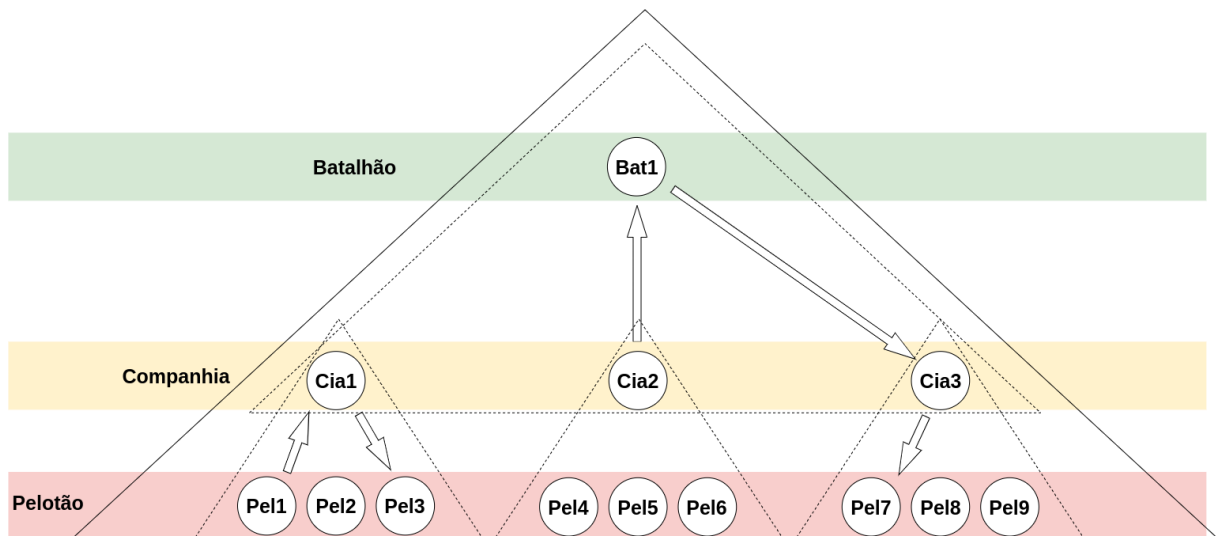


Figura 7 – Comportamento da comunicação militar na hierarquia entre organizações

de forma a antecipar os problemas durante a etapa de planejamento durante processos de experimentação e análise. Em (7), os autores reforçam a importância de processos de experimentação de redes militares: "*A experimentação e a análise são etapas importantes no processo geral de pesquisa e desenvolvimento de rede, middleware e serviços para redes militares*". (p.1, tradução nossa). Não obstante, a reprodução de um cenário muito rico semanticamente e heterogêneo pode se tornar uma tarefa não trivial ao tentar capturar os elementos presentes no cenário. De acordo com (23), muitos *testbeds* falham em capturar as características do ambiente tático. Como é afirmado em (90), há uma diversidade técnica no nível tático, onde um componente pode interferir em muitos outros, além de haver limitações e restrições que interferem na funcionalidade de um sistema.

Outro conceito que vem sendo bastante aplicado a redes militares é o das Redes Definidas por Software. As Redes Definidas por Software (*Software Defined Networks - SDN*) (91) tem como principal característica a separação do plano de dados e do plano de controle, provendo uma centralização lógica através de um controlador, que provê o plano de controle para os dispositivos de rede realizarem o encaminhamento de pacotes através do plano de dados. Em uma SDN, o controlador exerce sua função para com os dispositivos do plano de dados através do protocolo OpenFlow (92). No caso, os *switches OpenFlow* possuem tabelas com ações ou também chamadas de regras, para o tratamento de pacotes. Essas tabelas são manipuladas pelos controladores. Dessa forma, um *switch* encaminha os pacotes baseado na tabela de fluxo do controlador SDN. Com o uso de SDN, torna-se possível a virtualização da rede sobre a infraestrutura física, a provisão dinâmica de informações e a reconfiguração dos elementos de rede de forma mais eficiente e também o fracionamento da rede para definição de políticas específicas e para a separação de tráfego, provendo mais possibilidades para projetos de infraestrutura de redes (83, 18, 6).

Em (93), os autores trazem uma abordagem acerca da aplicabilidade de SDN

para redes heterogêneas, levantando alguns dos requisitos e desafios como as limitações dos dispositivos, a garantia da colaboração entre os nós no encaminhamento do tráfego, descoberta de recurso (referente ao aprendizado do controlador), o plano de controle, a segurança, plano de controle distribuído e regras e ações flexíveis. Ainda, as SDN's podem ter grande utilidade na criação de redes de múltiplas portadoras, como redes táticas presentes em operações militares. A Figura 8 abaixo retirada de (6) mostra uma ilustração de uma SDN com múltiplas portadoras onde se tem equipamentos e unidades móveis militares, diferentes domínios, controladores e dispositivos de rede, além das centrais de monitoramento e comando e controle.

Em (6), os autores abordam uma série de conceitos e trabalhos relacionados a redes táticas e SDN's em aplicações militares, fazendo uma revisão das iniciativas de pesquisas atuais e trazendo uma explanação sobre possíveis demandas e problemas na construção de redes de comunicações militares, apontando também direções futuras a serem exploradas nesse tema. Ainda é apresentada uma taxonomia sobre orquestração de redes táticas baseadas em SDN de acordo com os desafios identificados, onde os trabalhos relacionados são mapeados com o objetivo de determinar direções futuras nessa área. Dentre os elementos dessa taxonomia está presente a semântica, onde os autores afirmam que o *middleware* precisa garantir a interoperabilidade semântica para que haja interpretação inequívoca das informações de comando e status que são trocadas entre os controladores e os nós do plano de dados. Também é apontado que a ontologia pode ajudar nesse problema da interoperabilidade.

Em cenários de operações militares também se exige a configuração de rede de forma dinâmica, o que tem grande aplicabilidade com SDN. Além disso, em um ambiente tático os requisitos da missão podem mudar constantemente. Através de SDN, os operadores de rede também podem estabelecer os serviços remotamente e automaticamente (23, 94). Outras vantagens em se utilizar SDN para redes táticas incluem o desenvolvimento rápido de aplicativos, alto grau de programabilidade e reconfigurabilidade de rede, escalabilidade de controle e gerenciamento, conscientização ampla da situação, respostas rápidas a eventos, dentre outras. Não obstante, ter um ponto de controle centralizado pode ser uma desvantagem no caso de falhas e ataques cibernéticos (95).

Com o uso de SDN, torna-se possível a virtualização da rede sobre a infraestrutura física, a provisão dinâmica de informações e a reconfiguração dos elementos de rede de forma mais eficiente e também o fracionamento da rede para definição de políticas específicas, e para a separação de tráfego, provendo mais possibilidades para projetos de infraestrutura de redes (83, 18, 6).

Dentre outros trabalhos relacionados que envolvem SDN, pode-se destacar o trabalho apresentado em (96), onde os autores propõem a aplicação de SDN utilizando Mininet Wi-Fi para auxiliar no gerenciamento de ambientes veiculares. Em (95), os autores trazem

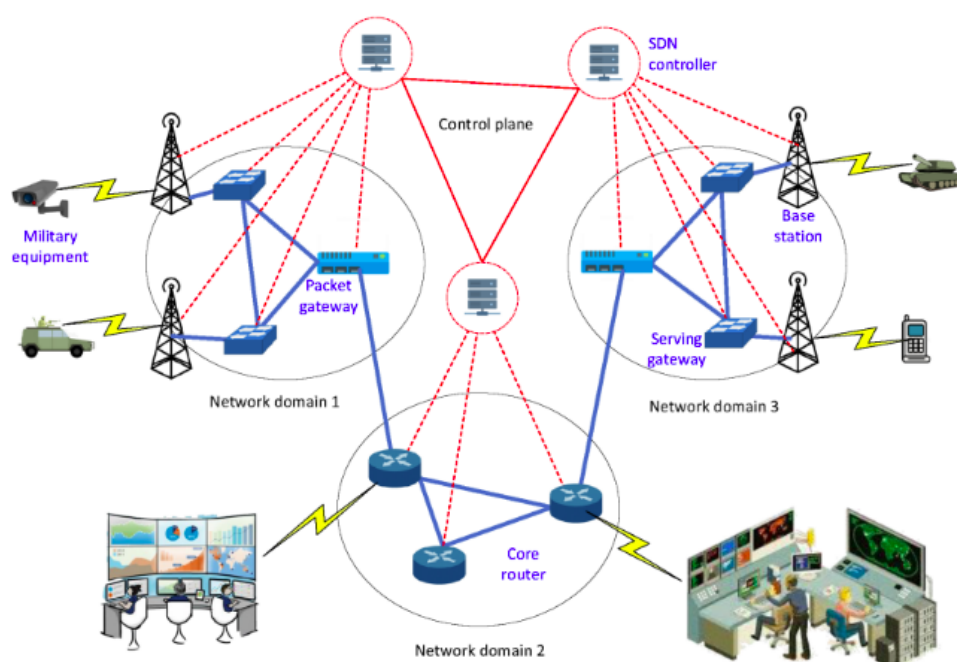


Figura 8 – Uma potencial rede de múltiplos portadores habilitada para RDS. Fonte: (6)

alguns dos desafios, trabalhos futuros e abordagens arquiteturais acerca de SDN em cenários de redes tática. Por fim, em (97), são abordados problemas envolvendo transmissão de vídeo em redes móveis com veículos aéreos não tripulados (VANT) utilizando SDN.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Durante o processo de pesquisa, foram encontrados diversos trabalhos que possuem interseções com os temas abordados. Dentre os principais temas estão a simulação e *testbeds* de cenários militares, redes táticas desenvolvidas com SDN's, desenvolvimento de cenários militares realistas, o uso de tecnologias voltadas para a Web Semântica em aplicações voltadas para o cenário militar, análise ontológica de redes de comunicação e do domínio militar, redes heterogêneas e interoperabilidade em cenários de comunicação militares.

As Seções abaixo mostram alguns trabalhos que se destacam nessas linhas de pesquisa. Por ser uma área de pesquisa bastante ampla, não estão sendo expostos todos os trabalhos, mas alguns possuem fortes relações com os temas abordados e serviram de base para a pesquisa desempenhada.

#### 3.1 Cenários Militares e Redes de Comunicações Táticas

Em (21), os autores assumem que sistemas voltados para operações militares, devem lidar com cenários de comunicação em constante mudança e sem perder a qualidade de serviço, para serem mais confiáveis e robustos. A proposta do trabalho apresenta a *Tactical Network Test* (TNT), para testar sistemas militares de comunicação em cenários que possuem ocorrências de mudanças na rede e no fluxo de dados.

Já o trabalho apresentado em (22), aproxima-se um pouco mais da proposta deste trabalho, pois oferece um ambiente de emulação de redes de comunicação em um ambiente de teste com uma Rede Definida por Software baseada no Mininet-WiFi, sendo o mesmo emulador usado nos experimentos do presente trabalho. Os autores propõem oferecer suporte na construção de sistemas de comunicação em cenários táticos. O trabalho mostra um *testbed* que realiza controle sobre a geração de tráfego, possui opções de visualização, gerenciamento de link dinâmico para simular eventos de rede, suporte para topologias, experimentação iterativa, teste de regressão e análise comparativa, oferecendo apoio a pesquisas em rede de campo de batalha e outros ambientes de rede tática.

Os trabalhos citados anteriormente, embora explorem conceitos relacionados a redes táticas e sua representação em sistemas de teste, não chegam a conceber um modelo conceitual para representar o cenário militar, que é o foco do presente trabalho.

Em (7), os autores propõem o desenvolvimento de um ambiente e cenário de emulação voltados para redes táticas que inclui elementos de vigilância, reconhecimento, comando e controle (C2) e execução de missão tática, além de uma variedade de links de comunicação e recursos táticos e estratégicos visando organização e comunicações realistas.

Esse trabalho é fruto de um esforço conjunto do grupo de trabalho de pesquisa IST-124 da Organização de Ciência e Tecnologia da OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte). O texto realiza uma introdução que aborda a importância da experimentação e da análise no desenvolvimento de redes militares, defendendo o ponto de que, para se obter resultados válidos, é necessária a utilização de hardware de comunicação, topologias e operações militares realistas, existindo diferentes possibilidades, como por exemplo, experimentos baseados em simulação e emulação, experimentos com hardware reais em laboratório e exercícios militares.

A Figura 9, mostra uma ilustração do cenário criado no trabalho que retrata uma operação conduzida pela força tarefa de uma companhia de uma batalhão mecanizado. Pode-se observar que o cenário está dividido em *vignettes*, onde cada uma possui um contexto operacional. No cenário, existe uma variedade de sistemas e redes de comunicação, como sistema de comunicação de rádio (HF, VHF, UHF e SATCOM), redes de sensores e sistemas de veículo aéreo não tripulado. O trabalho apresenta uma descrição do cenário, mas não há uma formalização do cenário como é apresentada neste trabalho utilizando linguagens da Web Semântica, o que facilita o compartilhamento de cenários e o seu reúso.

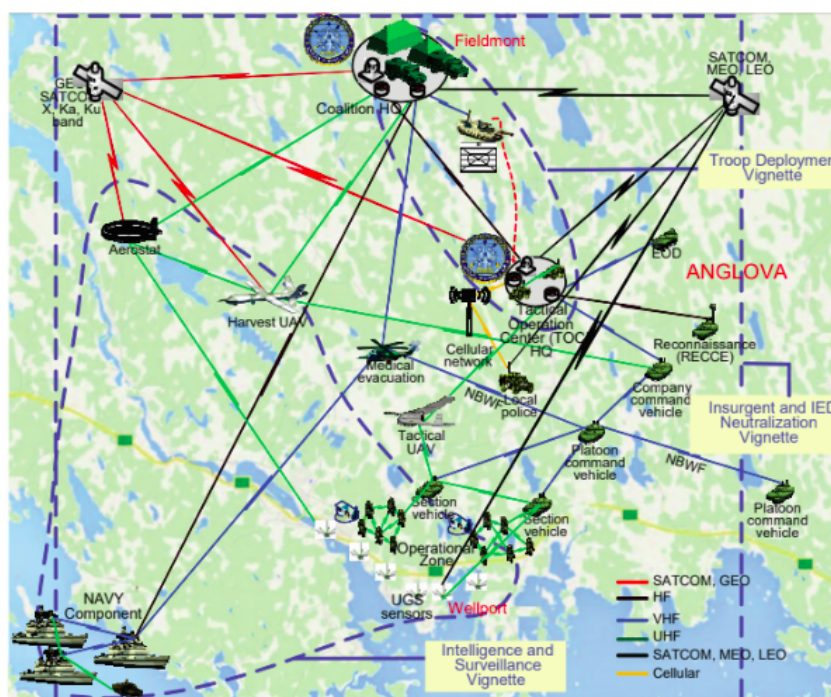


Figura 9 – Visão operacional de alto nível do cenário IST-124. Fonte: (7)

Em (23), os autores propõem incorporar SDN em cenários táticos, trabalhando com redes sem fio e padrões de mobilidade realísticos, lidando com o problema de configuração dinâmica de redes, preocupando-se não apenas em ter uma boa SDN, mas também capturar o ambiente militar tático em um *testbed*. A abordagem do trabalho traz um *testbed* que integra serviços de virtualização baseados em nuvem, emulação de rede tática e tecnologias

SDN baseadas em OpenFlow para criar um ambiente de experimentação SDN tático em camadas. Os autores argumentam que muitos *testbeds* falham em capturar as características de um ambiente tático. Os autores também realizam uma abordagem acerca das redes táticas e apontam quais benefícios existem em se utilizar SDN para esse fim. Relacionando-se com esta proposta, também é defendido que uma plataforma de experimentação deve capturar as características complexas do ambiente operacional tático, juntamente com uma representação precisa do canal de comunicação sem fio, dar suporte para dispositivos de rede heterogêneos e aplicar padrões de mobilidade e cenários inerentes às operações militares.

Em (84), os autores apresentam uma análise baseada em cenários (98), onde um conjunto de variáveis e dependências devem ser levadas em consideração para o apoio à tomada de decisão. O artigo reforça alguns requisitos descritos no Manual de Emprego das Comunicações mencionado acima, e fornece uma descrição detalhada de variáveis do cenário operacional com o objetivo de entender os requisitos operacionais e transformá-los em requisitos de sistemas de comunicações militares e requisitos técnicos de engenharia de comunicações. A proposta dos autores apresenta um fluxo de projeto fundamentado em quatro tipos de cenários: operacional, de comunicações, modelo de canal e descrição da forma de onda. O trabalho se propõe seguir uma metodologia (99) que compreende dois processos principais, sendo o primeiro abordando conceitos voltados para a missão e sendo construído a partir do ponto de vista do usuário e do sistema de comunicação. Já o segundo envolve a definição do projeto de desenvolvimento de forma de onda. O trabalho conseguiu reunir as principais variáveis para os cenários através de uma pesquisa dentro do domínio de interesse que contou com entrevistas com especialistas resultando numa melhor descrição e classificação das variáveis e no entendimento de suas dependências entre cenários.

Embora os trabalhos descritos nesta subseção apresentarem o desenvolvimento de cenários militares para simulação, não chegam a apresentar uma modelagem conceitual do cenário com uma formalização dos elementos, seus atributos e relacionamentos. Em consequência disso, uma comparação entre cenários fica mais difícil, pois mesmo que os artigos sejam bastante descritivos, não entram nesse nível de detalhe sobre o cenário. Apesar disso, a descrição dos sistemas permitem a identificação de vários conceitos interessantes, que possuem ou não interseção ou serviram de base para a proposta no presente trabalho, como por exemplo, na análise baseada em cenários apresentada pelos autores em (84), e o cenário Anglova (7) que possui veículos terrestres, emulação de redes ad hoc, organizações militares, padrões de mobilidade, UAVs, componente naval (operações conjuntas), diferentes faixas de rádio frequência, dentre outros.

## 3.2 Análise Ontológica e Web Semântica Aplicada a Cenários Militares, Redes de Comunicações ou em Simulação

No que se refere à interoperabilidade e reutilização de modelagem e simulação, destaca-se a *Simulation Interoperability Standards Organization* (SISO), uma organização internacional que se dedica a promover a interoperabilidade em sistemas de simulação. Dessa forma, a SISO aprovou os padrões da Linguagem de Definição de Cenários Militares (MSDL - *Military Scenario Definition Language*) (100) que é baseada em XML e foi projetada para dar suporte ao desenvolvimento de cenários militares. Também aprovada pela SISO, a Linguagem de Gerenciamento de Batalha de Coalizão (C-BML - *Coalition Battle Management Language*) (101, 102) também é baseada em XML, o que dá suporte para trocar planos, ordens, solicitações e relatórios entre sistemas de comando e controle (C2), sistemas de modelagem e simulação (M&S) ao vivo, virtual e construtiva (LVC) e sistemas autônomos que participam de operações de coalizão (103).

Diferentemente dos trabalhos mencionados na subseção anterior, os autores em (25) concentram-se em representar o cenários militares utilizando tecnologias voltadas para a Web Semântica, porém sem o objetivo de simular a operação ou emular redes. É apresentada uma plataforma de Gestão de Recursos de Cenários Militares (*Ontology-based Military Scenario Resources Management* - OMSRM) baseada em Ontologia. Essa plataforma demonstra como as tecnologias ontológicas podem ser adotadas para melhorar a capacidade de reuso dos recursos do cenário militar baseando-se em suas descrições semânticas e metadados. A plataforma OMSRM atua como um intermediário para o desenvolvimento de cenários militares.

O artigo apresenta um estudo que utiliza OWL para criar uma arquitetura ontológica multicamadas, que fornece metadados baseados em RDF e ontologias baseadas em OWL para a plataforma OMSRM. Entre essas ontologias, estão a *Military Scenario Ontology* (MSO), *Equipment Taxonomy Ontology* (ETO), *Unit Taxonomy Ontology* (UTO), e *Task Taxonomy Ontology* (TTO), onde são representados elementos como equipamentos militares, representação de unidades e tarefas. Todas foram desenvolvidas utilizando OWL para fornecer vocabulário e semântica que descrevem o domínio militar, compondo a base ontológica do *framework* que servirá para facilitar a descoberta automatizada pela plataforma e a reutilização de recursos militares.

Através da interface da plataforma OMSRM, um desenvolvedor de cenários militares pode buscar por um determinado recurso em determinada categoria. Logo são filtrados os metadados que foram carregados referentes aquele recurso. É feita então uma inferência sobre as ontologias e sobre os metadados. O usuário pode então analisar com base nos resultados se aquele recurso do cenário militar é de seu interesse, fazendo a verificação se aquela categoria de recursos escolhida para uma representação semântica está em

conformidade com as restrições e com os metadados apresentados no resultado da busca que é apresentado em MSDDL.

No artigo só foi possível ter acesso a uma parte das ontologias. Não obstante, já foi possível identificar alguns dos elementos mais importantes para realizar uma comparação com outras ontologias existentes como mostrado no Quadro 2.

Por sua vez, em (104), os autores trazem uma abordagem acerca de modelagem e simulação voltada para a geração de cenários para a realização de simulações no domínio de cenários militares. É proposto que as simulações sejam executadas em paralelo e mais rápidas que em tempo real usando computação de alto desempenho (High Performance Computing - HPC) para avaliar diferentes cursos de ações (*Course of Actions* - COAs). O sistema apresentado, chamado SGen, permite a simulação em todo o espectro político, militar, econômico, social, infra-estrutural e informativo, apoiando o que é chamado de EBO (Effects-Based Operations). O SGen faz uso de uma abordagem baseada em ontologia, sendo construído em torno dos conceitos de integração e análise de dados através da utilização de formalização ontológica, raciocínio e capacidades de inferência. Portanto, existe o desenvolvimento de um meta-modelo que formalmente representa o domínio de interesse que é o de planejamento de missões militares e também provê um mecanismo de compartilhamento e reuso de ontologias na área de interesse. Além disso, a abordagem para construção de ontologias também utiliza a *Web Ontology Language* (OWL). Não obstante, não é mencionado a utilização de uma ontologia de fundamentação como ponto de partida para a meta-categorização no desenvolvimento de ontologias.

Em (11), são apresentados pelos autores alguns desafios de representação no domínio de cenários militares. Alguns exemplos de conceitos do domínio militar apontados pelos autores, são a representação de comportamentos dos agentes, descrições de unidades e objetos a serem simulados como as unidades militares, descrições de entidades, como por exemplo, as plataformas militares, descrições dos atributos das entidades existentes, e cenários. Os autores defendem que através da sintaxe da OWL é possível ter um melhor compartilhamento de informações, apoio ao raciocínio através de sistemas de inferência, e apoio à comunidade de modelagem e simulação para os desafios de representação. Também é citado o desafio da interoperabilidade em simulações de redes, onde é difícil haver um consenso de nomes utilizados em diferentes padrões e protocolos. Outro desafio na representação de informações em modelagem e simulação apontada pelos autores é a descrição precisa do domínio que envolve uma descrição dos parâmetros utilizados para se realizar uma reprodução realista. Os autores apontam a XML e suas extensões como recursos muito utilizados para o intercâmbio de informações entre programas de simulação, ajudando a resolver muitos problemas de intercâmbio de dados, formato e estrutura. Não obstante, a XML não fornece semântica explícita como no caso da OWL que permite que as máquinas compreendam o significado dos dados e permite que aplicações da Web



Semântica façam inferências sobre os dados. Além disso, a sintaxe XML, apesar de possuir arquivos maiores e com uma escrita mais complexa que o JSON, possui uma estrutura de *tags* que torna a representação mais detalhada. Uma alternativa ao XML seria o TTL, com uma forma mais legível e menos verbosa de representação.

O trabalho apresentado pelos autores em (26), tem como objetivo explorar as tecnologias da Web Semântica para aprimorar a consciência situacional no domínio militar por meio da fusão autônoma de informações e pela inferência. O trabalho também utiliza a modelagem conceitual como forma de representação do conhecimento. Os autores propõem a Ontologia de Consciência Situacional (SAO) como ontologia central para integrar outras ontologias apresentadas pelos autores, como a Ontologia de Cenário Militar (MSO) que é baseada na MSDL e a Ontologia de Gerenciamento de Batalha (BMO) que é baseada na C-BML. Os autores também representam a doutrina militar ou o domínio através de regras de inferência lógica. A SAO foca na representação de objetos, relações e eventos, necessários para capturar as informações para posterior cognição, raciocínio e tomada de decisões sobre a evolução da situação ao longo do tempo. Não obstante, os autores não fazem uso de uma ontologia de fundamentação que possa enriquecer a semântica das ontologias e acabam representando as ontologias utilizando UML. Também é criada uma aplicação com um ambiente de desenvolvimento de cenários para testar um caso de uso, mostrando a utilização de fusão de informações e a provisão do reconhecimento situacional.

