

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

EQUIPE IME PROJETO S2C2

CONSTRUÇÃO DA PROVA DE CONCEITO

**RIO DE JANEIRO
NOVEMBRO/2025**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	CONSTRUÇÃO DA ONTOLOGIA MISCON	3
2.1	ONTOLOGIA DE REFERÊNCIA MISCON	3
2.1.1	MISCON - <i>MILITARY SCENARIO ONTOLOGY</i>	4
2.1.2	APLICAÇÃO DA UFO-MLT	9
2.2	ONTOLOGIA OPERACIONAL MISCON	10
2.3	IMPLEMENTAÇÃO DO MISCMANAGER	18
2.3.1	PRIMEIRA VERSÃO: MINIMANAGER	18
2.3.2	MISCMANAGER	18
2.3.3	IMPLEMENTAÇÃO DO BANCO DE DADOS RELACIONAL	20
2.3.4	INTERFACE DO MISCMANAGER	21
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A CONSTRUÇÃO DA ONTO- LOGIA MISCON	26
3.1	LIMITAÇÕES	27
3.2	CONTRIBUIÇÕES	27
3.3	RESUMO DAS CONTRIBUIÇÕES	29
4	DESENVOLVIMENTOS E RESULTADOS ADICIONAIS	30
4.1	ONTOLOGIAS	30
4.2	OUTROS TRABALHOS	32
	REFERÊNCIAS	35
	ANEXO A – GLOSSÁRIO DA MODELAGEM CONCEITUAL . . .	41

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório complementa os relatórios anteriores de *Especificação de Procedimentos Sistemáticos para apoiar a Interoperabilidade para SoS de C2 (níveis conceitual e lógico)*, e corresponde a um indicador físico de execução da atividade de *Construção da Prova de Conceito* (atividade 3), prevista no Plano de Trabalho do projeto S2C2, para atingir a Meta física 5: *Interop - Conceber linhas de ação para a interoperabilidade de dados com relação à modelagem nos níveis conceitual e lógico*.

Neste relatório, apresentamos como foram aplicadas as sistemáticas apresentadas nos relatórios anteriores, para a construção da ontologia de referência MISCON e sua versão operacional a ser aplicada em sistemas de C2, como prova de conceito.

Vale ressaltar que foram desenvolvidas ao todo quatro (4) ontologias de referência, a saber, CROMO, HINT, MISCON e ATOP. As ontologias HINT e a MISCON foram operacionalizadas em linguagem OWL, enquanto a CROMO e a ATOP foram operacionalizadas e aplicadas diretamente em estudos de caso. Como a ontologia MISCON reusa elementos da CROMO e da HINT, o seu desenvolvimento e operacionalização foram escolhidos para ser o foco deste relatório, cujo conteúdo foi extraído de (1). As demais ontologias e seus estudos de caso estão descritos em (2)(3)(4).

Além da introdução, o presente relatório é estruturado como se segue. No Capítulo 2 são apresentadas as construções da ontologia de referência (seção 2.1) e sua versão operacional (seção 2.2), bem como a descrição do software (seção 2.3) que será usado para demonstrar a aplicação da ontologia operacional (Relatório de Demonstração). O Capítulo 3 apresenta uma conclusão que resume o que foi desenvolvido, suas contribuições (seção 3.2) e suas limitações (seção 3.1).

Além disso, o Capítulo 4 apresenta um resumo a respeito de outras construções e implementações relevantes e relacionadas ao uso de semântica e ontologias, apontando para suas respectivas referências e resultados do projeto S2C2.

2 CONSTRUÇÃO DA ONTOLOGIA MISCON

Este capítulo divide suas sub-seções para apresentar a construção da ontologia de referência MISCON (fases iniciais da abordagem sistemática SABiO) e de sua versão operacional. A seção 2.1 apresenta a análise ontológica do cenário de operações militares. Já a Seção 2.2 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 2.3 são mostrados os principais pontos da implementação do software MiScManager que possui suporte para a ontologia MiScOn. O conteúdo deste capítulo foi extraído de (1).

2.1 Ontologia de Referência MISCON

Este capítulo 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 (5). 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 (6, 7). 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 (8), 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 (9). 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 Brasileiro¹.

2.1.1 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 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 (10, 11), que como explicado no Relatório de *Especificação de Procedimentos Sistemáticos para apoiar a Interoperabilidade para SoS de C2 (nível conceitual*, distingue dois tipos de ontologias de domínio: de referência e operacional. 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 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 (3), 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 e institucionais. Por conseguinte, um cenário possui elementos institucionais (*InstitutionalElement*) e operacionais (*OperationalElement*). A Figura 1 mostra o fragmento da modelagem em OntoUML, onde um cenário militar

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

deve possuir pelo menos um elemento operacional, e um elemento institucional para ser constituído como um cenário de operação militar.

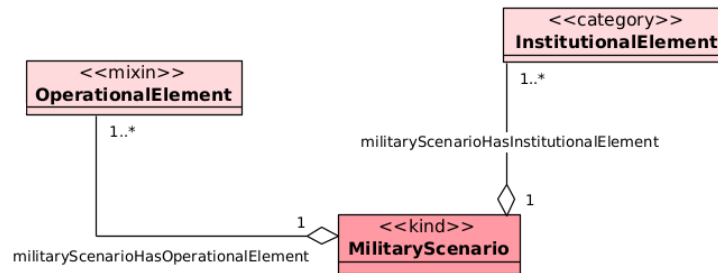


Figura 1 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando `OperationalElement` e `InstitutionalElement` com suas respectivas relações de agregação para `MilitaryScenario`.

Dessa forma, o tipo `MilitaryOrganization` pertence à categoria de elementos institucionais. 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 2 apresenta como é feita essa representação na modelagem conceitual.

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 2 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 (12) 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 3 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.

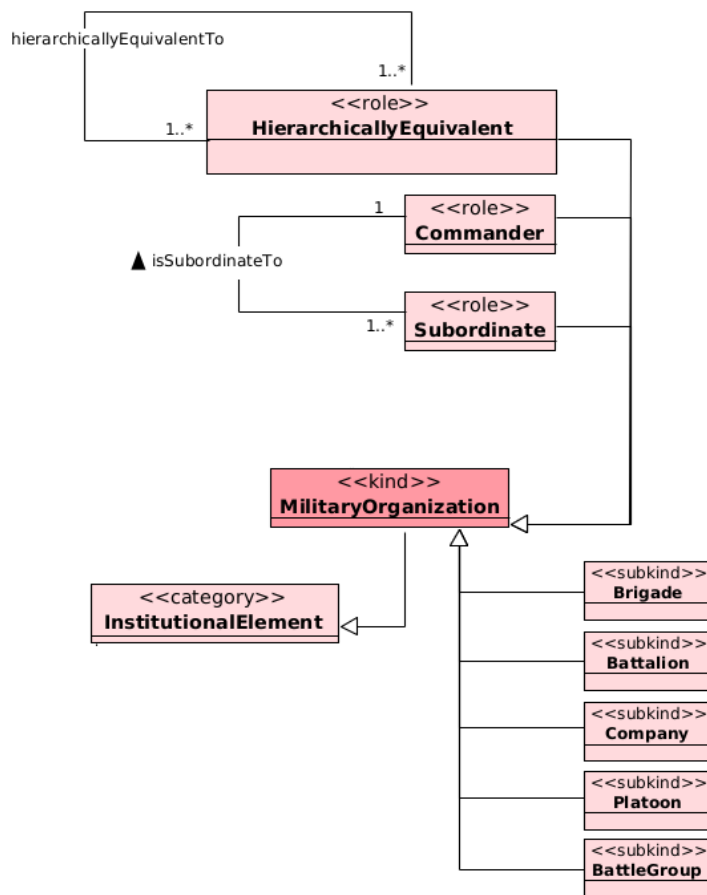


Figura 2 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando **MilitaryOrganization** e suas especializações.

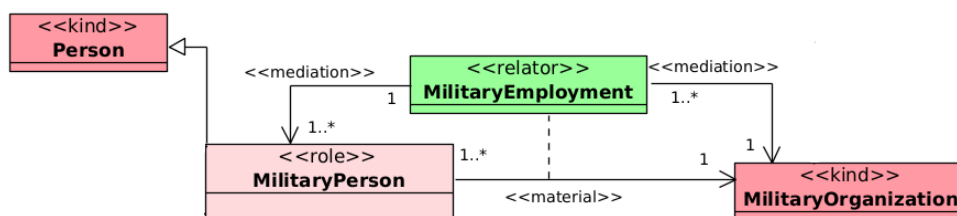


Figura 3 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando a relação entre `MilitaryPerson` e `MilitaryOrganization`.

