

2. ONTOLOGIAS

Ontologia é uma palavra de origem latina cujo significado pode ser entendido como “o estudo da existência”. Etimologicamente, *ont-* vem do particípio presente do verbo grego *enai*, que significa “ser”, e *logia* em latim, que significa estudo. Como a “ciência do ser enquanto ser”, seu estudo remete a Aristóteles, no século IV a.C., embora o termo tenha sido cunhado apenas no século XVII no meio filosófico. Desde então tem sido usado na filosofia para designar tanto uma disciplina – utilizando-se o termo com “O” maiúsculo – quanto um sistema de categorias independente de linguagem apropriado para conceituação de teorias científicas (GUIZZARDI, 2005).

No início do século XX, o filósofo germânico Edmund Husserl definiu o termo **Ontologia Formal** para se referir a uma parte específica da disciplina filosófica de Ontologia. Fazendo-se uma analogia com a Lógica Formal, enquanto esta lida com estruturas lógicas formais (e.g. verdade, validade, consistência) independentemente de sua veracidade, a Ontologia Formal lida com estruturas ontológicas formais (e.g. teoria das partes, teoria do todo, tipos e instanciação, identidade, dependência, unidade), isto é, com aspectos formais de objetos independentemente da sua natureza particular (GUIZZARDI, 2005).

A primeira menção ao termo na computação data de 1967 por G. H. Mealy, num trabalho sobre os fundamentos da modelagem de dados, na área de processamento de dados (MEALY, 1967 apud GUIZZARDI, 2005). Desde então tem sido aplicado em diversas áreas, como Sistemas de Informação, Engenharia de Software, Inteligência Artificial e Web Semântica, porém com diferentes significados e propósitos. Nas duas primeiras áreas, ontologia é comumente utilizada em conformidade com seu significado em Filosofia, ou seja, como um sistema de categorias independente de linguagem. Em contrapartida, em outras áreas como IA e WS, tal palavra é usada, em geral, para designar um artefato concreto, projetado para um propósito específico, e representado em uma linguagem específica. A Figura 1 ilustra uma grande variedade de artefatos classificados com ontologias na literatura de computação, desde simples catálogos (lista de termos) até teorias lógicas formais que permitem raciocínio automatizado (GUIZZARDI, 2005, 2007).

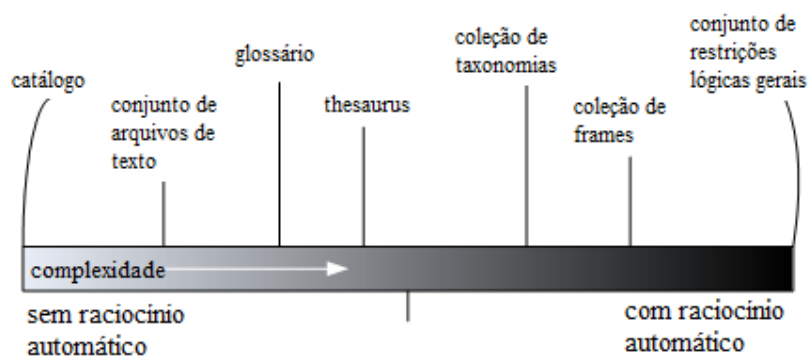


Figura 1. Diferentes tipos de especificações classificadas como ontologias na literatura de ciência da computação.

Fonte: Smith e Welty (2001) apud Guizzardi (2005, p. 78) (adaptado).

Enquanto estes exemplos referem-se a modelos que descrevem entidades específicas de domínio, um outro tipo de ontologia, chamado **Ontologia de Fundamentação**, reúne resultados de Ontologia Formal num sistema de categorias independentes de domínio (e.g. conceitos como parte, todo, papel e evento), usadas para articular conceituações dos diversos domínios. Um exemplo conhecido na literatura de computação é a Ontologia Bunge-Wand-Weber (BWW), proposta por Wand and Weber, baseada na teoria metafísica original desenvolvida por Bunge (WAND; WEBER, 1995).

Em particular, Guizzardi e colegas propõem em uma série de publicações (GUIZZARDI, 2005; GUIZZARDI ET AL., 2006; GUIZZARDI; WAGNER, 2010; MASOLO, CLAUDIO ET AL., 2005) uma ontologia de fundamentação chamada **UFO** (*Unified Foundational Ontology*). Neste trabalho interessa em especial uma parte denominada UFO-A, que define termos relacionados a aspectos estruturais como conceitos gerais de objetos, suas propriedades intrínsecas e relacionais, os tipos que eles instanciam, os papéis que eles desempenham, etc. Esta teoria é proposta por Guizzardi (2005), e usada como fundamentação ontológica na aplicação de um método de avaliação à Linguagem de Modelagem Conceitual UML 2.0 (*Unified Modeling Language*). Tal processo deu origem à linguagem chamada de **OntoUML**, que é então uma versão estendida da UML 2.0 ontologicamente bem-fundamentada.

De fato, Guarino (2009) afirma que, apesar de não haver um consenso geral sobre ter as distinções ontológicas embutidas na linguagem de representação, a OntoUML é uma proposta concreta nesta direção. Ainda segundo o autor (1994, 2009), as linguagens de representação do conhecimento podem ser divididas em **níveis de linguagem**. As de nível ontológico são justamente aquelas que incorporam as distinções ontológicas, tendo como foco principal a qualidade do modelo produzido sem se preocupar com questões computacionais. Por outro lado, linguagens com foco em questões

computacionais, que permitam raciocínio automatizado, são ditas de nível lógico/epistemológico segundo o autor. Uma linguagem deste nível é a **OWL** (*Web Ontology Language*), padrão de fato recomendado pela W3C para representação de ontologia na Web.

Neste sentido, nota-se um conflito entre focar na qualidade da representação ou em questões computacionais, derivado do clássico conflito da área de RC entre poder de expressividade e eficiência computacional. Assim, Guizzardi defende a necessidade uma abordagem de **Engenharia de Ontologia** para lidar com esse conflito (GUIZZARDI, 2007, 2010a; GUIZZARDI; HALPIN, 2008).

De modo geral, o termo ontologia é aplicado neste trabalho de forma flexível, com o intuito de evitar um preciosismo prejudicial à sua compreensão, embora sua fundamentação siga a idéia de autores como Guarino, Guizzardi e outros, de que ontologia é essencialmente mais do que uma especificação descrita num formalismo qualquer.

2.1. ONTOLOGIA FORMAL

A **Ontologia Formal** se refere a uma parte específica da disciplina filosófica de Ontologia que lida com estruturas ontológicas formais, isto é, com aspectos formais de entidades independentemente da sua natureza particular. Esta seção apresenta algumas noções ontológicas básicas que se refletem no sistema de categorias da UFO-A, bem como este mesmo sistema.

2.1.1. Noções Ontológicas Básicas

As principais primitivas de modelagem consideradas neste trabalho são conceitos e relações binárias, que correspondem respectivamente a propriedades unárias e binárias em Representação do Conhecimento. Conforme defendido por Guarino (1994, 2009) e Guizzardi (2005), tais propriedades apresentam diferentes meta-propriedades formais, e, portanto, desempenham diferentes papéis, conforme apresentado nos quadros a seguir. O Quadro 2 mostra as meta-propriedades básicas das **propriedades unárias** usadas neste trabalho que são três: **identidade**, **rigidez** e **dependência**. Por outro lado, o Quadro 3 mostra as meta-propriedades básicas das **propriedades binárias** usadas neste trabalho que são duas: **formal** e **material**.

	DESCRIÇÃO	EXEMPLO
IDENTIDADE	Alguns conceitos têm a característica de prover um critério ou princípio de identidade para seus indivíduos que permita distingui-los e contá-los. Uma heurística útil para chegar a tal conclusão é verificar se é possível contar os indivíduos.	O conceito Maçã provê um critério de identidade aos indivíduos por ele classificados se faz sentido perguntar “quantas maçãs há nesta caixa?”. Em contrapartida, o conceito Vermelho não provê tal critério se não faz sentido perguntar “quantos vermelhos há nesta caixa?”.
	Conceitos rígidos: têm a característica de serem necessariamente aplicáveis a seus indivíduos enquanto eles existirem.	O conceito Pessoa é rígido se todos os indivíduos por ele classificados, e.g. João , não podem deixar de ser Pessoa enquanto existirem.
RIGIDEZ	Conceitos anti-rígidos: têm a característica de serem aplicáveis a seus indivíduos de maneira contingente.	O conceito Estudante é anti-rígido se todos os indivíduos por ele classificados, e.g. João , podem deixar de ser Estudante e ainda continuar existindo.
	Conceitos semi-rígidos: têm a característica de serem eventualmente aplicáveis a alguns de seus indivíduos, e necessariamente aplicáveis a outros.	O conceito Sentável é semi-rígido se é aplicado necessariamente a alguns dos indivíduos por ele classificados, e.g. uma cadeira , e também é aplicado eventualmente a outros, e.g. um caixote .
DEPENDÊNCIA	Um conceito C_1 é relacionalmente dependente de outro C_2 se para instanciar C_1 os indivíduos precisam participar de uma determinada relação com instâncias de C_2 . Neste trabalho, consideram-se os seguintes tipos de dependência:	
	Dependência Genérica: se a relação que caracteriza a dependência pode mudar.	Um coração é genericamente dependente do tipo Pessoa , se ele deve sempre instanciar a relação parte-de , porém com um indivíduo qualquer do tipo Pessoa , que pode mudar. Neste caso, considera-se a possibilidade de transplante.
	Dependência Específica: se a relação que caracteriza a dependência não pode mudar.	Um coração é especificamente dependente de uma pessoa , se ele deve instanciar a relação parte-de sempre com um mesmo indivíduo do tipo Pessoa , que não pode mudar. Neste caso, desconsidera-se a possibilidade de transplante.
	Dependência Existencial: um tipo de dependência específica, em que a relação que caracteriza a dependência é tal que o indivíduo dependente existe somente se o outro indivíduo do qual aquele depende também existir.	O exemplo anterior é de dependência existencial se o coração , para existir, deve sempre instanciar tal relação. Noutro caso, considera-se a possibilidade de que o coração possa continuar existindo fora da pessoa .

Quadro 2. Meta-propriedades básicas das propriedades unárias.

	DESCRIÇÃO	EXEMPLO
FORMAL	Relações formais valem pela simples existência dos indivíduos que ela relaciona, ou seja, não dependem de uma entidade interventora para valer. Podem ser classificadas como internas ou externas .	
	Relações formais internas implicam em dependência existencial entre os indivíduos relacionados. Assim, a relação vale sempre que o indivíduo dependente existir.	A relação parte-de (geralmente ¹) implica em dependência existencial de uma das partes. Por exemplo, se um coração é parte essencial de uma pessoa , significa que este coração é existencialmente dependente desta pessoa , e que esta relação vale enquanto o coração existir.
	Relações formais externas são tipicamente relações de comparação entre propriedades dos indivíduos relacionados. Assim, valem sempre que os indivíduos e as referidas propriedades existirem.	A relação mais-pesado-que entre João e José é verdade enquanto os dois indivíduos existirem e o peso de João for maior que o de José .
MATERIAL	Relações materiais são aquelas que dependem de uma entidade interventora para valer.	A relação casado-com entre João e Maria é verdade enquanto existir um indivíduo interventor casamento mediando-os.

Quadro 3. Meta-propriedades das propriedades binárias.