Este trabalho também se co-relaciona com pesquisas que abordam a modelagem conceitual bem fundamentada em domínios correlacionados. Em (8), os autores trazem uma abordagem no contexto das redes sem fios no domínio das comunicações críticas, fazendo uso do raciocínio semântico para a tomada de decisões. Foi demonstrado como o uso de uma ontologia de fundamentação pode resultar em uma especificação mais clara e inequívoca das situações dentro do cenário, por exemplo, como mostrado na Figura 10 com a utilização dos construtos da UFO-B que podem ser usados para modelar um ambiente hipotético de comunicações militares durante uma operação de GLO (Garantia da Lei e da Ordem).

Em (29), Julio Tesolin et al. abordam questões relacionadas ao suporte à decisão para redes móveis sem fio, trazendo uma abordagem baseada em ontologia. O autor defende que uma melhor representação de determinados conceitos na rede, como Link e Conexão, que possuem muita ambiguidade em suas definições em diferentes recomendações de vocabulário dos organismos de normalização, pode ajudar na tomada de decisões de modo a se obter o conceito de "*Always Best Connected & Served*", onde se tem serviços contínuos de comunicação sem fio em qualquer lugar, a qualquer momento. O autor propõe também uma descrição mais detalhada de conceitos como Meio, Servidor e Vizinho, que segundo o autor, são conceitos chave para o suporte a tomada de decisão no gerenciamento de redes sem fio, especialmente no processo de *handover*. A realização

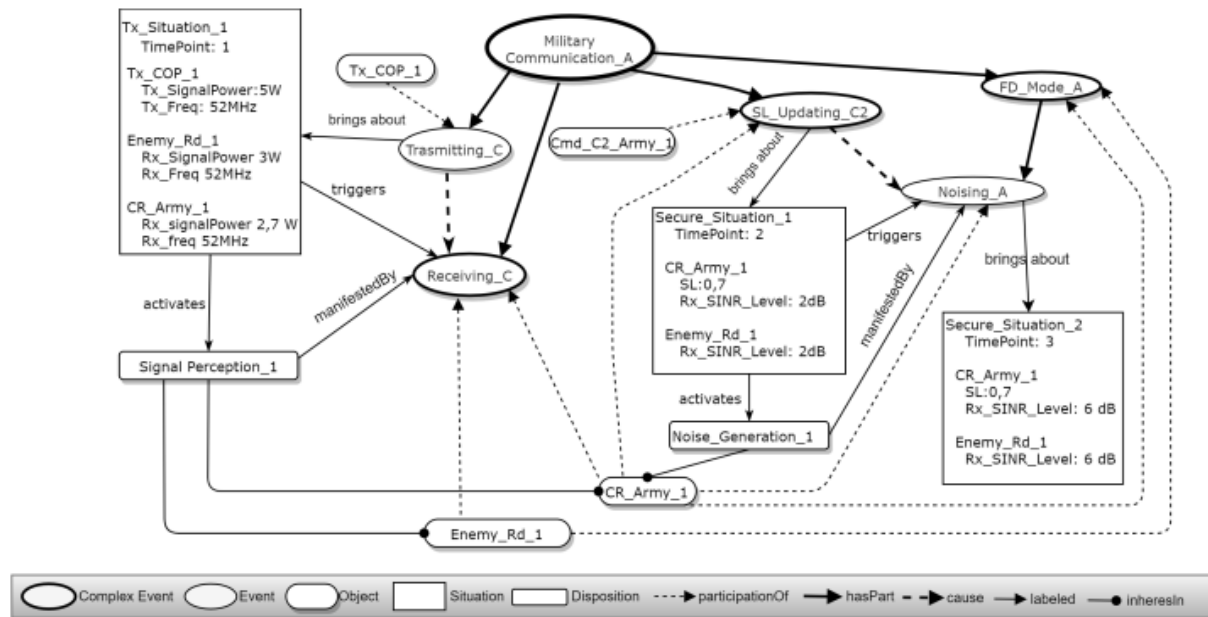


Figura 10 – Representação de um cenário de comunicação militar para operações de GLO utilizando construtos da UFO. Fonte: (8).

da análise ontológica é também feita utilizando a ontologia de fundamentação UFO e os construtos da OntoUML, onde o autor aborda seus principais conceitos como a teoria dos *Endurants* e dos *Perdurants* em uma ontologia denominada HINT (*Heterogeneous Wireless Network onTology*). Também é realizada uma revisão de literatura em ontologias existentes na academia para a área de redes. O autor realiza uma minuciosa análise sobre os principais conceitos, realizando uma descrição detalhada e de fácil compreensão. Apesar de não ser focada em redes de comunicações militares, vários dos conceitos de redes apresentados possuem interoperabilidade com a ontologia de referência apresentada nesta dissertação.

Marcus Albert, em sua tese (9), também aborda questões semânticas voltadas para o cenário militar de operações e de comunicação de forma a auxiliar no processo de tomada de decisões em rádios cognitivos. É apresentada a ontologia CROMO que também leva em consideração aspectos técnicos e táticos da doutrina militar, e que também utiliza a modelagem conceitual bem fundamentada como base de seu desenvolvimento, trazendo como diferencial a representação conceitual de cenas e situações, e suas relações com os objetos e eventos do domínio. Adicionalmente, é realizada uma prova de conceito utilizando a simulação de rádios tomadores de decisão em um ambiente de comunicação militar. A Figura 11 apresenta um fragmento da ontologia CROMO proposta na tese, representando elementos de uma operação militar ofensiva.

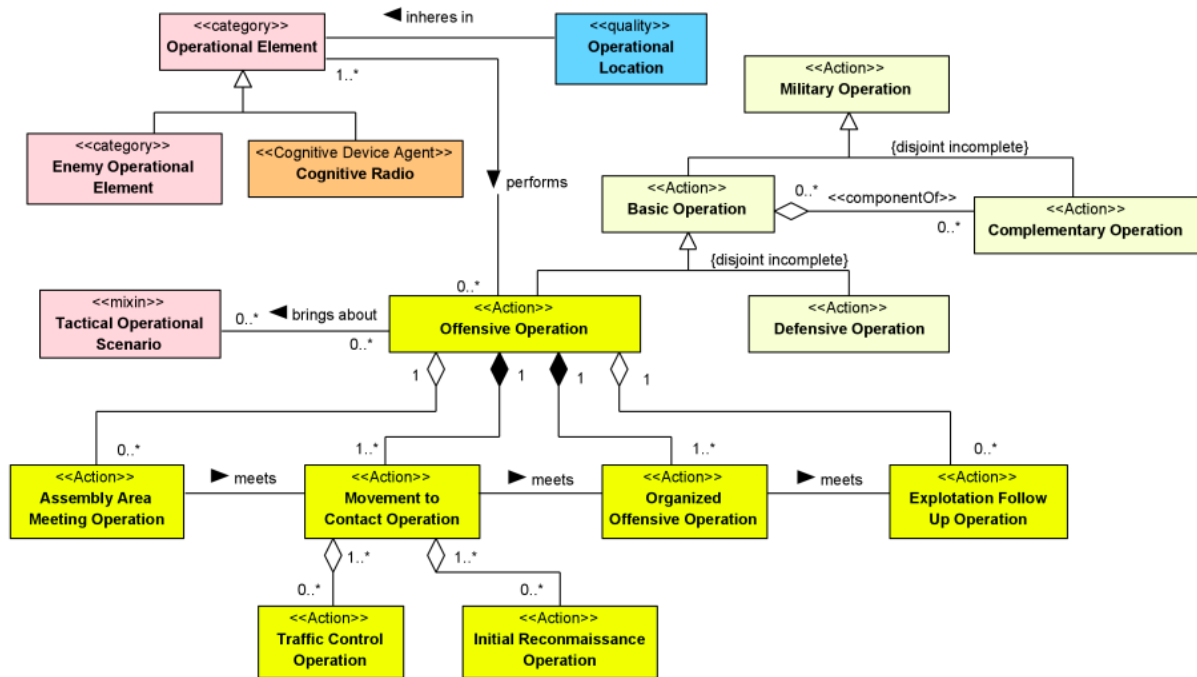


Figura 11 – Fragmento de CROMO-MOS representando uma Operação Militar Ofensiva.  
Fonte: (9).

### 3.3 Considerações Finais sobre os Trabalhos Relacionados

O Quadro 1 mostra a comparação dos trabalhos relacionados no que se refere aos principais temas abordados nesta dissertação. Pode ser observado que a maioria dos trabalhos aborda o desenvolvimento ou questões voltadas para cenários militares, porém apenas (9) realiza uma modelagem dos elementos, mas com foco em rádios cognitivos, não abordando questões acerca de emulação de redes ou simulação de operações militares. Também é possível observar que, os trabalhos apresentados pelos autores em (11, 25, 104) utilizam ontologia ou realizam uma abordagem voltada para a Web Semântica, porém não utilizam uma ontologia de fundamentação para geração de modelos bem fundamentados. Ainda, alguns trabalhos (23, 22) utilizam SDN's voltadas para cenários militares, mas não apresentam uma modelagem do cenário a ser simulado.

Realizando uma comparação entre as ontologias citadas acima como relacionadas a este trabalho, CROMO (9), HINT (29) e as ontologias baseadas em MSDL e C-BML (25, 26), é possível observar que cada ontologia representa alguns elementos não representados nas outras, porém com alguns elementos em comum. Por exemplo, apesar das ontologias baseadas em MSDL e C-BML não terem sido desenvolvidas através de uma ontologia de fundamentação, é possível ver que são representados elementos não presentes na ontologia CROMO, como a representação de equipamentos como Arma, Sensores e Veículos. Também é representada a relação de comando e subordinação com um relacionamento transitivo entre unidades. Ainda, são representadas a classe Tarefa que se especializa em Consciência

Quadro 1 – Matriz de comparação de trabalhos relacionados com a proposta.

Referência	Cenários Militares	Redes Táticas	SDN	Simulação	Emulação de Redes	Redes	Ontologia	Web Semântica
(21)	X	X				X		
(22)	X	X	X		X	X		
(7)	X	X			X	X		
(23)	X	X	X		X	X		
(84)	X	X				X		
(25)	X						X	X
(104)	X			X			X	X
(11)	X							X
(26)	X			X			X	X
(8)		X				X	X	
(29)						X	X	X
(9)	X	X		X		X	X	X
<b>Proposta</b>	X	X	X	X	X	X	X	X

Situacional, Estratégia, Vigilância e Ação Tática (25). No entanto, não é apresentada uma representação dos dispositivos de comunicação ou da rede de comunicação.

Já a ontologia CROMO possui a representação de alguns elementos do sistema de comunicação importantes para a tomada de decisões em rádios cognitivos, além de representar a Operação Militar, Militar, Cenário de Operações e os Elementos Operacionais, porém não entra em profundidade na representação do sistema de comunicação como a ontologia HINT que por sua vez realiza uma análise ontológica dos principais elementos como a Interface, Ue, AP, Link, Conexão, Dispositivo de comunicação, Sinal, dentre outros. O Quadro 2 demonstra a comparação entre essas ontologias destacando os elementos mais importantes representados por elas, tendo em vista a proposta deste trabalho. A ontologia HINT apesar de entrar em detalhes na representação dos elementos que compõem um sistema de comunicação, não tem como objetivo a representação de redes de comunicações militares, portanto não cria uma associação do sistema de comunicação com o cenário militar e os elementos que o agregam.

Dessa forma, a ontologia MiScOn apresentada e detalhada nos próximos capítulos, apresenta muitos pontos em comum com as ontologias supracitadas, fazendo reuso das ontologias CROMO e HINT que utilizam uma metodologia parecida baseando-se em uma ontologia de fundamentação durante o processo de modelagem conceitual. O Quadro 2 também mostra que alguns conceitos dessas ontologias foram estendidos pela MiScOn para se adequar ao cenário militar desejado, contemplando restrições como o comportamento na comunicação, a hierarquia militar e os veículos, além de atributos e relacionamentos. A comparação mostrada no Quadro 2 está limitado àquilo que foi exibido pelos autores nos artigos citados. Apesar disso, as ontologias baseadas nas linguagens MSDL e C-BML possuem muitos outros conceitos (25, 26).

Quadro 2 – Matriz de comparação das principais ontologias exploradas neste trabalho.

Conceitos	MiScOn	CROMO (9)	HINT (29)	Ontologias baseadas em MSDI e C-BML (25, 26)
Cenário	X	X		X
Veículo	X			X
Blindado	X			X
Organização ou Unidade	X	X		X
Militar	X	X		
Operação Militar		X		
Relações de comando ou subordinação	X			X
Relação de equivalência	X			
Tarefa				X
Ambiente				X
Elemento operacional	X	X		
Equipamento				X
ForceSide				X
Sistema de C2		X		
Dispositivo de Comunicação	X	X	X	
Rádio Cognitivo		X		
AP	X		X	
Interface	X		X	
UeUp e UeDown	X			
Relações de Comunicação	X			
Sinal			X	
Link			X	
Conexão			X	
Vizinhança			X	

	Cenário militar
	Sistema de comunicação

Segundo a metodologia SABiO, as questões de competência identificam aquilo que é relevante para a ontologia ou não. Sendo assim, pensando em uma ontologia com o propósito de representar conceitos relacionados ao ambiente militar e ao sistema de comunicação, foram estabelecidas algumas questões de competência. Dentre elas, destacam-se as seguintes: (i) Quais são os Ue's que podem se comunicar com determinado Ue, dado todo o contexto de uma rede segregada? (ii) Quais são as OM's que são hierarquicamente equivalentes, comandantes ou subordinadas a uma determinada OM? (iii) Quais são os elementos operacionais e institucionais que agregam o cenário militar? (iv) Quais são os militares que pertencem a determinada OM?

Alguns elementos representados em outras ontologias passaram por uma extensão em sua representação na ontologia MiScOn. Assim é possível a realização de inferências que não seriam possíveis em outras ontologias. Por exemplo, fazendo o reúso dos conceitos de redes representados pela ontologia HINT, foi necessário realizar uma adaptação para o cenário operacional onde existem diferentes especializações de um *User Equipment* (Ue), onde um Ue será usado para falar com o nível superior (UeUp) na hierarquia e outro com o nível inferior (UeDown) em uma rede segregada. O mesmo foi feito nas representações

dos relacionamentos entre OM's, representados pelas ontologia CROMO ou as ontologias baseadas em MSDL e C-BML, fazendo com que uma OM possa ser hierarquicamente equivalente a outra.

## 4 ANÁLISE ONTOLÓGICA DO CENÁRIO DE OPERAÇÃO MILITAR

Este trabalho apresenta uma modelagem conceitual do cenário de operação militar desenvolvida com a linguagem de modelagem conceitual orientada à ontologia (*Ontology-Driven Conceptual Modeling language*) OntoUML (17). Também foram feitos experimentos para fins de validação utilizando o *plugin* da OntoUML no software que oferece suporte para modelagem conceitual Visual Paradigm.

O desenvolvimento da modelagem conceitual bem fundamentada envolveu um trabalho de pesquisa para chegar à conclusão de quais elementos deveriam fazer parte do cenário. Através dos trabalhos publicados é possível observar que houve uma clara evolução da modelagem ao longo do tempo (41, 105). A pesquisa baseou-se em um levantamento de manuais militares, artigos e glossários relacionados ao tema, bem como reuniões com especialistas.

As redes de comunicação construídas em um cenário de operação militar sofrem interferências significativas do ambiente externo. O Capítulo 5 do manual de emprego militar do Exército Brasileiro C11-1 - Emprego das Comunicações (106), aborda várias questões relacionadas ao planejamento e controle das comunicações. Portanto, os elementos escolhidos para comporem o cenário possuem como característica principal o fato de poderem influenciar o sistema de comunicação em relação à mobilidade dos nós, como plataformas para se movimentar, restrições na comunicação, configuração de dispositivos, operadores de dispositivos, e a hierarquia entre organizações militares.

Alguns elementos também foram inseridos na ontologia por conta da pesquisa de análise baseada em cenários apresentada pelos autores em (84). O artigo reforça alguns requisitos descritos no Manual de Emprego das Comunicações, e fornece uma descrição realizada por especialistas do domínio das variáveis operacionais. Dentre os elementos inseridos na ontologia estão algumas variáveis operacionais, bem como variáveis de cenário de comunicação. Por fim, outras fontes de informação para o desenvolvimento do cenário foram obtidas na biblioteca digital do Exército Brasileiro<sup>1</sup>.

### 4.1 MiScOn - *Military Scenario Ontology*

A ontologia MiScOn apresenta uma modelagem que conecta o ambiente militar com o ambiente de comunicação, fazendo reuso de outras ontologias, proporcionando um raciocínio semântico com informações acerca do comportamento da comunicação

<sup>1</sup> <https://bdex.eb.mil.br/jspui/>. Acesso em: 11 set. 2023

entre militares em um cenário operacional. Ainda, esses comportamentos que podem ser explicados pela análise ontológica, podem ser reproduzidos através de softwares de simulação ou emulação.

O processo de construção de ontologias é uma tarefa complexa, na qual a utilização de métodos e ferramentas permite alcançar as melhores práticas de desenvolvimento. Para o desenvolvimento da ontologia MiScOn, foram seguidos alguns conceitos definidos pela metodologia SABiO (30, 31), que como explicado no Capítulo 2, distingue dois tipos de ontologias de domínio: de referência e operacionais. Assim, como recomendado pela SABiO, foram incorporadas importantes distinções fundacionais utilizando a OntoUML, que permitiu criar uma ontologia de domínio de referência, axiomatizada e que reflete a realidade do domínio de uma forma bem fundamentada.

A ontologia MiScOn representa conceitos relacionados às Forças Armadas do Brasil, porém representa os conceitos em inglês. Sendo assim, caso necessária, a tradução pode ser feita facilmente utilizando ferramentas ou dicionários de tradução. Com a tradução correta, os termos representados não devem apresentar problemas de interoperabilidade com os termos utilizados pelos sistemas de C2 das Forças Armadas.

O próximo capítulo mostra a implementação da ontologia operacional baseada na ontologia de referência criada.

O cenário militar é agregado por uma série de elementos, sempre voltados para o cumprimento da missão. Alguns desses elementos estão vinculados às atividades práticas e rotineiras nas operações, e que ajudam a cumprir os objetivos técnicos e táticos. Outros estão ligados à estrutura e à organização hierárquica. Em (9), o autor apresenta na ontologia CROMO, a representação dos elementos operacionais em um ambiente operacional voltado para rádios cognitivos. Foi representada a classe de elementos operacionais como um *Mixin* que envolve elementos rígidos e não rígidos. Dessa forma, partiu-se desse tipo de conceituação para definir os elementos operacionais na ontologia MiScOn, realizando uma distinção entre os elementos operacionais (*OperationalElement*) e institucionais (*InstitutionalElement*). Por conseguinte, um cenário possui elementos institucionais (*InstitutionalElement*) e operacionais (*OperationalElement*). A Figura 12 mostra o fragmento da modelagem em OntoUML, onde um cenário militar deve possuir pelo menos um elemento operacional e um elemento institucional para ser constituído como um cenário de operação militar.

Dessa forma, o tipo **MilitaryOrganization** pertence à categoria de *InstitutionalElement*. A ontologia MiScOn tem como um dos principais diferenciais o fato de representar explicitamente os relacionamentos de subordinação, e equivalência entre organizações militares. Assim, elas podem ter diferentes papéis em relação a outras organizações militares, como o papel de subordinado (**Subordinate**) e papel de comandante (**Commander**). A Figura 13 apresenta como é feita essa representação na modelagem conceitual.



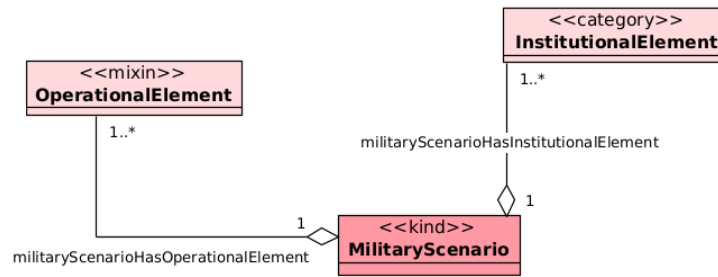


Figura 12 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando **OperationalElement** e **InstitutionalElement** com suas respectivas relações de agregação para **MilitaryScenario**.

Apesar de não estar sendo representado na modelagem conceitual, o relacionamento *isCommanderOf* foi criado após a exportação da modelagem conceitual para um editor de ontologias. Dessa forma, dentro do editor foi definido que o relacionamento *isCommanderOf* é inverso do relacionamento *isSubordinateTo*. Consequentemente, sempre que uma OM for subordinada a outra, também sempre haverá uma relação de comando entre elas.

A Figura 13 também mostra que foram definidos diferentes subtipos de organizações militares: Brigada (**Brigade**), Batalhão (**Battalion**), Companhia (**Company**), Pelotão (**Platoon**) e Grupo de combate (**BattleGroup**). Isso significa que esses subtipos possuem o mesmo princípio de identidade de **MilitaryOrganization**, porém em um nível mais profundo de especialização.

É ditado pela doutrina (88) que a comunicação entre membros de duas organizações seja restrita de acordo com os papéis exercidos por essas OM's. Por exemplo, quando duas OM's são hierarquicamente equivalentes (**HierarchicallyEquivalent**), ou quando uma delas é diretamente subordinada à outra, os militares que possuem um relacionamento com essas OM's podem se comunicar. Assim, decisões podem ser tomadas para restringir as comunicações de acordo com os níveis de hierarquia das organizações militares.

Dessa forma, a Figura 14 mostra a representação do relacionamento entre o militar e a organização militar (*MilitaryOrganization*) como uma relação material denominada emprego militar (**MilitaryEmployment**). Em outras palavras, o papel de militar (**MilitaryPerson**) que uma pessoa (**Person**) assume emerge de sua relação com uma OM.

A Figura 15 mostra um fragmento da modelagem que inclui os elementos operacionais que são especializados em militares, (*MilitaryPerson*) plataformas (*MilitaryPlatform*), dispositivos de comunicação (*CommDevice*) e rede sem fio (*WirelessNetwork*). Além disso, esse fragmento também representa informações acerca da mobilidade dos militares no cenário operacional. Os militares localizados (*isLocatedIn*) em um veículo são passageiros (**MilitaryPersonAsPassenger**). No entanto, um militar também pode carregar um dispositivo de comunicação a pé (**MilitaryPersonAsCarrier**). O fato de um militar estar ou não em um veículo é uma propriedade intrínseca dele. Por isso, são fases que

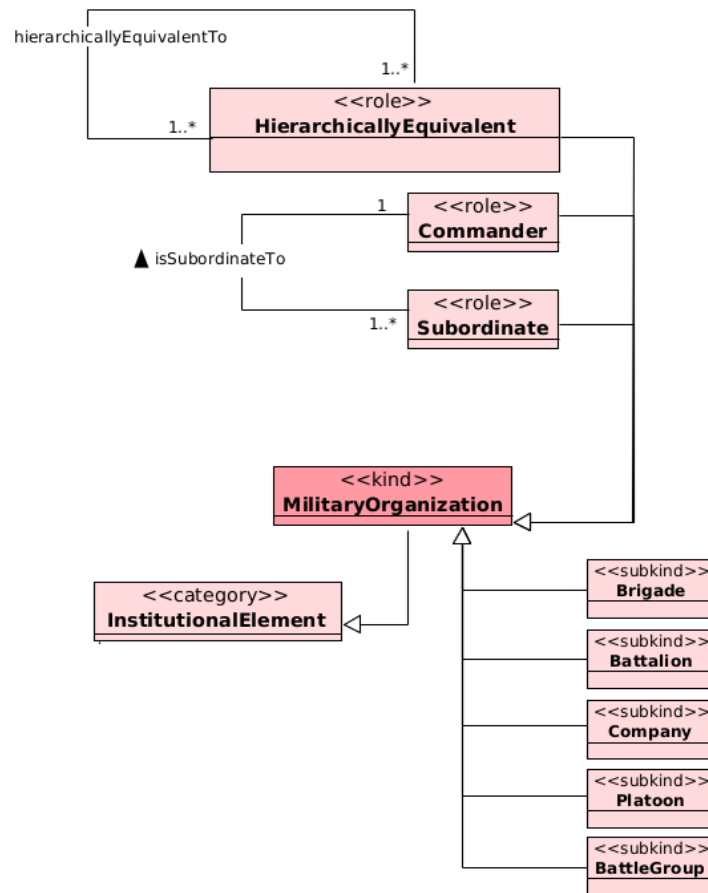


Figura 13 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando **MilitaryOrganization** e suas especializações.