A Figura 4 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 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.

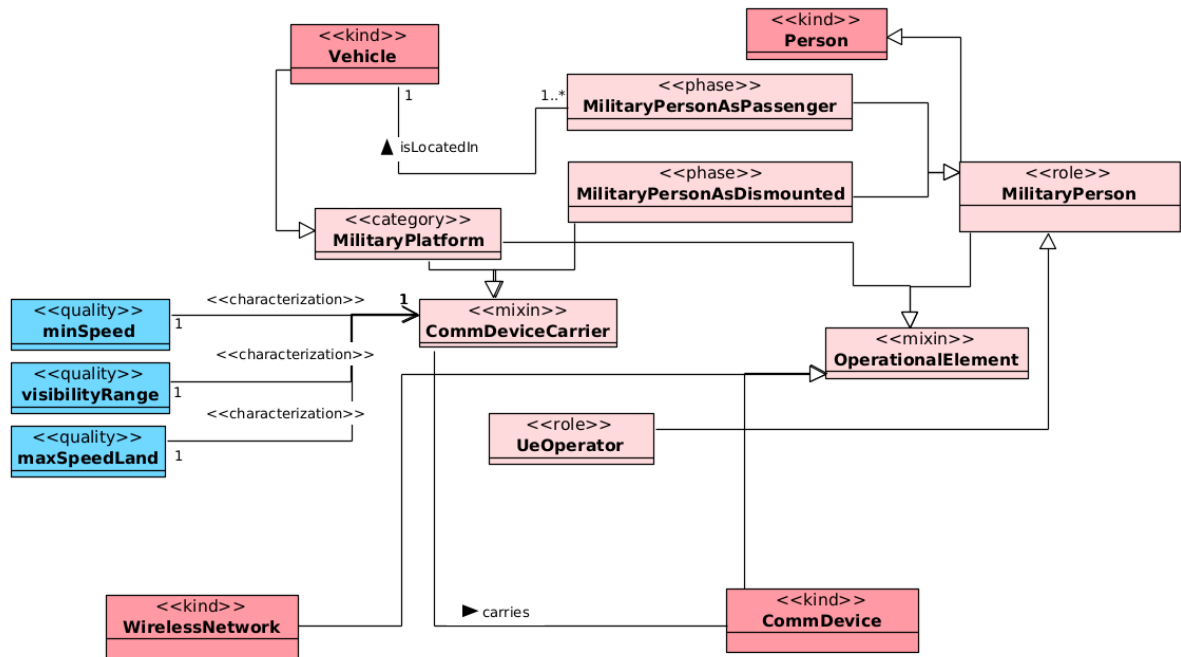


Figura 4 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando as especializações de **MilitaryPerson**, a categoria **MilitaryPlatform**, o *mixin* **CommDeviceCarrier** e seus atributos e por fim **CommDevice**.

Alguns dos elementos citados acima, como cenário, elementos operacionais, militar e organização, são representados na ontologia CROMO (3), 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 5 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.

Além do dispositivo de comunicação (**CommDevice**), outros elementos são apresentados na Figura 6 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 (13). **Ue** possui um auto relacionamento *mayTalkTo*, que é usado para definir quais interfaces **Ue**

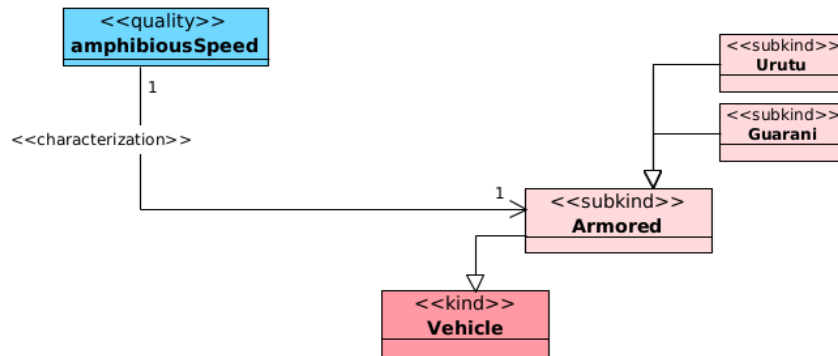


Figura 5 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando as especializações do *Kind* Vehicle.

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 com 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 *Ue* é um operador (*UeOperator*). Será demonstrado no Capítulo 2 como esse relacionamento é inferido pelo raciocinador usando as regras SWRL.

Na Figura 6, *channelValue*, *modeValue* e *ssid* foram definidos como os atributos de um AP.

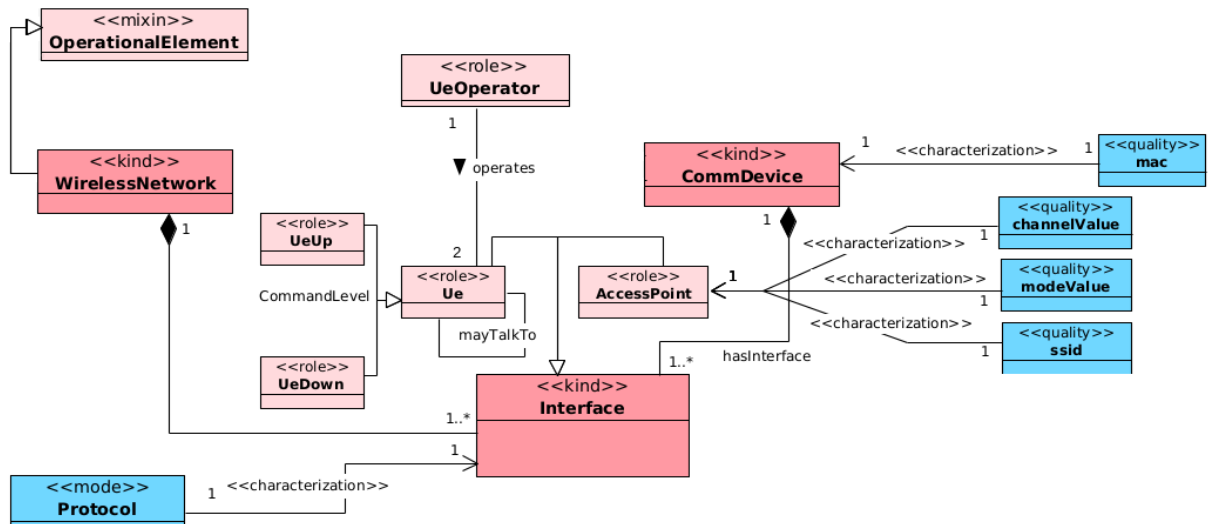


Figura 6 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando os principais elementos do sistema de comunicação.

Algumas classes mostradas no modelo possuem atributos relevantes para a análise do cenário. Por exemplo, a Figura 4 apresenta a classe *CommDeviceCarrier* que possui atributos meta-categorizados como *Qualities*. Esses atributos são relacionados à velocidade de locomoção como *minSpeed* (velocidade mínima de locomoção) e *maxSpeedLand* (veloci-

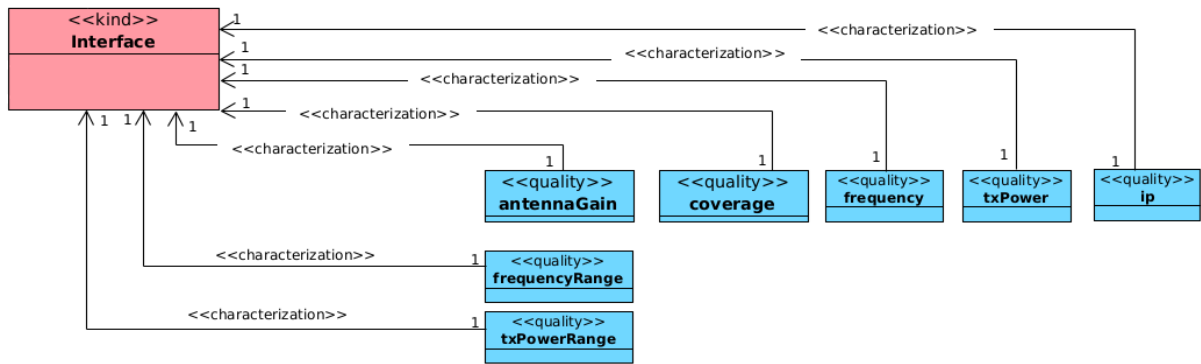


Figura 7 – Fragmento da modelagem conceitual em OntoUML mostrando **Interface** e seus atributos.

dade 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 5, a classe **Armored** possui um atributo que se refere à sua velocidade anfíbia (*AmphibiousSpeed*)², que poderia ser reusado em simulações que desejem reproduzir veículos blindados se deslocando na água. Já na Figura 6, a classe **CommDevice** possui o atributo *mac* para configuração de endereço mac em dispositivos de rede. Finalmente, na Figura 7, a classe **Interface** possui atributos como o ganho de antena (*antennaGain*), cobertura (*coverage*), (*frequency*), (*txPower*), (*ip*), (*frequencyRange*) e (*txPowerRange*).