2.1.2. UFO – *Unified Foundational Ontology*

A UFO é uma ontologia de fundamentação baseada em várias teorias de Ontologia Formal, Lógica filosófica, Filosofia da Linguagem, Linguística e Psicologia Cognitiva, e desenvolvida com o intuito de prover uma fundamentação ontológica para linguagens gerais de modelagem conceitual. Ela sintetiza resultados de outras ontologias de fundamentação, a GFO/GOL² e a OntoClean/DOLCE³ que, embora apresentem propriedades interessantes, têm limitações consideráveis na habilidade de capturar os conceitos básicos de linguagens de modelagem

¹ Guarino (2009) indica que alguns tipos de relações que são tipicamente entendidas como formais internas, como todo-parte e constituição, em alguns casos podem valer apenas por um intervalo de tempo qualquer. Isso significa que, nestes casos, elas não são genuinamente formais internas, uma vez que não implicam em dependência existencial. Ele conclui que o problema de como caracterizar formalmente essas relações ainda está sendo investigado.

² *General Formal Ontology* (GFO) é ontologia subjacente à *General Ontology Language* (GOL), que é uma linguagem desenvolvida pelo grupo de pesquisa OntoMed da Universidade de Leipzig (DEGEN ET AL., 2001 apud GUIZZARDI; WAGNER, 2005)

³ Junção da ontologia OntoClean com a Ontologia Descritiva para Engenharia Linguística e Cognitiva (DOLCE), desenvolvida pelo grupo de pesquisa ISTC-CNR-LOA (WELTY; GUARINO, 2001 apud GUIZZARDI; WAGNER, 2005).

conceitual. Assim, a proposta da UFO é justamente unificar essas ontologias aproveitando suas características positivas e sanando as limitações detectadas (GUIZZARDI; WAGNER, 2005, 2010).

Este trabalho aborda uma parte específica da UFO, denominada UFO-A, que trata particularmente de entidades chamadas *endurants*, ou, mais intuitivamente, objetos ordinários do cotidiano que persistem no tempo, como uma pessoa, um buraco, um monte de areia. Esta ontologia é proposta por Guizzardi (2005), consistindo de conceitos e relações em diagramas estilo UML, além de uma caracterização formal de cada um deles. Devido à dificuldade de se traduzir alguns termos, eles são mantidos em língua inglesa nos diagramas, como foram concebidos, porém alguns são traduzidos no texto quando convém. Ademais, uma vez que toda esta seção é baseada nessa referência principal da UFO-A, toma-se a liberdade de omitir as citações no restante do texto.

As entidades da UFO-A relevantes a este trabalho são as Categorias de Universais e de Indivíduos, apresentadas nesta seção seguindo a abordagem em profundidade a seguir:

As Categorias de Universais e as Categorias de Indivíduos

I - As Categorias de Universais Monádicos e as Categorias de Indivíduos Singulares

- i - Distinção entre *Substantials* e *Moments*
- ii - *Substantials*
- iii - *Moments*

II - As Categorias de Universais de Relação e as Categorias de Instâncias de Relações

As Categorias de Universais e as Categorias de Indivíduos

A UFO pode ser vista como uma teoria sobre categorias de **universais** e **indivíduos**. Em modelagem conceitual, tipicamente, os universais são conhecidos como conceito/classe ou relação/associação, enquanto as instâncias destes representam os indivíduos. Assim, uma vez que as categorias da UFO classificam esses elementos de modelagem conceitual, a categoria fundamental, chamada de **Entidade** ou **Coisa** (*Thing*), é ramificada nas categorias/tipos **Universal** (*Universal*) e **Indivíduo** (*Individual*), conforme apresentado no diagrama da Figura 2.

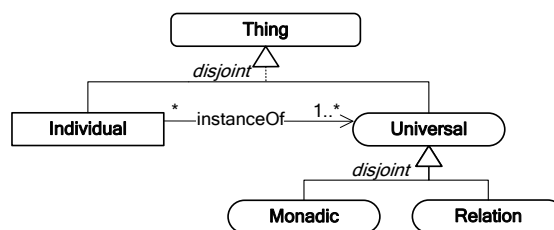


Figura 2. Fragmento da UFO - tipos de Universais e Indivíduos.

Assim, *Universal* é a categoria ou tipo geral que representa os padrões de características presentes em diferentes indivíduos. Por exemplo, este tipo se aplica aos conceitos ou categorias de indivíduos **Pessoa**, **Adulto** e **Cachorro**, que são padrões de características comuns presentes em certos indivíduos. Por outro lado, *Individual* é a categoria ou tipo geral que se aplica aos indivíduos, que são entidades que existem na realidade e possuem uma identidade única. Por exemplo, este tipo se aplica aos indivíduos **João** e **Rex**. Além disso, cada indivíduo num domínio deve ser instância de pelo menos um universal. Por exemplo, **João** é um indivíduo do domínio que instancia os universais **Pessoa** e **Adulto**, enquanto **Rex** instancia o universal **Cachorro**.

Classificam-se ainda os universais como **Monádico** (*Monadic Universal*) ou **de Relação** (*Relation Universal*). O tipo *Monadic* é a categoria que se aplica aos conceitos, que são padrões aplicados a indivíduos singulares, enquanto o tipo *Relation* se aplica às relações, que são padrões aplicados a grupos de dois ou mais indivíduos.

Os seguintes padrões de apresentação são adotados nos diagramas da UFO presentes nesta seção: (i) as categorias de universais são representadas com cantos arredondados, para fins de legibilidade, permitindo-se assim omitir o termo *Universal* após cada entidade; (ii) a relação de especialização, quanto pontilhada, significa que algumas entidades da hierarquia original da UFO foram omitidas.

I - As Categorias de Universais Monádicos e as Categorias de Indivíduos Singulares

A Figura 3 apresenta um esquema dividido em três níveis que visa ilustrar como as entidades de um modelo conceitual específico de domínio, bem como suas instâncias, se relacionam com as entidades independentes de domínio previstas na UFO. As relações fundamentais entre as entidades são a de instanciação e de especialização. Enquanto as de instanciação valem entre uma entidade de um nível e outra do nível imediatamente superior, as de especialização valem entre entidades do mesmo nível, estabelecendo uma hierarquia entre elas. Assim, os indivíduos do domínio, representados no nível de Indivíduos, são instâncias dos conceitos do domínio, representados no nível Conceitual. Os conceitos do domínio, por sua vez, especializam as

categorias de indivíduos da UFO, representadas no mesmo nível, e instanciam as categorias de universais da UFO, representadas no nível Meta-Conceitual.

O esquema da Figura 3 mostra que os conceitos do domínio são genericamente classificados pela categoria *Monadic Universal* da UFO, enquanto suas instâncias são classificadas pela categoria *Individual*. Este esquema será expandido e apresentado em figuras sequenciais à medida que outras entidades da UFO são explicadas.

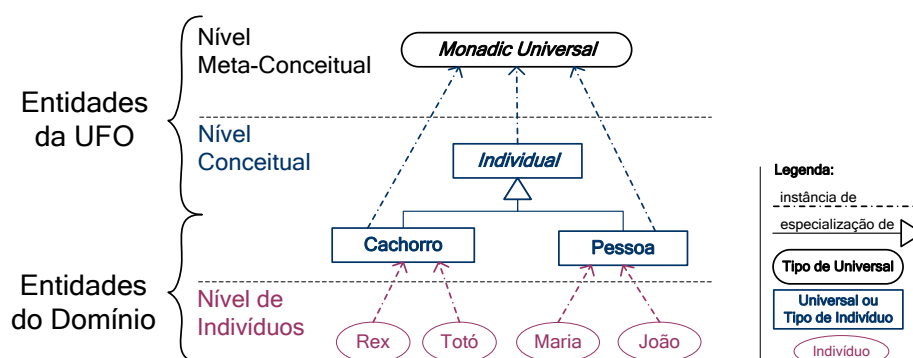


Figura 3. Fragmento da UFO em esquema de níveis - Universais Monádicos e Indivíduos.

As entidades da UFO, pertencentes aos níveis meta-conceitual e conceitual, são representadas com cor de fundo acinzentada, enquanto as de domínio, pertencentes aos níveis conceitual e de indivíduos, são representadas com cor de fundo branca. Por sua vez, as relações de instanciação são representadas por uma seta aberta e pontilhada, enquanto as de especialização são representadas por uma seta fechada.

No nível Meta-Conceitual está o tipo geral de universais monádicos chamado *Monadic Universal*. No nível Conceitual estão os tipos de indivíduos ou conceitos, que são instâncias do meta-conceito supracitado: o tipo geral de indivíduos, chamado *Individual*, e dois conceitos específicos de domínio: **Cachorro** e **Pessoa**. Finalmente, no nível de Indivíduos estão os indivíduos **Rex** e **Totó**, instâncias diretas de **Cachorro**, e **João** e **Maria**, instâncias diretas de **Pessoa**. É importante observar que as relações de instanciação se propagam através da relação de especialização (no sentido para cima na hierarquia), por exemplo, **João** é instância de **Pessoa** que por sua vez é especialização de *Individual*, portanto, **João** é instância de *Individual*.

i - Substantials e Moments

A principal distinção de tipos de universais (monádicos) e tipos de indivíduos em UFO é a distinção entre *substantials* e *moments*. Este último é derivado da palavra *Momento* em alemão,

dos escritos de Husserl, e denota, em termos gerais, o que é por vezes chamado na literatura de tropo (*trope*), indivíduo abstrato, ou instância de propriedade. Assim, *moments* podem ser entendidos como indivíduos que representam propriedades objetificadas de outros indivíduos, e que são inerentes a eles. Por exemplo, a **idade de João** é um *moment*, ou seja, um indivíduo que objetifica sua idade enquanto propriedade abstrata, e é inerente a ele (**João**). Ou ainda, a **intensidade** é um *moment* da **dor de cabeça de João** que é um *moment* de **João**, sendo assim, a **intensidade** é inerente à **dor de cabeça**, que é inerente a **João**.

Observa-se que essa relação de inerência (*inherence*) forma uma cadeia de indivíduos existencialmente dependentes, que termina em um tipo de indivíduo particular, chamado *substantial* (no exemplo, **João**), de forma que este não é inerente a nenhum outro indivíduo. Assim a categoria geral de indivíduos é ramificada em *Substantial* e *Moment*, conforme apresentado no diagrama⁴ da Figura 4.

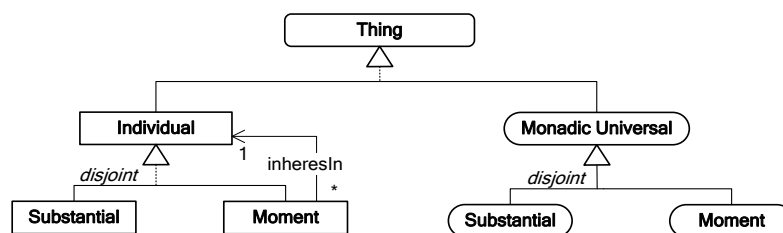


Figura 4. Fragmento da UFO – *Substantials* e *Moments*.

Essa mesma distinção se reflete na categorização dos universais, ou seja, os universais do tipo *Substantial* são aqueles que agrupam os indivíduos do tipo *substantial*, e, da mesma forma, os universais do tipo *Moment* agrupam os indivíduos do tipo *Moment*. Por exemplo, o conceito **Pessoa** é um universal do tipo *Substantial* porque seus indivíduos são do tipo *Substantial*, como **João**. Analogamente, o conceito **Dor de Cabeça** é um universal do tipo *Moment* porque seus indivíduos são do tipo *Moment* (**dor de cabeça de João**). A Figura 5 apresenta um esquema que estende aquele da Figura 3 com as entidades *Substantial* e *Moment* nos níveis meta-conceitual e conceitual.