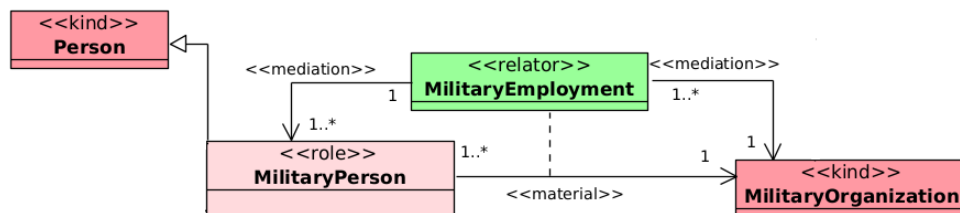


Figura 14 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando a relação entre **MilitaryPerson** e **MilitaryOrganization**.

podem mudar de acordo com essa propriedade. Se um operador está a pé ou em um veículo, isso afetará diretamente a velocidade com que um dispositivo de comunicação se move na rede. Portanto, existem elementos caracterizados por carregarem (*carriers*) um dispositivo de comunicação (**CommDevice**) consigo, denominados de (**CommDeviceCarrier**). Esses elementos podem ser um militar ou uma plataforma (**MilitaryPlatform**). Nessa modelagem, as plataformas serão sempre **CommDeviceCarriers**, mas nem sempre um militar irá carregar o dispositivo, podendo ter militares sem dispositivos de comunicação. Por isso a opção de representar **CommDeviceCarrier** como um *Mixin*, uma vez que o *Mixin* se "comporta" como um tipo rígido para alguns e anti-rígido para outros.

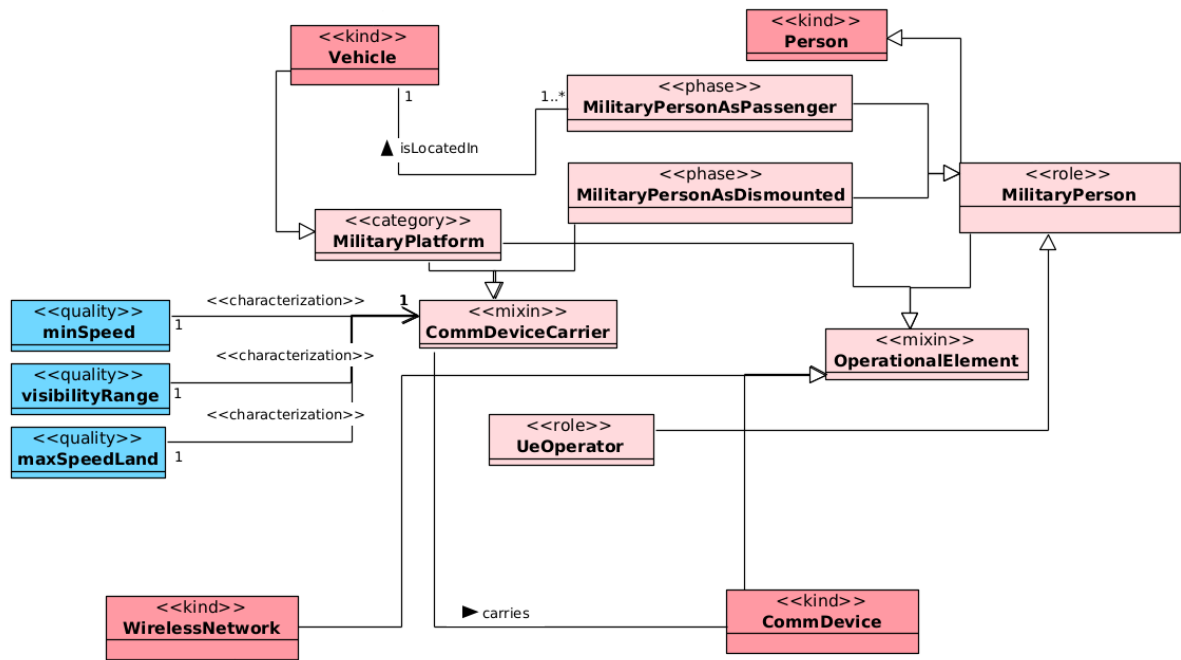


Figura 15 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando as especializações de **MilitaryPerson**, a categoria **MilitaryPlatform**, o *mixin* **CommDeviceCarrier** e seus atributos e por fim **CommDevice**.

Alguns dos elementos citados acima, como cenário, elementos operacionais, militar e organização, são representados na ontologia CROMO (9), porém é possível observar que a ontologia MiScOn desenvolveu algumas extensões para abranger mais elementos do cenário, criando mais especializações desses elementos.

Por sua vez, a Figura 16 mostra que veículos militares (**Vehicle**) especializam a categoria de plataforma (**Platform**). Já veículos blindados (**Armored**) especializam a categoria de veículos, e **Guarani** e **Urutu** são tipos de veículos da categoria de blindados.

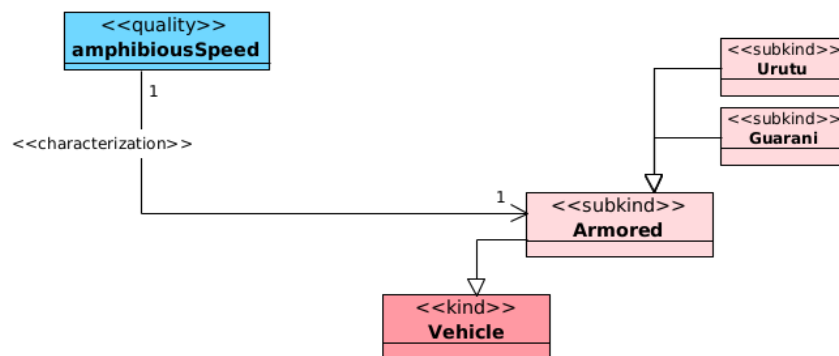


Figura 16 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando as especializações do *Kind* **Vehicle**.

Além do dispositivo de comunicação (**CommDevice**), outros elementos são apresenta-

dos na Figura 17 para representar o ambiente de rede, como a rede sem fio (**WirelessNetwork**) e as interfaces (**Interface**), que podem se especializar em Ue (User equipment) e pontos de acesso (**AccessPoint**) assim como é apresentado na ontologia HINT (29). Ue possui um auto relacionamento *mayTalkTo*, que é usado para definir quais interfaces Ue podem se comunicar com base nos relacionamentos de subordinação definidos entre as organizações militares. A interface **UeUp** é utilizada quando se deseja realizar uma comunicação para o comandante que está em um nível acima na estrutura das organizações. Já **UeDown** é utilizado para a comunicação com subordinados. Um militar que opera uma interface é um operador (**UeOperator**). Será demonstrado no Capítulo 5 como esse relacionamento é inferido pelo raciocinador usando as regras SWRL.

Na Figura 17, *channelValue*, *modeValue* e *ssid* foram definidos como os atributos de um AP.

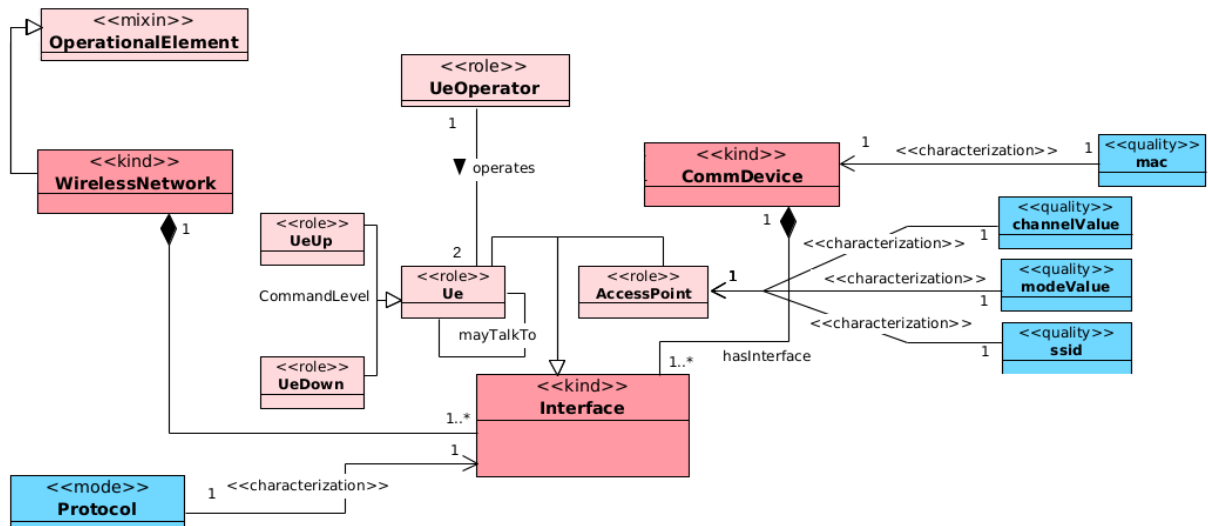


Figura 17 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando os principais elementos do sistema de comunicação.

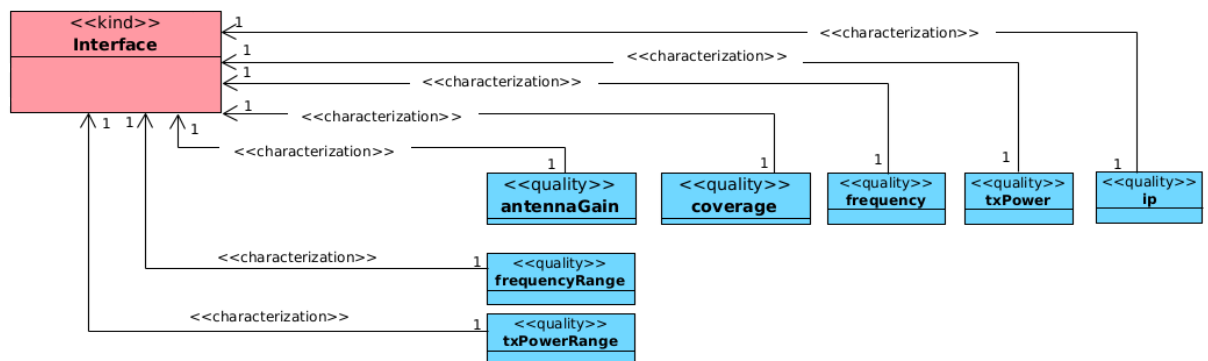


Figura 18 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando **Interface** e seus atributos.

Algumas classes mostradas no modelo possuem atributos relevantes para a análise

do cenário. Por exemplo, a Figura 15 apresenta a classe `CommDeviceCarrier` que possui atributos meta-categorizados como *Qualities*. Esses atributos são relacionados à velocidade de locomoção como *misSpeed* (velocidade mínima de locomoção) e *maxSpeedLand* (velocidade máxima em terra), e também relacionado ao alcance de fogo como *visibilityRange* (alcance de visão/fogo), que poderia ser usado em simulações do cenário de batalha onde se deseja simular disparos e contabilização de fratricídios.

Na Figura 16, a classe `Armored` possui um atributo que se refere à sua velocidade anfíbia (`AmphibiousSpeed`)<sup>2</sup>, que poderia ser reusado em simulações que desejem reproduzir veículos blindados se deslocando na água. Já na Figura 17, a classe `CommDevice` possui o atributo `mac` para configuração de endereço mac em dispositivos de rede. Finalmente, na Figura 18, a classe `Interface` possui atributos como o ganho de antena (`antennaGain`), cobertura (`coverage`), (`frequency`), (`txPower`), (`ip`), (`frequencyRange`) e (`txPowerRange`).

A Figura 21 representa a modelagem conceitual completa em OntoUML com todos os fragmentos apresentados acima.

## 4.2 Aplicação da UFO-MLT

A classificação multi-nível demonstra-se bastante interessante no desafio de representar estruturas organizacionais, como no caso de organizações militares. As OM's caracterizam-se por possuírem relações hierárquicas entre si, onde diversas organizações diferentes podem possuir um mesmo tipo. Por exemplo, o 30º Batalhão, 32º Batalhão e 34º Batalhão são três organizações diferentes porém possuem o mesmo tipo: Batalhão. A utilização dos tipos como classes e como instâncias, cria algumas vantagens significativas no desenvolvimento de regras e definições na ontologia. Em um cenário onde restrições de qualquer natureza são impostas baseadas na definição de tipos das organizações, esse tipo de classificação se torna eficiente, por exemplo, ao querer comparar o nível das organizações em uma rede segregada por escalões para criar regras na comunicação, onde apenas aqueles que estão no mesmo nível podem se comunicar. Assim, é possível que haja regras que combinem as instâncias de `MilitaryOrganization` com as instâncias dos seus tipos (*powertypes*). Exemplos dessas regras serão apresentados no Capítulo 5.

O mesmo conceito foi aplicado para classificar os veículos. Cada veículo possui um tipo definido que possui diferentes características. No caso dos veículos, a principal vantagem é pelo fato de haver atributos que pertencem aos tipos (*powertypes*). Por exemplo, cada tipo de veículo possui valores diferentes para o atributo relacionado à capacidade máxima de passageiros. Da mesma forma os tipos de organizações militares também possuem atributos relacionados ao tamanho mínimo e máximo de um escalão.

<sup>2</sup> Estão sendo representados blindados anfíbios. Extensões da modelagem podem representar não anfíbios.

As Figuras 19 e 20 mostram a modelagem baseada na classificação MLT aplicada à ontologia MiScOn. É possível observar o mesmo padrão apresentado nas Figuras 3 e 4 no Capítulo 2, onde as especializações de uma classe se tornam instâncias do seu tipo (*powertype*). Ainda, como mostrado nas Figuras 19 e 20, nesses dois casos o *powertype* tem uma relação de partição (*partitions*) com o *basetype*, pois o *powertype* categoriza (*categorizes*) o *basetype* da seguinte forma: cada uma das instâncias do *basetype* **MilitaryOrganization** e **Vehicle**, são instâncias de exatamente uma instância do seu respectivo *powertype*.

Parte dessa implementação da MLT foi feita na própria modelagem com a OntoUML, como mostram as Figuras 13 e 16. Outra parte foi implementada no editor de ontologias Protegé utilizando a técnica de *punning* (107), como mostrado na Figura 22.

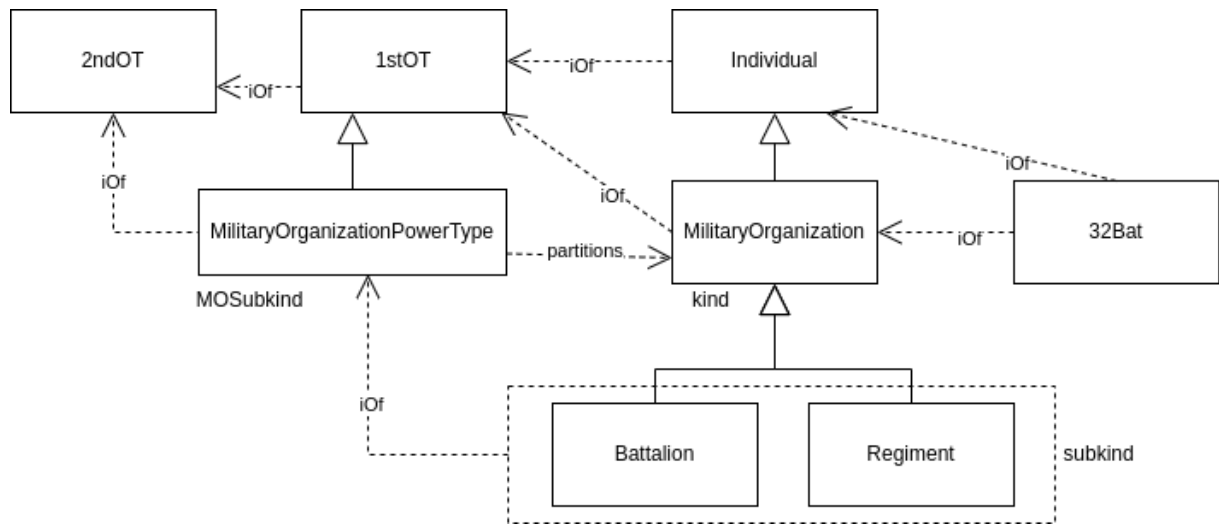


Figura 19 – Estruturas militares usando MLT.

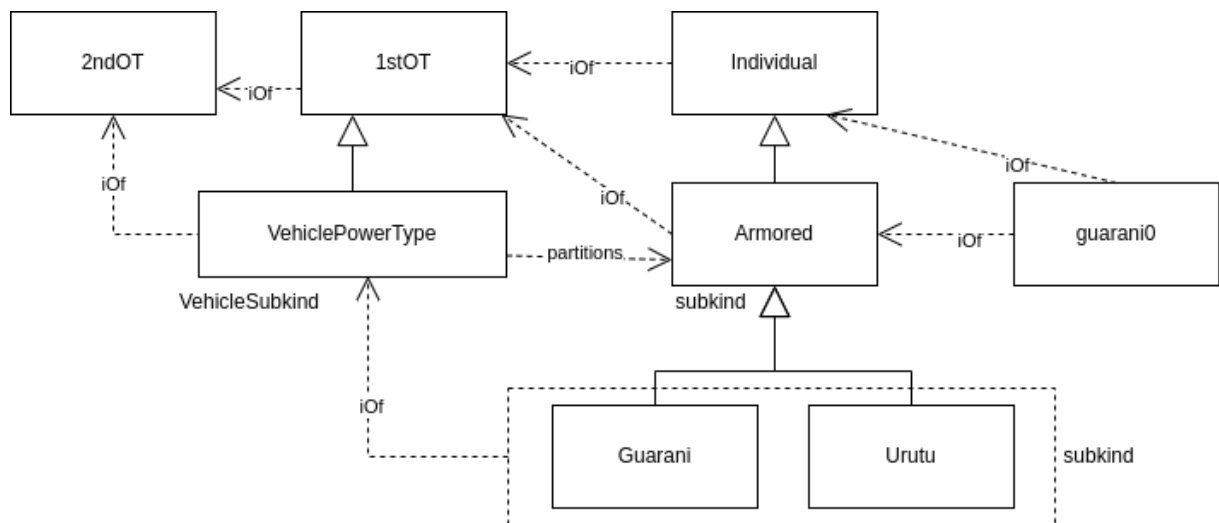


Figura 20 – Tipos de veículos usando MLT.

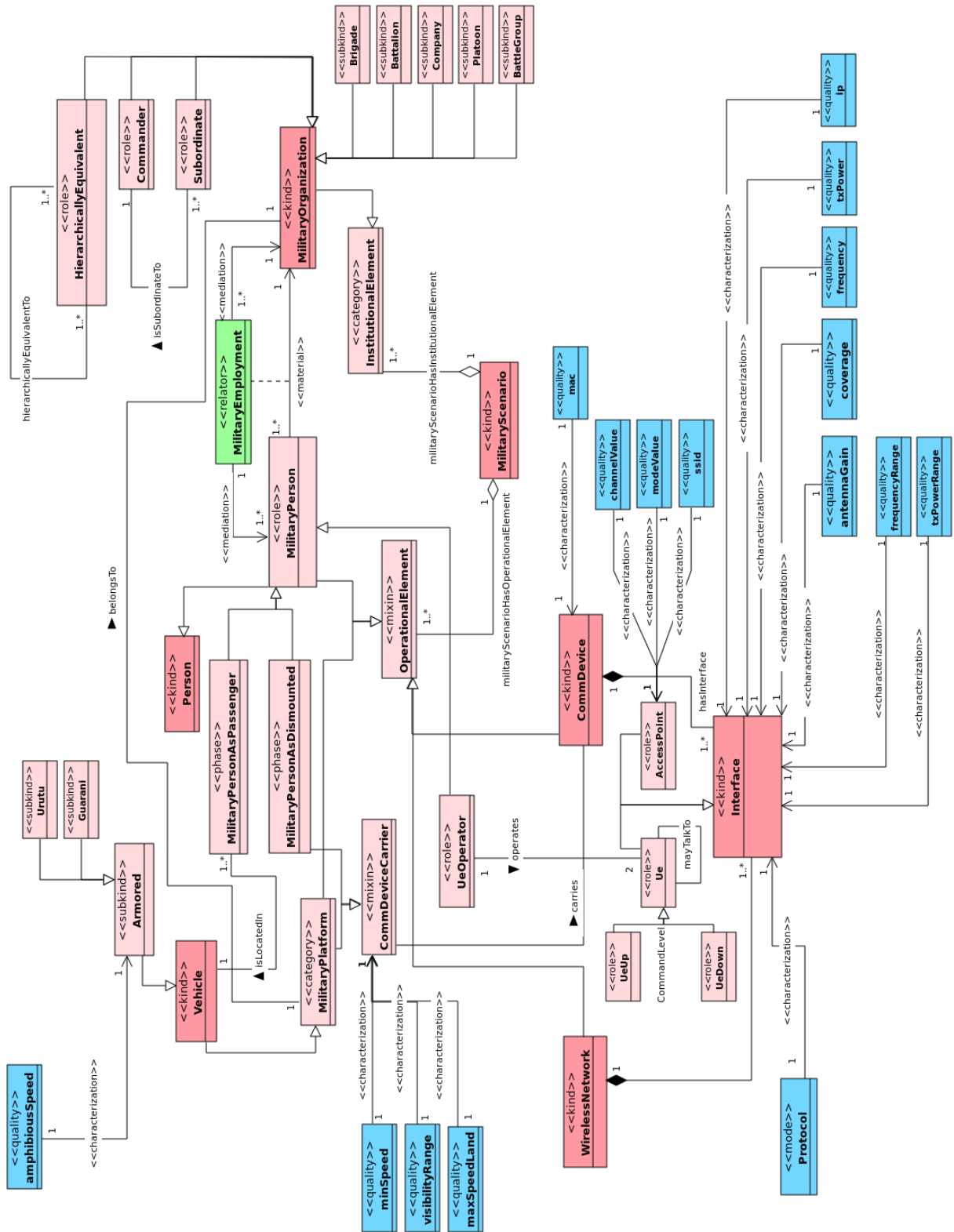


Figura 21 – Modelagem conceitual da ontologia de referência MiScOn com a linguagem OntoUML.

## 5 IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo divide suas Sub-seções nas principais fases de implementação. A Seção 5.1 apresenta a implementação da ontologia operacional utilizando linguagens voltadas para a Web Semântica e mostra como os elementos modelados na ontologia de referência foram manipulados para a criação de inferências pelo raciocínio semântico. Na Seção 5.2 são mostrados os principais pontos da implementação do software MiScManager que possui suporte para a ontologia MiScOn. Por fim, na Seção 6.3 são apresentados alguns pontos sobre os primeiros resultados do projeto S2C2 Emusim que também possui suporte para a ontologia MiScOn e que e que ainda está em fase de desenvolvimento.

### 5.1 Ontologia Operacional

A implementação da ontologia de referência em sua versão operacional, que é legível por máquina, foi feita usando a linguagem OWL (*Web Ontology Language*). Esse processo de implementação envolveu uma versão leve da UFO, denominada gUFO (108). A ontologia operacional foi exportada do Visual Paradigm utilizando o formato turtle (ttl) (*Terse RDF Triple Language*), onde foi possível especializar e instanciar os elementos da ontologia para então gerar o arquivo final em formato OWL/XML. Dessa forma, foram definidas regras de inferência em SWRL, de modo a permitir maior poder de raciocínio.

A ontologia operacional em formato ttl e OWL pode ser encontrada no repositório do projeto<sup>1</sup>. O trecho de código 5.1 mostra um fragmento do arquivo na sintaxe ttl representando algumas triplas RDF para a ontologia.

```
:MilitaryOrganization rdf:type owl:Class, gufo:Kind, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "MilitaryOrganization"@en.
:UeOperator rdf:type owl:Class, gufo:Role, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "UeOperator"@en.
:CommDevice rdf:type owl:Class, gufo:Kind, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "CommDevice"@en.
:MilitaryPerson rdf:type owl:Class, gufo:Role, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "MilitaryPerson"@en.
:MilitaryEmployment rdf:type owl:Class, gufo:Kind, owl:NamedIndividual;
    rdfs:subClassOf gufo:Relator;
    rdfs:label "MilitaryEmployment"@en.
:WirelessNetwork rdf:type owl:Class, gufo:Kind, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "WirelessNetwork"@en.
:Subordinate rdf:type owl:Class, gufo:Role, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "Subordinate"@en.
:Commander rdf:type owl:Class, gufo:Role, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "Commander"@en.
:CommDeviceCarrier rdf:type owl:Class, gufo:Mixin, owl:NamedIndividual;
    rdfs:subClassOf gufo:FunctionalComplex;
```

<sup>1</sup> <https://gitlab.com/andredemori/miscon-repository> - Acesso em: 28 nov. 2023.



```

    rdfs:label "CommDeviceCarrier"@en.
: MilitaryPlatform rdf:type owl:Class, gufo:Category, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "MilitaryPlatform"@en.
: Armored rdf:type owl:Class, gufo:SubKind, owl:NamedIndividual;
    rdfs:label "Armored"@en.
: Interface rdf:type owl:Class, gufo:Kind, owl:NamedIndividual;
    rdfs:subClassOf gufo:FunctionalComplex;
    rdfs:label "Interface"@en.