A Figura 10 representa a modelagem conceitual completa em OntoUML com todos os fragmentos apresentados acima.

2.1.2 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

² Estão sendo representados blindados anfíbios. Extensões da modelagem podem representar não anfíbios.

regras que combinem as instâncias de **MilitaryOrganization** com as instâncias dos seus tipos (*powertypes*). Exemplos dessas regras serão apresentados na seção 2.2.

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.

As Figuras 8 e 9 mostram a modelagem baseada na classificação MLT aplicada à ontologia MiScOn. É possível observar o mesmo padrão apresentado no Capítulo de Fundamentação de (1), onde as especializações de uma classe se tornam instâncias do seu tipo (*powertype*). Ainda, como mostrado nas Figuras 8 e 9, 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 2 e 5. Outra parte foi implementada no editor de ontologias Protegé utilizando a técnica de *punning* (14), como mostrado na Figura 11.

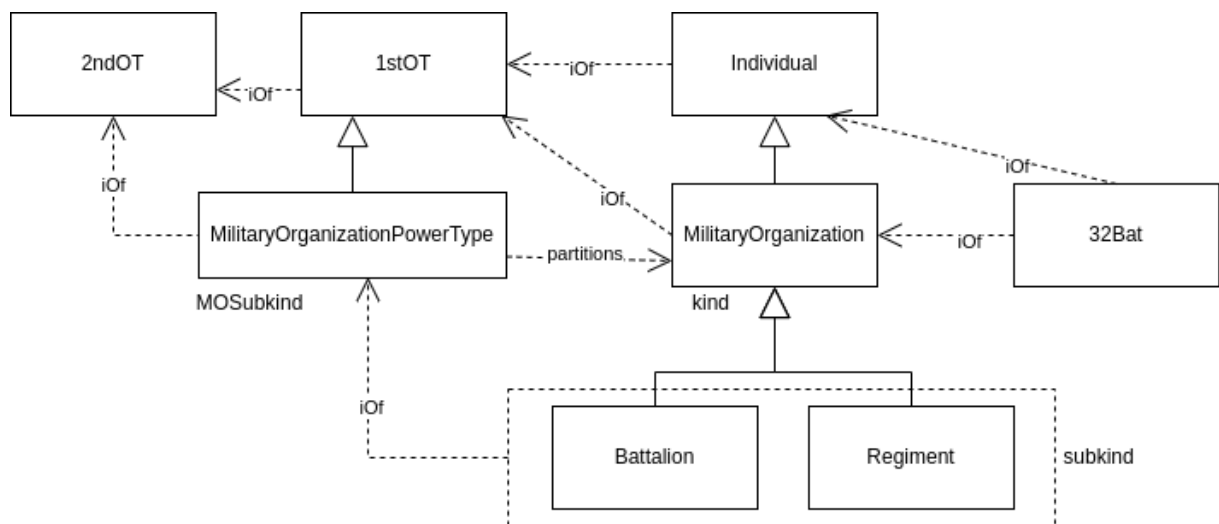


Figura 8 – Estruturas militares usando MLT.

2.2 Ontologia Operacional MISCON

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 (15). A ontologia

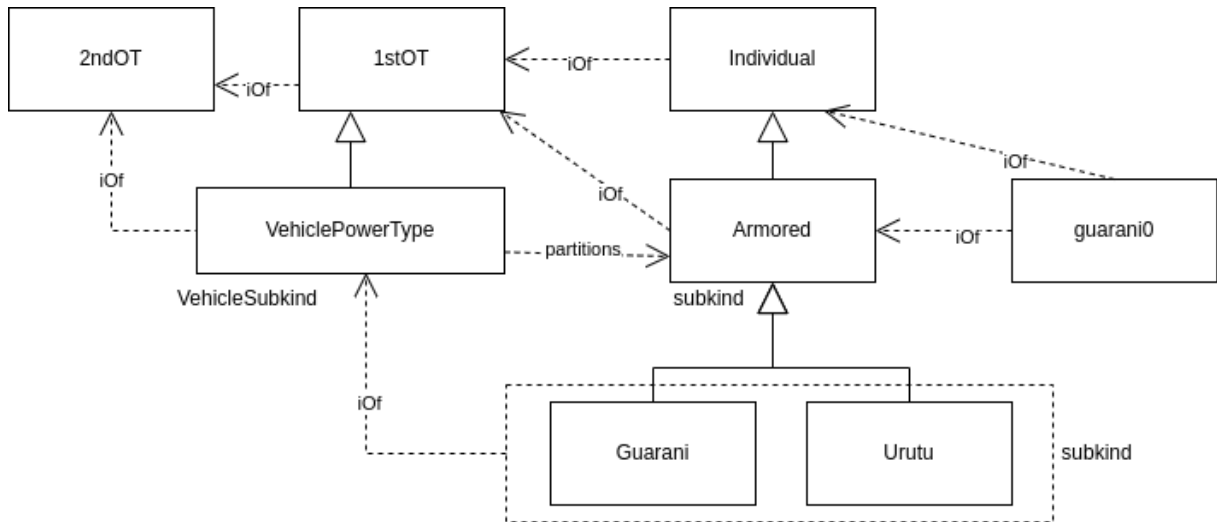


Figura 9 – Tipos de veículos usando MLT.

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 projeto³. O trecho de código 2.1 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;
    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;

```

³ <https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/blob/main/onto/> - Acesso em: 25 nov. 2025.

```
rdfs:label "Interface"@en.
```

Listing 2.1 – 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 2.4 mostra algumas inferências realizadas através da simples definição de relacionamentos, ou pela própria hierarquia de classes. Os Listings 2.2 e 2.3 mostram parte desse processo.

O Listing 2.2 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 2.3, 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 2.2 – 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 2.3 – 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 2.4 – Exemplo de Class Assertion.

Por sua vez, o Listing 2.5 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 2.6. 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 2.6 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 2.5 – 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 2.6 – 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 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 2.7. Neste caso é mostrada uma regra que faz com que uma organização militar assuma o papel de hierarquicamente equivalente (*HierarchicallyEquivalent*) quando duas OMs 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 2.7 – Regra SWRL para estabelecer comunicação quando duas OM's são hierarquicamente equivalentes.

Já na Listing 2.8 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 (declaradas conforme Listing 2.9 ou inferidas como em Listing 2.7). Esse tipo de comunicação é chamado 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 2.8 – 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 2.9 – Declaração de duas OM's hierarquicamente equivalentes.

No exemplo abaixo representado no Listing 2.10, 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 2.10 – 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 (12) de comando e controle e na recomendação dos especialistas consultados no projeto S2C2.

Por sua vez, o exemplo apresentado na Listing 2.11 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 à mesma organização militar à qual a plataforma à 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 2.11 – Regra SWRL para criar uma restrição fazendo com que o militar que está em uma plataforma pertença a mesma OM da plataforma.

No Listing 2.12 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 2.12 – Regra SWRL para definir valores de atributos em instâncias do tipo Guarani.

Um outro exemplo da combinação de regra SWRL com regras de cardinalidade é mostrado na Listing 2.13. 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) ^
-> M0TypeIsSubordinateTo(?ompt2, ?ompt1)

```

Listing 2.13 – Regra SWRL para criar uma restrição na relação de subordinação entre OM's, baseando-se em seus *powertypes*.

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 11, 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 (14). 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 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 identificadas durante o levantamento de requisitos (16) podem ser respondidas. As *queries* abaixo utilizando SPARQL mostram dois exemplos de consultas sendo feitas no RDF que representa a ontologia. O Listing 2.14 mostra uma consulta em SPARQL para verificar quais Ue's podem se comunicar com Ue sta0-wlan1.

```

SELECT ?subject
WHERE {
  ?subject rdf: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 2.14 – Query em SPARQL para consultar as interfaces que se comunicam com o Ue sta0-wlan1.

Já o Listing 2.15 abaixo mostra as OM's que são hierarquicamente equivalentes à organização militar instanciada como 2Company.