Neste esquema, os conceitos **Cachorro** e **Pessoa** especializam o conceito *Substantial*, bem como instanciam o meta-conceito *Substantial*. Analogamente, o conceito **Dor de Cabeça** especializa o conceito *Moment* e instancia o meta-conceito *Moment*. Uma instância do conceito **Dor de Cabeça** é a **dor de cabeça do João**.

⁴ Seguindo o padrão sugerido, as entidades nomeadas como *Substantial* no diagrama se referem a *Substantial Individual* no lado esquerdo, e a *Substantial Universal* no outro lado. Idem para as entidades nomeadas como *Moment*.

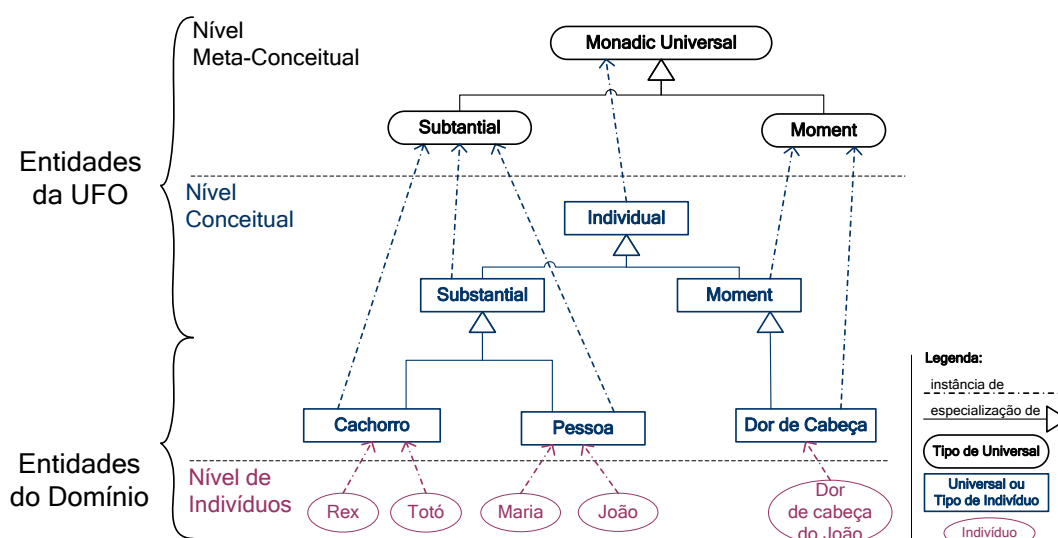


Figura 5. Fragmento da UFO em esquema de níveis – *Substantials* e *Moments*.

ii - *Substantials*

Dentre os indivíduos classificados como *Substantial*, interessam neste trabalho aqueles que têm uma identidade bem definida, classificados como **Objeto**⁵ (*Object*). Este tipo ainda se divide entre Complexo Funcional, Coleção e Quantidade. O tipo **Complexo Funcional** (*Functional Complex*) é tal que suas instâncias podem ser compostas por outros complexos funcionais, desde que as partes exerçam papéis diferentes no todo. Por exemplo, o **corpo humano** é um complexo funcional composto por partes com diferentes papéis, como **coração** e **cérebro**.

Em contrapartida, as instâncias tipo **Coleção** (*Collective*) possuem partes que exercem o mesmo papel funcional no todo (GUIZZARDI, 2010b), por exemplo, uma **floresta** (como conjunto de **árvores**) ou uma **pilha de livros**. Finalmente, o tipo **Quantidade** (*Quantity*) (GUIZZARDI, 2010c) agrupa indivíduos que são porções maximais de uma quantidade de matéria, por exemplo, **a quantidade (maximal) de água dentro de um copo**.

O fragmento de diagrama da UFO apresentado na Figura 6 mostra a especialização do tipo de indivíduos *Substantial*. Outro padrão adotado nos diagramas da UFO apresentados nesta seção é omitir as entidades anteriores àquela principal que está sendo especializada, mostrando-a em cor de fundo cinza escuro.

⁵ A UFO define um outro tipo de *Substantial*, chamado Porção de Matéria (*Amount of Matter*), que porém está fora do escopo deste trabalho.

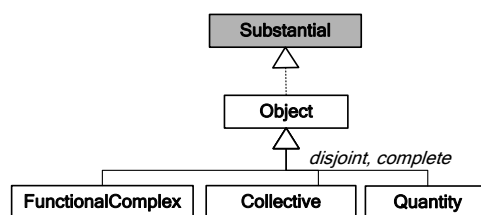


Figura 6. Fragmento da UFO – especialização do tipo de indivíduos *Substantial*.

Com relação ao tipo de universal *Substantial* (GUIZZARDI ET AL., 2004), ele é especializado segundo a aplicação das noções ontológicas básicas de identidade e rigidez aos universais deste tipo (ver Quadro 2 da seção 2.1.1). A distinção básica sub-classifica universais deste tipo como *Sortal* ou *Mixin*, conforme apresentado no diagrama da Figura 7. Os universais do tipo *Sortal* são tais que agregam indivíduos com o mesmo princípio de identidade. Por exemplo, supondo que a **impressão digital** defina a identidade de uma **pessoa**, são universais do tipo *Sortal* os conceitos **Pessoa**, **Cliente Pessoa Física** e **Adulto**, uma vez que todos agregam indivíduos que possuem o mesmo princípio de identidade, como **João**, **Maria** e **José**. Em contraste, universais do tipo *Mixin* são tais que agregam indivíduos com princípios de identidade diferentes. Seguindo o mesmo exemplo, supondo também que o **CNPJ** defina a identidade de uma **empresa**, então o conceito **Item Assegurável**, que agrega **pessoas** e **empresas**, é um universal do tipo *Mixin*.

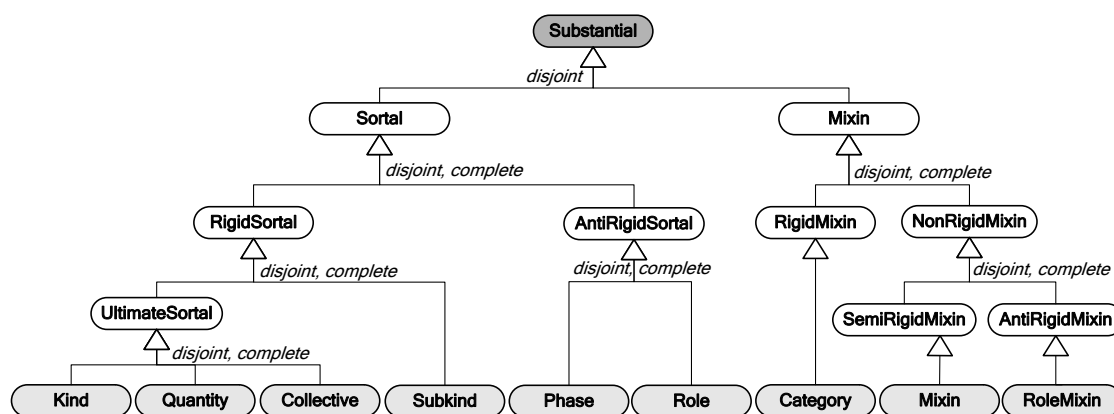


Figura 7. Fragmento da UFO – especialização do tipo de universais *Substantial*.

Na sequência do diagrama, os universais do tipo *Sortal* podem ainda ser classificados como *Rigid Sortal* ou *Anti Rigid Sortal*. Universais do tipo *Rigid Sortal* são conceitos rígidos como **Pessoa** e **Empresa**, cujos indivíduos devem instanciá-los enquanto existirem, por exemplo, **João** é necessariamente instância de **Pessoa** enquanto existir. Por outro lado, universais do tipo *Anti Rigid Sortal* são conceitos anti-rígidos como **Cliente** e **Adulto**, cujos indivíduos podem eventualmente

instanciá-los enquanto existirem, por exemplo, **João** pode ocasionalmente ser instância desses conceitos.

Os universais do tipo *Rigid Sortal* são ainda classificados como *Ultimate Sortal* quando provêem o princípio de identidade aos seus indivíduos, ou como *Subkind* quando apenas herdam este princípio. Por exemplo, considerando-se a **impressão digital** como o princípio de identidade provido a toda instância do conceito **Pessoa**, este é do tipo *Ultimate Sortal*, enquanto os conceitos **Homem** e **Mulher** são do tipo *Subkind* pois, além de serem rígidos, especializam o conceito **Pessoa** e, portanto, herdam dele o princípio de identidade. O tipo *Ultimate Sortal*, por sua vez, é sub-divido em **Espécie** (*Kind*), Universal de **Quantidade** (*Quantity Universal*) e Universal de **Coleção** (*Collective Universal*), que categorizam conceitos cujas instâncias são respectivamente complexos funcionais, quantidade e coleção.

Os universais do tipo *Anti-Rigid Sortal*, por sua vez, são classificados como Fase ou Papel. Conceitos do tipo **Fase** (*Phase*) são tais que sua instanciação é determinada por uma propriedade intrínseca do indivíduo. Por exemplo, **João** instancia a fase **Adulto** se sua **idade** (propriedade intrínseca) é maior que 18 anos. Já os conceitos do tipo **Papel** (*Role*), como **Cliente Pessoa Física** ou **Esposo**, são relacionalmente dependentes, ou seja, sua instanciação é determinada por uma propriedade relacional do indivíduo. Por exemplo, **João** instancia o papel de **Esposo** se **está casado com** (propriedade relacional) **Maria**.

Por fim, os universais do tipo *Mixin* são classificados como *Rigid Mixin* se forem rígidos, ou como *Non-Rigid Mixin* caso contrário. O tipo *Rigid Mixin* é também chamado de **Categoria** (*Category*), e um exemplo de instância deste é o conceito **Item Assegurável**, que generaliza conceitos rígidos com diferentes princípios de identidade, como **Pessoa** e **Empresa**. Por sua vez, o tipo *Non-Rigid Mixin* é sub-divido em *Semi-Rigid Mixin* e *Anti-Rigid Mixin*. O tipo *Semi-Rigid Mixin* é também chamado apenas de *Mixin*, e um exemplo de instância deste é o conceito **Sentável**, que é ao mesmo tempo rígido para alguns indivíduos, como **cadeira**, e anti-rígido para outros, como **caixote**. Já o tipo *Anti-Rigid Mixin* é também chamado *Role Mixin*, e um exemplo de instância deste é o conceito **Cliente** que generaliza conceitos anti-rígidos com diferentes princípio de identidade, como **Cliente Pessoa Física** e **Cliente Pessoa Jurídica**.

Os tipos de universais apresentados em cor de fundo cinza claro na Figura 7 são aqueles efetivamente instanciados pelos conceitos de domínio. A Figura 8 apresenta um esquema que

estende aquele da Figura 5 com as especializações de *Substantial* nos níveis meta-conceitual e conceitual (são omitidos alguns elementos explicativos para facilitar a visualização do esquema).