```

Listing 5.1 – Fragmento da Ontologia em RDF.

Ao instanciar as classes e relacionamentos da ontologia operacional, o raciocinador conseguiu inferir novas informações. Parte dessas inferências foi feita com base somente nas classes e relacionamentos. Outras inferências foram possíveis com base nas regras SWRL definidas.

O fragmento do arquivo OWL/XML apresentado no Listing 5.4 mostra algumas inferências realizadas através da simples definição de relacionamentos, ou pela própria hierarquia de classes. Os Listings 5.2 e 5.3 mostram parte desse processo.

O Listing 5.2 mostra como são definidos no OWL, os domínios e os ranges dos relacionamentos. Por exemplo, ao definir que o *Object Property isLocatedIn* possui como *Domain* *MilitaryPersonAsPassenger* e como *Range* *Vehicle*, e ao definir que uma instância de *MilitaryPerson* possui um relacionamento *isLocatedIn* com uma instância de *Guarani*, como mostrado no Listing 5.3, o raciocinador deduz que essa instância de *MilitaryPerson* é um *MilitaryPersonAsPassenger*. Um processo semelhante é mostrado para as instâncias da classe *UeOperator*.

```

<!-- DOMAINS -->

<ObjectPropertyDomain>
  <ObjectProperty IRI="#isLocatedIn"/>
  <Class IRI="#MilitaryPersonAsPassenger"/>
</ObjectPropertyDomain>

<ObjectPropertyDomain>
  <ObjectProperty IRI="#operates"/>
  <Class IRI="#UeOperator"/>
</ObjectPropertyDomain>

<!-- RANGES -->

<ObjectPropertyRange>
  <ObjectProperty IRI="#isLocatedIn"/>
  <Class IRI="#Vehicle"/>
</ObjectPropertyRange>

<ObjectPropertyRange>
  <ObjectProperty IRI="#operates"/>
  <Class IRI="#Ue"/>
</ObjectPropertyRange>

```

Listing 5.2 – Fragmentos do OWL mostrando a declaração de *domains* e *ranges*.

```

<!-- OBJECT PROPERTY ASSERTIONS -->

<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#isLocatedIn"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
  <NamedIndividual IRI="#guarani0"/>
</ObjectPropertyAssertion>

<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#operates"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
  <NamedIndividual IRI="#sta1-wlan0"/>
</ObjectPropertyAssertion>

<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#operates"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
  <NamedIndividual IRI="#sta1-wlan1"/>
</ObjectPropertyAssertion>

```

Listing 5.3 – Fragmentos do OWL mostrando os ObjectProperties Assertions.

```

<ClassAssertion>
  <Class IRI="#MilitaryPerson"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#MilitaryPersonAsPassenger"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#OperationalElement"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#UserOperator"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#Person"/>
  <NamedIndividual IRI="#1"/>
</ClassAssertion>

```

Listing 5.4 – Exemplo de Class Assertion.

Por sua vez, o Listing 5.5 mostra um exemplo de *Object Property Assertion* que para a realização da inferência leva em consideração regras criadas utilizando o SWRL para a definição do relacionamento *mayTalkTo* entre interfaces, apresentada no Listing 5.6. Neste exemplo, é mostrado que a interface *sta0-wlan0* pode se comunicar com as interfaces *sta1-wlan1* e *sta2-wlan1*. Esse relacionamento é importante para definir restrições de comunicação que leva em consideração a hierarquia entre as organizações militares nas quais os militares que operam os dispositivos de comunicação pertencem. As regras em

SWRL são formadas por um antecedente e um conseqüente. O Listing 5.6 mostra a regra criada para que seja feita a inferência sobre o relacionamento *mayTalkTo* entre duas interfaces.

```
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#mayTalkTo"/>
  <NamedIndividual IRI="#sta0-wlan0"/>
  <NamedIndividual IRI="#sta1-wlan1"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#mayTalkTo"/>
  <NamedIndividual IRI="#sta0-wlan0"/>
  <NamedIndividual IRI="#sta2-wlan1"/>
</ObjectPropertyAssertion>
```

Listing 5.5 – Exemplo de Object Property Assertion.

```
MilitaryPerson(?m2) ^ MilitaryPerson(?m1) ^
CommDevice(?c2) ^ CommDevice(?c1) ^
UeDown(?i1) ^ UeUp(?i2) ^
hasInterface(?c2, ?i2) ^ hasInterface(?c1, ?i1) ^
operates(?m1, ?i1) ^ operates(?m2, ?i2) ^
MilitaryOrganization(?o1) ^ MilitaryOrganization(?o2) ^
isSubordinateTo(?o2, ?o1) ^
militaryPersonHasMilitaryOrganization(?m1, ?o1) ^
militaryPersonHasMilitaryOrganization(?m2, ?o2)
-> mayTalkTo(?i1, ?i2)
```

Listing 5.6 – Regra SWRL para realizar a inferência do relacionamento *mayTalkTo*.

É possível observar que para o relacionamento entre duas interfaces acontecer é preciso que sejam criadas duas instâncias de *MilitaryPerson*, duas instâncias de *CommDevice*, uma instância de *UeDown* e uma de *UeUp*, duas instâncias de *MilitaryOrganization* e por fim duas instâncias de *MilitaryOrganizationPowerType*. Sendo assim, cada *MilitaryOrganization* deve possuir um powertype, isso é, um relacionamento *hasMOPowerType* com uma instância de *MilitaryOrganizationPowerType*. Ainda, cada instância de *MilitaryPerson* deve ter uma relação *militaryPersonHasMilitaryOrganization* com uma *MilitaryOrganization* e que as instâncias de *MilitaryOrganization* devem possuir um relacionamento *isSubordinateTo* entre elas, estabelecendo que uma é subordinada a outra. Por fim, cada militar deve estar operando uma interface (*UserEquipment*). A interface que será operada é definida pelo relacionamento *operates*. Se todas essas instanciações e relacionamentos acontecerem, então é gerado por inferência do raciocinador o relacionamento *mayTalkTo* entre duas interfaces.

Outro exemplo de regra utilizando o SWRL é mostrado no Listing 5.7. Neste caso é mostrada uma regra que faz com que uma organização militar assuma o papel de hierarquicamente equivalente (*HierarchicallyEquivalent*) quando duas OM's estão em um mesmo nível hierárquico, por exemplo, dois Pelotões que são subordinados à mesma Companhia.

```

MilitaryOrganization(?o1) ^
MilitaryOrganization(?o2) ^
MilitaryOrganization(?o3) ^
isSubordinateTo(?o1, ?o3) ^ isSubordinateTo(?o2, ?o3) ^
differentFrom(?o1, ?o2) ^
MilitaryOrganizationPowerType(?ompt1) ^
hasMOPowerType(?o1, ?ompt1) ^ hasMOPowerType(?o2, ?ompt1)
-> hierarchicallyEquivalentWith(?o1, ?o2) ^
HierarchicallyEquivalent(?o2) ^ HierarchicallyEquivalent(?o1)

```

Listing 5.7 – Regra SWRL para estabelecer comunicação quando duas OM's são hierarquicamente equivalentes.

Já no Listing 5.9 é criada uma regra para permitir a comunicação entre interfaces, quando os militares que operam essas interfaces possuem um relacionamento com as OM's que são hierarquicamente equivalentes. Esse tipo de comunicação é chamada de comunicação entre pares. Nesse tipo de comunicação a regra define que a interface será por padrão UeUp.

```

MilitaryPerson(?m1) ^ MilitaryPerson(?m2) ^
CommDevice(?c1) ^ CommDevice(?c2) ^
UeUp(?i1) ^ UeUp(?i2) ^
MilitaryOrganization(?o2) ^ MilitaryOrganization(?o1) ^
differentFrom(?o1, ?o2) ^
militaryPersonHasMilitaryOrganization(?m1, ?o1) ^
militaryPersonHasMilitaryOrganization(?m2, ?o2) ^
hasInterface(?c1, ?i1) ^ hasInterface(?c2, ?i2) ^
operates(?m1, ?i1) ^ operates(?m2, ?i2) ^
hierarchicallyEquivalentWith(?o1, ?o2)
-> mayTalkTo(?i1, ?i2)

```

Listing 5.8 – Regra SWRL para estabelecer comunicação quando duas OM's são hierarquicamente equivalentes.

```

<ClassAssertion>
  <Class IRI="#HierarchicallyEquivalent"/>
  <NamedIndividual IRI="#2Company"/>
</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#HierarchicallyEquivalent"/>
  <NamedIndividual IRI="#3Company"/>
</ClassAssertion>

<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hierarchicallyEquivalentWith"/>
  <NamedIndividual IRI="#2Company"/>
  <NamedIndividual IRI="#3Company"/>
</ObjectPropertyAssertion>

```

Listing 5.9 – Regra SWRL para estabelecer comunicação quando duas OM's são hierarquicamente equivalentes.

No exemplo abaixo representado no Listing 5.10, a regra também cria o relacionamento *mayTalkTo*, porém apenas quando os militares que operam as interfaces pertencem a mesma OM.

```

MilitaryPerson(?m1) ^ MilitaryPerson(?m2) ^
MilitaryOrganization(?o1) ^ MilitaryOrganization(?o2) ^
CommDevice(?c1) ^ CommDevice(?c2) ^
differentFrom(?c1, ?c2) ^
UeUp(?i1) ^ UeUp(?i2) ^
hasInterface(?c1, ?i1) ^ hasInterface(?c2, ?i2) ^
militaryPersonHasMilitaryOrganization(?m1, ?o1) ^
militaryPersonHasMilitaryOrganization(?m2, ?o2) ^
operates(?m1, ?i1) ^ operates(?m2, ?i2) ^
sameAs(?o1, ?o2) ^
-> mayTalkTo(?i1, ?i2)

```

Listing 5.10 – Regra SWRL para estabelecer comunicação quando os militares pertencem a mesma OM.

Esses exemplos de regras de comunicação procuram refletir a comunicação expressa na doutrina (88) de comando e controle e na recomendação dos especialistas consultados no projeto S2C2.

Por sua vez, o exemplo apresentado na Figura 5.11 mostra uma regra SWRL que é combinada com regras de cardinalidade. Assim foi definido que o militar só pode estar relacionado com uma organização militar. Portanto, a regra diz que o militar deve pertencer a mesma organização militar que a plataforma na qual ele está inserido pertence. Caso isso não aconteça, resultará em uma inconsistência ontológica.

```

MilitaryPlatform(?mp) ^
MilitaryPerson(?m1) ^
MilitaryOrganization(?mo) ^
isLocatedIn(?m1, ?mp) ^
belongsTo(?mp, ?mo)
-> militaryPersonHasMilitaryOrganization(?m1, ?mo)

```

Listing 5.11 – Regra SWRL para criar uma restrição fazendo com que o militar que está em uma plataforma pertença a mesma OM da plataforma.

No Listing 5.12 é mostrado que as regras em SWRL também podem ser usadas para definir valores de atributos para instâncias de uma determinada classe. Neste exemplo, quando o raciocinador é ativado, todas as instâncias da classe Guarani possuem seus valores de velocidade mínima (*minSpeed*), velocidade máxima (*maxSpeedLand*) em terra, velocidade anfíbia (*amphibiousSpeed*) e alcance (*visibilityRange*) definidos pela regra.

```

Guarani(?g) ->
minSpeed(?g, 0.972222) ^
visibilityRange(?g, 1000) ^
amphibiousSpeed(?g, 2.5) ^
maxSpeedLand(?g, 26.3889)

```

Listing 5.12 – Regra SWRL para criar uma restrição fazendo com que o militar que está em uma plataforma pertença a mesma OM da plataforma.

Um outro exemplo da combinação de regra SWRL com regras de cardinalidade é mostrado na Figura 5.13. Nesse caso, foi estabelecida uma regra onde, para que uma organização militar seja subordinada a outra, seus *powertypes* também precisam ser subordinados um ao outro.

```

MilitaryOrganization(?o2) ^ MilitaryOrganization(?o1) ^
isSubordinateTo(?o2, ?o1) ^
differentFrom(?o1, ?o2) ^
MilitaryOrganizationPowerType(?ompt1) ^ MilitaryOrganizationPowerType(?ompt2) ^
hasMOPowerType(?o1, ?ompt1) ^ hasMOPowerType(?o2, ?ompt2) ^
-> MTypeIsSubordinateTo(?ompt2, ?ompt1)

```

Listing 5.13 – Regra SWRL para criar uma restrição fazendo com que o militar que está em uma plataforma pertença a mesma OM da plataforma.

Através da representação dessas sub-classes como instâncias de um *powertype*, pode-se realizar a atribuição de valores de *data properties* que possam interferir no comportamento ou configuração da simulação. Conforme mostrado na Figura 22, para a implementação da ontologia operacional utilizando a UFO-MLT, foi utilizada uma técnica chamada *punning*, que é quando uma classe também é considerada um indivíduo quando ela também instancia outra classe, possuindo uma interpretação diferente, seja como classe ou como indivíduo (107). Assim, no exemplo mostrado, é possível observar que *Platoon* é uma sub-classe de *MilitaryOrganization* especializada como *subkind*. Ainda, utilizando a técnica de *punning* foi adicionada uma instância de *MilitaryOrganizationPowerType* com o mesmo IRI da sub-classe. É possível observar no canto inferior direito da figura que dessa forma foi possível atribuir *object properties* e *data properties* a essa instância.

O mesmo processo foi feito para os *subkinds* da classe *Vehicle*, sendo eles *Guarani* e *Urutu*. Essas três sub-classes são também instâncias da classe *VehiclePowerType* e possuem seus atributos relativos a capacidade de passageiros (*minPassengers* e *maxPassengers*) que cada tipo de veículo possui.

Através dessa implementação e das inferências que foram realizadas, as questões de competência levantadas na Seção 3.3 podem ser respondidas. As *queries* abaixo utilizando SPARQL mostram dois exemplos de consultas sendo feitas no RDF que representa a ontologia. O Listing 5.14 mostra uma consulta em SPARQL para verificar quais Ue's podem se comunicar com Ue sta0-wlan1.

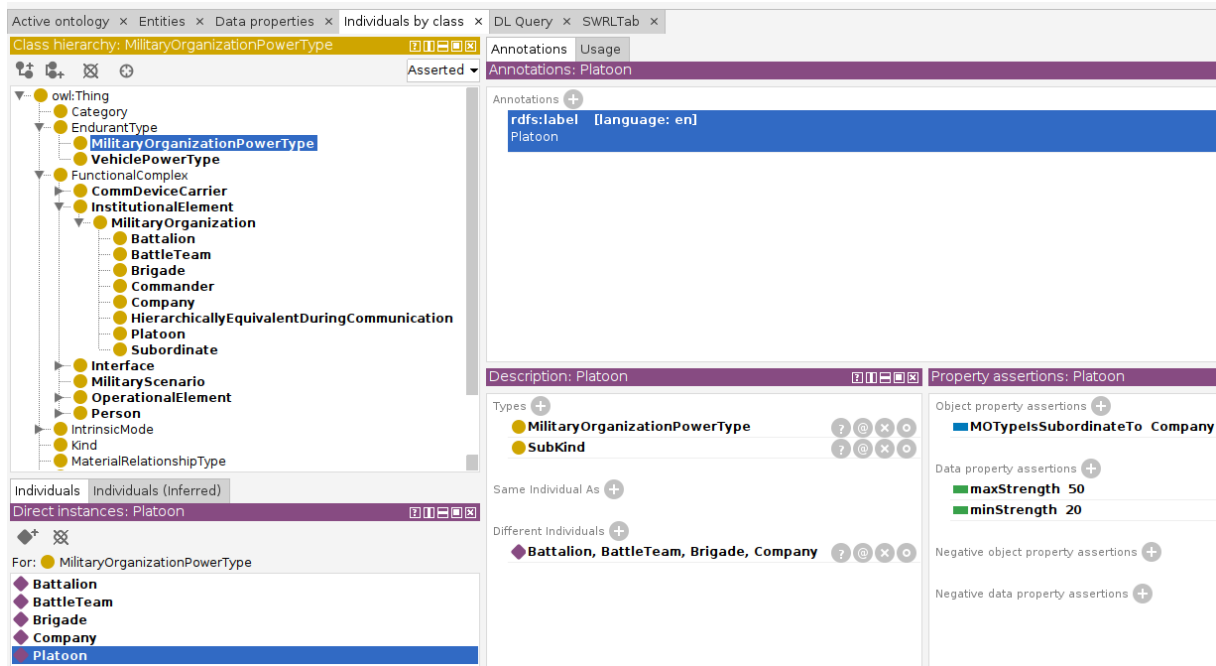


Figura 22 – *PrintScreen* da tela do Protegé mostrando a implementação do conceito de *punning*.

```
SELECT ?subject
WHERE {
  ?subject rdfs:type/rdfs:subClassOf* <http://myontology.com/scenario#Ue> .
  ?subject <http://myontology.com/scenario#mayTalkTo> <http://myontology.com/scenario#sta0-wlan1> .
}

OUTPUT: <http://myontology.com/scenario#sta7-wlan0>|<http://myontology.com/scenario#sta6-wlan1>
```

Listing 5.14 – Query em SPARQL para consultar as interfaces que se comunicam com o Ue sta0-wlan1.

Já o Listing 5.15 abaixo mostra as OM's que são hierarquicamente equivalentes à organização militar instanciada como 2Company.

```
SELECT DISTINCT ?subject
WHERE {
  ?subject rdfs:type/rdfs:subClassOf* <http://myontology.com/scenario#MilitaryOrganization> .
  ?subject <http://myontology.com/scenario#hierarchicallyEquivalentWith> <http://myontology.com/scenario#2Company> .
}

OUTPUT: <http://myontology.com/scenario#3Company>
```

Listing 5.15 – Query em SPARQL para consultar as OM's que possuem uma relação de equivalência hierarquica com uma determinada OM.

## 5.2 Implementação do MiScManager

### 5.2.1 Primeira versão: MiniManager

O MiniManager nasceu como um projeto de sistema que fosse integrado ao Mininet-WiFi (18, 19, 80) e que permitisse por meio de uma interface amigável a gerência e execução das emulações de rede, disponibilizando o histórico dos experimentos e seus respectivos resultados. Sua primeira versão, apesar de ter sido desenvolvida com o objetivo de ajudar no gerenciamento e configuração de redes heterogêneas, como ambientes militares, possuía um ambiente de configuração de redes focado em redes tradicionais sem levar em consideração o ambiente militar onde a rede está inserida e que impacta no funcionamento e no comportamento dos elementos da rede. Além disso, o ambiente de configuração era limitado em comparação ao que o Mininet-WiFi pode oferecer.

O MiniManager ainda conta com um sistema de proveniência de dados que permite registrar o relatório dos experimentos e as etapas, passos e tentativas, como as variações de parâmetros em cada rodada.

### 5.2.2 MiScManager

MiScManager é uma extensão desenvolvida do software MiniManager, desenvolvido com o objetivo de estender as funcionalidades do MiniManager de modo a permitir a configuração de cenários de operações militares. A arquitetura do MiScManager foi desenvolvida utilizando o Django Framework para funcionar como um sistema web seguindo o padrão MTV (Model-Template-View). O fato de o Django Framework estar escrito em linguagem Python facilita a comunicação com o Mininet-WiFi, também escrito na mesma linguagem. Ainda, possui como sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) o PostgreSQL. A Figura 23 mostra a arquitetura atual do MiScManager com a sua composição de módulos e informações sobre a sua evolução em relação ao MiniManager, mostrando os módulos que foram criados, alterados ou que permaneceram inalterados.

O usuário interage com o sistema por meio de dois módulos: *Configurator* e *Experimenter*. O módulo *Configurator* recebe os dados de configuração da rede na interface do usuário para criação do **plano de teste** e de suas **versões**. Já o módulo *Experimenter* gerencia os experimentos e o recebimento de novas requisições de rodadas a serem executadas por meio da interface com o usuário. O módulo *ProvenanceCatcher* é o responsável pelo gerenciamento do sistema de proveniência, coletando os dados gerados a cada rodada. O Mininet-WiFi é integrado ao sistema recebendo as informações passadas pelo usuário a respeito das configurações da rede a ser emulada através do módulo *MininetWifiAdapter*. Por sua vez, o módulo *MilitaryScenarioConf* é o módulo responsável pela parte de configuração e do banco de dados que inclui o elementos do cenário militar como as organizações militares e seus membros, as plataformas como veículos, dentre outros. Esse



módulo conta com a utilização da biblioteca owlready2 para realizar a leitura de ontologias operacionais em formato OWL. A arquitetura atual do MiScManager estende a arquitetura do MiniManager nos módulos MilitaryScenarioConf, o módulo Configurator, onde foram feitas atualizações estendendo as possibilidades de configurações, incluindo nas versões os elementos do cenário militar, e por fim, o módulo MininetWifiAdapter onde foram estendidas as opções de medição na rede, adicionando mais opções para escolher como comportamento na comunicação com quatro opções: 1 - todos os nós se comunicando com encaminhamento de mensagens; 2 - Comunicação apenas entre comandantes subordinados e pares; 3 - Um para um; 4 - Todos os nós se comunicando aleatoriamente. Caso seja feito o *upload* da ontologia operacional, o comportamento da comunicação é definido pelas regras da ontologia.

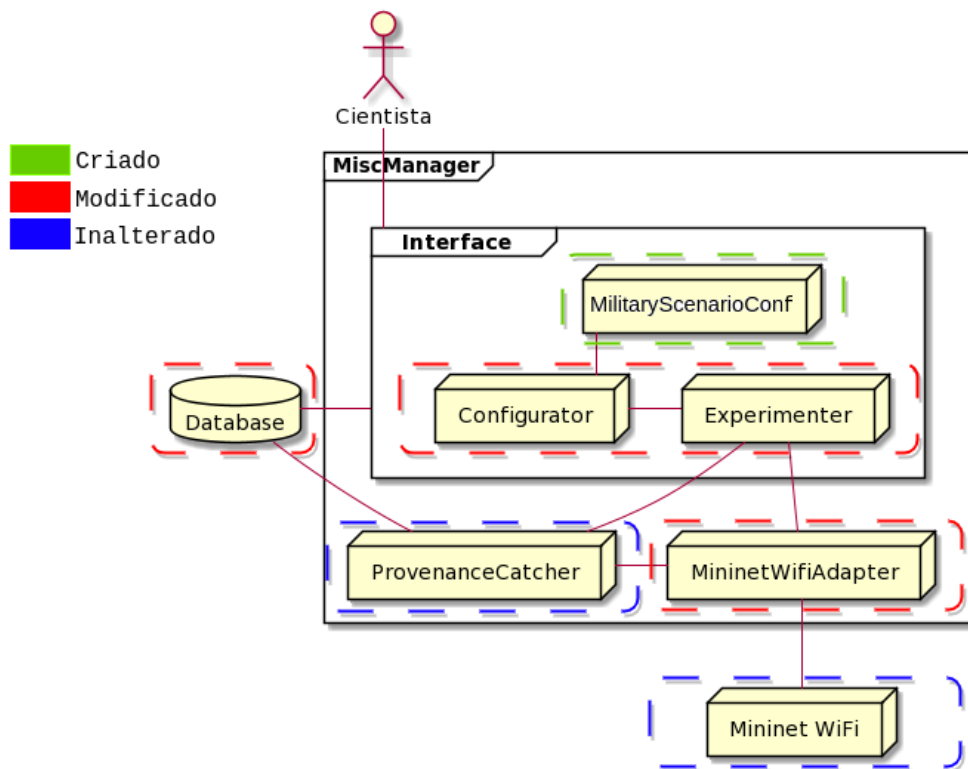


Figura 23 – Arquitetura do MiScManager mostrando a divisão por módulos.