```

SELECT DISTINCT ?subject
WHERE {
  ?subject rdf: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 2.15 – Query em SPARQL para consultar as OM's que possuem uma relação de equivalência hierarquica com uma determinada OM.

2.3 Implementação do MiScManager

2.3.1 Primeira versão: MiniManager

O MiniManager nasceu como um projeto de sistema que fosse integrado ao Mininet-WiFi (17, 18, 19) 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, o 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.

2.3.2 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 12 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 (como na Figura 14) 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.

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.

2.3.3 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 2.16 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 2.16 – Classe Python para criar a tabela MilitaryOrganization no banco de dados.

Na Figura 13 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`).

A Figura 13 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 OM's possuem uma relação de subordinação entre elas, assim como cada OM.

2.3.4 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.

Por sua vez, a Figura 15 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.

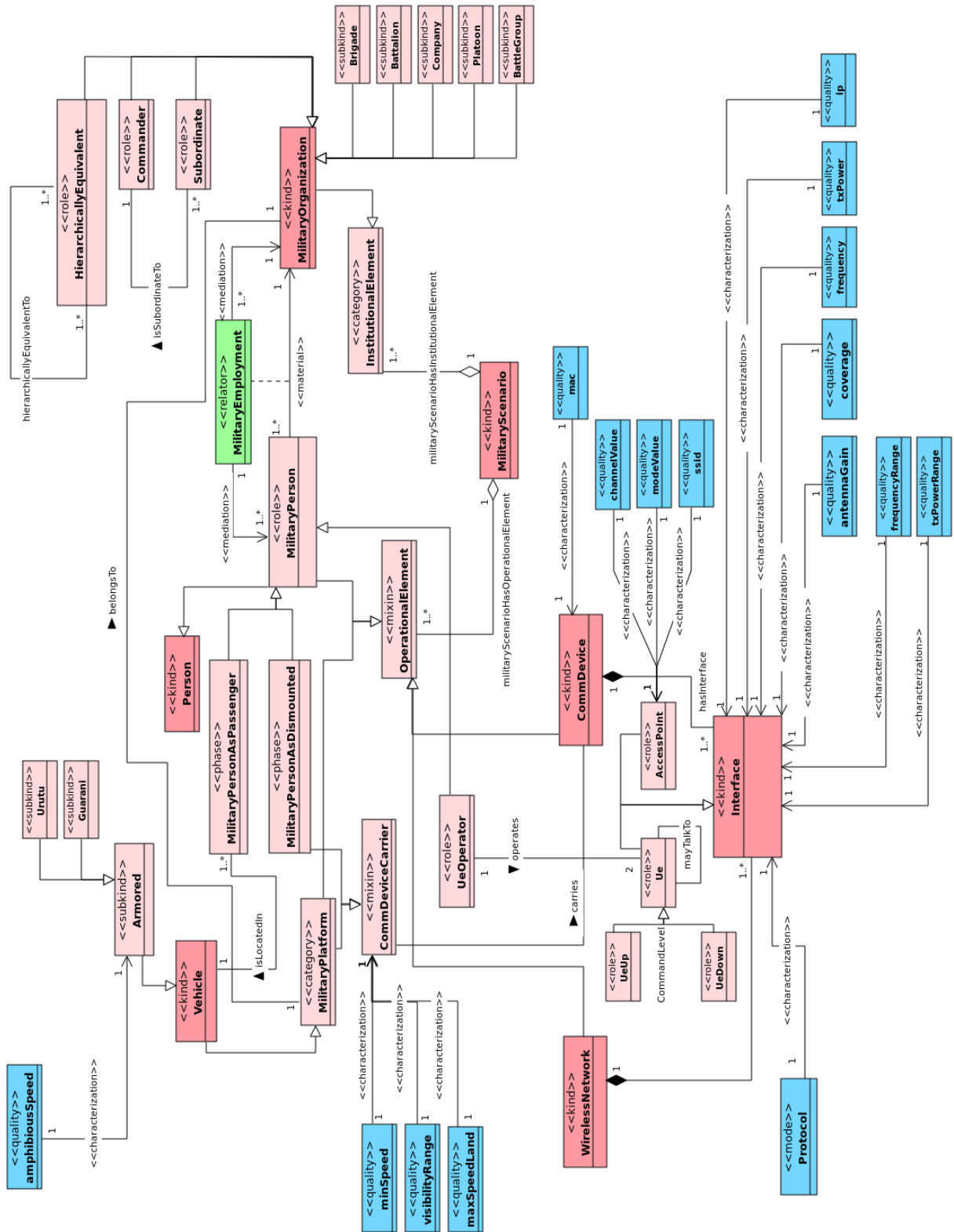


Figura 10 – Modelagem conceitual da ontologia de referência MiScOn com a linguagem OntoUML.

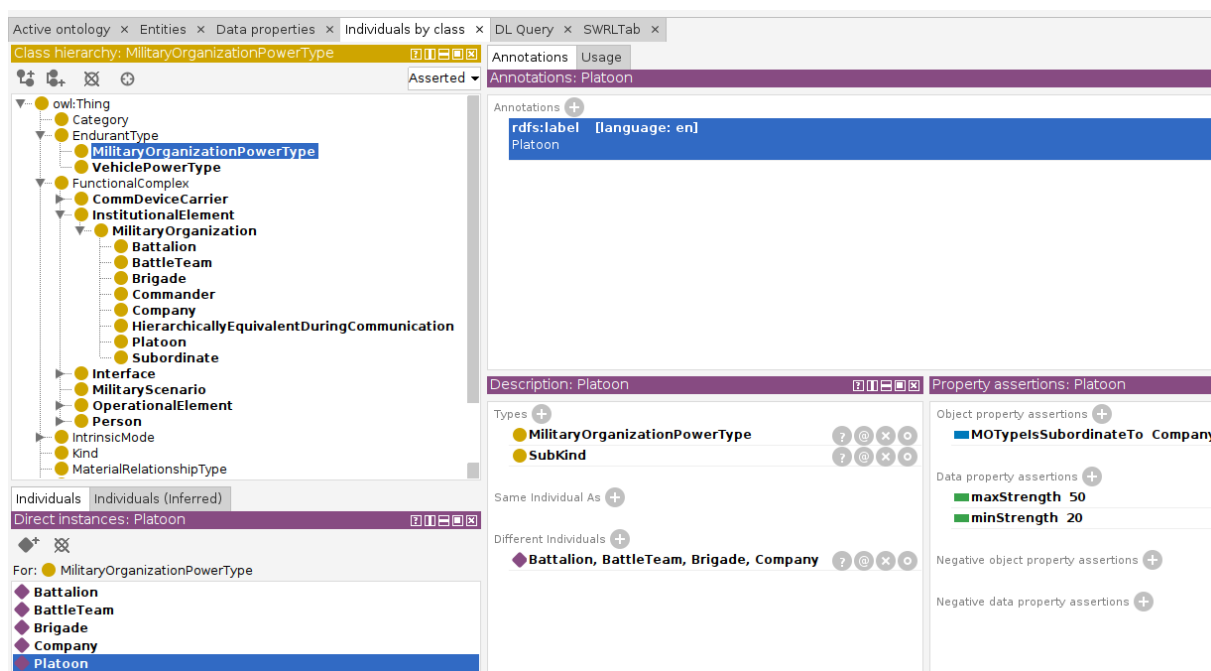


Figura 11 – *PrintScreen* da tela do Protegé mostrando a implementação do conceito de *punning*.