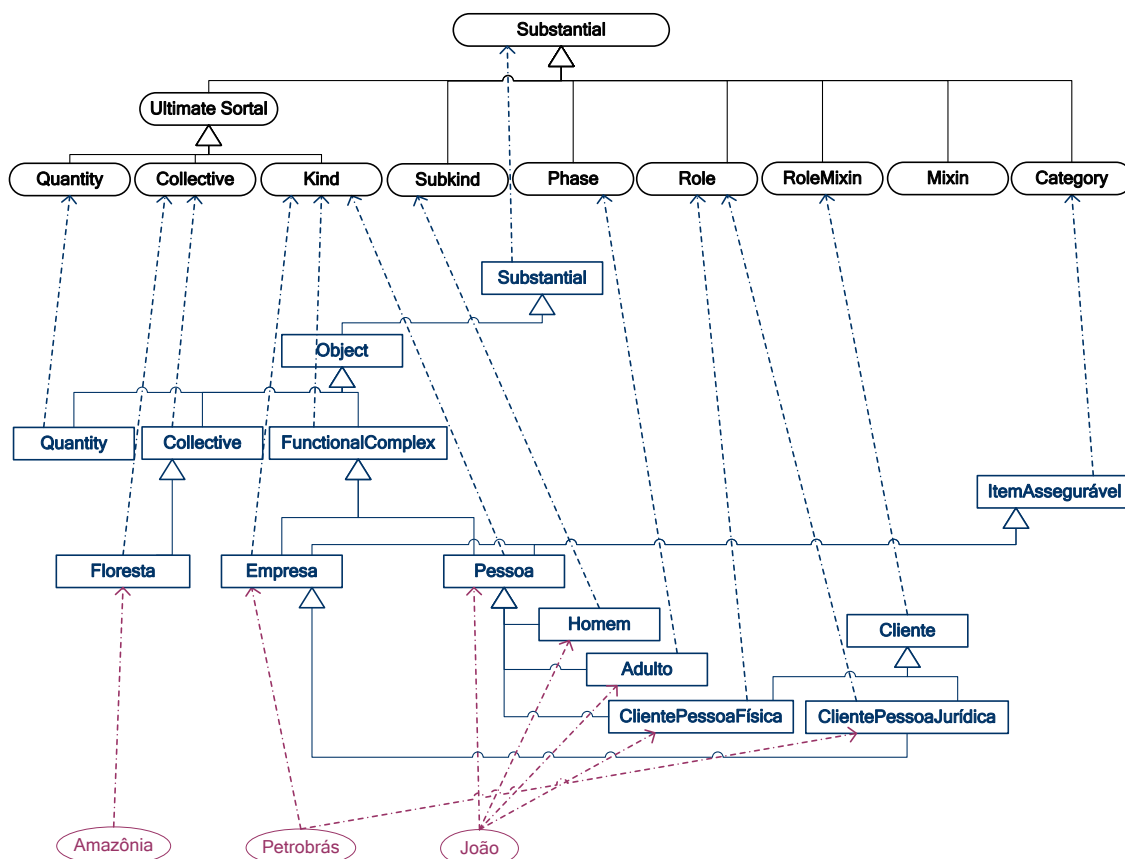


Figura 8. Fragmento da UFO em esquema de níveis – *Substantials*.

Neste exemplo, os conceitos **Pessoa** e **Empresa** instanciam o meta-conceito *Kind*, provendo o princípio de identidade a seus indivíduos – **João** e **Petrobrás**, respectivamente – e especializam o conceito *FunctionalComplex*. Analogamente, o conceito **Floresta** instancia o meta-conceito *Collective Universal*, provendo o princípio de identidade a seus indivíduos – **Amazônia** – e especializa o conceito *Collective*. Por sua vez, o conceito **Homem** é um tipo rígido que especializa **Pessoa** e, portanto, instancia o meta-conceito *SubKind*. Vale observar que os conceitos de domínio que instanciam o meta-conceito *Ultimate Sortal* (**Pessoa**, **Empresa** e **Floresta**) são aqueles que especializam diretamente os conceitos da UFO (*FunctionalComplex* e *Collective*). Os outros sempre especializam ou generalizam estes conceitos do domínio.

Já os conceitos **Adulto** e **Cliente Pessoa Física** são tipos anti-rígidos que especializam **Pessoa**. O primeiro instancia o meta-conceito *Phase*, enquanto o segundo instancia o meta-conceito *Role*. Também o conceito **Cliente Pessoa Jurídica** é um tipo anti-rígido que especializa **Empresa** e instancia o meta-

conceito *Role*. Por sua vez, o conceito **Cliente** é um tipo anti-rígido, relacionalmente dependente e que agrega indivíduos com princípios de identidade diferentes, e, portanto, instancia o meta-conceito *RoleMixin*. Finalmente, o conceito **Item Assegurável** é um tipo rígido que agrega indivíduos com princípios de identidade diferentes, e portanto instancia o meta-conceito *Category*.

i ii - Moments

Os *moments*, por sua vez, são indivíduos essencialmente inerentes a outro indivíduo, como mencionado anteriormente, e que podem ainda ser classificados como intrínsecos (*Intrinsic Moment*) ou relacionais (*Relator*), conforme apresentado no diagrama da Figura 9.

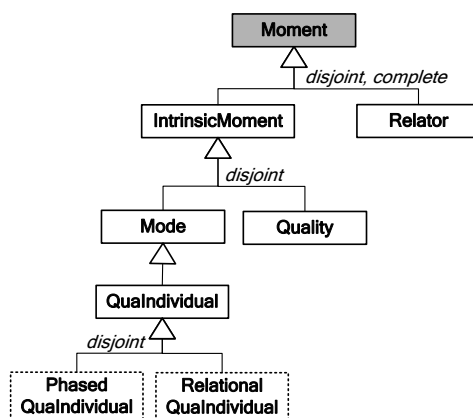


Figura 9. Fragmento da UFO – especialização do tipo de indivíduos *Substantial*.

Os indivíduos do tipo *Intrinsic Moment* (GUIZZARDI ET AL., 2006) denotam propriedades intrínsecas do indivíduo portador. Se essa propriedade é mensurável, ou seja, se tem um valor em uma ou mais dimensões de qualidade, ela é chamada de **Qualidade** (*Quality*). Por exemplo, propriedades como **peso** ou **idade** têm um valor numa estrutura unidimensional de números reais não-negativos (a **idade de João** é um *moment* inerente a **João** e possui o valor **20 anos**) enquanto outras, como cor ou sabor têm seu valor numa estrutura multidimensional. Por outro lado, se a propriedade não tem representação num sistema de medida, ela é chamada de **Modo** (*Mode*), por exemplo, a **dor de cabeça de João**.

Um tipo especial de *Mode*, chamado de **Indivíduo-Qua** (*Qua-Individual*) (MASOLO, CLAUDIO ET AL., 2005; GUIZZARDI, 2006), refere-se a um *moment* que representa o conjunto de características que um indivíduo adquire num certo contexto. Esse nome vem justamente da idéia de se considerar um indivíduo apenas a respeito de determinados aspectos. Se o contexto é dado pela instanciação de uma relação, o *moment* é dito do tipo **Indivíduo-Qua Relacional** (*Relational*

Qua-Individual). São exemplos o conjunto de características que **João** adquire quando da instanciação da relação de **estar casado com Maria**, a saber, **JoãoQuaEsposoDeMaria**, bem como sua contraparte mutuamente dependente, o modo análogo de **Maria**, a saber, **MariaQuaEsposaDeJoão**.

Neste ponto, faz-se uma adaptação à definição original da UFO, em que um *qua-individual* é tido apenas como relacional, acrescentando-se um tipo chamado **Indivíduo-Qua Fasal** (*Phased Qua-Individual*). Este tipo refere-se ao o conjunto de características que um indivíduo possui quando da instanciação de uma fase. Por exemplo, **JoãoQuaAdulto** é um *moment* inerente a **João** quando este instancia a fase **Adulto**. Os tipos *PhasedQuaIndividual* e *RelationalQuaIndividual* estão pontilhados no diagrama da Figura 9 para denotar que estes conceitos não existem originalmente na UFO.

Com relação aos *moments* relacionais, classificados pelo tipo **Relator** (GUIZZARDI; WAGNER, 2008), estes são indivíduos interventores ou mediadores, ou seja, indivíduos que mediam outros tornando verdadeira uma certa relação entre eles. Por exemplo, o *moment* **casamento de João e Maria** media os indivíduos **João e Maria**, tornando verdadeira a relação de **estar casado com** entre eles. Além disso, um indivíduo *relator* é composto essencialmente dos indivíduos-qua relacionais que são inerentes aos indivíduos mediados quando da instanciação da relação que ele representa, e é também inerente à soma mereológica desses indivíduos-qua. No exemplo supracitado, o *moment* **casamento de João e Maria** é composto dos indivíduos-qua **JoãoQuaEsposoDeMaria** e **MariaQuaEsposaDeJoão**, e é inerente à soma mereológica destes.

As mesmas distinções se refletem na especialização do tipo de universais **Moment**, exceto pelos indivíduos-qua que, geralmente, não são explicitamente representados dentre os universais específicos de domínio, uma vez que indivíduos-qua são *moments* surgem inerentes a seus portadores quando estes instanciam certos conceitos e/ou relações. Assim, o tipo **Moment Universal** é sub-dividido em *Intrinsic Moment Universal*, *Mode Universal*, *Quality Universal* e *Relator Universal*, que classificam os conceitos que agrupam os *moments* do tipo correspondente. Por exemplo, o conceito **Casamento** é um universal do tipo *Relator Universal* cujas instâncias são do tipo *Relator*, como o **casamento de João e Maria**. O fragmento de diagrama da UFO apresentado na Figura 10 mostra a especialização do tipo *Moment Universal*. Os tipos de universais com cor de fundo cinza claro são aqueles diretamente instanciados pelos conceitos de domínio.

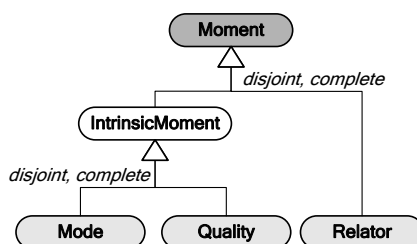


Figura 10. Fragmento da UFO – especialização do tipo de universais *Moment*.

A Figura 11 apresenta um esquema que estende aquele da Figura 5 com as especializações de *Moment* nos níveis meta-conceitual e conceitual. Para simplificar o esquema, alguns elementos são omitidos. Os conceitos **Dor de Cabeça** e **Idade** referem-se a indivíduos que denotam propriedades intrínsecas do seu portador – **dor de cabeça de João** e **idade de João**. Enquanto o conceito **Idade**, cujas instâncias possuem um valor numa dimensão de qualidade, instancia o meta-conceito *Quality Universal* e especializa o conceito *Quality*, o conceito **Dor de Cabeça** instancia o meta-conceito *Mode Universal* e especializa o conceito *Mode*. Já o conceito **Casamento** denota uma propriedade relacional dos indivíduos por ele mediados, instanciando, portanto, o meta-conceito *Relator Universal* e especializa o conceito *Relator*.

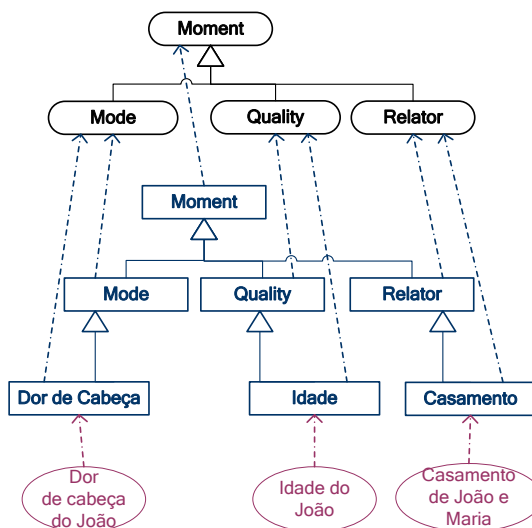


Figura 11. Fragmento da UFO em esquema de níveis – *Moments*.