As fases de configuração e experimentação são compostas de três conceitos básicos: o **plano de teste**, a **versão** e a **rodada**. Um **plano de teste** está associado a um cenário militar e a um usuário e pode possuir várias versões associadas a ele. Cada **versão** possui as configurações da topologia de rede a ser executada, como por exemplo, potência de transmissão, *bitrate*, perda por propagação, o comportamento dos elementos da rede, o que envolve a mobilidade e o comportamento na comunicação, e os testes de desempenho que as estações móveis devem realizar (latência, taxa de transmissão, entre outros). A **rodada** representa uma simulação feita pelo usuário, seguindo as configurações definidas pela versão e plano de teste.

O MiscManager foi desenvolvido para abranger mais possibilidades de configuração, podendo aproveitar mais os recursos do Mininet-WiFi e também incluir elementos que pertencem ao cenário de operação militar, podendo impactar no comportamento da rede. Além disso, foi proposto basear a implementação do banco de dados na modelagem conceitual, de forma que fosse possível a configuração do cenário militar e a importação de ontologias operacionais direto para o banco de dados.

### 5.2.3 Implementação do Banco de Dados Relacional

O principal desafio foi realizar a extensão do banco de dados do MiniManager para que fosse possível abranger mais elementos, armazenando o que se refere à rede e aos elementos do cenário militar baseando-se na ontologia MiScOn. Para isso, foi necessário desenvolver uma extensão do banco de dados que fosse compatível com a modelagem proposta, mapeando os elementos da modelagem como entidades, atributos e relacionamentos, para tabelas, campos e chaves no banco de dados, possibilitando assim, que após a leitura da ontologia fosse possível adicionar os elementos ao banco de dados e fazer uso desses registros no momento da execução.

O MiScManager utiliza o ORM (*Object-Relational Mapping*) do Django Framework. Além disso, no Django, os modelos são definidos como classes em Python, onde cada classe representa uma tabela no banco de dados. O Listing 5.16 mostra a classe que definiu a tabela MilitaryOrganization no banco de dados do MiScManager.

```
class MilitaryOrganization(models.Model):
    Id = models.AutoField(primary_key=True, unique=True)
    MOPowerType = models.ForeignKey(MilitaryOrganizationPowerType, on_delete=models.
        CASCADE, blank=True, null=True)
    name = models.CharField(max_length=30)
    commander = models.ForeignKey("MilitaryOrganization", on_delete=models.CASCADE, blank
        =True, null=True)
    scenario = models.ForeignKey(MilitaryScenario, on_delete=models.CASCADE, blank=True,
        null=True)

    class Meta:
        db_table = "MilitaryOrganization"
        verbose_name = 'MilitaryOrganization'
        verbose_name_plural = 'MilitaryOrganizations'

    def __str__(self):
        return self.Id
```

Listing 5.16 – Classe Python para criar a tabela MilitaryOrganization no banco de dados.

Na Figura 24 estão representados alguns fragmentos do banco de dados que ilustram como isso é feito. É possível observar como foram definidas as relações entre o militar que é responsável por carregar consigo determinado nó da rede e que também pertence a uma organização militar. Tanto o militar e a organização militar estão atrelados a um cenário que possui cadastrado um nome e uma descrição. Cada militar está atrelado a um

Carrier. A tabela Carrier possui os atributos de velocidade mínima, máxima e alcance de fogo, cuja os valores vão depender se o militar está a pé ou no veículo como passageiro. Assim, é recebido da ontologia os atributos do veículo, caso ele seja um passageiro (MilitaryPersonAsPassenger), ou do militar à pé (MilitaryPersonAsDismounted).

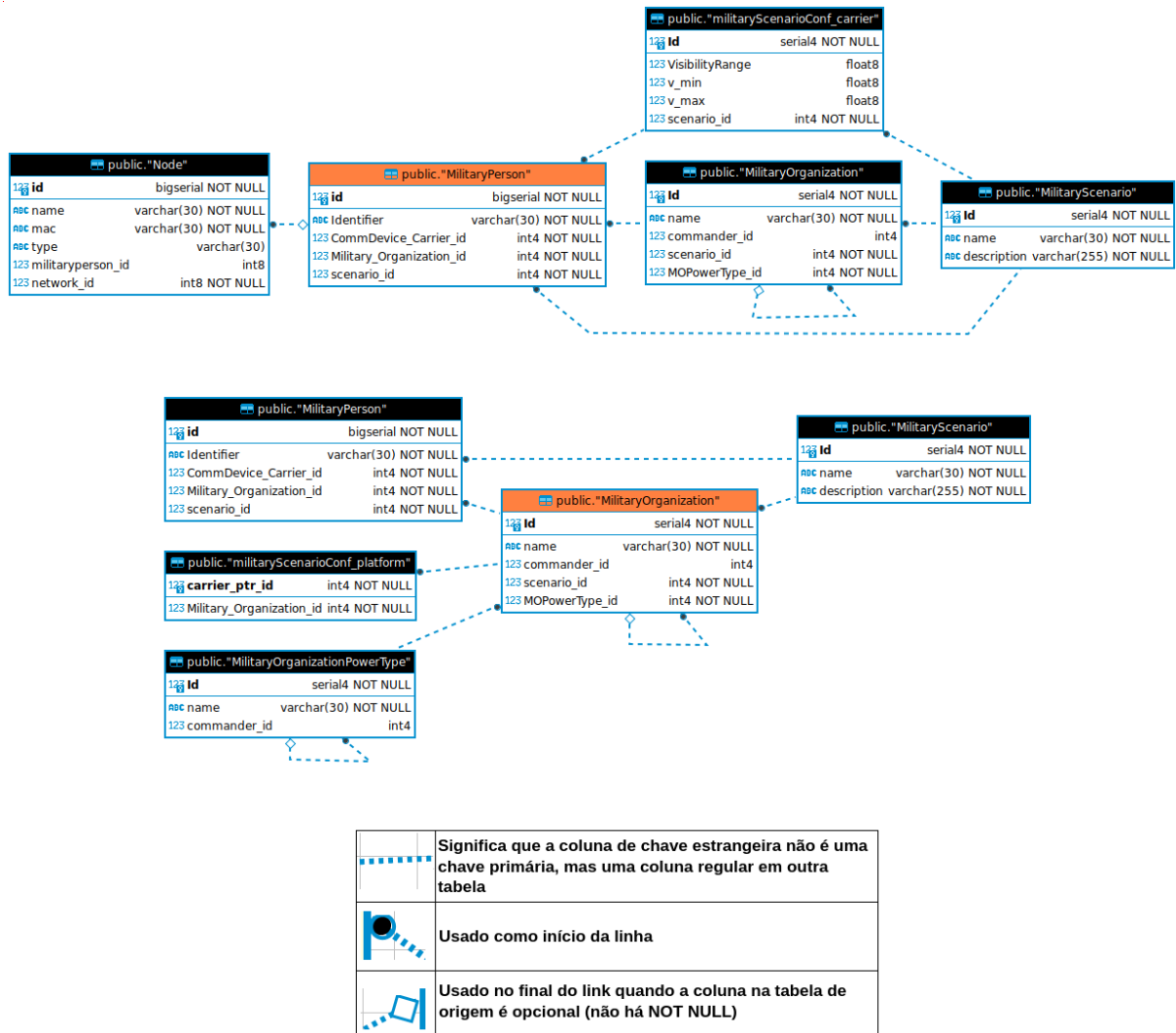


Figura 24 – Representação das tabelas do banco de dados no software DBeaver mostrando a relação entre MilitaryPerson, Node, MilitaryOrganization, Scenario e Carrier.

A Figura 24 também mostra como está sendo a relação das organizações militares com os *powertypes*. No caso das organizações militares, cada registro na tabela MilitaryOrganization está atrelado a um registro de MilitaryOrganizationPowerType. Ainda, é possível observar o auto-relacionamento de MilitaryOrganizationPowerType, pois os tipos de OMs possuem uma relação de subordinação entre elas, assim como cada OM.

### 5.2.4 Interface do MiScManager

Foi feita uma extensão da interface do MiniManager, de modo a permitir fazer o *upload* do arquivo com a ontologia operacional ou configurar manualmente o cenário, porém, também baseado-se na ontologia de referência, de forma a permitir que ao usuário configurar a ontologia manualmente, a rede possa ter o mesmo comportamento se comparada ao caso de ser carregada pelo *upload* da ontologia operacional. Portanto, a interface permite configurar os elementos que irão para o banco de dados relacional como as OM's, os militares, atributos, dentre outras classes presentes na modelagem.

Essa nova versão do MiniManager denominada *MilitaryVersion*, apresenta uma reformulação em sua interface, se comparado ao que foi apresentado em sua primeira versão (109), tanto no que se refere aos aspectos visuais quanto nas possibilidades de configuração, onde houve um aumento nos campos dos formulários de configuração permitindo também maior flexibilidade com o Mininet-WiFi. Em sua primeira versão, o MiniManager só permitia a configuração de uma interface e possuía poucos atributos disponíveis para configuração como o nome da estação, o IP e o endereço MAC. Já na nova versão (*MilitaryVersion*), a interface foi estendida para configurar até duas interfaces por estação, passando os valores correspondentes à potência de transmissão, ganho de antena, range, IP, MAC do dispositivo, definição do militar que está operando o dispositivo, além de diferentes opções de posição podendo deixar o dispositivo em uma posição estática, ou se movendo dentro de um quadrante de movimento ou aleatoriamente dentro dos limites especificados no modelo de mobilidade. A Figura 26 mostra a tela de configuração de estações no MiniManager.

name	Operator	mac addr	ip interf 1	ip interf 2	txpower interf 1	txpower interf 2	range intf 0	range intf 1	antenna gain intf 0	antenna gain intf 1
sta1	0	00:00:c	10.0.0.	10.0.0.	15	15				

Position mode ---

Figura 25 – Tela de configuração para estações no MiScManager MilitaryVersion

Por sua vez, a Figura 27 mostra a tela para realizar a configuração manual da hierarquia militar, porém também é baseada na ontologia de referência. A criação da hierarquia entre OM's deve ser feita de cima para baixo, isso é, comando superior para inferior, para que assim seja possível fazer a relação de comando entre as OM's.

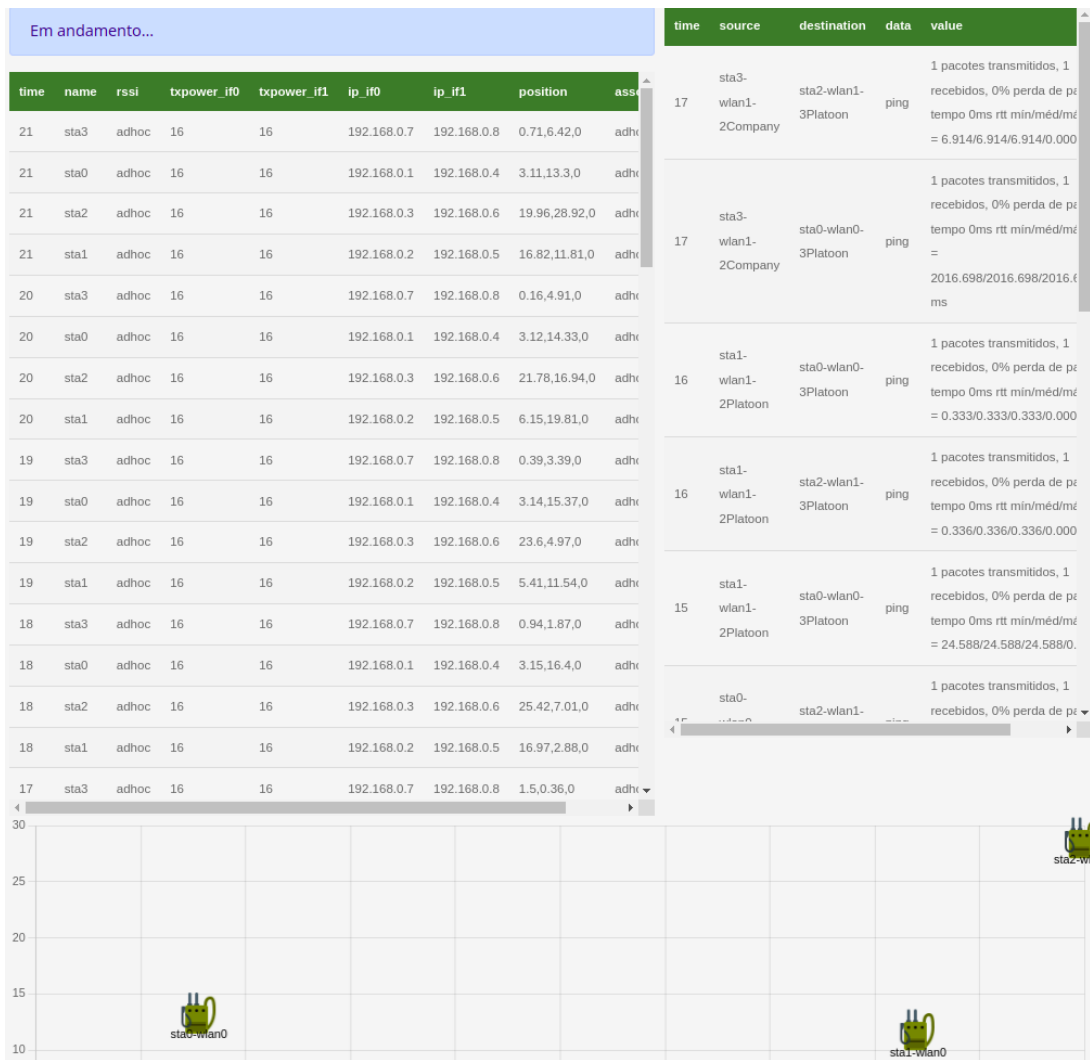


Figura 26 – Tela de execução de rodada no MiScManager.

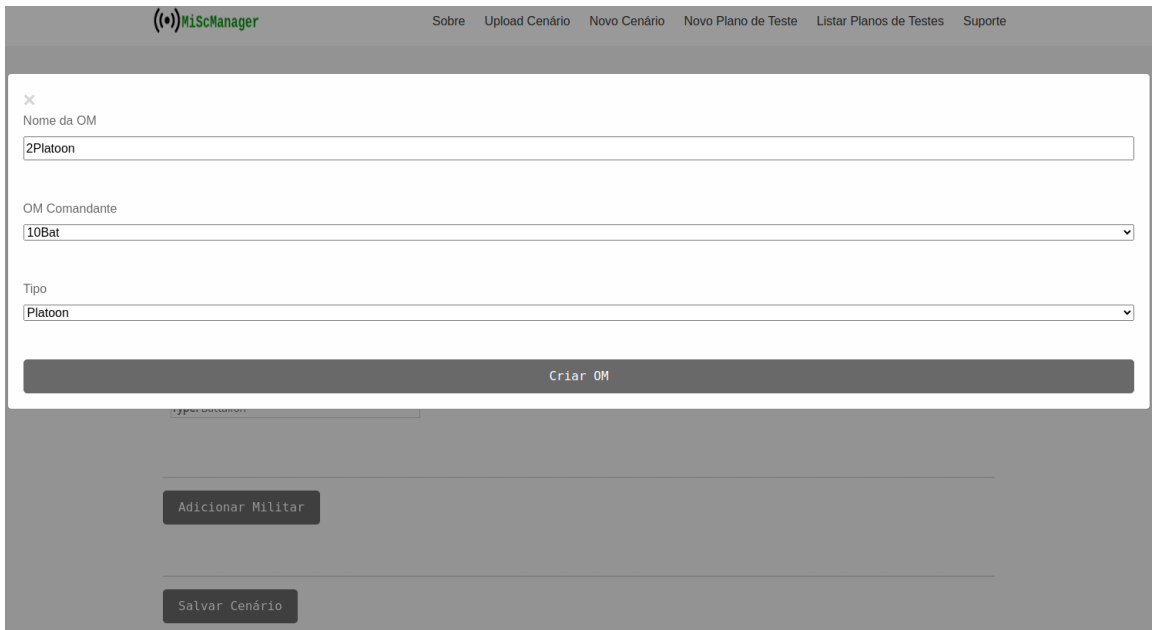


Figura 27 – Tela de configuração manual da hierarquia militar.

## 6 ESTUDO DE CASO E PROVA DE CONCEITO

Neste Capítulo estão sendo mostrados os processos de desenvolvimento dos experimentos executados. Na Seção 6.1 é mostrado o cenário pensado para a implementação da ontologia operacional. A Seção 6.2 são mostradas as análises sobre os experimentos executados com a ontologia operacional no MiScManager. Por fim, a Seção 6.3 descreve alguns pontos da utilização da ontologia operacional em outro software que vem sendo desenvolvido no projeto S2C2.

### 6.1 Descrição do Cenário

Como forma de validação da proposta de se utilizar uma ontologia operacional para formalizar um cenário próximo da realidade, foi desenvolvido o cenário representado na Figura 28 em uma ontologia operacional utilizando OWL<sup>1</sup>

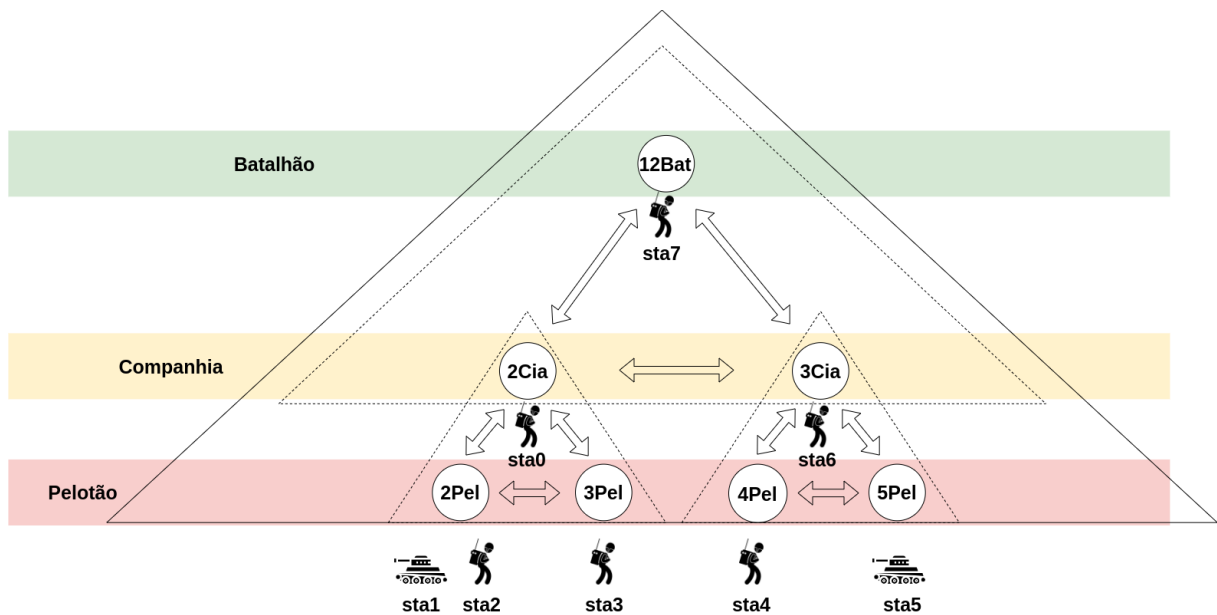


Figura 28 – Representação do cenário do experimento representando a hierarquia entre OM's, os militares, os veículos e as restrições na comunicação.

No cenário, estão representados os principais elementos para a realização de inferências com a ontologia MiScOn. A comunicação entre os nós da rede está sendo executada no emulador Mininet-WiFi através do MiScManager, onde a ontologia foi lida e reutilizada para criar os elementos no banco de dados. É possível observar que está sendo representada a hierarquia entre as OM's, os nós que estão com os militares à pé ou em veículos, e as restrições de comunicação através das setas. Nesse cenário, através das regras SWRL

<sup>1</sup> <https://gitlab.com/andredemori/miscon-repository> - Acesso em: 28 nov. 2023.

e posteriormente através do resultado do raciocínio semântico, está sendo permitida a comunicação entre comandantes, subordinados e pares. Esse último se refere a quando os dois nós que estão se comunicando estão dentro de uma mesma OM. Ainda, está sendo permitida a comunicação entre equivalentes, isso é, quando as organizações militares possuem o mesmo comandante, estando no mesmo nível hierárquico. Assim, como é possível criar relações de comunicação entre comandantes subordinados, pares e equivalentes, os cenários possíveis podem ter uma OM ou várias OM's, tornando o planejamento flexível.

O cenário apresentado na Figura 28 e instanciado na ontologia operacional como mostra a Figura 29, é composto de uma rede única com 3 níveis de hierarquia, sendo Batalhão, Companhia e Pelotão. Cada organização militar representada também possui um dispositivo, por exemplo sta4 que pertence ao 4Pel. Ainda, cada dispositivo desse possui duas interfaces, por exemplo, no caso de sta4, as interfaces são sta4-wlan0 e sta4-wlan1.

O **12Bat** possui um militar à pé responsável pela comunicação com os níveis inferiores. No nível de Companhia existem duas OMs: **2Cia** e **3Cia**, cada uma com um militar à pé. Por sua vez, no nível de Pelotão existem quatro OMs: **2Pel** com dois militares responsáveis pela comunicação, sendo um à pé e outro como passageiro em um veículo do tipo Guarani; **3Pel** com um militar à pé responsável pela comunicação; **4Pel** com um militar a pé responsável pela comunicação e **5Pel** com um militar responsável pela comunicação como passageiro em outro veículo do tipo Guarani. O fato de um nó na rede estar com um militar a pé ou em um veículo implica na velocidade com que esse nó se move com o modelo de mobilidade no Mininet-WiFi. Cada nó na rede possui duas interfaces, uma para se comunicar com superiores (**UeUp**) e outra para se comunicar com subordinados (**UeDown**), simulando o que ocorre em ambiente real, onde existem diferentes rádios para se comunicar com diferentes níveis na hierarquia. Ainda, foi adotado como padrão a interface **UeUp** para se comunicar entre pares e equivalentes. Por fim, cada nó na rede possui um quadrante de movimento estabelecido entre ( $x\_min, x\_max$ ) e ( $y\_min, y\_max$ ). A Figura 29 mostra o resultado da inferência realizada pelo raciocinador para a interface sta2-wlan1.

Apesar de a ontologia MiScOn ser reusada na criação de cenários de emulações de redes, o fragmento da ontologia que trata da parte de comunicação não representa as configurações do emulador, mas sim de sistemas reais de comunicação, e por isso alguns atributos configuráveis no Mininet-WiFi como modelo de mobilidade, modelo de propagação, ruídos e atenuação ficaram de fora da modelagem, recebendo valores padrão no momento da configuração dos cenários.

## 6.2 Análises Sobre os Experimentos

Uma das primeiras vantagens demonstradas ao se utilizar o MiScManager para criação do cenário foi a automação na configuração, trazendo mais facilidade e ganho

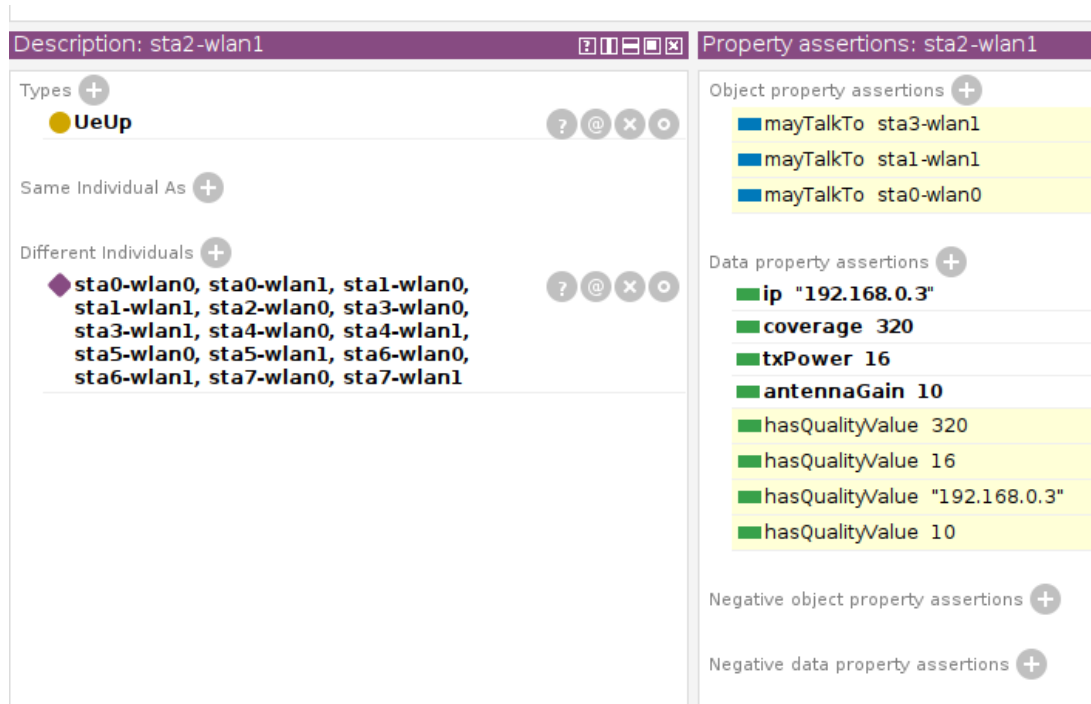


Figura 29 – *Printscreen* da tela do Protegé mostrando o resultado da inferência para o relacionamento *mayTalkTo* na interface *sta2-wlan1*.

de tempo. Realizando a leitura da ontologia operacional ou criando pela interface do MiScManager, a configuração fica mais intuitiva em comparação com a forma como é feita no Mininet Wifi, onde a topologia de rede deve ser desenvolvida através de linhas de código em linguagem Python. Adicionalmente, com o MiScManager foi possível criar *scripts* que fazem a leitura da ontologia operacional e transcrevem instantaneamente a estrutura conceitual em uma topologia de rede operacional evitando uma configuração manual mais propensa a erros.