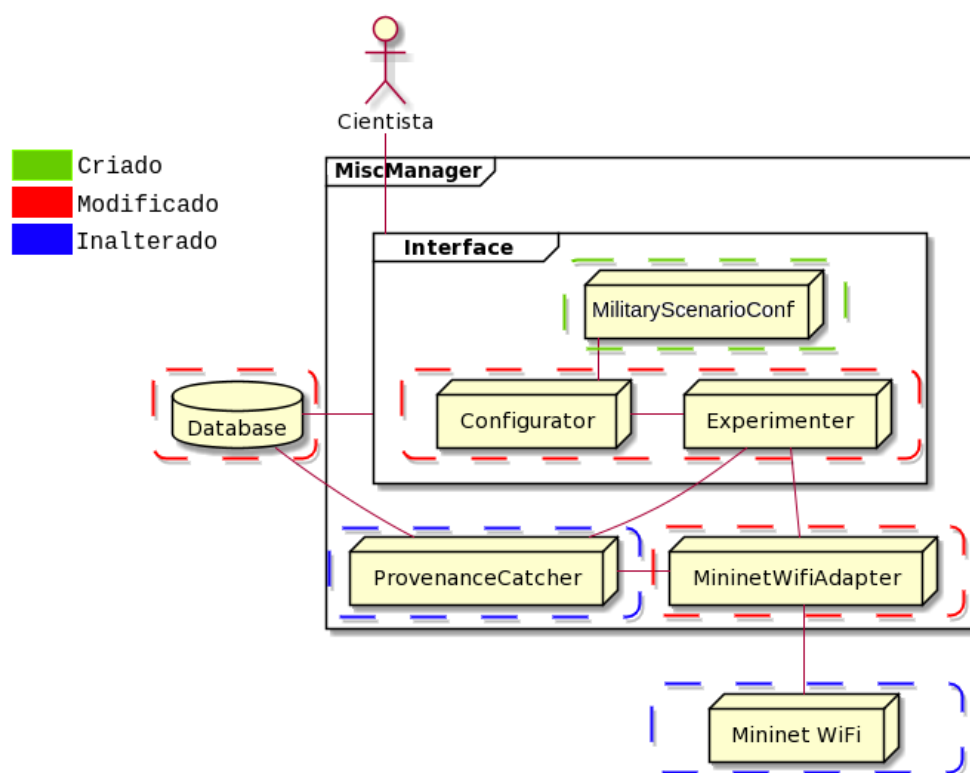


Figura 12 – Arquitetura do MiScManager mostrando a divisão por módulos.

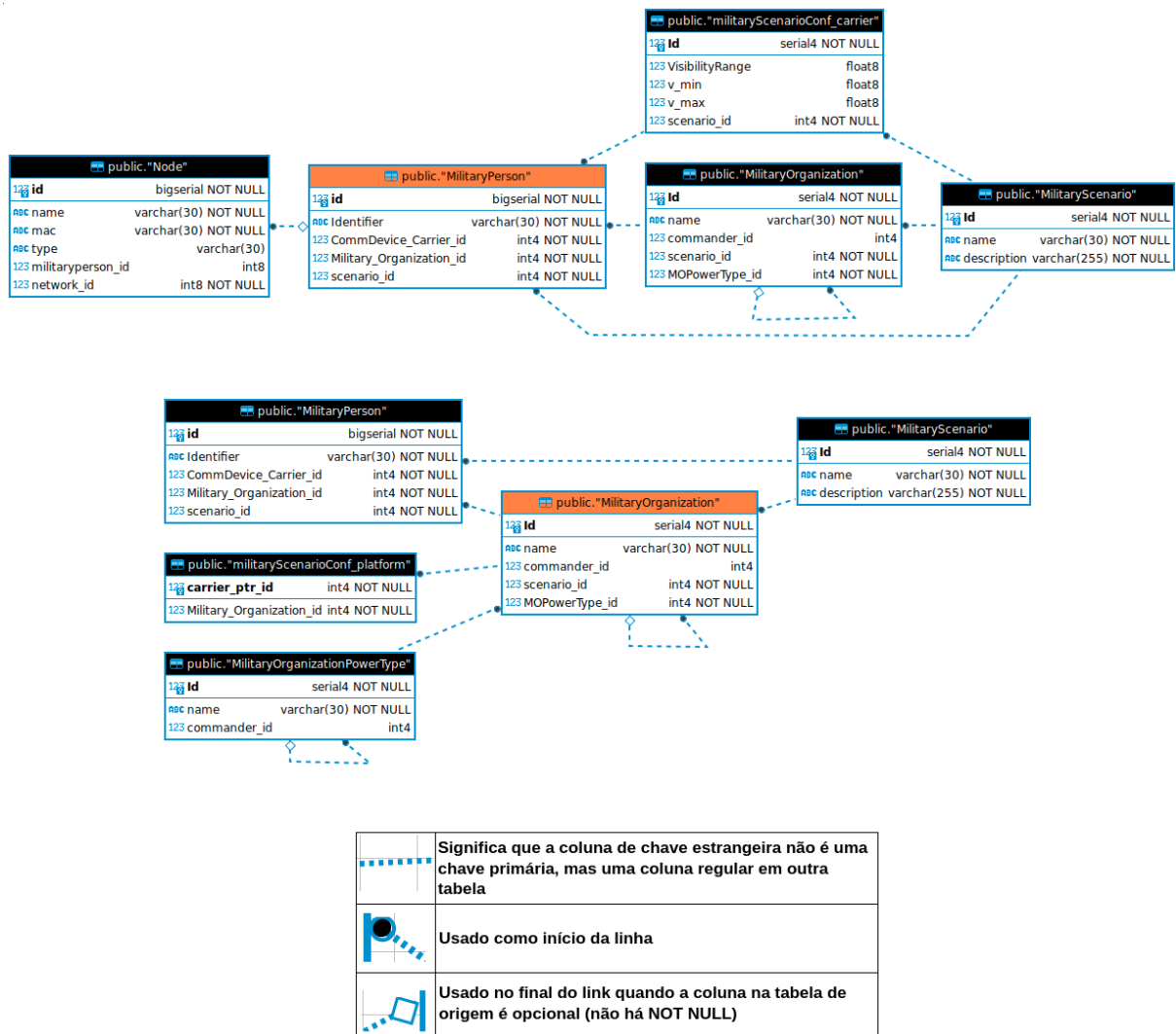


Figura 13 – Representação das tabelas do banco de dados no software DBeaver mostrando a relação entre MilitaryPerson, Node, MilitaryOrganization, Scenario e Carrier.

Network nodes

Select the node type

Station

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

Position mode ---

Figura 14 – Tela de configuração para estações no MiScManager MilitaryVersion.

The screenshot displays the MiScManager web application interface. At the top, there is a navigation bar with the logo and menu items: Sobre, Upload Cenário, Novo Cenário, Novo Plano de Teste, Listar Planos de Testes, and Suporte. The main content area features a modal form for creating a new Military Unit (OM). The form includes the following fields:

- Nome da OM:** A text input field containing the value "2Platoon".
- OM Comandante:** A dropdown menu with "10Bat" selected.
- Tipo:** A dropdown menu with "Platoon" selected.
- Criar OM:** A large, dark button to submit the form.

Below the modal, there are two buttons: "Adicionar Militar" and "Salvar Cenário".

Figura 15 – Tela de configuração manual da hierarquia militar.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A CONSTRUÇÃO DA ONTOLOGIA MISCON

Este relatório descreve como foi desenvolvida a ontologia MiScOn, que traz uma reprodução (recorte) 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 (3, 13, 20, 21), 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 extensões¹.

¹ <https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/tree/main/deliverables/MiScManager>- Acesso em: 25 nov. 2025

3.1 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 (22, 23).

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* (14) mencionada no Capítulo 2. Dessa forma, foram definidos que os *powertypes* seriam especializações dos Endurant Types, que são entidades que existem no tempo, mantendo sua identidade.

3.2 Contribuições

Como um dos resultados deste desenvolvimento, 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* (6). 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 (24) 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 12th *International Conference On Data Science, Technology and Applications* (7). 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.

Outro trabalho, intitulado *Implementing Military Hierarchical Restrictions in Communication Applications* (25), foi apresentado no 1st *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.

3.3 Resumo das contribuições

Em resumo, apresentamos neste relatório o desenvolvimento da ontologia MISCON, uma ontologia de referência para representar cenários militares levando em conta dispositivos de telecomunicações e as características de seus portadores. A ontologia MISCON foi utilizada como base para representar dados de duas aplicações de simulação de cenários de comunicação em operações de C2. Entre as contribuições do trabalho de Demori (1), destacam-se:

- As definições formais dos conceitos de Organização Militar, seus subtipos e as relações de subordinação entre estes.
- A representação dos agentes militares, suas filiações e as plataformas militares.
- A representação dos equipamentos de comunicação e as regras de comunicação conforme a alocação dos mesmos aos agentes militares.
- Publicações: (26, 6, 24, 27, 16, 28, 29)
- Registros: (30)
- Artefatos: <https://comp-ime-eb-br.github.io/S2C2-IME/ontodesc/>

4 DESENVOLVIMENTOS E RESULTADOS ADICIONAIS

Os desenvolvimentos de provas de conceito do projeto S2C2 não se limitaram à construção da ontologia MISCON e ao software MiScManager, relatada no Capítulo 2. Através do procedimento sistemático para desenvolvimento de ontologias apresentado nos relatórios de *Especificação de Procedimentos Sistemáticos para apoiar a Interoperabilidade para SoS de C2 (níveis conceitual e lógico)*, foi possível desenvolver também outras ontologias (seção 4.1), bem como foram construídas suas respectivas provas de conceito.