II - As Categorias de Universais de Relação e Categorias de Instâncias de Relações

Retomando a distinção inicial dos tipos de universais (mónadicos e de relação), o tipo *Relation Universal* é a categoria geral que se aplica aos universais de relação, também chamados apenas de relações (assim como universais monádicos são chamados apenas de conceitos). Esta categoria é sub-dividida segundo a aplicação da distinção ontológica básica entre relações (ver Quadro 3 da

seção 2.1.1), a saber, Formal e Material (GUIZZARDI; WAGNER, 2008), como pode ser visualizado na Figura 12. Os tipos de universais representados com cor de fundo cinza claro são aqueles diretamente instanciados pelas relações no nível conceitual.

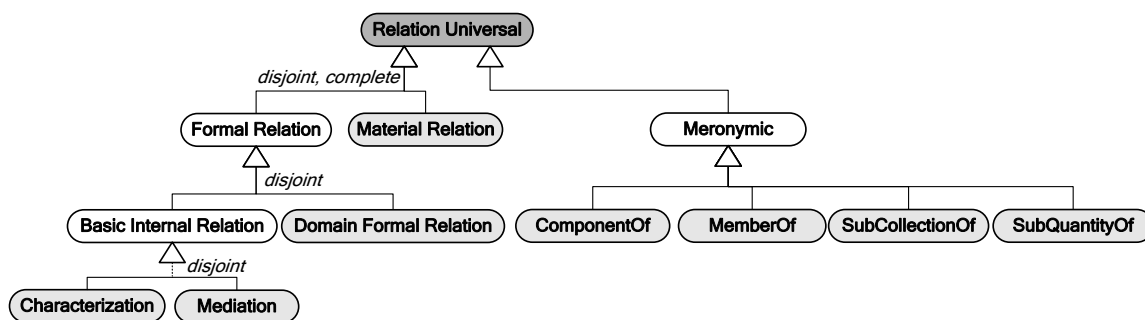


Figura 12. Fragmento da UFO – tipos de Relação.

O tipo **Material Relation** se aplica às relações que dependem de algum interventor para valer, a saber, um indivíduo do tipo *Relator*. Por exemplo, a relação do tipo material **casado com** entre **João** e **Maria** vale enquanto existir o *relator* **Casamento de João e Maria**. Contrariamente, as relações do tipo **Formal Relation** valem pela simples existência dos indivíduos relacionados. Por exemplo, a relação **parte de** entre **João** e seu **Cérebro** vale sempre que ambos existirem.

As relações do tipo **Formal** podem ser ainda classificadas como **Relação Básica Interna** (*Basic Internal Relation*) ou **Relação Formal de Domínio** (*Domain Formal Relation*). O tipo *Basic Internal Relation* aplica-se a relações formais internas ditas de dependência existencial que têm representação entre as categorias de Indivíduos da UFO. Este tipo se sub-divide em **Caracterização** (*Characterization*), que se aplica à relação de inerência (*inheritsIn*) que define os indivíduos do tipo *Moment*, e **Mediação** (*Mediation*), que se aplica à relação de mediação (*mediates*) que define os indivíduos do tipo *Relator*. Por sua vez, o tipo *Domain Formal Relation* se aplica às relações formais que são específicas de domínio e que, por isso, não são representadas entre os tipos de indivíduos da UFO, mas entre os conceitos específicos de domínio, assim como as do tipo *Material Relation*.

Por fim, o tipo de relação **Meronímica** (*Meronymic*) refere-se às relações todo-parte (*partOf*) que ocorrem entre os subtipos de *Object*. Em particular, há duas meta-propriedades associadas a este tipo que interessam neste trabalho: *é-essencial* (*isEssential*) e *é-inseparável* (*isInseparable*). O primeiro implica que o todo é existencialmente dependente da parte, e o segundo implica no caso inverso. Este tipo é ainda subdividido em *Componente-de* (*ComponentOf*), *Membro-de* (*MemberOf*), *Sub-Coleção-de* (*SubcollectionOf*) e *Sub-Quantidade-de* (*SubQuantityOf*), cujas relações correspondentes são explicadas mais adiante no texto.

Enquanto o fragmento de diagrama da UFO apresentado na Figura 13a mostra a representação da relações do tipo *Characterization* e *Mediation* entre os tipos de indivíduos, o da Figura 13b mostra a representação da relações do tipo *Meronymic*.

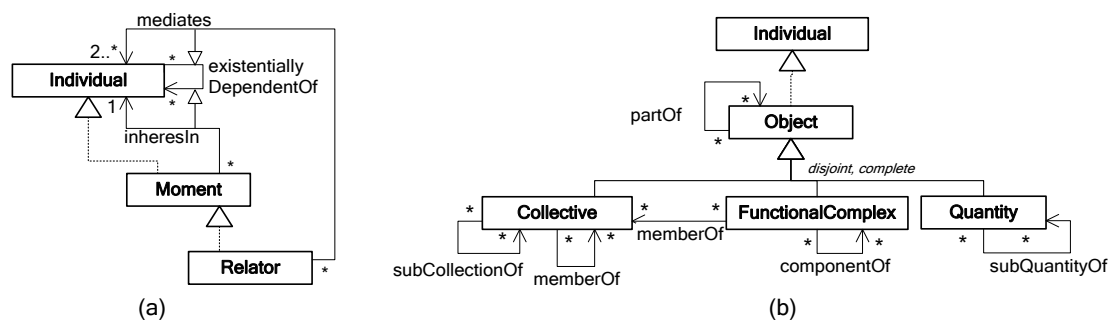


Figura 13. Fragmentos da UFO – relações entre tipos de indivíduos.

A relação de dependência existencial (*existentiallyDependentOf*) entre indivíduos é uma relação irreflexiva tal que sempre que o indivíduo dependente existir, então o outro indivíduo do qual aquele depende também existe. A relação de inerência (*inheresIn*) entre *moments* e indivíduos é um tipo especial de dependência existencial que define *Moment* como o tipo dos indivíduos que são inerentes a exatamente um outro indivíduo. Também a relação de mediação (*mediates*) entre *relators* e indivíduos é um tipo especial de dependência existencial que define *Relator* como o tipo dos indivíduos que mediam dois ou mais indivíduos.

Por sua vez, a relação parte-de (*partOf*), que instancia o tipo *Meronymic*, ocorre entre indivíduos do tipo *Object*. Ela é especializada⁶ conforme os sub-tipos da classe *Object* que são ligados pela relação, como segue: (i) **componente-de** (*componentOf*) vale entre complexos funcionais; (ii) **membro-de** (*memberOf*) vale entre complexos funcionais e coleções, ou coleções entre si; (iii) **sub-coleção-de** (*subCollectionOf*) vale entre coleções; e (iv) **sub-quantidade-de** (*subQuantityOf*) vale entre quantidades.

Enquanto a Figura 14 apresenta um esquema, semelhante ao da Figura 3, que exemplifica as relações do tipo *Material*, *Characterization* e *Mediation*, o esquema da 15 exemplifica as relações do tipo *ComponentOf*. A relação **inerente-a** entre **Pessoa** e **Dor de Cabeça**, que instancia o tipo *Characterization* e especializa a relação *inheresIn*, é instanciada no nível de indivíduos entre **João** e **Dor de Cabeça de João**. Analogamente, a **media** entre **Pessoa** e **Casamento**, que instancia o tipo *Mediation* e especializa a *mediates*, instanciada no nível de indivíduos entre **João** e **Casamento**, e. Por sua vez, a relação **casado com** entre

⁶ a relação de especialização entre as relações é omitida para facilitar a visualização do diagrama.

indivíduos do tipo **Pessoa** instancia o tipo *Material* pois depende de um interventor para valer entre indivíduos. Esta relação é instanciada no nível de indivíduos entre **João** e **Maria**, uma vez que existe um interventor, o *relator Casamento de João e Maria*, que os media.

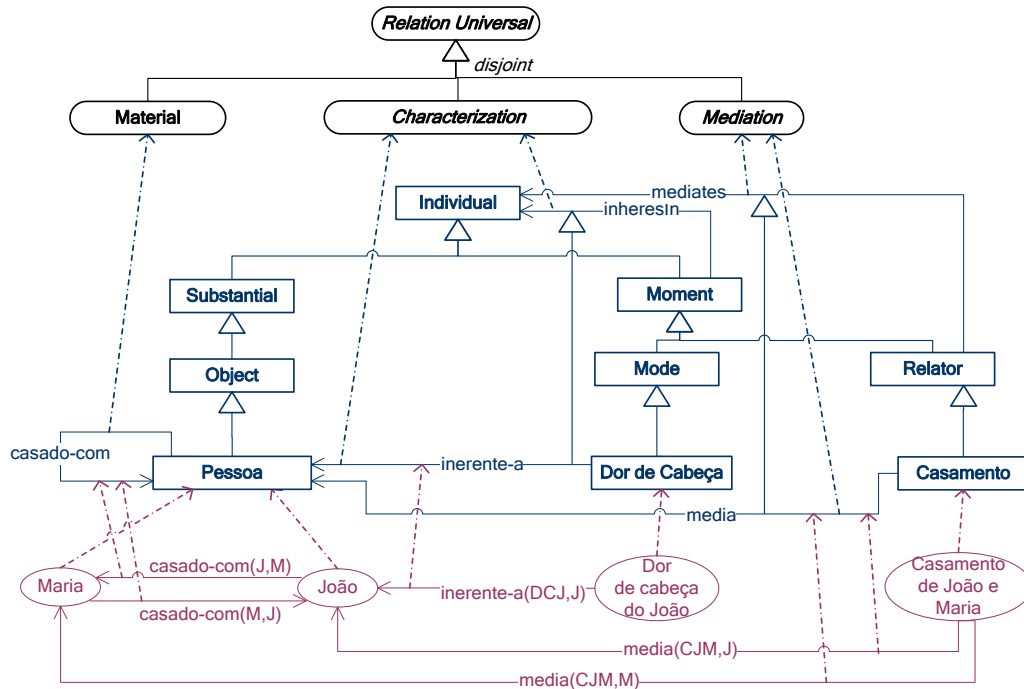


Figura 14. Fragmento da UFO em esquema de níveis – Relações.

A relação **componente-de** entre **Pessoa** e **Coração**, que instancia o tipo *ComponentOf Universal* e especializa a relação *componentOf*, é instanciada no nível de indivíduos entre os complexos funcionais **João** e **Coração de João**

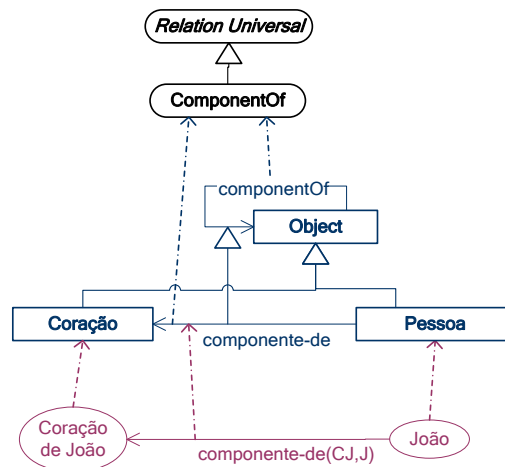


Figura 15. Fragmento da UFO em esquema de níveis – Relações Meronímicas.