Adicionalmente, possíveis alteração nas regras, nos relacionamentos ou nas restrições de cardinalidade também tornam a manutenção mais flexível, fácil, ágil e dinâmica do que se fosse realizado tudo diretamente no código da aplicação (*hard coded*). Além desse ganho em relação à configuração, o fato de o experimento ser baseado em uma ontologia que fornece uma descrição bem fundamentada dos elementos do cenário militar e da rede, faz com que os experimentos sejam reproduzíveis, podendo replicar os resultados em outros ambientes mais facilmente. Por fim, ressalte-se que o uso da ontologia operacional ajuda na consistência da configuração, pois a detecção de erros não se limita a apenas erros lógicos no código, mas também às inconsistências ontológicas como definição de tipos incompatíveis, definição de hierarquia inadequada, definição de relacionamentos incorretos, dentre outros.

Como o Mininet-WiFi é um emulador de redes que permite a criação de diversos tipos de topologias, seja em redes infraestruturadas ou *ad hoc*, e possibilita configurar



os dispositivos de rede de diferentes maneiras através da passagem de parâmetros, o MiScManager faz com que a configuração de rede criada esteja dentro das restrições impostas pela ontologia. Ainda, ao executar o experimento, faz com que o comportamento na transmissão seja baseado na ontologia, que leva em consideração a segregação dos nós da rede por escalões.

É importante destacar que o propósito dos experimentos foi de avaliar a estratégia de se utilizar a ontologia para construir o cenário a ser reproduzido, e não de realizar experimentos de desempenho de redes. Como já descrito no capítulo 4.1, foi aplicado o reúso de outras ontologias no desenvolvimento da MiScOn. Com isso, foram analisados quais elementos deveriam ser adicionados para se adaptar ao ambiente de comunicação militar e criar o comportamento desejado de forma a ajudar na tomada de decisões em um cenário militar, principalmente no que se refere ao comportamento da comunicação, realizando assim uma análise ontológica sobre o processo de tomada de decisão na comunicação. Por exemplo, a ontologia HINT apresentada por Tesolin (29) não leva em consideração a comunicação entre militares em diferentes níveis hierárquicos. Por isso foi importante especializar *Ue* em *UeUp* e *UeDown*, para imitar o que ocorre em ambiente real, onde são utilizados diferentes rádios para se comunicar, um com o nível de cima e outro com o nível de baixo na hierarquia. No emulador de redes, *UeUp* e *UeDown* são duas interfaces na mesma estação.

A Figura 30 mostra as fases para elaboração do experimento mostrando que a ontologia cria uma formalização e restringe as configurações das emulações de rede que acontecem no Mininet-WiFi, criando um cenário militar em um contexto sintético, fazendo com que o comportamento e a configuração da emulação esteja dentro do contexto esperado. Não obstante, apesar de o objetivo nos experimentos ser de fazer uma leitura da ontologia para construção do cenário e da topologia de rede, existem alguns pontos na ontologia HINT que divergem dos conceitos por trás do desenvolvimento do Mininet-WiFi. Essas divergências foram observadas durante o trabalho de desenvolvimento da ontologia que foi realizado sempre observando como os elementos da ontologia seriam passados para o Mininet-WiFi no momento da construção da topologia de rede. Um dos exemplos dessa divergência, está na forma como o Mininet-WiFi implementa a criação de interfaces e realiza a atribuição de alguns parâmetros da rede ou do sinal. Mesmo assim foi possível reutilizar a ontologia realizando sua leitura através do owlready2 e a linguagem Python, e criar a topologia de rede com base nas informações passadas.

Pode-se observar, na Figura 31, uma tela mostrando a execução dessa topologia no MiScManager, onde foram coletados os valores referentes à taxa de entrega de pacotes na tabela da direita e alguns atributos de cada nó em cada instante de tempo marcado. Através do raciocínio semântico gerado pela ontologia, o MiScManager testa a comunicação apenas nas interfaces que podem se falar baseado nas instâncias e relacionamentos criados. Ou seja,

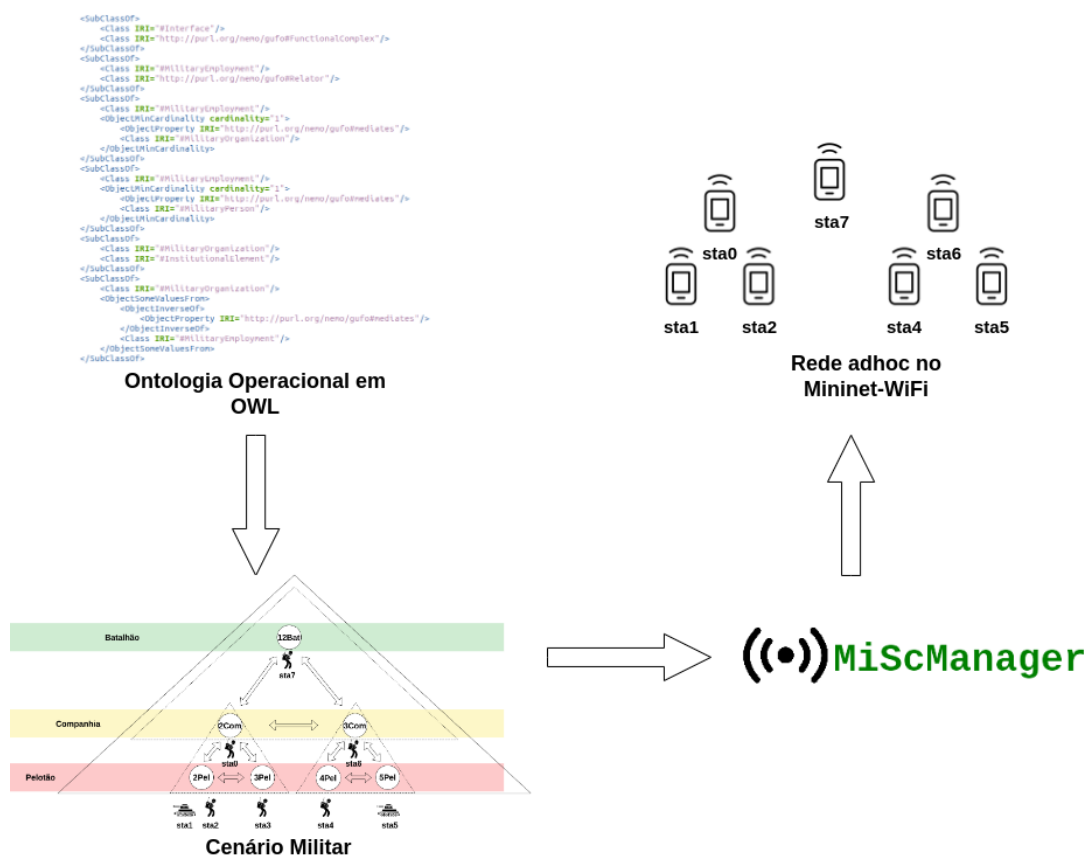


Figura 30 – Ciclo mostrando as fases do experimento desde o desenvolvimento da ontologia de referência até a execução da rede no Mininet-WiFi.

nesses casos, foi aplicado o resultado do raciocínio semântico que gerou os relacionamentos *mayTalkTo* através de instanciações, relacionamentos e regras SWRL baseadas na doutrina militar para tomar decisões na emulação e definir o comportamento dos nós na rede. Apesar de estar sendo mostrado um exemplo enxuto, esse tipo de abordagem pode ser aplicada em cenários complexos onde cada nó da rede pode ter requisitos e restrições distintas.

A Figura 32 mostra as conversas capturadas pelo software Wireshark durante a execução dos experimentos. Em **a)** o resultado de captura é mais fidedigno ao que seria em um ambiente real, pois foram capturadas as conversas realizadas na rede com a restrição imposta pelo *mayTalkTo* e em **b)** é mostrado um experimento sem nenhuma restrição. Dessa forma, é possível observar que a aplicação de políticas de restrição na comunicação resulta em uma diminuição no fluxo de conversas o que pode ser importante para aplicações que precisem receber essa informação para impor restrições em comunicações, reduzindo a chance de vazamento de informações, melhorando o desempenho da rede e reduzindo a possibilidade de ataque na rede.

Da mesma forma, outros tipos de configurações são trazidas da ontologia, como por exemplo, a velocidade com que os nós se movem na rede, que está relacionada ao fato de um militar estar à pé ou em um veículo, também levando em consideração qual tipo de

Em andamento...							
time	name	rss	txpower_if0	txpower_if1	ip_if0	ip_if1	position
35	sta7	adhoc	16	16	192.168.0.16	192.168.0.8	22.53,35.61,0
35	sta4	adhoc	16	16	192.168.0.13	192.168.0.5	42.03,11.86,0
35	sta3	adhoc	16	16	192.168.0.12	192.168.0.4	27.03,10.8,0
35	sta6	adhoc	16	16	192.168.0.15	192.168.0.7	68.24,9.23,0
35	sta0	adhoc	16	16	192.168.0.9	192.168.0.1	8.86,3.36,0
35	sta2	adhoc	16	16	192.168.0.11	192.168.0.3	2.59,2.05,0
35	sta5	adhoc	16	16	192.168.0.14	192.168.0.6	73.17,10.64,0
35	sta1	adhoc	16	16	192.168.0.10	192.168.0.2	18.74,3.03,0
34	sta7	adhoc	16	16	192.168.0.16	192.168.0.8	22.65,35.48,0
34	sta4	adhoc	16	16	192.168.0.13	192.168.0.5	41.89,11.74,0
34	sta3	adhoc	16	16	192.168.0.12	192.168.0.4	27.07,10.91,0
34	sta6	adhoc	16	16	192.168.0.15	192.168.0.7	68.25,9.02,0
34	sta0	adhoc	16	16	192.168.0.9	192.168.0.1	8.89,3.29,0
34	sta2	adhoc	16	16	192.168.0.11	192.168.0.3	2.65,2.15,0
34	sta5	adhoc	16	16	192.168.0.14	192.168.0.6	73.24,10.93,0

time	source	destination	data	value
36	sta0-wlan1-2Company	sta6-wlan1-3Company	ping	1 pacotes transmitidos, 1 recebidos, 0% perda de pacotes, tempo 0ms rtt min/méd/máx = 26.166/26.166/26.166/0.000
35	sta6-wlan1-3Company	sta7-wlan0-12Battalion	ping	1 pacotes transmitidos, 1 recebidos, 0% perda de pacotes, tempo 0ms rtt min/méd/máx = 5.060/5.060/5.060/0.000
34	sta1-wlan1-2Platoon	sta0-wlan0-2Company	ping	1 pacotes transmitidos, 1 recebidos, 0% perda de pacotes, tempo 0ms rtt min/méd/máx = 17.453/17.453/17.453/0.000
33	sta6-wlan0-3Company	sta5-wlan1-5Platoon	ping	1 pacotes transmitidos, 1 recebidos, 0% perda de pacotes, tempo 0ms rtt min/méd/máx = 1.268/1.268/1.268/0.000
32	sta1-wlan1-2Platoon	sta3-wlan1-3Platoon	ping	1 pacotes transmitidos, 1 recebidos, 0% perda de pacotes, tempo 0ms rtt min/méd/máx = 1.257/1.257/1.257/0.000
31	sta4-wlan1-4Platoon	sta6-wlan0-3Company	ping	1 pacotes transmitidos, 1 recebidos, 0% perda de pacotes, tempo 0ms rtt min/méd/máx = 2.271/2.271/2.271/0.000

Figura 31 – *Printscreen* da execução de um experimento mostrando que apenas os nós que possuem o relacionamento `mayTalkTo` se comunicam na emulação da rede.

veículo é esse. Assim, são verificadas as relações das instâncias das classes `MilitaryPerson` que pertencem à classe `MilitaryPersonAsPassenger` ou `MilitaryPersonAsDismounted`. Dessa forma, o sistema identifica as características de cada nó, uma vez que são definidos os atributos de cada *carrier* de acordo com o tipo de veículo, como a velocidade mínima e máxima em metros por segundo, que definirão a forma de locomoção do nó na emulação da rede. Da mesma forma que os veículos e suas velocidades já estão definidos na ontologia. Da mesma forma, também são definidas as organizações militares a que cada militar pertence. Dessa forma, uma inconsistência ontológica pode ser detectada caso um militar seja passageiro em um veículo que pertence a uma OM diferente da dele. A Figura 33 mostra um *printscreen* da tela do MiScManager com uma representação gráfica dos nós se movendo dentro dos quadrantes estabelecidos, que é resultado dessa combinação das informações da ontologia com a emulação da rede.

Ainda, como citado no Capítulo 4.1, a ontologia MiScOn realiza algumas extensões da ontologia CROMO, principalmente especializando o *Kind MilitaryOrganization* em vários *Subkinds* e criando uma relação de subordinação e comando entre os tipos de OM e entre as instâncias de OM. Portanto, na Figura 34 é mostrada uma tomada de decisão diferente na emulação da rede, mas que também é baseada nas informações passadas pela ontologia. Nesse caso, é escolhida como comportamento de comunicação, a opção onde

a)							b)						
Ethernet	IPv4 · 12	IPv6 · 48	TCP	UDP			Ethernet	IPv4 · 28	IPv6 · 47	TCP	UDP		
Address A	Address B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B		Address A	Address B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	
192.168.0.1	192.168.0.16	22	3.080	11	1.540		192.168.0.9	192.168.0.11	12	1.680	6	840	
192.168.0.1	192.168.0.7	20	2.800	10	1.400		192.168.0.9	192.168.0.13	4	560	2	280	
192.168.0.2	192.168.0.9	12	1.680	6	840		192.168.0.9	192.168.0.16	4	560	2	280	
192.168.0.2	192.168.0.4	20	2.800	10	1.400		192.168.0.9	192.168.0.10	4	560	2	280	
192.168.0.2	192.168.0.3	24	3.360	12	1.680		192.168.0.9	192.168.0.14	4	560	2	280	
192.168.0.3	192.168.0.9	18	2.520	9	1.260		192.168.0.9	192.168.0.12	4	560	2	280	
192.168.0.3	192.168.0.4	16	2.240	8	1.120		192.168.0.9	192.168.0.15	12	1.680	6	840	
192.168.0.4	192.168.0.9	20	2.800	10	1.400		192.168.0.10	192.168.0.12	6	840	3	420	
192.168.0.5	192.168.0.6	12	1.680	6	840		192.168.0.10	192.168.0.15	10	1.400	5	700	
192.168.0.5	192.168.0.15	10	1.400	5	700		192.168.0.10	192.168.0.11	12	1.680	6	840	
192.168.0.6	192.168.0.15	18	2.520	9	1.260		192.168.0.10	192.168.0.14	6	840	3	420	
192.168.0.7	192.168.0.16	18	2.520	9	1.260		192.168.0.10	192.168.0.13	4	560	2	280	
							192.168.0.10	192.168.0.16	4	560	2	280	
							192.168.0.11	192.168.0.13	12	1.680	6	840	
							192.168.0.11	192.168.0.16	6	840	3	420	
							192.168.0.11	192.168.0.15	12	1.680	6	840	
							192.168.0.11	192.168.0.12	8	1.120	4	560	
							192.168.0.11	192.168.0.14	4	560	2	280	
							192.168.0.12	192.168.0.16	14	1.960	7	980	
							192.168.0.12	192.168.0.14	4	560	2	280	
							192.168.0.12	192.168.0.15	8	1.120	4	560	
							192.168.0.12	192.168.0.13	10	1.400	5	700	
							192.168.0.13	192.168.0.14	6	840	3	420	
							192.168.0.13	192.168.0.15	8	1.120	4	560	
							192.168.0.13	192.168.0.16	4	560	2	280	
							192.168.0.14	192.168.0.15	12	1.680	6	840	
							192.168.0.14	192.168.0.16	4	560	2	280	
							192.168.0.15	192.168.0.16	10	1.400	5	700	

Figura 32 – Registro das conversas capturadas pelo WireShark. Em **a)** é aplicado o may-TalkTo; Em **b)** todas as interfaces podem se comunicar.

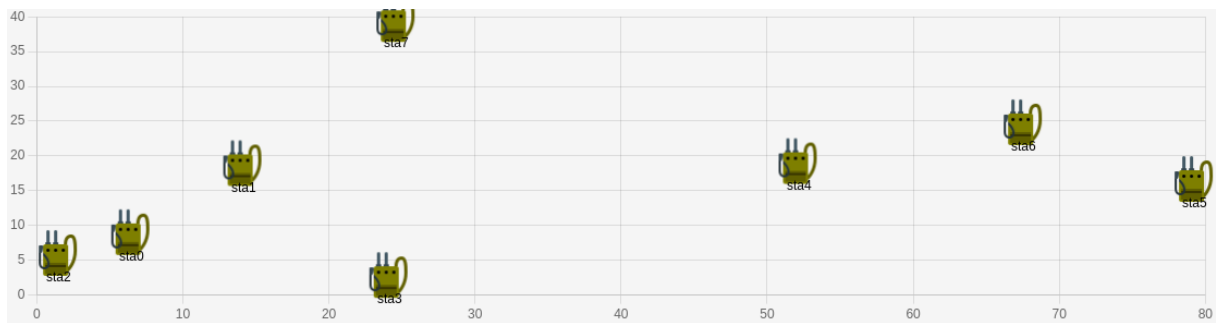


Figura 33 – *Printscreen* da movimentação dos nós dentro dos quadrantes definidos.

todos podem se comunicar, mas com a necessidade de encaminhar os pacotes para os superiores imediatos até chegar ao destino final. Sendo assim, cada escalão se comunica diretamente apenas com seus subordinados e superiores imediatos, utilizando interfaces específicas para cada caso, ou seja, não há possibilidade de comunicação direta com um nível acima ou abaixo na cadeia de comando de um determinado escalão. Em um ambiente real, ao realizar esse encaminhamento por uma cadeia de comando estabelecida, as mensagens têm menos chance de serem mal interpretadas, desviadas ou perdidas. Ainda, poderiam ser adotadas formas de tratamento ou medidas de segurança específicas para cada nível hierárquico ou para cada mensagem enviada. Esse exemplo de comunicação é inspirado nos manuais de doutrina (88, 110, 111). Por conseguinte, essa decisão de encaminhamento é feita verificando as relações de comando e subordinação que foram criadas na ontologia. Assim um nó sabe para quem encaminhar a mensagem de modo a fazê-la chegar no destino final. A Figura 34 mostra no quadrante 1, os valores coletados de cada dispositivo e suas interfaces sobre potência, posição, ip, dentre outros atributos no instante de tempo 22. No quadrante 2 é mostrada que no instante de tempo 22 que é quando se iniciou a comunicação, para a estação sta1 se comunicar com a estação sta5,

a mensagem teve que ser enviada quatro vezes, pois o sta1 do 2º Pelotão envia para o sta0 da 22ª Companhia. Esse por sua vez envia para o sta7 do 12º Batalhão. O sta7 envia para o sta6 da 3ª Companhia. Por fim o sta6 envia para o destino final que é o sta5 do 4º Pelotão. Dessa forma, esse experimento mostra uma outra forma de tomar decisões com base nas informações acerca da hierarquia militar que vieram da ontologia operacional.

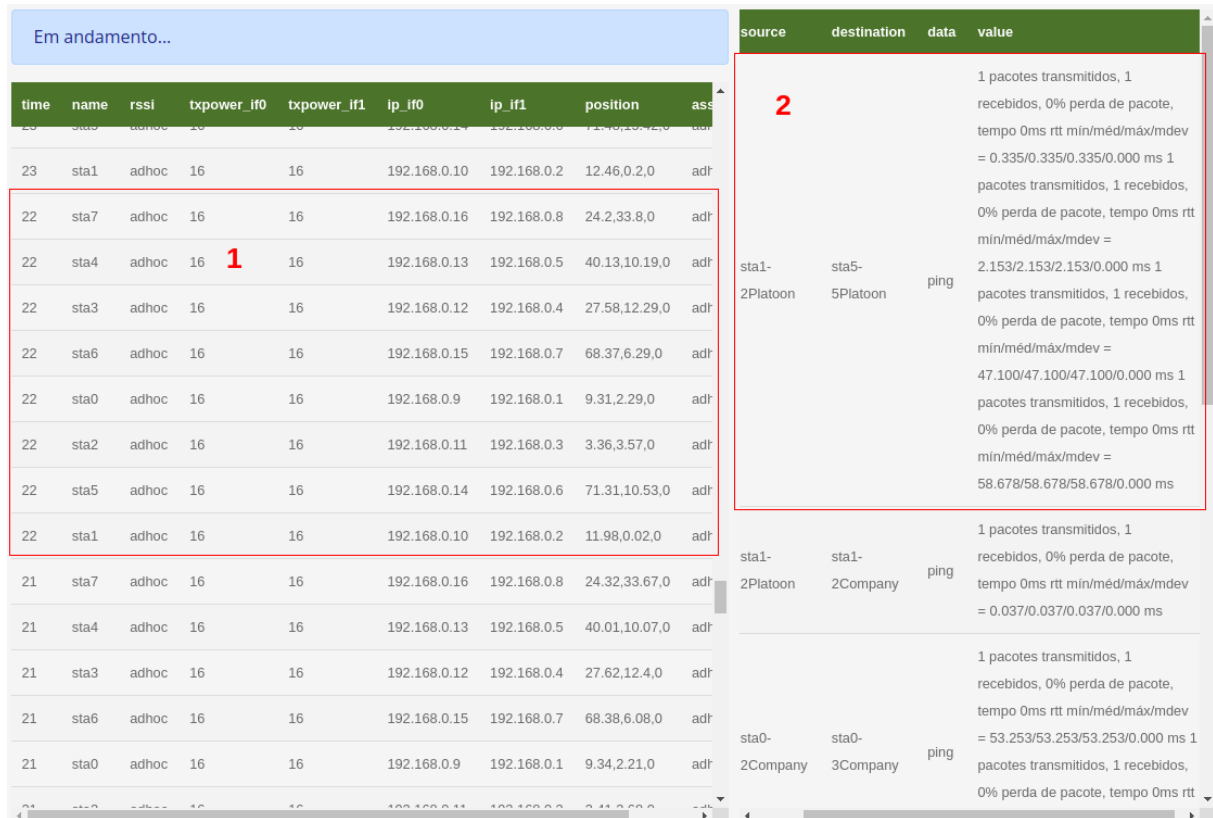


Figura 34 – *Printscreen* da tela de experimento do MiScManager com envio de pacote para os superiores até chegar ao destino final.

### 6.3 Aplicação da Ontologia no S2C2 EmuSim - *Command and Control Simulation Configuration and Orchestration*

O artigo intitulado *Integrating a Multi-Agent System Simulator and a Network Emulator to Realistically Exercise Military Network Scenarios*, apresentado pelos autores em (112), também contou com a contribuição da pesquisa apresentada nesta dissertação, onde o foco foi apresentar um simulador, ainda em desenvolvimento, denominado *S2C2 EmuSim - Command and Control Simulation Configuration and Orchestration*. Esse simulador possui uma arquitetura composta por componentes que fazem a leitura de um cenário militar baseado em OWL, permitindo a execução de um sistema de simulação multiagente, que assim como o MiScManager, faz uso do Mininet-WiFi para a emulação de redes. Além disso, o EmuSim também faz uso do NetLogo, um ambiente de modelagem

programável multiagente onde foram desenvolvidos os modelos de simulação de operações militares. Essa integração de simulação e emulação envolve desafios de sincronização e compartilhamento de dados entre diferentes softwares em execução e visa cobrir aspectos de tomada de decisão e de redes de comunicações em um cenário de batalha militar.