Além das ontologias construídas, este capítulo apresenta também outros trabalhos (seção 4.2) desenvolvidos no contexto do projeto S2C2 e que utilizam/reusam ontologias do domínio de C2 ou apoiam o seu desenvolvimento.

4.1 Ontologias

No trabalho de Silva (3) foi desenvolvida a CROMO, uma ontologia de referência para representar cenários militares de operação de C2 utilizando rádios cognitivos. Como resultados deste trabalho, destacam-se:

- As definições formais dos conceitos de *situação* e *cena*, bem como suas relações mereológicas envolvendo relações de parte e todo. Além da harmonização desses conceitos no contexto da UFO, apontando as relações existentes entre cenas e eventos, disposições e proposições, além de sua influência nas relações de causalidade entre eventos e ações;
- O desenvolvimento da ontologia *CROMO*, cobrindo o universo de discurso associado ao processo decisório em três porções de conhecimentos, a saber: (i) a descrição do processo de planejamento de comunicações alinhado com o planejamento das operações; (ii) a descrição de um cenário operacional composto por cenas e situações detectáveis por um rádio cognitivo sob pelo menos um aspecto técnico e aspectos táticos relacionados a pelo menos uma operação militar; e (iii) a descrição dos elementos que compõem o Cenário Operacional e as ações envolvidas.
- Publicações: (31, 32, 33, 34)

O mesmo procedimento sistemático foi utilizado para o desenvolvimento de uma terceira ontologia no contexto do projeto S2C2, fruto do trabalho de Jesus (4). Este trabalho apresenta a ontologia de referência chamada ATOp-NavalOntology, cujo objetivo é representar recursos necessários às operações de C2 envolvendo meios operativos navais. Entre as contribuições deste trabalho, destacam-se:

- As definições formais dos conceitos como Plataforma Naval militar, Compartimentos de Armazenamento, Suprimentos e seus subtipos.
- A representação de eventos de operações navais típicas envolvendo plataformas navais, como a atracação e a desatracação.

Ainda, através do mesmo procedimento foi possível desenvolver as ontologias HINT e QVAS. O trabalho de Tesolin (2) apresentou o desenvolvimento dessas duas ontologias de referência. A HINT tem como foco a representação de redes de comunicação sem fio, visando sua melhor gerência e aproveitamento. Já a QVAS abarca conceitos necessários ao monitoramento e registro dos eventos na rede em um cenário de comunicações de uma operação de C2 em andamento. Dentre as contribuições deste trabalho, destacam-se:

- A representação de um novo conceito para aprimorar a descrição ontológica de um ambiente sem fio móvel - o **MEIO** (**Medium**), que não existe nas ontologias de rede disponíveis.
- A revisão da representação de alguns conceitos, como **Servidor** (**Server**) e **Vizinho** (**Neighbor**), que estão mal descritos em algumas ontologias relacionadas à rede e são fundamentais para dar suporte ao processo de transferência (*handover*).
- A desambiguação dos conceitos de **Link** e **Connection**, fornecendo uma compreensão clara do que são, quais entidades vinculam e como estão relacionados.
- A representação dos níveis de rede.
- A representação de medições de sinal, potência, ruído, etc.
- Publicações: (31, 35, 16, 13, 29)
- Registros: (36, 37)

Todas as ontologias mencionadas acima foram desenvolvidas seguindo a recomendação da abordagem SABiO, i.e., utilizando como base uma ontologia de fundamentação. O resultado deste processo são ontologias bem fundamentadas, que tornam explícito seu compromisso ontológico com uma ontologia de fundamentação, e podem portanto, ser classificadas como ontologias de referência. Os artefatos gerados na etapa de captura e formalização das ontologias foram criados utilizando a ferramenta Visual Paradigm¹ habilitada com a linguagem OntoUML², que incorpora a ontologia de fundamentação UFO (38). Os arquivos com essas ontologias de referência em formato VPP estão disponíveis no repositório³ ou na página⁴ do Projeto S2C2.

¹ <https://www.visual-paradigm.com/>

² <https://dev.ontouml.org/>

³ <https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/tree/main/diagrams>

⁴ <https://comp-ime-eb-br.github.io/S2C2-IME/ontodesc/>

Pode-se encontrar as descrições da construção das ontologias nas referências a seguir:

- CROMO: Capítulo 4 da tese de Silva (3).
- HINT/QVaS: Capítulos 4 e 5 da tese de Tesolin (2).
- ATOP: Capítulo 6 da dissertação de Jesus (4).

4.2 Outros trabalhos

Desenvolvimentos relacionados, que utilizam ontologias para interoperabilidade semântica em sistemas de C2, ou que apoiam o desenvolvimento de ontologias para sistemas de C2 também foram concluídos e são relatados a seguir.

No sentido de atender à questão de como apoiar a troca de mensagens em operações de C2, no trabalho de Mosafi (39) foi desenvolvido o “Método de Apoio à Interoperabilidade Semântica de C2 utilizando PLN” (MAISC²). O método **MAISC2** é apresentado na forma de uma especificação constituída de etapas, atividades e tarefas, detalhando como atuar na intermediação das mensagens trocadas em um ambiente de C2, enriquecendo-as semanticamente. Nesse trabalho, foi implementado um protótipo utilizando a abordagem de microserviços (40)(41)(42), e foram realizados experimentos que demonstram a viabilidade da abordagem e do método desenvolvido, como prova de conceito.

Ao longo do desenvolvimento das ontologias constatou-se a dificuldade de identificar conceitos no contexto militar de C2, pois há muitas doutrinas que tratam sobre conceitos, normas e diretrizes fundamentais para o emprego de recursos em operações militares. Essa diversidade de documentos acaba levando a conflitos nas definições dos conceitos e caracteriza esse contexto como complexo. A estruturação da informação contida nas doutrinas na forma de grafos de conhecimento (KG) através do uso de modelos de linguagem de grande porte (LLMs) foi identificada como um caminho viável para a identificação e representação desses conceitos. Entretanto, a escassez de corpus e a falta de modelos de linguagem treinados no domínio de C2, principalmente em Língua Portuguesa, dificultam a estruturação de informações neste contexto.

Para solucionar tais questões, o trabalho de Avelino (43) propõe a **IDEA-C2**, uma abordagem supervisionada para geração de KG apoiada por um metamodelo que abstrai as entidades e as relações expressas nas doutrinas de C2. Para isso, métodos de pré-anotação utilizando regras são aplicados nas doutrinas para potencializar o treinamento do modelo de linguagem. Os experimentos com o protótipo implementado IDEA-C2-tool, mostraram resultados superiores e comparáveis ao estado da arte, gerando KGs expressivos, que podem apoiar a modelagem conceitual e de ontologias. Através dos KGs, é possível

explorar as entidades extraídas dos textos doutrinários de C2 por meio de consultas *ad hoc*, buscando conceitos e relações, e ainda realizar inferências, potencializando a aquisição do conhecimento pelos construtores de ontologias no contexto de operações militares de C2 (44, 45, 46).

Na mesma linha de uso de modelos de linguagem de grande porte (LLMs) para extração e identificação de conceitos, foram desenvolvidos trabalhos relacionados que geraram resultados complementares relevantes. Em (47) foi desenvolvido o método TFORMIX que utiliza LLMs para classificação de textos de acordo com categorias de domínio, com o objetivo de apoiar a decisão. Já em (48) os LLMs foram usados para harmonizar definições durante a construção de vocabulários, que faz parte do processo de engenharia de ontologias.