2.2. NÍVEIS DE LINGUAGEM

Esta seção apresenta de forma sucinta alguns níveis de linguagem relevantes a este trabalho e suas principais características, conforme resumido na Tabela 1. Esta classificação foi proposta por Guarino em 1994 (GUARINO, NICOLA, 1994), revisitando a classificação proposta em 1979 por Brachman (BRACHMAN, 1979 apud GUARINO, 1994).

Tabela 1. Principais características dos níveis de linguagem Lógico, Epistemológico e Ontológico.

Níveis	Construtos Primitivos	Principal Característica	Interpretação
Lógico	Predicados	Formalização	Arbitrária
Epistemológico	Relações Estruturais (Conceitos e Papéis)	Estrutura	Arbitrária
Ontológico	Relações Estruturais (satisfazem postulados de significado)	Significado	Restrita

Brachman defende que o conhecimento consiste de proposições, cujas estruturas formais dão origem a novos conhecimentos. Segundo o autor, se por um lado as linguagens de nível lógico provêm construtos para formalização do conhecimento que permitem o raciocínio formal, por outro lado lhes falta fundamentação cognitiva que favoreça a representação do conhecimento de forma estruturada. Assim, Brachman propõe o nível epistemológico, cujas linguagens são tais que permitam não só formalizar o conhecimento, mas estruturá-lo permitindo favorecer o raciocínio formal e a derivação de novos conhecimentos (GUARINO, NICOLA, 2009; GUIZZARDI, 2007).

Por sua vez, Guarino argumenta que em ambos os níveis lógico e epistemológico a interpretação de mundo real da teoria lógica é completamente arbitrária. Em particular, o nível epistemológico, apesar de acrescentar um significado estrutural ao conhecimento, não está focado na representação formal. Assim, o autor propõe a existência de nível ontológico em que “as primitivas de conhecimento satisfaçam postulados formais de significado, que restringem a interpretação de uma teoria lógica com base em distinções ontológicas formais” (GUARINO, NICOLA, 2009, p. 6).

Enquanto exemplos de linguagens de nível epistemológico são diversos, como UML e DL/OWL, entre outros, exemplos de linguagens de nível ontológico são raros. Segundo Guarino (2009), por não haver um consenso geral sobre ter as distinções ontológicas embutidas em linguagens de representação, “importantes questões a respeito de diferentes suposições ontológicas subjacentes ao nosso uso de termos têm sido simplesmente deixadas de lado enquanto busca-se simplificação

lógica e tratabilidade computacional” (GUARINO, NICOLA, 2009, p. 2). Assim, decisões de modelagem são deixadas por conta do engenheiro do conhecimento e permanecem implícitas em sua mente, prejudicando a precisão da comunicação e compartilhamento da informação. Ainda segundo o autor, uma proposta concreta nesta direção é feita por Guizzardi (2005), em que o metamodelo do diagrama de classes da UML é estendido para incorporar as distinções ontológicas definidas na ontologia de fundamentação UFO.

Se por um lado linguagens de nível ontológico são então mais apropriadas para representação clara, precisa e não ambígua do conhecimento acerca de domínio, por outro lado elas tendem a não ser computacionalmente tratáveis. Assim, uma vez que se deseja realizar raciocínio automatizado sobre uma ontologia, torna-se então necessário utilizar linguagens de nível lógico/epistemológico que tenham tal objetivo. Diante deste conflito entre focar na qualidade da representação ou em questões computacionais, Guizzardi (2007, 2010a) defende que é necessária uma abordagem de Engenharia de Ontologia em que essas duas classes de linguagem têm seu papel. Esta abordagem é explicada na seção a seguir.

2.3. ENGENHARIA DE ONTOLOGIA

A abordagem de Engenharia de Ontologia proposta por Guizzardi (2007), alinhada com a posição defendida por Masolo et al. (2003 apud GUIZZARDI, 2007), aponta a necessidade de duas classes de linguagens que permitam produzir tanto uma **ontologia de referência de domínio** (*domain reference ontology*), visando capturar de forma clara, concisa e não ambígua os conceitos do domínio, quanto uma **ontologia leve** (*lightweight ontology*), para atender a requisitos computacionais.

Esta abordagem segue métodos análogos aos de engenharia nas disciplinas de Engenharia de Software e de Sistemas de Informação, em que existe uma clara distinção entre Modelagem Conceitual, Projeto e Implementação. Assim, uma abordagem teoricamente consistente de Engenharia de Ontologia consiste de três fases: Análise, Projeto e Implementação. Na fase de **Análise** utiliza-se uma linguagem de nível ontológico para criar a **ontologia de referência de domínio**, focada na adequação da representação, que pode ser usada por humanos em tarefas como comunicação, análise de domínio, negociação de significados, estabelecimento de consensos e solução de problemas.

Uma vez que uma conceituação comum é estabelecida como referência, na fase de **Implementação** utiliza-se linguagens de nível lógico/epistemológico para criar **ontologias leves**, ou seja, versões da ontologia de referência com foco em garantir propriedades computacionais desejáveis. Contudo, é necessária ainda uma fase de **Projeto** para ligar a análise à implementação de ontologias. Nesta fase, leva-se em consideração, por exemplo, a diferença de expressividade entre as linguagens usadas nas outras fases, ou ainda, a questão de como produzir ontologias leves que maximizem requisitos não-funcionais. A Figura 16 ilustra esta abordagem.

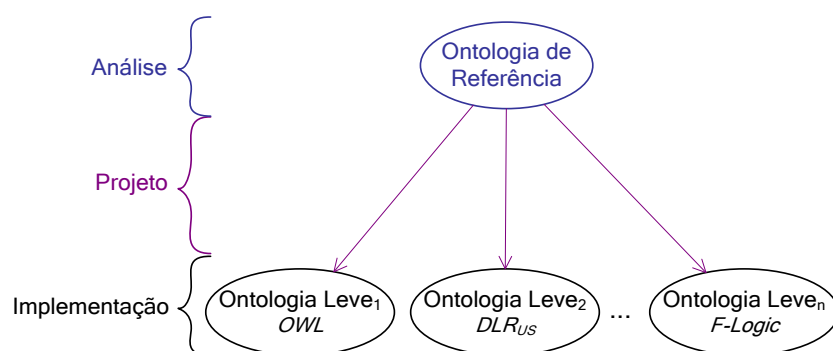


Figura 16. Abordagem de Engenharia de Ontologia.

2.4. LINGUAGENS PARA REPRESENTAÇÃO DE ONTOLOGIAS

As linguagens para representação de ontologias adotadas neste trabalho são a de nível ontológico OntoUML, apresentada na seção 2.4.1, e a de nível epistemológico OWL, apresentada na seção 2.4.2.

2.4.1. OntoUML – *Ontological Unified Modeling Language*

OntoUML é o nome dado à versão ontologicamente bem-fundamentada (do diagrama de classes) da UML 2.0 (*Unified Modeling Language*), proposta por Guizzardi (2005). O autor mostra que falta uma definição precisa da semântica formal da linguagem UML, e estende o metamodelo desta para ser isomórfico à UFO-A, tornando-o ontologicamente consistente. A UML tem mecanismos de extensão que permitem modificar os elementos da linguagem de tal forma que um conjunto coerente de tais extensões constitui um perfil UML. A OntoUML é, portanto, um perfil UML composto por um conjunto de estereótipos que representam as categorias ontológicas dos tipos de universais propostos na UFO-A, bem como por restrições formais que refletem a axiomatização da UFO de tal modo que se restringe o conjunto de modelos gramaticalmente válidos em OntoUML àqueles que representam situações admissíveis segundo a

teoria da UFO (GUIZZARDI, 2007). Assim, a explicação da aplicação dos estereótipos é idêntica à aplicação dos tipos de universais correspondentes da UFO.

A Figura 17 e a Figura 18 mostram fragmentos do metamodelo dessa linguagem, cujos elementos-folha são os estereótipos da linguagem relevantes no contexto deste trabalho. A primeira apresenta fragmentos do metamodelo da OntoUML em que o elemento de representação *Class* da UML é especializado conforme os tipos de Universais Monádicos da UFO.

Também o elemento de representação *Relationship* da UML é especializado conforme os tipos de Universais de Relação da UFO, vide Figura 18. As relações do tipo formais básicas e meronímicas especializam um tipo especial de *Relationship*, a saber, *Directed Binary Relationship* (Relação Binária e Direcionada), enquanto os outros tipos especializam *Association*, que refere-se a relações enárias. Em particular, o estereótipo *Formal Association* refere-se ao tipo de universal *Domain Formal Relation* da UFO.

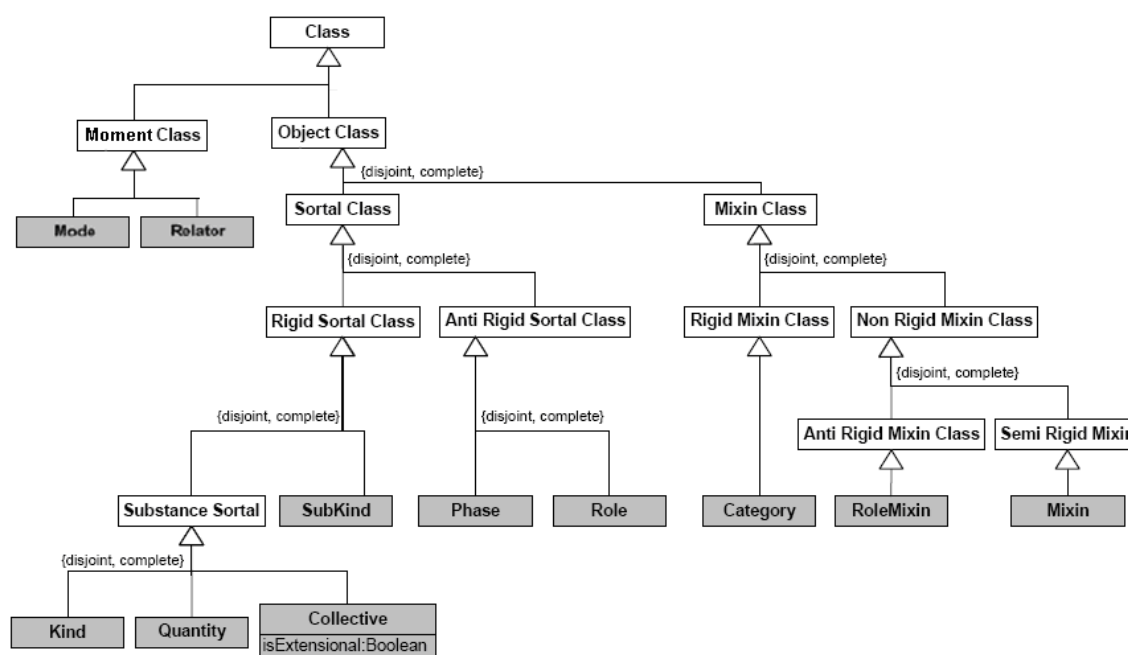


Figura 17. Fragmento do metamodelo da linguagem OntoUML para o tipo *Class*.