Para a construção dos cenários, o EmuSim trabalha com uma abordagem baseada na Web Semântica utilizando linguagens como a OWL que representa os cenários de forma a permitir uma rica representação de entidades, indivíduos, categorias, inferências, atributos e relacionamentos no campo de batalha, igualmente feito no MiScManager.

Este trabalho não fará uma descrição detalhada de todos os componentes, focando apenas no **S2C2 OWL Loader** que é usado para converter dados OWL, ou para OWL, e que faz uso da ontologia proposta. Mais detalhes sobre os componentes podem ser encontrados no artigo sobre o Emusim (112).

O Emusim, igualmente ao MiScManager, utiliza a biblioteca owlready2 para realizar a leitura da ontologia. Não obstante, diferentemente do MiScManager que já realiza o *upload* da ontologia operacional com o resultado do raciocínio semântico, o Emusim realiza o raciocínio dentro do próprio simulador utilizando o próprio owlready2 e o raciocinador Pellet (113).

## 7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

De acordo com o que foi determinado pela hipótese deste trabalho, foi desenvolvida a ontologia MiScOn, que traz uma reprodução do teatro de operações militares com maior fidedignidade e riqueza semântica, por ser uma ontologia baseada em doutrinas, manuais e desenvolvida com base em uma ontologia de fundamentação. Ainda, essa ontologia pôde ser implementada em versões operacionais e gerar inferências com o uso de raciocinadores. Em vista disso, pelo fato de que essa ontologia é representada em linguagens da Web Semântica, faz com que os cenários desenvolvidos a partir dela possam ser mais facilmente compartilhados e reusados para apoiar no desenvolvimento de sistemas de C2, pois com uma ontologia de referência acerca do cenário de operações, desenvolvedores de sistemas podem se basear em uma visão de mundo unificada e compartilhada, facilitando também o processo de interoperabilidade.

Foram explorados neste trabalho, conceitos do cenário militar que não foram abordados em outras ontologias relacionadas (9, 29, 25, 26), tanto no que se refere ao domínio militar, quanto no domínio das comunicações, como por exemplo, o comportamento na comunicação baseado na doutrina através de regras de inferências, a representação do sistema de comunicação em ambiente militar, as diferentes formas de relacionamentos entre organizações militares na hierarquia, a distinção dos elementos operacionais e institucionais, dentre outros.

Ainda, a abordagem de se criar cenários de operações militares aproveitando as vantagens semânticas providas pela ontologia é uma pesquisa ainda em fase inicial, uma vez que não é uma abordagem convencional para a reprodução de ambientes táticos por meios computacionais como a simulação. Portanto, os problemas de ambiguidade de termos no domínio militar, interoperabilidade entre sistemas de C2 e tomada de decisões elencados neste trabalho são apenas uma pequena porção do universo de possibilidades que podem existir em um cenário tão heterogêneo como o de uma operação militar. Ainda, a modelagem conceitual apresentada, por se tratar de uma porção do domínio das operações militares, está aberta para discussões e análises que podem se modificar ou se estender em trabalhos futuros para se alcançar outros resultados de inferências.

O desenvolvimento de softwares que possam usufruir da ontologia MiScOn também é apresentado como parte da implementação e contribuição deste trabalho. Esse software está disponível para uso e aberto para possíveis extensões<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <https://gitlab.com/andredemori/mini-manager-extension> - Acesso em: 19 nov. 2023

## 7.1 Limitações

Um cenário de operação militar também se caracteriza pela sua dinamicidade, possuindo eventos e situações que o distingue de um cenário estático, onde não há mudança de propriedades com o decorrer do tempo. A ontologia MiScOn é um exemplo de uma representação estática do cenário de operação militar, deixando de fora do escopo dessa dissertação, por uma questão de tempo de pesquisa, conceitos que poderiam ser trazidos do fragmento da UFO denominado UFO-B. Dessa forma, através dos conceitos advindos da UFO-B, seria possível a representação de eventos que acontecem no tempo, e que possuem seu início e fim bem definidos. Além disso, também seria possível a representação dos objetos que participam de cada evento, assim como as pré e pós situações de cada evento. Ainda, pode haver as disposições, que ocorrem em situações específicas quando temos uma mudança de estado, ou através de eventos resultantes (114, 115).

Também pode ser levantado como limitação ferramental neste trabalho o fato de que a linguagem OntoUML não oferece suporte para modelagem multi-nível. Por conseguinte, foi utilizada a estratégia de *punning* (107) mencionada no Capítulo 5. Dessa forma, foram definidos que os *powertypes* seriam especializações dos Endurant Types, que são entidades que existem no tempo, mantendo sua identidade.

## 7.2 Contribuições

Como um dos frutos desta dissertação, destaca-se o trabalho publicado no ONTOBRAS 2022 - 15º Seminário de Pesquisa em Ontologias no Brasil intitulado *Supporting Simulation of Military Communication Systems Using Well-Founded Modeling* (41). No artigo foi apresentada uma primeira versão do desenvolvimento de um cenário de comunicação militar com o uso de uma modelagem conceitual bem fundamentada utilizando a OntoUML. Foi apresentada uma proposta que pudesse ser incorporada em uma primeira adaptação do MiniManager (109) para englobar um cenário militar que pudesse formalizar e descrever um contexto sintético (uma operação militar), onde as emulações de redes com o Mininet-WiFi foram executadas. Ou seja, algumas ações que acontecem nas emulações de rede com o Mininet-WiFi são realizadas por conta de um contexto sintético que foi formalizado por meio da modelagem conceitual, por exemplo, as transmissões feitas que tinham como referência os relacionamentos de comando ou de subordinação entre organizações militares.

A modelagem conceitual e a aceitação do artigo pela comunidade, encorajou a utilização da abordagem de forma mais profunda na reprodução de cenários de operações militares, uma vez que boa parte da implementação no MiniManager se deu como uma implementação *hard coded*, sem que a tomada de decisões fosse feita com base nas inferências de um raciocinador sobre a ontologia. Também não foi feita a utilização de tecnologias da



Web Semântica como a OWL para passar o cenário de operação para o simulador nem uma extensão muito profunda da arquitetura do MiniManager e de seu banco de dados para receber os dados da ontologia operacional.

Na sequência, outro trabalho publicado, que foi fruto da pesquisa desta dissertação, foi o artigo intitulado *A Semantic Web Approach for Military Operation Scenarios Development for Simulation* publicado na 12<sup>th</sup> *International Conference On Data Science, Technology and Applications* (105). Esse artigo mostra as evoluções do trabalho anteriormente apresentado, desenvolvendo o cenário militar através do uso da modelagem conceitual bem fundamentada, porém com mais elementos na modelagem em um cenário mais amplo e demonstrando como foi feito o uso de conceitos e tecnologias voltadas para a Web Semântica como SWRL e OWL. A proposta apresenta exemplos do uso da OWL, como essa linguagem ajuda a expressar o conhecimento e como isso pode ser reusado por softwares que representem o ambiente tático, ajudando também na tomada de decisões.

Mais recentemente, foi publicado o trabalho intitulado *Implementing Military Hierarchical Restrictions in Communication Applications* (116) no 1<sup>st</sup> *Latin American Workshop on Information Fusion*. Nesse trabalho foi mostrado como podem ser incluídas regras na ontologia baseadas na doutrina militar, utilizando linguagens da Web Semântica e o raciocínio semântico. Além disso, foi mostrado como essas regras de inferência podem ser utilizadas como um mecanismo de *enforcement* na tomada de decisões em tecnologias usadas na comunicação militar.

Além dos artigos publicados, também podem ser destacadas as contribuições a seguir:

- Uma ontologia de referência denominada MiScOn (*Military Scenario Ontology*) que representa elementos importantes do cenário de operação militar desenvolvida com o uso da modelagem conceitual bem fundamentada e que pode ser reaproveitada por sistemas de C2;
- Uma implementação da ontologia de referência, denominada ontologia operacional, utilizando linguagens da Web Semântica e que inclui regras de inferência que refletem a doutrina militar;
- Extensão do sistema gerenciador de emulações de redes MiniManager, agora com o nome MiscManager, que tem como diferencial uma arquitetura e um ambiente de configuração baseado na ontologia MiScOn. Esse sistema consegue ler as ontologias operacionais da MiScOn e executar experimentos que levem em consideração a estrutura e as inferências da ontologia.

O desenvolvimento da plataforma MiScManager também é uma contribuição que envolve problemas de desenvolvimento de banco de dados que se baseiam na modelagem

conceitual bem fundamentada e a utilização da emulação de redes para demonstrar como pode ser aplicado o processo de tomada de decisões em redes de comunicações, de forma a fazer com que a rede emulada sofra interferências em seu comportamento causadas pelo ambiente operacional.

Por fim, a ontologia operacional gerada já se encontra em uso pela equipe do projeto S2C2, mais especificamente, pelo software de simulações de operações militares S2C2 Emusim.

## 7.3 Possíveis Extensões e Trabalhos Futuros

Em relação ao MiScManager, versões futuras podem explorar padrões de mobilidade mais realísticos baseados em exercícios militares reais. Parte disso já vem sendo implementada na versão atual<sup>2</sup> com padrões de mobilidade que imitam diferentes formações de tropas, como formação em linha, formação circular e formação em cunha.

Uma outra possibilidade de pesquisa está relacionada aos rádios cognitivos. Nesse sentido, poderiam ser exploradas as formas como as tomadas de decisões no rádio cognitivo podem usufruir do resultado do raciocínio semântico advindo da ontologia. Dessa forma, poderiam ser tomadas decisões não apenas relacionadas ao espectro eletromagnético, mas também relacionadas a questões táticas militares (116). Como mostrado na ontologia MiScOn, existe a possibilidade de criar restrições de comunicações ou decisões baseadas na hierarquia baseadas na doutrina. Dessa forma, as restrições impostas na ontologia poderiam ser usadas como um mecanismo de *enforcement* para o rádio cognitivo tomar decisões.

### 7.3.1 Utilização da Ontologia em Problemas de Interoperabilidade nos Aplicativos de C2

Este trabalho tem forte interseção com a pesquisa acerca dos problemas de interoperabilidade entre os sistemas de comando e controle da Família de Aplicativos de Comando e Controle da Força Terrestre (FAC2FTer), por criar uma ontologia que representa vários dos elementos presentes nesses sistemas com uma semântica rica.

A FAC2FTer possui sistemas implementados e em uso em diferentes escalões, mas que ainda carecem de um modelo de domínio comum para interoperar. Os sistemas C2 em Combate (C2Cmb6) e o Gerenciador de Campo de Batalha (GCB) são exemplos de sistemas que precisam melhorar sua interoperabilidade. Para isso, atualmente buscam-se algumas soluções para criar modelos de dados únicos que possam ser usados, criar um consenso acerca do cenário operacional e também questões relacionadas à arquitetura de

<sup>2</sup> <https://gitlab.com/andredemori/miscon-repository> - Acesso em: 28 nov. 2023

componentes e protocolos de comunicação usados nesses diferentes sistemas, que por vezes, possuem representações muito genéricas que dificultam a interoperabilidade.

A modelagem conceitual da ontologia MiScOn apresenta alguns dos elementos presentes nas representações desses sistemas, como por exemplo, militar, organização militar e os tipos de materiais do C2Cmb6 como os veículos, porém com uma definição semântica mais rica. Uma modelagem bem fundamentada poderia ajudar a encontrar melhores caminhos para a interoperabilidade entre os sistemas através da análise ontológica e do enriquecimento semântico. Na ontologia MiScOn, são representadas as classes **MilitaryOrganization** que por sua vez possuem seus respectivos tipos (*powertypes*). Ainda, todas as plataformas pertencem a uma organização específica. São também definidas as relações de subordinação e comando dos *powertypes* de OM's e as OM's em si. Toda essa representação na MiScOn possui interseção com os diagramas dos aplicativos de C2 da família FAC2FTer conforme mostram os relatórios do projeto S2C2.

Adicionalmente, pode-se extrair da ontologia MiScOn o que se refere à comunicação entre comandantes de diferentes escalões, que está descrito no manual do GCB como Redes de Comando Segregadas por Escalão, que se assemelha muito com a proposta colocada na ontologia. É possível observar uma semelhança muito grande com o experimento usando o MiScManager mostrado no Capítulo 6, onde foram configurados diferentes endereços IPs, um para se comunicar para baixo e outro para se comunicar para cima usando as interfaces **UeUp** e **UeDown**. Isso mostra que o uso da ontologia MiScOn possui interseções com esse tipo de configuração de rede que leva em consideração a hierarquia para definição de redes e o comportamento da comunicação em ambiente real. Assim, a ontologia pode ser usada para ajudar a criar e representar tais redes no GCB.

### 7.3.2 Extensões na Ontologia MiScOn

Outra possível extensão em trabalhos futuros seria abordar com mais profundidade o fragmento da modelagem relacionada às organizações militares. No caso representado pela modelagem conceitual, as organizações militares (**MilitaryOrganization**) fazem parte da categoria de elementos institucionais (**InstitutionalElement**) que possuem um relacionamento de agregação com o cenário (**MilitaryScenario**). Sendo assim, por possuir uma relação de agregação, as organizações militares não possuem uma dependência existencial do cenário militar, podendo existir mesmo que o cenário não exista. Porém, as possibilidades de cenários não se limitam a apenas essa forma de representação. Em alguns casos, como em cenários que representam forças-tarefa, algumas organizações militares podem ser formadas especialmente para o cumprimento de uma missão específica, sendo desmanteladas após o seu encerramento. Sendo assim, **MilitaryOrganization** iria ter uma relação de composição e não de agregação com um **MilitaryScenario**, onde o objeto principal **MilitaryScenario** seria responsável pela criação e destruição dos objetos partes

(MilitaryOrganization).

Ainda, outra possibilidade de extensão seria para representar OM's que são compostas por outras OM's. Por exemplo, em um cenário real, um Batalhão deve ser composto por duas ou mais Companhias. Da mesma forma, uma Companhia deve ser composta de dois ou mais pelotões. E assim por diante entre os diferentes níveis de hierarquia nas organizações militares. Porém na modelagem apresentada neste trabalho não está sendo representada a estrutura das organizações militares nesse nível de representação, importando-se mais com a relação entre comandante e subordinado, abstendo-se de representar a relação de composição.

Outra possibilidade de extensão seria aprofundar a modelagem no que se refere às interfaces e seus tipos, podendo ser utilizada mais uma vez a teoria Multi-Nível. Assim, os atributos `frequencyRange` e `txPowerRange` seriam atributos do tipo da interface e não da interface em si, definindo os limites (*ranges*) para cada interface de determinado tipo. Como a ontologia HINT, que foi reusada pra representar o sistema de comunicação, não representa os *powertypes* de interface, foi optado por não realizar esse tipo de extensão na ontologia MiScOn.

Uma vertente a ser explorada está relacionada ao uso da ontologia em simuladores, como o S2C2 Emusim, mas como uma forma de auxiliar durante a captura de registros, ajudando a capturar os valores de diferentes eventos e situações ao decorrer do tempo. Assim, ao final da execução de um experimento, ou ao final de um evento na simulação, documentos OWL podem ser usados para registrar os valores referentes a uma tomada de decisão ou a um evento que ocorreu. Dessa forma, os eventos e situações que ocorrem na simulação precisam ser modelados para que seja possível realizar esses registros.

## REFERÊNCIAS

- 1 GUIZZARDI, G.; BENEVIDES, A. B.; FONSECA, C. M.; PORELLO, D.; ALMEIDA, J. P. A.; SALES, T. P. Ufo: Unified foundational ontology. Applied Ontology, IOS Press, v. 17, n. 1, p. 167–210, 2022.
- 2 CARVALHO, V. A.; ALMEIDA, J. P. A. Toward a well-founded theory for multi-level conceptual modeling. Software & Systems Modeling, Springer, v. 17, p. 205–231, 2018.
- 3 CARVALHO, V. A.; ALMEIDA, J. P. A.; FONSECA, C. M.; GUIZZARDI, G. Extending the foundations of ontology-based conceptual modeling with a multi-level theory. In: SPRINGER. Conceptual Modeling: 34th International Conference, ER 2015, October 19-22, 2015, Proceedings 34. Estocolmo, Suécia, 2015. p. 119–133.
- 4 W3C Layer Cake Diagram. Acesso em: 15 abr. 2023. Disponível em: <<https://www.w3.org/2007/03/layerCake.png>>.
- 5 BURBANK, J. L.; CHIMENTO, P. F.; HABERMAN, B. K.; KASCH, W. T. Key challenges of military tactical networking and the elusive promise of manet technology. IEEE Communications Magazine, v. 44, n. 11, p. 39–45, 2006.
- 6 MAHMUD, R.; TOOSI, A. N.; RODRIGUEZ, M. A.; MADANAPALLI, S. C.; SIVARAMAN, V.; SCIACCA, L.; SIOUTIS, C.; BUYYA, R. Software-defined multi-domain tactical networks: Foundations and future directions. Mobile Edge Computing, Springer, p. 183–227, 2021.
- 7 SURI, N.; HANSSON, A.; NILSSON, J.; LUBKOWSKI, P.; MARCUS, K.; HAUGE, M.; LEE, K.; BUCHIN, B.; MISIRHOĞLU, L.; PEUHKURI, M. A realistic military scenario and emulation environment for experimenting with tactical communications and heterogeneous networks. In: IEEE. 2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). Bruxelas, Bélgica, 2016. p. 1–8.
- 8 TESOLIN, J.; SILVA, M.; CAMPOS, M. L. M.; MOURA, D.; CAVALCANTI, M. C. Critical communications scenarios description based on ontological analysis. In: ONTOBRAS. Online, Brasil: CEUR-WS, 2020. Vol-2728, p. 212–218.
- 9 SILVA, M. A. A. da. Combinando Técnica e Doutrina por Meio de Conceitos Ontológicos para Representar Cenários Operacionais Militares em Sistemas de Comunicações Cognitivos. Tese (Doutorado) — Instituto Militar de Engenharia, 2023.
- 10 BANKS, J.; NICOL, D. M.; NELSON, B. L.; CARSON, J. S. Discrete Event System Simulation. 5th. ed. Edição Internacional: Pearson, 2009. 640 p. ISBN 0-13-815037-0 / 978-0-13-815037-2.
- 11 LACY, L.; GERBER, W. Potential modeling and simulation applications of the web ontology language-owl. In: IEEE. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. Washington, DC, EUA, 2004. v. 1.
- 12 CIOPPA, T. M.; LUCAS, T. W.; SANCHEZ, S. M. Military applications of agent-based simulations. In: IEEE. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004. Washington, DC, EUA, 2004. v. 1.

- 13 BARCELLOS, M. P.; FALBO, R. de A.; FRAUCHES, V. Towards a measurement ontology pattern language. ONTO. COM/ODISE@ FOIS, v. 1301, 2014.
- 14 Ministério da Defesa - Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. Glossário das Forças Armadas. 5. ed. Brasil, 2015.
- 15 MD, EB, EME. Glossário de Termos e Expressões para Uso no Exército. 5. ed. Brasil, 2018.
- 16 GUIZZARDI, G. Ontological foundations for structural conceptual models. Tese (Doutorado) — University of Twente, 2005.
- 17 GUERSON, J.; SALES, T. P.; GUIZZARDI, G.; ALMEIDA, J. P. A. Ontouml lightweight editor: a model-based environment to build, evaluate and implement reference ontologies. In: IEEE. 2015 IEEE 19th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop. Adelaide, SA, Austrália, 2015. p. 144–147.
- 18 FONTES, R. R.; AFZAL, S.; BRITO, S. H.; SANTOS, M. A.; ROTHENBERG, C. E. Mininet-wifi: Emulating software-defined wireless networks. In: IEEE. 2015 11th International Conference on Network and Service Management (CNSM). Barcelona, Spain, 2015. p. 384–389.
- 19 FONTES, R. d. R.; ROTHENBERG, C. E. Mininet-wifi: A platform for hybrid physical-virtual software-defined wireless networking research. In: ACM SIGCOMM. Proceedings of the 2016 ACM SIGCOMM Conference. Nova York, United States, 2016. p. 607–608.
- 20 ALBERTS, D. S.; HAYES, R. E. Understanding command and control. EUA, 2006.
- 21 RETTORE, P. H. L.; LOEVENICH, J.; LOPES, R. R. F. Tnt: A tactical network test platform to evaluate military systems over ever-changing scenarios. IEEE Access, v. 10, p. 100939–100954, 2022.
- 22 ZHAO, Q.; BROWN, A. J.; KIM, J. H.; GERLA, M. An integrated software-defined battlefield network testbed for tactical scenario emulation. In: IEEE. MILCOM 2019 - 2019 IEEE Military Communications Conference (MILCOM). Norfolk, VA, EUA, 2019. p. 373–378.
- 23 MARCUS, K. M.; CHAN, K. S.; HARDY, R. L.; PAUL, L. Y. An environment for tactical sdn experimentation. In: IEEE. MILCOM 2018-2018 IEEE Military Communications Conference (MILCOM). Los Angeles, CA, EUA, 2018. p. 1–9.
- 24 CAMILO, M. J.; MOURA, D. F. C.; SALLES, R. M. Redes de comunicações militares: desafios tecnológicos e propostas para atendimento dos requisitos operacionais do exército brasileiro. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v. 37, n. 3, 2020.
- 25 TZENG, Y. K.; HSU, I.-C.; CHENG, Y. J.; HUANG, D.-C. A semantic web approach for military scenario development. In: IEEE. 2009 Joint Conferences on Pervasive Computing (JCPC). Tamsui, Taiwan, 2009. p. 321–326.
- 26 PAI, F.-P.; YANG, L.-J.; CHUNG, Y.-C. Multi-layer ontology based information fusion for situation awareness. Applied Intelligence, v. 46, p. 285–307, 2017.

- 27 MAIER, M. W. Architecting principles for systems-of-systems. Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering, Wiley Online Library, v. 1, n. 4, p. 267–284, 1998.
- 28 MARCONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa. 5. ed. Brasil: Editora Atlas S.A, 2002.
- 29 TESOLIN, J. C. C.; DEMORI, A. M.; MOURA, D. F. C.; CAVALCANTI, M. C. Enhancing heterogeneous mobile network management based on a well-founded reference ontology. Future Generation Computer Systems, 2023. ISSN 0167-739X.
- 30 FALBO, R. d. A.; MENEZES, C. S. de; ROCHA, A. R. C. da. A systematic approach for building ontologies. In: COELHO, H. (Ed.). Progress in Artificial Intelligence — IBERAMIA 98. Berlin, Heidelberg, Alemanha: Springer Berlin Heidelberg, 1998. p. 349–360. ISBN 978-3-540-49795-0.
- 31 FALBO, R. Sabio: Systematic approach for building ontologies. In: Proceedings of the 1st Joint Workshop ONTO.COM / ODISE on Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering co-located with 8th International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS 2014). Rio de Janeiro, Brasil: CEUR Workshop Proceedings, 2014. v. 1301.
- 32 CULTURAL, A. Coleção Saberes. Brasil: Astral Cultural, 2022. ISBN 9786555662948.
- 33 GUARINO, N.; GUIZZARDI, G.; MYLOPOULOS, J. On the philosophical foundations of conceptual models. Information Modelling and Knowledge Bases, v. 31, n. 321, p. 1, 2020.
- 34 HEFLIN, J.; HENDLER, J. Semantic interoperability on the web. In: Proceedings of Extreme Markup Languages. Montreal, Canadá: Citeseer, 2000. v. 2000, p. 111–120.
- 35 SCHERP, A.; SAATHOFF, C.; FRANZ, T.; STAAB, S. Designing core ontologies. Applied Ontology, IOS Press, v. 6, n. 3, p. 177–221, 2011.
- 36 BECCALLI, C. L. P. G. UFO-L: Uma Ontologia Núcleo de Aspectos Jurídicos construída sob a Perspectiva das Relações Jurídicas. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.
- 37 FALBO, R. de A.; BARCELLOS, M. P.; NARDI, J. C.; GUIZZARDI, G. Organizing ontology design patterns as ontology pattern languages. In: CIMIANO, P.; CORCHO, O.; PRESUTTI, V.; HOLLINK, L.; RUDOLPH, S. (Ed.). The Semantic Web: Semantics and Big Data. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 61–75. ISBN 978-3-642-38288-8.
- 38 MEALY, G. H. Another look at data. In: Proceedings of the November 14-16, 1967, fall joint computer conference. Nova York, NY, EUA: ACM Digital Library Proceedings, 1967. p. 525–534.
- 39 BARCELOS, P. P.; MONTEIRO, M. E.; SIMÕES, R. d. M.; GARCIA, A. S.; SEGATTO, M. E. Ootn-an ontology proposal for optical transport networks. In: IEEE. 2009 International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops. São Petersburgo, Rússia, 2009. p. 1–7.