Um outro trabalho relevante volta-se para o problema de construir um sistema de sistemas de C2. A crescente complexidade dos sistemas modernos exige novas abordagens para a integração e coordenação entre componentes gerenciados de forma independente. O trabalho de Vignoli (49) propõe um método para modelar e projetar Sistemas de Sistemas (SoS), estruturado em duas etapas principais: Conceito e Projeto. O método orienta a identificação das partes interessadas, dos sistemas constituintes, das capacidades e das oportunidades de integração e traduz essas percepções em modelos de processo que especificam interações e mecanismos de troca de dados. Ao aplicar o método a um cenário de gerenciamento de emergências envolvendo comunicação entre os sistemas do Corpo de Bombeiros e da Polícia, foi possível identificar lacunas de interoperabilidade e projetar uma solução integrada para coordenação em tempo real. Os resultados demonstram a capacidade do método de dar suporte a arquiteturas SoS federadas e evolutivas, preservando a autonomia dos sistemas constituintes e, ao mesmo tempo, possibilitando a cooperação e o surgimento de novas funcionalidades. Isso contribui para o avanço da engenharia de SoS, fornecendo uma abordagem estruturada, transparente e replicável que conecta a compreensão do problema à especificação de soluções

O detalhamento de tal método encontra-se descrito em (49)(50), e entre suas contribuições principais, destacam-se:

- O mapeamento de processos e identificação de falhas nas interações e dependências entre os sistemas candidatos a constituintes.
- O detalhamento de quais artefatos devem ser gerados, para explicitar os dados e as novas funcionalidades que requer um SoS.
- A definição de uma arquitetura de SoS incluindo os sistemas existentes e novos sistemas constituintes integradores. Estes últimos atendem às novas funcionalidades que surgem da interoperabilidade com os sistemas existentes.

- A concepção de um método de construção de SoS minimizando a interferência nos sistemas já existentes e adaptável a diferentes cenários operacionais, além de ser escalável para incorporar novos sistemas ou tecnologias conforme necessário, contribuindo para a evolução contínua da arquitetura do SoS.

Por fim, como apoio à publicação de artefatos digitais, como as ontologias e os datasets de treinamento de modelos de linguagem ou de modelos de aprendizado de máquina, foi desenvolvida uma abordagem para publicar metadados de conjuntos de dados e avaliar a qualidade desses conjuntos de dados, considerando suas propriedades específicas. A abordagem denominada ATHENA, descrita em (51)(52)(53), foi implementada como uma combinação de módulos de software. Primeiro, um repositório FAIR Data Point foi instanciado para publicar metadados sobre conjuntos de dados de segurança cibernética. Em segundo lugar, o módulo Athena Evaluator foi implementado para analisar os metadados publicados no repositório com base em um conjunto de métricas de qualidade específicas e em métricas alinhadas com os princípios FAIR. Por fim, para apoiar a criação e o gerenciamento de diferentes esquemas de metadados para os vários tipos de conjuntos de dados de segurança cibernética, também desenvolvemos uma ferramenta que oferece agilidade e flexibilidade ao repositório de metadados.

Ainda nessa linha de publicação de metadados de objetos digitais, o trabalho de Borges et al. (54) propõe a aplicação de padrões ontológicos baseados na Ontologia Fundamental Unificada (UFO) para melhorar a expressividade semântica das relações específicas do domínio que não são atualmente oferecidas pelo padrão DCAT. O uso desses padrões oferece detalhes adicionais sobre as interações entre os envolvidos e, quando necessário, documenta a evolução das relações ao longo do tempo, contribuindo para a compreensão, reutilização e interoperabilidade.

REFERÊNCIAS

- 1 DEMORI, A. M. UMA ABORDAGEM BASEADA EM ONTOLOGIA PARA REPRODUÇÃO DE CENÁRIOS DE OPERAÇÕES MILITARES. Dissertação (Mestrado) — Instituto Militar de Engenharia (IME), 12 2023. Disponível em: <https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/blob/main/publi/Disserta%C3%A7%C3%A3oAndreMunizDemori_IME_versao_final.pdf?raw=true>.
- 2 TESOLIN, J. C. C. Towards A Mobile Wireless Network Ontology For Radio Access Points Selection Supported By Semantic Reasoning. Tese (Doutorado) — Instituto Militar de Engenharia, 07 2024. Disponível em: <https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/blob/main/publi/20240704_Tese_JTesolin.pdf?raw=true>.
- 3 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, 02 2023. Disponível em: <https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/blob/main/publi/Tese_de_Doutorado_Marcus__IME_Final_Ass.pdf?raw=true>.
- 4 JESUS, V. da Silva de. AUTONOMIA DE MEIOS OPERATIVOS PARA APOIO À DECISÃO EM SISTEMAS DE COMANDO E CONTROLE: UMA ABORDAGEM PREDITIVA E CONCEITUAL UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA. Dissertação (Mestrado) — UFRJ, 05 2025. Disponível em: <https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/blob/main/publi/Dissertacao_Mestrado_PPGI_UFRJ_Valquire_Final_comAssinaturas.pdf?raw=true>.
- 5 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.
- 6 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 (WTD0 2022). Online, Brasil: CEUR Workshop Proceedings, 2022.
- 7 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.
- 8 ESTADO-MAIOR, B. E. Manual de Campanha - Emprego das comunicações. Brasil, 1997.
- 9 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.

- 10 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.
- 11 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.
- 12 Brasil. Exército. Comando de Operações Terrestres. Manual de Campanha - Comando e Controle. Brasil, 2023.
- 13 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.
- 14 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.
- 15 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.
- 16 DEMORI, A. M.; TESOLIN, J. C. C.; MOURA, D. F. C.; GOMES, J. E. C.; PEDROSO, G.; CARVALHO, L. F. B. S. de; FREITAS, E. P. de; CAVALCANTI, M. C. R. A semantic web approach for military operation scenarios development for simulation. In: GUSIKHIN, O.; HAMMOUDI, S.; CUZZOCREA, A. (Ed.). Proceedings of the 12th International Conference on Data Science, Technology and Applications, DATA 2023, Rome, Italy, July 11-13, 2023. SCITEPRESS, 2023. p. 390–397. Disponível em: <<https://doi.org/10.5220/0012088600003541>>.
- 17 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.
- 18 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.
- 19 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.
- 20 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.

- 21 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.
- 22 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.
- 23 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.
- 24 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.
- 25 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.
- 26 PONTES, D. H. M.; ROCHA, C. C. B. Um Simulador Para Redes Heterogêneas sob o Paradigma "Always Best Connected". 2022. Projeto de Final de Curso de Graduação IME - Mimic. Disponível em: <http://www.comp.ime.eb.br/graduacao/?pc=p_detp&num=494>.
- 27 BARONE, D. A. C.; WICKBOLDT, J. A.; CAVALCANTI, M. C. R.; MOURA, D. F. C.; TESOLIN, J. C. C.; DEMORI, A. M.; ANJOS, J. C. S. dos; CARVALHO, L. F. B. S. de; GOMES, J. E. C.; FREITAS, E. P. de. Integrating a multi-agent system simulator and a network emulator to realistically exercise military network scenarios. In: WAGNER, G.; WERNER, F.; RANGO, F. D. (Ed.). Proceedings of the 13th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, SIMULTECH 2023, Rome, Italy, July 12-14, 2023. SCITEPRESS, 2023. p. 194–201. Disponível em: <<https://doi.org/10.5220/0012051600003546>>.
- 28 BARONE, D. A. C.; WICKBOLDT, J. A.; CAVALCANTI, M. C. R.; MOURA, D.; TESOLIN, J. C. C.; DEMORI, A. M.; CARVALHO, L. F. B. S. de; GOMES, J. E. C.; ANJOS, J. C. S. dos; FREITAS, E. P. de. Integrated multi-agent system simulator and network emulator framework to realistically exercise networked command and control application scenarios. In: WAGNER, G.; WERNER, F.; RANGO, F. D. (Ed.). Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 9–28. ISBN 978-3-031-77603-8.
- 29 DEMORI, A. M.; TESOLIN, J. C. C.; CAVALCANTI, M. C. Notes on the use of the powertype pattern. In: 18º Seminário de Pesquisa em Ontologias no Brasil. [s.n.], 2025. Disponível em: <https://www.inf.ufrgs.br/ontobras/wp-content/uploads/2025/10/ONTOBRAS_2025_paper_10.pdf>.
- 30 DEMORI, A. M.; MOURA, D. F. C.; CAVALCANTI, M. C. R. Ontologia Operacional MISCON. 2024. Registro da ontologia operacional MISCON. Disponível em: <https://revistas.inpi.gov.br/pdf/Programa_de_computador2810.pdf>.