Fonte: Guizzardi (2005, p. 316) adaptado

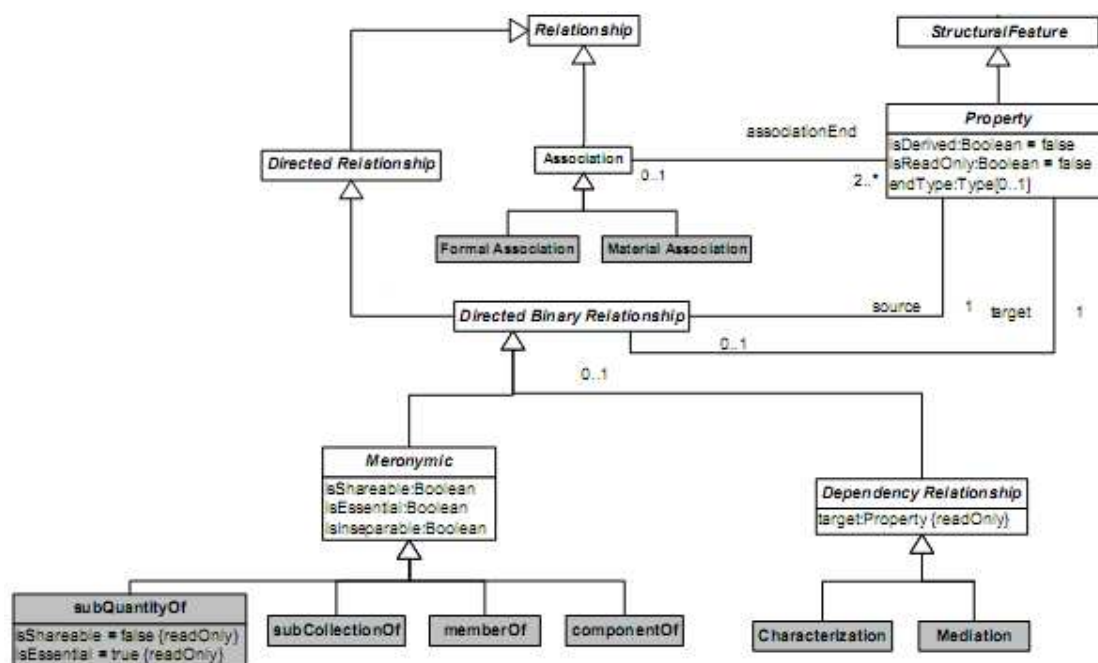


Figura 18. Fragmento do metamodelo da linguagem OntoUML para o tipo *Relationship*.

Fonte: Guizzardi (2005, p. 334) adaptado

2.4.2. OWL – Web Ontology Language

A linguagem OWL (*Web Ontology Language*) é um padrão de fato recomendado pela W3C (*World Wide Web Consortium*) para representação de ontologias na *Web Semântica*. Ela foi projetada para representar categorias de objetos e as relações entre eles, além de informações sobre os próprios objetos. (HORROCKS ET AL., 2003).

A OWL foi proposta com o intuito de atender às seguintes restrições: (i) manter a compatibilidade com padrão RDF (*Resource Description Framework*) para representação de informação na *Web*, estendendo, porém, a capacidade de expressar o conhecimento dito “ontológico”; (ii) ter sintaxe e semântica bem definidas, bem como um poder de expressividade que mantenha propriedades computacionais desejáveis. (ANTONIOU; HARMELEN, 2003).

Esta linguagem tem sido amplamente usada para representação de ontologias em diversos domínios como medicina, biologia, geografia, astronomia. Entretanto, sua ampla utilização apontou várias limitações, que se buscou resolver com a proposta de uma extensão da linguagem original, chamada de OWL 1, para uma nova versão chamada OWL 2 (GRAU ET AL., 2008). Neste trabalho é utilizada a linguagem OWL 2 (referida apenas como OWL no restante do texto).

Sintaxe e Semântica

A Figura 19 apresenta um diagrama estilo UML, que é usado no decorrer deste trabalho para representar modelos OWL, visando facilitar o entendimento destes. Tal estrutura cobre apenas parcialmente a capacidade de representação de OWL, mas é suficiente para as discussões conduzidas aqui. Este exemplo é representado a seguir na sintaxe funcional de OWL (que é definida em seguida), e sua explicação visa ilustrar tanto a utilização do diagrama quanto a interpretação dos construtos nele contemplados.

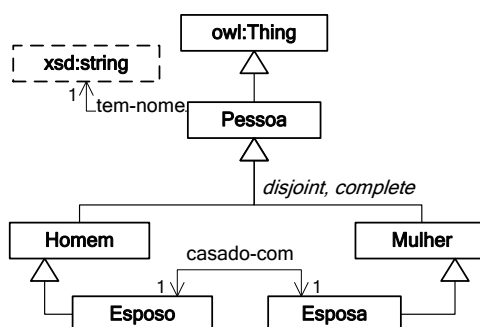


Figura 19. Exemplo de esquema estilo UML para representação de OWL.

Classes: Pessoa, Homem, Mulher, Esposo, Esposa

Propriedades de Objeto: casado-com

Propriedades de Dados: tem-nome

(1) **SubClassOf**(Homem Pessoa)

(2) **SubClassOf**(Mulher Pessoa)

(3) **DisjointClasses**(Mulher Homem)

(4) **EquivalentClasses**(Pessoa
ObjectUnionOf(Mulher Homem))

(5) **SubClassOf**(Pessoa
DataExactCardinality(1 tem-nome xsd:string))

(6) **SubClassOf**(Esposo Homem)

(7) **EquivalentClasses**(Esposo
ObjectSomeValuesFrom(casado-com Esposa))

(8) **SubClassOf**(Esposa Mulher)

(9) **EquivalentClasses**(Esposa
ObjectSomeValuesFrom(casado-com Esposo))

(10) **FunctionalObjectProperty**(casado-com)

(11) **SymmetricObjectProperty**(casado-com)

(12) **ObjectPropertyDomain**(casado-com
ObjectUnionOf(Esposo Esposa))

(13) **ObjectPropertyRange**(casado-com
ObjectUnionOf(Esposo Esposa))

(14) **DataPropertyDomain**(tem-nome Pessoa)

(15) **DataPropertyRange**(tem-nome xsd:string)

A principal distinção neste domínio de exemplo é que os indivíduos classificados como pessoa são homens ou são mulheres. Esta distinção é representada no diagrama pelo conjunto de generalização (*generalization set*) que contém as classes **Homem** e **Mulher**, que especializam a classe **Pessoa**, rotulado com os termos *disjoint* e *complete*. As especializações, representadas nas linhas 1 e 2 do modelo OWL, significam que a interpretação da classe **Homem**, bem como de **Mulher**, está contida na interpretação da classe **Pessoa**, ou seja, todo indivíduo que seja homem ou mulher é pessoa.

O termo *disjoint*, representado na linha 3, declara que as classes **Homem** e **Mulher** são disjuntas, e significa que a interseção da interpretação destes é vazia, ou seja, um homem não pode ser mulher e vice-versa. O termo *complete*, representado na linha 4, declara que a classe **Pessoa** é particionada de forma completa pelas classes **Homem** e **Mulher**, e significa que a interpretação da classe **Pessoa** é equivalente à interpretação da união das classes **Homem** e **Mulher**, ou seja, toda pessoa é um homem ou uma mulher. Além disso, um Homem pode ser Esposo, e uma Mulher pode ser Esposa. A explicação dessas especializações é semelhante à outra já realizada neste parágrafo.

Também é verdade que toda pessoa tem exatamente um nome, que é do tipo *string*. Isto é representado no diagrama pela relação nomeada **tem-nome** entre a classe **Pessoa** e o tipo de dado **xsd:String** com uma restrição de cardinalidade igual a 1. No modelo OWL, isto se refere à linha 5, e significa que a interpretação da classe **Pessoa** é equivalente à interpretação da expressão de classe que corresponde a todos os indivíduos que instanciam a propriedade de dados **tem-nome** com exatamente um elemento do domínio de dados do tipo *string*.

Ainda as linhas 14 e 15 restringem respectivamente o domínio e a imagem desta propriedade. A primeira significa que, para cada instância da propriedade **tem-nome**, o elemento do domínio da propriedade pertence à interpretação da classe **Pessoa**, por exemplo, se **tem-nome(João, “João da Silva”)** então a interpretação de **João** pertence à união da interpretação da classe **Pessoa**. Analogamente, a segunda significa que, para cada instância da propriedade **tem-nome**, o elemento da imagem pertence à interpretação do tipo de dados **String**, por exemplo, se **tem-nome(João, “João da Silva”)** então **“João da Silva”** tem que ser uma *string*.

Um indivíduo do tipo **Esposo** é necessariamente **casado com** exatamente um do tipo **Esposa**, e vice-versa. Essa situação é representada no diagrama pela relação bidirecional **casado-com** entre as classes **Esposo** e **Esposa**. No modelo OWL, isto se refere às linhas 7, 9 e 10 a 13. As duas primeiras significam que a interpretação da classe **Esposo (Esposa)** é equivalente à interpretação da expressão de classe que corresponde a todos os indivíduos que instanciam a propriedade de objetos **casado-com** com algum elemento do domínio que pertença à interpretação da classe **Esposa (Esposo)**. Também a linha 10 significa que se a propriedade **casado-com** for instanciada duas vezes para um mesmo indivíduo, por exemplo, **casado-com(João, Maria)** e **casado-com(João, Ana)**, então **Maria** e **Ana** são a mesma pessoa, ou seja, têm a mesma interpretação.

Ainda a linha 11 significa que sempre a propriedade **casado-com** for instanciada para um par ordenado, ela vale também para o seu par simétrico, por exemplo, se **casado-com(João, Maria)** então **casado-com(Maria, João)**. Finalmente, as linhas 12 e 13 restringem respectivamente domínio e imagem da propriedade **casado-com**, e, sendo semelhantes, significam que, para cada instância da propriedade **casado-com**, o elemento do domínio (ou imagem) da propriedade pertence à interpretação da expressão de classe que a todos os indivíduos que pertencem à união da interpretação das classes **Esposo** e **Esposa**, por exemplo, se **casado-com(João, Maria)** então a interpretação de **João** pertence à união da interpretação das classes **Esposo** e **Esposa**, bem como a de **Maria**.

A sintaxe e a semântica formal dos construtos de OWL utilizados neste trabalho, são apresentadas na Tabela 2. Adota-se a sintaxe funcional conforme definido por Motik et al. (2009). A teoria semântica, correspondente à da lógica de descrição *SROIQ(D)* (HORROCKS ET AL., 2006), é apresentada conforme definido por Motik, Patel-Schneider e Grau (2009), porém de forma simplificada.

A semântica de OWL é definida usando uma semântica de modelos (*Model-Theoretic Semantics*) ou a chamada Semântica Tarskiana (*Tarskian-Semantics*), em homenagem ao logicista polonês Alfred Tarski. Nesta teoria, um chamado *modelo* inclui um conjunto (chamado de domínio ou universo) Δ^I e de uma função de interpretação \cdot^I . O domínio Δ^I é o conjunto de elementos para uma certa interpretação, e a função de interpretação \cdot^I é um mapeamento de nomes de indivíduos em elementos do domínio, nomes de classes em subconjuntos do domínio, e nomes de propriedades de indivíduos em conjuntos de pares ordenados de elementos do domínio. A função de interpretação pode ser estendida para expressões de classes ou propriedades Utiliza-se um domínio à parte Δ^D para os valores de tipos de dados, bem como uma função de interpretação \cdot^D que mapeia um nome de tipo de dados em elementos deste domínio. Enfim, uma interpretação satisfaz uma ontologia se e somente se ela satisfaz cada axioma e fato da ontologia; e uma ontologia é consistente se e somente se ela é satisfeita por ao menos uma interpretação.

Tabela 2. Sintaxe Funcional e Semântica de alguns construtos OWL.