- 40 BARCELOS, P. P. F.; REGINATO, C. C.; MONTEIRO, M. E.; GARCIA, A. S. On the importance of truly ontological distinctions for standardizations: A case study in the domain of telecommunications. Computer Standards & Interfaces, Elsevier, v. 44, p. 28–41, 2016.
- 41 DEMORI, A. M.; TESOLIN, J. C. C.; CAVALCANTI, M. C. R.; MOURA, D. F. C. Supporting simulation of military communication systems using well-founded modeling. In: Proceedings of the XV Seminar on Ontology Research in Brazil (ONTOBRAS 2022) and VI Doctoral and Masters Consortium on Ontologies (WTDO 2022). Online, Brasil: CEUR Workshop Proceedings, 2022.
- 42 GRIFFO, C.; ALMEIDA, J. P. A.; GUIZZARDI, G. A pattern for the representation of legal relations in a legal core ontology. In: JURIX 2016. Nice, França: IOS Press, 2016. p. 191–194.
- 43 VERDONCK, M.; GAILLY, F.; CESARE, S. D.; POELS, G. Ontology-driven conceptual modeling: A systematic literature mapping and review. Applied Ontology, IOS press, v. 10, n. 3-4, p. 197–227, 2015.
- 44 GUIZZARDI, G. On ontology, ontologies, conceptualizations, modeling languages, and (meta)models. In: IOS PRESS. Databases and Information Systems IV: Selected Papers from the Seventh International Baltic Conference, DB&IS'2006. Vilnius, Lituânia, 2007. v. 155, p. 18.
- 45 BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. UML: guia do usuário. Brasil: Elsevier Brasil, 2006.
- 46 RICHTERS, M.; GOGOLLA, M. Ocl: Syntax, semantics, and tools. In: CLARK, T.; WARMER, J. (Ed.). Object Modeling with the OCL: The Rationale behind the Object Constraint Language. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 42–68. ISBN 978-3-540-45669-8.
- 47 CHEN, P. P.-S. The entity-relationship model—toward a unified view of data. ACM transactions on database systems (TODS), Acm Nova York, NY, EUA, v. 1, n. 1, p. 9–36, 1976.
- 48 VERDONCK, M.; GAILLY, F.; PERGL, R.; GUIZZARDI, G.; MARTINS, B.; PASTOR, O. Comparing traditional conceptual modeling with ontology-driven conceptual modeling: An empirical study. Information Systems, v. 81, p. 92–103, 2019. ISSN 0306-4379.
- 49 GUARINO, N. Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy. Trento, Itália: IOS press, 1998.
- 50 GUIZZARDI, G.; FALBO, R. de A.; GUIZZARDI, R. S. Grounding software domain ontologies in the unified foundational ontology (ufo): The case of the ode software process ontology. In: CITESEER. CibSE. Recife, Pernambuco, Brasil, 2008. p. 127–140.
- 51 GUIZZARDI, G.; ALMEIDA, J. P.; GUIZZARDI, R.; BARCELLOS, M. P.; FALBO, R. Ontologias de fundamentação, modelagem conceitual e interoperabilidade semântica. In: CITESEER. Proceedings of the Iberoamerican Meeting of Ontological Research. Anais. Gramado, Brasil, 2011.



- 52 GUIZZARDI, G.; WAGNER, G.; GUARINO, N.; SINDEREN, M. van. An ontologically well-founded profile for uml conceptual models. In: SPRINGER. Advanced Information Systems Engineering: 16th International Conference, CAiSE 2004, June 7-11, 2004. Proceedings 16. Riga, Latônia, 2004. p. 112–126.
- 53 GUIZZARDI, G. Modal aspects of object types and part-whole relations and the de re/de dicto distinction. In: SPRINGER. Advanced Information Systems Engineering: 19th International Conference, CAiSE 2007, June 11-15, 2007. Proceedings 19. Trondheim, Noruega, 2007. p. 5–20.
- 54 GUIZZARDI, G. The problem of transitivity of part-whole relations in conceptual modeling revisited. In: SPRINGER. Advanced Information Systems Engineering: 21st International Conference, CAiSE 2009, June 8-12, 2009. Proceedings 21. Amsterdã, Países Baixos, 2009. p. 94–109.
- 55 GUIZZARDI, G. Ontological foundations for conceptual part-whole relations: The case of collectives and their parts. In: SPRINGER. Advanced Information Systems Engineering: 23rd International Conference, CAiSE 2011, June 20-24, 2011. Proceedings 23. Londres, Reino Unido, 2011. p. 138–153.
- 56 GUIZZARDI, G. On the representation of quantities and their parts in conceptual modeling. In: IAOA. 6th International Conference on Formal Ontology in Information Systems, FOIS 2010. Toronto, Canadá: IOS Press, 2010. p. 103–116.
- 57 GUIZZARDI, G. Representing collectives and their members in uml conceptual models: An ontological analysis. In: SPRINGER. Advances in Conceptual Modeling—Applications and Challenges: ER 2010 Workshops ACM-L, CMLSA, CMS, DE@ ER, FP-UML, SeCoGIS, WISM, November 1-4, 2010. Proceedings 29. Vancouver, BC, Canadá, 2010. p. 265–274.
- 58 GUIZZARDI, G.; MASOLO, C.; BORGO, S. In defense of a trope-based ontology for conceptual modeling: An example with the foundations of attributes, weak entities and datatypes. In: SPRINGER. 25th International Conference on Conceptual Modeling. Tucson, AZ, EUA, 2006. p. 112–125.
- 59 MASOLO, C.; GUIZZARDI, G.; VIEU, L.; BOTTAZZI, E.; FERRARIO, R. et al. Relational roles and qua-individuals. In: AAAI PRESS-MIT PRESS. AAAI Fall Symposium on Roles, an interdisciplinary perspective. Arlington, Virgínia, 2005. p. 103–112.
- 60 GUIZZARDI, G. Agent roles, qua individuals and the counting problem. In: SPRINGER. International Workshop on Software Engineering for Large-Scale Multi-agent Systems. St. Louis, Missouri, EUA, 2005. p. 143–160.
- 61 GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. What’s in a relationship: An ontological analysis. In: SPRINGER. International Conference on Conceptual Modeling. Barcelona, Espanha, 2008. p. 83–97.
- 62 GUARINO, N.; GUIZZARDI, G. “we need to discuss the relationship”: revisiting relationships as modeling constructs. In: SPRINGER. Advanced Information Systems Engineering: 27th International Conference, CAiSE 2015, June 8-12, 2015, Proceedings 27. Estocolmo, Suécia, 2015. p. 279–294.

- 63 GUIZZARDI, G.; ZAMBORLINI, V. Using a trope-based foundational ontology for bridging different areas of concern in ontology-driven conceptual modeling. Science of Computer Programming, Elsevier, v. 96, p. 417–443, 2014.
- 64 GÄRDENFORS, P. Conceptual spaces: The geometry of thought. EUA: MIT press, 2004.
- 65 GÄRDENFORS, P. How to make the semantic web more semantic. In: Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004). Turin, Itália: IOS Press, 2004. p. 19–36.
- 66 FONSECA, C. M.; ALMEIDA, J. P. A.; GUIZZARDI, G.; CARVALHO, V. A. Multi-level conceptual modeling: Theory, language and application. Data & Knowledge Engineering, v. 134, p. 101894, 2021. ISSN 0169-023X.
- 67 CARVALHO, V. A.; ALMEIDA, J. P. A.; GUIZZARDI, G. Using a well-founded multi-level theory to support the analysis and representation of the powertype pattern in conceptual modeling. In: SPRINGER. Advanced Information Systems Engineering: 28th International Conference, CAiSE 2016, June 13-17, 2016. Proceedings 28. Liubliana, Eslovênia, 2016. p. 309–324.
- 68 FARIA, M. R.; FIGUEIREDO, G. B. de; CORDEIRO, K. de F.; CAVALCANTI, M. C.; CAMPOS, M. L. M. Applying multi-level theory to an information security incident domain ontology. In: ONTOBRAS. Porto Alegre, Brasil: CEUR Workshop Proceedings, 2019.
- 69 CARVALHO, V. A.; ALMEIDA, J. P. A.; FONSECA, C. M.; GUIZZARDI, G. Multi-level ontology-based conceptual modeling. Data & Knowledge Engineering, Elsevier, v. 109, p. 3–24, 2017.
- 70 CARVALHO, V. A.; ALMEIDA, J. P. A.; FONSECA, C. M.; GUIZZARDI, G. Multi-level ontology-based conceptual modeling. Data & Knowledge Engineering, v. 109, p. 3–24, 2017. ISSN 0169-023X. Special issue on conceptual modeling — 34th International Conference on Conceptual Modeling.
- 71 BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. Scientific american, JSTOR, v. 284, n. 5, p. 34–43, 2001.
- 72 World Wide Web Consortium (W3C). OWL - Web Ontology Language. 2023. Acesso em: 23 out. 2023. Disponível em: <<https://www.w3.org/OWL/>>.
- 73 HITZLER, P. A review of the semantic web field. Communications of the ACM, ACM Nova York, NY, EUA, v. 64, n. 2, p. 76–83, 2021.
- 74 LACY, L. W.; BLAIS, C. Semantic web: Implications for modeling and simulation system interoperability. Proceedings of the Fall 2004 Simulation Interoperability Workshop, Simulation Interoperability Standards Organization, Orlando, F, 2004.
- 75 MCGREGOR, I. The relationship between simulation and emulation. In: IEEE. Proceedings of the Winter Simulation Conference. San Diego, CA, EUA, 2002. v. 2, p. 1683–1688.
- 76 FONTES, R. Mininet-Wifi: Emulation Platform For Software-Defined Wireless Networks. Tese (Doutorado) — PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP-Brasil, 2018.

- 77 VARGA, A.; HORNIG, R. An overview of the omnet++ simulation environment. In: Proceedings of the 1st International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems Workshops. Bruxelas, Bélgica: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008. (Simutools '08). ISBN 9789639799202.
- 78 CHAN, M.-C.; CHEN, C.; HUANG, J.-X.; KUO, T.; YEN, L.-H.; TSENG, C.-C. Opennet: A simulator for software-defined wireless local area network. In: 2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). Istambul, Turquia: IEEE, 2014. p. 3332–3336.
- 79 MANCINI, E. P.; SONI, H.; TURLETTI, T.; DABBOUS, W.; TAZAKI, H. Demo abstract: realistic evaluation of kernel protocols and software defined wireless networks with dce/ns-3. In: MSWiM '14. Montreal, QC, Canadá: ACM, 2014.
- 80 FONTES, R. dos R.; ROTHENBERG, C. E. Mininet-wifi: Plataforma de emulação para redes sem fio definidas por software. In: SBC. Anais Estendidos do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Gramado, RS, Brasil, 2019. p. 201–208.
- 81 BRASIL; EXÉRCITO; ESTADO-MAIOR. Manual de Emprego Militar C11-1 – Emprego das Comunicações. Brasil, 1997.
- 82 BAR-NOY, A.; CIRINCIONE, G.; GOVINDAN, R.; KRISHNAMURTHY, S.; LAPORTA, T.; MOHAPATRA, P.; NEELY, M.; YENER, A. Quality-of-information aware networking for tactical military networks. In: IEEE. 2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). Seattle, WA, EUA, 2011. p. 2–7.
- 83 ARMY, C. U. Deployed tactical network guidance - appendix d to guidance for 'end state' army enterprise network architecture - version 1.0. In: OFFICE OF THE CHIEF INFORMATION OFFICER, U.S. ARMY. Washington, DC, EUA, 2012.
- 84 BISPO, M. N.; GOMES, G. A. F.; NOVA, J. N. da; MOURA, D. F. C. Emprego de análise baseada em cenários em apoio a projeto de sistemas de comunicações militares. Cadernos CPqD Tecnologia, v. 10, p. 63–76, 2014.
- 85 TREATY, N. A. Heterogeneous tactical networks–improving connectivity and network efficiency. 2019. STO TECHNICAL REPORT TR-IST-124-Part-I.
- 86 ALBERTS, D. S.; GARSTKA, J.; STEIN, F. P. et al. Network centric warfare: Developing and leveraging information superiority. EUA: National Defense University Press Washington, DC, 1999.
- 87 TRANSFORMATION, O. of F. The Implementation of Network-Centric Warfare. EUA: Office of Force Transformation, 2005.
- 88 Brasil. Exército. Comando de Operações Terrestres. Manual de Campanha - Comando e Controle. Brasil, 2023.
- 89 COTER - Comando de Operações Terrestres. Nota Doutrinária nr 04/2021 - Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre. Brasil, 2021.

- 90 JANSEN, N.; KRÄMER, D.; SPIELMANN, M. Testbeds for it systems in tactical environments. In: 2014 IEEE Military Communications Conference. Baltimore, MD, EUA: IEEE, 2014. p. 1293–1298.
- 91 KREUTZ, D.; RAMOS, F. M.; VERISSIMO, P. E.; ROTHENBERG, C. E.; AZODOLMOLKY, S.; UHLIG, S. Software-defined networking: A comprehensive survey. Proceedings of the IEEE, Ieee, v. 103, n. 1, p. 14–76, 2014.
- 92 MCKEOWN, N.; ANDERSON, T.; BALAKRISHNAN, H.; PARULKAR, G.; PETERSON, L.; REXFORD, J.; SHENKER, S.; TURNER, J. Openflow: enabling innovation in campus networks. ACM SIGCOMM computer communication review, ACM Nova York, NY, EUA, v. 38, n. 2, p. 69–74, 2008.
- 93 MENDONCA, M.; ASTUTO, B. N.; OBRACZKA, K.; TURLETTI, T. Software defined networking for heterogeneous networks. IEEE Communications Society Multimedia Communications Technical Committee (ComSoc MMTC) E-Letter, v. 8, n. 3, p. 36–39, 2013.
- 94 SPENCER, J.; WORTHINGTON, O.; HANCOCK, R.; HEPWORTH, E. Towards a tactical software defined network. In: IEEE. 2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). Bruxelas, Bélgica: IEEE, 2016. p. 1–7.
- 95 DOSHI, B.; CANSEVAR, D.; PILIPOVIC, J. Software defined networking for armys tactical network: Promises, challenges, architectural approach, and required s & t work. US Army CERDEC, Tech. Rep., 2016.
- 96 FONTES, R. D. R.; CAMPOLO, C.; ROTHENBERG, C. E.; MOLINARO, A. From theory to experimental evaluation: Resource management in software-defined vehicular networks. IEEE access, IEEE, v. 5, p. 3069–3076, 2017.
- 97 ZACARIAS, I.; SCHWARZROCK, J.; GASPARY, L. P.; KOHL, A.; FERNANDES, R. Q.; STOCCHERO, J. M.; FREITAS, E. P. de. Enhancing mobile military surveillance based on video streaming by employing software defined networks. Wireless Communications and Mobile Computing, Hindawi, v. 2018, 2018.
- 98 KENNEDY, P. J.; AVILA, R. J. Decision making under extreme uncertainty: blending quantitative modeling and scenario planning. Strategy & Leadership, Emerald Group Publishing Limited, v. 41, n. 4, p. 30–36, 2013.
- 99 FELBER, W.; FISCHER, J.; HEUBERGER, A. Wireless Communication Systems Design for Tactical Software-Defined Radios-From Scenario-Based Analysis to Channel and Waveform Parameter. Alemanha, 2010.
- 100 Simulation Interoperability Standards Organization. Standard for Military Scenario Definition Language (MSDL). 2008. SISO-STD-007-2008 (reaffirmed 11 May 2015).
- 101 Simulation Interoperability Standards Organization. Standard for Coalition Battle Management Language (C-BML) Phase 1, Version 1.0. 2014. SISO-STD-011-2014.
- 102 BLAIS, C.; BROWN, D.; CHARTRAND, S.; DIALLO, S.; HEFFNER, K.; LEVINE, S.; SINGAPOGU, S.; ST-ONGE, M.; SCOLARO, D. Coalition battle management language (c-bml) phase 1 information exchange content and structure specification. 2009.

- 103 BLAIS, C. Strategies for application of the coalition battle management language (c-bml) with the military scenario definition language (msdl). Monterey: Calhoun, the Naval Postgraduate School Institutional Archive, 2012.
- 104 GILMOUR, D. A.; KRAUSE, L. S.; LEHMAN, L. A.; MCKEEVER, W. E.; STIRTZINGER, T. Scenario generation to support mission planning. Rome, NY, USA, 2006.
- 105 DEMORI, A.; TESOLIN, J.; MOURA, D.; GOMES, J.; PEDROSO, G.; CARVALHO, L. S. de; FREITAS, E. P. de; CAVALCANTI, M. C. A semantic web approach for military operation scenarios development for simulation. In: INSTICC. Proceedings of the 12th International Conference on Data Science, Technology and Applications - Volume 1: DATA. Roma, Itália: SciTePress, 2023. p. 390–397. ISBN 978-989-758-664-4.
- 106 ESTADO-MAIOR, B. E. Manual de Campanha - Emprego das comunicações. Brasil, 1997.
- 107 ALMEIDA, J. P. A.; CARVALHO, V. A.; BRASILEIRO, F.; FONSECA, C. M.; GUIZZARDI, G. Multi-level conceptual modeling: Theory and applications. In: CEUR-WS. Proceedings of the XI Seminar on Ontology Research in Brazil and II Doctoral and Masters Consortium on Ontologies, October 1st-3rd, 2018. São Paulo, Brasil, 2018. v. 2228, p. 26–41.
- 108 ALMEIDA, J. P. A.; GUIZZARDI, G.; SALES, T. P.; FALBO, R. A. gUFO: A Lightweight Implementation of the Unified Foundational Ontology (UFO). 2019. <<http://purl.org/nemo/doc/gufo>>. Acesso em: 01 fev. 2023.
- 109 DEMORI, A. M.; SILVA, R. R. M. R. da; ALBUQUERQUE, P. P. L. de; MOURA, D. F. C.; TESOLIN, J. C. C.; CAVALCANTI, M. C. R. Minimanager: Uma proposta de plataforma web para emulação de redes heterogêneas de comunicação móvel. In: SBC. Anais Estendidos do XL Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Fortaleza, CE, Brasil, 2022. p. 17–24.
- 110 TERRESTRES, B. E. C. de O. Manual de Campanha - As comunicações na Força Terrestre. Brasil, 2018.
- 111 TERRESTRES, B. E. C. de O. Manual de Campanha - As comunicações nas operações. Brasil, 2020.
- 112 BARONE, D.; WICKBOLDT, J.; C. Cavalcanti, M.; MOURA, D.; TESOLIN, J.; DEMORI, A.; ANJOS, J.; Silva de Carvalho, L.; GOMES, J.; Pignaton de Freitas, E. Integrating a multi-agent system simulator and a network emulator to realistically exercise military network scenarios. In: INSTICC. Proceedings of the 13th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications - SIMULTECH. Roma, Itália: SciTePress, 2023. p. 194–201. ISBN 978-989-758-668-2. ISSN 2184-2841.
- 113 SIRIN, E.; PARSIA, B.; GRAU, B. C.; KALYANPUR, A.; KATZ, Y. Pellet: A practical owl-dl reasoner. Journal of Web Semantics, Elsevier, v. 5, n. 2, p. 51–53, 2007.
- 114 GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. Towards an ontological foundation of agent-based simulation. In: IEEE. Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC). Phoenix, AZ, EUA, 2011. p. 284–295.

- 115 GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. Dispositions and causal laws as the ontological foundation of transition rules in simulation models. In: IEEE. 2013 Winter Simulations Conference (WSC). Washington, DC, EUA, 2013. p. 1335–1346.
- 116 DEMORI, A. M.; CAVALCANTI, M. C.; TESOLIN, J. C. C.; SILVA, M. A. A. da. Implementing military hierarchical restrictions in communication applications. In: Proceedings of The Latin American Workshop on Information Fusion. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: No prelo, 2023.

## ANEXO A – GLOSSÁRIO DA MODELAGEM CONCEITUAL

- **Mixin:**

- CommDeviceCarrier: Que carrega o dispositivo de comunicação e possui os atributos de velocidade e visibilidade.
- OperationalElement: Conjunto de elementos operacionais que agregam o cenário. Elementos que estão vinculados às atividades práticas e rotineiras que são realizadas para cumprir os objetivos da instituição.

- **Role:**

- Subordinate: Papel que uma organização militar assume quando está diretamente subordinada na hierarquia militar a outra organização.
- Commander: Papel que uma organização militar assume ao ocupar uma posição de comando na hierarquia militar de outra organização.
- HierarchicallyEquivalent: Papel que duas organizações militares distintas assumem quando se encontram em posição de equivalência na hierarquia militar.
- MilitaryPerson: Papel de uma pessoa que tem uma relação de emprego militar com uma organização militar.
- AccessPoint: Dispositivo que recebe o sinal de rede (com ou sem fio) e disponibiliza o sinal Wi-Fi para outros dispositivos eletrônicos.
- Ue: *User Equipment*. Interface usada para comunicação em diferentes níveis de hierarquia. Especializada em UeUp e UeDown.
- UeUp: *User Equipment* usado para falar com comandantes.
- UeDown: *User Equipment* usado para falar com subordinados.
- UeOperator: Papel que um militar assume ao operar uma interface.

- **Phase:**

- MilitaryAsDismounted: Papel do militar que transporta o dispositivo a pé.
- MilitaryAsPassenger: Papel do militar que está localizado em um veículo.

- **Category:**

- MilitaryPlatform: Carrega um dispositivo de comunicação. Sua velocidade impacta diretamente na velocidade com que o dispositivo se move na emulação de rede. Um exemplo é veículo.

- Vehicle: Tipo de plataforma. Possui princípio de identidade pelo fato de que cada veículo é único e possui um número de chassi.
- InstitutionalElement: Set of institutional elements that aggregate the scenario. Elements that are linked to structure and organization. Military organizations.

- **Kind:**

- Person: Um tipo que dá o princípio da identidade ao ser humano.
- MilitaryOrganization: Tipo que confere princípio de identidade a determinada organização inserida no domínio militar.

De acordo com o Glossário do Exército (15):

1. Denominação genérica atribuída à unidade de tropa, repartição, estabelecimento, navio, base, arsenal ou qualquer outra unidade administrativa, tática ou operativa, das Forças Armadas. 2. Organizações do Exército que possuem denominação oficial, quadro de organização e quadro de cargos previstos, próprios.

- WirelessNetwork: A rede de comunicação sem fio.
- CommDevice: Dispositivo de comunicação. Exemplo: rádio, celular.
- Interface: Ponto de conexão do dispositivo.
- MilitaryScenario: Cenário de operação militar. Tem relação com todos os elementos operacionais e institucionais que agregam o cenário onde ocorrerá a simulação da operação militar.

- **Subkind:**

- Armored: Um subtipo para especializar veículos blindados.
- Guarani: Tipo de veículo blindado.
- Urutu: Tipo de veículo blindado.
- Brigade: Um subtipo de organização militar. Uma especialização para o nível de Brigada na hierarquia de organizações militares;
- Battalion: Um subtipo de organização militar. Uma especialização para o nível de Batalhão na hierarquia de organizações militares;
- Company: Um subtipo de organização militar. Uma especialização para o nível de Companhia na hierarquia de organizações militares;
- Platoon: Um subtipo de organização militar. Uma especialização para o nível de Pelotão na hierarquia de organizações militares;
- BattleGroup: Um subtipo de organização militar. Uma especialização para o nível de Grupo de Combate na hierarquia de organizações militares;



- **Relator:**

- MilitaryEmployment: O Thruthmaker da relação entre Militares e Organização Militar.

- **Qualities:**

- amphibiousSpeed: Velocidade anfíbia é um atributo dos veículos blindados que possuem capacidade de se locomover na água.
- minSpeed: Atributo de velocidade mínima do que carrega o dispositivo.
- visibilityRange: É o alcance das armas utilizadas. Importante para fratricídio na simulação.
- maxSpeed: Velocidade máxima em terra do que carrega o dispositivo.
- coverage: Cobertura do dispositivo de comunicação para compartilhar dados com outros dispositivos. No Mininet-WiFi equivale ao atributo *range*.
- antennaGain: Ganho da antena da interface.
- frequency: Frequência usada por tipo de interface.
- txPower: Potência de transmissão usada em um tipo de interface.
- frequencyRange: Intervalo de frequência utilizada pela interface.
- txPowerRange: Intervalo de potência utilizado pela interface.
- channelValue: Canal utilizado no ponto de acesso.
- mac: Endereço mac do dispositivo de comunicação.
- modeValue: IEEE 802.11 *mode*. Exemplo: g.
- ssid: Identificador de Conjunto de Serviços.

- **Modes:**

- Protocol: Protocolo utilizado na interface do dispositivo.