- 31 TESOLIN, J.; SILVA, M.; CAMPOS, M.; MOURA, D.; CAVALCANTI, M. C. Critical Communications Scenarios Description Based on Ontological Analysis. In: ONTOBRAS. [S.l.: s.n.], 2020.
- 32 MOURA, L. d. A. L.; SILVA, M. A. A. d.; CORDEIRO, K. d. F.; CAVALCANTI, M. C. A Well-founded Ontology to Support the Preparation of Training and Test Datasets. In: FILIPE, J.; SMIALEK, M.; BRODSKY, A.; HAMMOUDI, S. (Ed.). Proceedings of the 23rd International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS 2021, Online Streaming, April 26-28, 2021, Volume 2. SCITEPRESS, 2021. p. 99–110. Disponível em: <<https://doi.org/10.5220/0010460000990110>>.
- 33 BOZZA, G.; RUY, M. M. Desenvolvimento De Um Ambiente Para Testes De Raciocínio Em Um Rádio Cognitivo. 2021. Projeto de Final de Curso de Graduação IME. Disponível em: <http://www.comp.ime.eb.br/graduacao/?pc=p_detp&num=479>.
- 34 SILVA, M. A. A. d.; BOZZA, G.; RUY, M. M.; CAVALCANTI, M. C. R.; MOURA, D. F.; PIRES, L. F. Engenharia dirigida a modelos aplicada à cognição de rádios em operações militares. RMCT, v. 40, n. 1, p. 53–66, 2023.
- 35 ALBUQUERQUE, P. P. L. D.; SILVA, R. R. M. R. D. Um Simulador Para Redes Heterogêneas Sob O Paradigma "Always Best Connected". 2021. Projeto de Final de Curso de Graduação IME - MiniManager. Disponível em: <http://www.comp.ime.eb.br/graduacao/?pc=p_detp&num=484>.
- 36 TESOLIN, J. C. C.; MOURA, D. F. C.; CAVALCANTI, M. C. R. Registro da Ontologia Operacional HINT. 2024. Registro da ontologia operacional HINT. Disponível em: <https://revistas.inpi.gov.br/pdf/Programa_de_computador2809.pdf>.
- 37 TESOLIN, J. C. C.; MOURA, D. F. C.; CAVALCANTI, M. C. R. Ontologia Operacional QVAS. 2024. Artefato resultante da operacionalização da ontologia de referência QVAS. Disponível em: <<https://github.com/comp-ime-eb-br/S2C2-IME/blob/main/onto/qvas.ttl>>.
- 38 GUIZZARDI, G. Ontological foundations for structural conceptual models. Tese (Doutorado) — University of Twente, 2005.
- 39 MOSAFI, F. F. d. S. UM MÉTODO PARA APOIAR A INTEROPERABILIDADE SEMÂNTICA POR MEIO DO USO DE TÉCNICAS DE PLN EM MENSAGENS TEXTUAIS TROCADAS NO CONTEXTO DE C2. Tese (Doutorado) — Instituto Militar de Engenharia, 2026. Aguardando Defesa.
- 40 MOSAFI, F. F. D. S.; COSENZA, M. S.; VASCONCELOS, L. V. C.; PIRES, L. F.; DUARTE, J. C.; CAVALCANTI, M. C. R. Performance evaluation of monolithic and micro-service architectures for natural language processing in command and control applications. IEEE Access, v. 13, p. 155447–155461, 2025.
- 41 MOSAFI, F. F. D. S.; PIRES, L. F.; DUARTE, J. C.; CAVALCANTI, M. C. Towards a microservices architecture to support communication in c2 applications. In: 2024 19th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE). [S.l.: s.n.], 2024. p. 227–232.
- 42 MOSAFI, F. F. D. S.; PIRES, L. F.; MOREIRA, J. L. R.; DUARTE, J. C.; CAVALCANTI, M. C. Enhancing message understanding for decision support in command and control systems-of-systems. In: submitted. [S.l.: s.n.], 2025.

- 43 AVELINO, J. d. O. Grafos de conhecimento e suas relações: uma aplicação no contexto de C2. Tese (Doutorado) — Instituto Militar de Engenharia, 2026. Aguardando Defesa.
- 44 AVELINO, J. de O.; CORDEIRO, K. de F.; CAVALCANTI, M. C. R. Registro do Software PREAnoTeTool. 2024. Registro do Software PREAnoTeTool. Disponível em: <https://revistas.inpi.gov.br/pdf/Programa_de_computador2832.pdf>.
- 45 AVELINO, J. O.; ROSA, G. F.; DANON, G. R.; CORDEIRO, K. F.; CAVALCANTI, M. C. Preatnote: Uma abordagem de anotação de corpus para o ajuste fino de large language model pré-treinado. In: PIRES, C. E. S.; RAZENTE, H. L.; OGASAWARA, E. S. (Ed.). Proceedings of the 39th Brazilian Symposium on Databases, SBBD 2024, Florianópolis, SC, Brazil, October 14-17, 2024. SBC, 2024. p. 806–812. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/sbbd.2024.242494>>.
- 46 AVELINO, J. O.; ROSA, G. F.; DANON, G. R.; CORDEIRO, K. F.; CAVALCANTI, M. C. Knowledge graph generation from text using supervised approach supported by a relation metamodel: An application in C2 domain. In: FILIPE, J.; SMIALEK, M.; BRODSKY, A.; HAMMOUDI, S. (Ed.). Proceedings of the 26th International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS 2024, Angers, France, April 28-30, 2024, Volume 1. SCITEPRESS, 2024. p. 281–288. Disponível em: <<https://doi.org/10.5220/0012629300003690>>.
- 47 ROSA, G. F.; AVELINO, J. O.; CAVALCANTI, M. C.; DUARTE, J. C. Tformix: A method that combines llm and multidimensional modeling for technological foresight. IEEE Access, v. 13, p. 153320–153339, 2025.
- 48 CAVALCANTI, M. C.; RAMOS, S. de O.; GOLDSCHMIDT, R. R.; PINHEIRO, W. A.; SILVA, A. M. R. da; GARCIA, A.; ALKMIM, B.; CALLOU, R.; HAEUSLER, E. H.; CÉSAR, C. de A. C.; ROSA, F. de F.; OLIVEIRA, J. M. P. de. Llm assisted vocabulary harmonization. In: 18º Seminário de Pesquisa em Ontologias no Brasil. [s.n.], 2025. Disponível em: <https://www.inf.ufrgs.br/ontobras/wp-content/uploads/2025/10/ONTOBRAS_2025_paper_7.pdf>.
- 49 VIGNOLI, L. E. G. Abordagem para a modelagem e concepção de um Sistema de Sistemas: Um estudo de caso em Comando e Controle. Tese (Doutorado) — Instituto Militar de Engenharia, 03 2026. Em desenvolvimento.
- 50 VIGNOLI, L. E. G.; ALVES, A.; FERREIRA, T.; CHOREN, R.; CAVALCANTI, M. C. A method to introduce integration modules connecting systems in an sos scenario. In: submitted. [S.l.: s.n.], 2025.
- 51 HERNANDEZ, T. da S. ATHENA: UMA ABORDAGEM FAIR DE PUBLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CONJUNTOS DE DADOS DE SEGURANÇA CIBERNÉTICA. Dissertação (Mestrado) — Instituto Militar de Engenharia (IME), 2026. Aguardando defesa.
- 52 HERNANDEZ, T. da S.; GANDOLFI, C. D.; BULCÃO, P. H. G.; SANTOS, L. O. B. da S.; SANTOS, A. F. P. dos; CAVALCANTI, M. C. Athena: A fair approach to publish and evaluate cybersecurity datasets. In: 18º Seminário de Pesquisa em Ontologias no Brasil. [s.n.], 2025. Disponível em: <https://www.inf.ufrgs.br/ontobras/wp-content/uploads/2025/10/ONTOBRAS_2025_paper_19.pdf>.
- 53 HERNANDEZ, T. da S.; GANDOLFI, C. D.; SANTOS, L. O. B. da S.; SANTOS, A. F. P. dos; CAVALCANTI, M. C. Metadata and metrics for cybersecurity dataset

evaluation. In: 19th International Conference on Metadata and Semantics Research. [S.l.: s.n.], 2025.

54 BORGES, V.; OLIVEIRA, N. de; CAMPOS, M. L. M.; LOPES, G. R. Improving semantic expressiveness in data catalogs: Applying ontological patterns to data catalog vocabulary relations. In: 18º Seminário de Pesquisa em Ontologias no Brasil. [s.n.], 2025. Disponível em: <https://www.inf.ufrgs.br/ontobras/wp-content/uploads/2025/10/ONTOBRAS_2025_paper_38.pdf>.

55 MD, EB, EME. Glossário de Termos e Expressões para Uso no Exército. 5. ed. Brasil, 2018.

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 à 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: Conjunto de elementos institucionais que agregam o cenário. Elementos que estão ligados à estrutura e organização. Organizações militares.

- **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 (55):

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.