Sintaxe	Semântica
DECLARAÇÕES	
Declaration(Class(C))	$C^I \subseteq \Delta^I$
Declaration(ObjectProperty(OP))	$OP^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$
Declaration(Datatype(DT))	$DT^D \subseteq \Delta^D$

Declaration(DataProperty(DP))	$DP^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^D$
EXPRESSÕES DE CLASSE	
ObjectComplementOf (C) ,	$\{x \mid x \in \Delta^I \setminus C^I\}$
ObjectIntersectionOf (C₁ .. C_n) ,	$\{x \mid x \in C_1^I \cap \dots \cap C_n^I\}$
ObjectUnionOf (C₁ .. C_n) ,	$\{x \mid x \in C_1^I \cup \dots \cup C_n^I\}$
ObjectSomeValuesFrom (OP C)	$\{x \mid \exists y : (x,y) \in OP^I \wedge y \in C^I\}$
ObjectAllValuesFrom (OP C)	$\{x \mid \forall y : (x,y) \in OP^I \rightarrow y \in C^I\}$
ObjectMinCardinality (n OP C)	$\{x \mid \#\{y \mid (x,y) \in OP^I \wedge y \in C^I\} \geq n\}$
ObjectMaxCardinality (n OP C)	$\{x \mid \#\{y \mid (x,y) \in OP^I \wedge y \in C^I\} \leq n\}$
ObjectExactCardinality (n OP C)	$\{x \mid \#\{y \mid (x,y) \in OP^I \wedge y \in C^I\} = n\}$
DataSomeValuesFrom (DP DT)	$\{x \mid \exists y : (x,y) \in DP^I \wedge y \in DT^D\}$
DataMinCardinality (n DP DT)	$\{x \mid \#\{y \mid (x,y) \in DP^I \wedge y \in DT^D\} \geq n\}$
DataMaxCardinality (n DP DT)	$\{x \mid \#\{y \mid (x,y) \in DP^I \wedge y \in DT^D\} \leq n\}$
EXPRESSÕES DE PROPRIEDADES DE OBJETO	
InverseObjectProperty (OP)	$\{(x,y) \mid (y,x) \in OP^I\}$
AXIOMAS DE EXPRESSÕES DE CLASSE	
SubClassOf (SC C)	$SC^I \subseteq C^I$
EquivalentClasses (C₁ C₂)	$C_1^I = C_2^I$
DisjointClasses (C₁ .. C_n)	$C_j^I \cap C_k^I = \emptyset, 1 \leq j < k \leq n$
ObjectPropertyDomain (OP C)	$\forall x,y (x,y) \in OP^I \rightarrow x \in C^I$
ObjectPropertyRange (OP C)	$\forall x,y (x,y) \in OP^I \rightarrow y \in C^I$
AXIOMAS DE EXPRESSÕES DE PROPRIEDADES DE OBJETO	
SubObjectPropertyOf (SOP OP)	$SOP^I \subseteq OP^I$
SubObjectPropertyOf(ObjectPropertyChain (OP₁ .. OP_n) OP)	$\forall y_0 .. y_n (y_0, y_1) \in OP_1^I \wedge \dots \wedge (y_{n-1}, y_n) \in OP_n^I \rightarrow (y_0, y_n) \in OP^I$
FunctionalObjectProperty (OP)	$\forall x,y_1,y_2 (x,y_1) \in OP^I \wedge (x,y_2) \in OP^I \rightarrow y_1 = y_2$
IrreflexiveObjectProperty (OP)	$\forall x,y (x,y) \in OP^I \rightarrow x \neq y$
SymmetricObjectProperty (OP)	$\forall x,y (x,y) \in OP^I \rightarrow (y,x) \in OP^I$
AXIOMAS DE EXPRESSÕES DE PROPRIEDADES DE DADOS	
SubDataPropertyOf (SDP DP)	$SDP^I \subseteq DP^I$
DataPropertyDomain (DP C)	$\forall x,y (x,y) \in DP^I \rightarrow x \in C^I$
DataPropertyRange (DP DT)	$\forall x,y (x,y) \in DP^I \rightarrow y \in DT^D$
FunctionalDataProperty (DP)	$\forall x,y_1,y_2 (x,y_1) \in DP^I \wedge (x,y_2) \in DP^I \rightarrow y_1 = y_2$

Ademais, por ter a teoria semântica baseada em DL, algumas importantes características desta linguagem lógica, incorporadas à semântica de OWL, devem ainda ser observadas. Primeiramente assume-se a **hipótese de mundo aberto** (HMA), ou seja, não se pode concluir a falsidade de uma informação unicamente pela ausência de uma afirmação sobre sua veracidade. A veracidade da informação deve ser definida explicitamente num axioma ou ser deduzida a partir de outros axiomas existentes, caso contrário, nada se pode afirmar sobre ela.

Outra **hipótese** assumida é a **de nomes não-únicos** (HNNU), que significa que dois indivíduos com nomes diferentes podem representar o mesmo objeto do domínio. Em conjunto com a HMA, só se pode afirmar que dois nomes de indivíduos referem-se (ou não) ao mesmo objeto se eles forem explicitamente declarados iguais (ou diferentes), caso contrário, nada se pode afirmar. Finalmente, a **monotonicidade** significa que a adição de nova informação, supostamente desconhecida, não deve interferir na informação anteriormente derivada. Em outras palavras, o que é verdade em uma situação, deve continuar sendo independentemente da adição de outra informação no modelo. Assim, tais linguagens são tipicamente projetadas para representar cenários estáticos, em que a informação pode ser completada, mas não pode, de fato, mudar. (HOEKSTRA, 2009)

7. REFERÊNCIAS

- ANTONIOU, G.; HARMELEN, F. V. Web Ontology Language: OWL. In: S. Staab R. Studer (Orgs.); **Handbook on Ontologies**, International Handbooks Information System. p.67-91. Springer-Verlag, 2003.
- ARTALE, A.; CALVANESE, D.; IBÁÑEZ-GARCÍA, A. Full Satisfiability of UML Class Diagrams. In: J. Parsons; M. Saeki; P. Shoval; C. Woo; Y. Wand (Orgs.); **Conceptual Modeling – ER 2010**, Lecture Notes in Computer Science. v. 6412, p.317-331. Springer Berlin / Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-16373-9_23, 2010.
- ARTALE, A.; KONTCHAKOV, R.; RYZHIKOV, V.; ZAKHARYASCHEV, M. Complexity of Reasoning over Temporal Data Models. In: J. Parsons; M. Saeki; P. Shoval; C. Woo; Y. Wand (Orgs.); **Conceptual Modeling – ER 2010**, Lecture Notes in Computer Science. v. 6412, p.174-187. Springer Berlin / Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-16373-9_13, 2010.
- BRACHMAN, R. On the epistemological status of semantic networks. In: **N. V. Findler (Ed.), Associative Networks: Representation and Use of Knowledge by Computers**. Academic Press, 1979.
- BRACHMAN, R.; LEVESQUE, H. **Knowledge Representation and Reasoning**. Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2004.
- BUNGE, M. **Ontology I: The Furniture of the World**, Treatise on Basic Philosophy. 1º ed., v. 3. New York: D. Reidel Publishing, 1977.
- CARRARETTO, R. **A Modeling Infrastructure for OntoUML**. Graduation Thesis, Vitória, ES, Brazil: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010, Julho.
- DEGEN, W.; HELLER, B.; HERRE, H.; SMITH, B. GOL: toward an axiomatized upper-level ontology. In: Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - FOIS '01. **Anais...** . p.34-46. Ogunquit, Maine, USA. doi: 10.1145/505168.505173, 2001.
- GALTON, A. Operators vs. Arguments: The Ins and Outs of Reification. **Synthese**, v. 150, p. 415-441, 2006.
- GANGEMI, A. Ontology Design Patterns for Semantic Web Content. In: International Semantic Web Conference'05. **Anais...** . p.262–276. doi: 10.1007/11574620_21, 2005.
- GESELOWITZ, D. B. On the theory of the electrocardiogram. **Proceedings of the IEEE**, v. 77, n. 6, p. 857–876. doi: 10.1109/5.29327, 1989.
- GONÇALVES, B.; GUIZZARDI, G.; FILHO, J. G. P. Using an ECG reference ontology for semantic interoperability of ECG data. **Journal of Biomedical Informatics**, v. In Press, Corrected Proof. doi: 10.1016/j.jbi.2010.08.007, 2010.
- GONÇALVES, B.; PEREIRA FILHO, J. G.; GUIZZARDI, G. An Electrocardiogram (ECG) Domain Ontology. In: Proceedings of the 2nd Workshop on Ontologies and Metamodels for Software and Data Engineering (WOMSDE'07). **Anais...** . João Pessoa, Brazil, 2007.

GONÇALVES, B.; ZAMBORLINI, V.; GUIZZARDI, G. Using a Lightweight Ontology of Heart Electrophysiology in an Interactive Web Application. In: XIV Simposio Brasileiro de Sistemas Multimidia e Web (WEBMIDIA 2008). **Anais...** . Vila Velha (ES), Brazil, 2008.

GONÇALVES, B.; ZAMBORLINI, V.; GUIZZARDI, G. An ontological analysis of the electrocardiogram. **ELECTRONIC JOURNAL OF COMMUNICATION, INFORMATION AND INNOVATION IN HEALTH**, Ontologies, Semantic Web and Health., v. 3, n. 1, p. 1-26. doi: 10.3395/reciis.v3i1.242en, 2009.

GONÇALVES, B.; ZAMBORLINI, V.; GUIZZARDI, G.; PEREIRA FILHO, J. G. An ontology-based application in heart electrophysiology: representation, reasoning and visualization on the web. In: Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing. **Anais...** . p.816-820. Honolulu, Hawaii: ACM. doi: 10.1145/1529282.1529456, 2009.

GRAU, B. C.; HORROCKS, I.; MOTIK, B.; ET AL. OWL 2: The next step for OWL. **Web Semant.**, v. 6, n. 4, p. 309-322. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.websem.2008.05.001>, 2008.

GUARINO, N. The Ontological Level. **PHILOSOPHY AND THE COGNITIVE SCIENCES**, p. 443--456, 1994.

GUARINO, N. The Ontological Level: Revisiting 30 Years of Knowledge Representation. **Conceptual Modeling: Foundations and Applications**, p. 52-67. doi: 10.1007/978-3-642-02463-4_4, 2009.

GUIZZARDI, G. **Ontological foundations for structural conceptual models**. PhD Thesis, Enschede: CTIT, Centre for Telematics and Information Technology, 2005.

GUIZZARDI, G. Agent Roles, Qua Individuals and the Counting Problem. In: A. F. Garcia; R. Choren; C. J. P. D. Lucena; et al. (Orgs.); Software Engineering for Multi-Agent Systems IV (SELMAS), Research Issues and Practical Applications. **Anais...** , Lecture Notes in Computer Science. v. 3914, p.143-160. Springer, 2006.

GUIZZARDI, G. On Ontology, ontologies, Conceptualizations, Modeling Languages and (Meta)Models. In: Databases and Information Systems IV - Selected Papers from the Seventh International Baltic Conference DB&IS'2006. **Anais...** , Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. v. 155, p.18-39. Vilnius, Lithuania: Olegas Vasilecas, Johann Eder, Albertas Caplinskas, 2007.

GUIZZARDI, G. The Problem of Transitivity of Part-Whole Relations in Conceptual Modeling Revisited. In: Proceedings of the 21st International Conference on Advanced Information Systems Engineering. **Anais...** . p.94-109. Amsterdam, The Netherlands: Springer-Verlag, 2009.

GUIZZARDI, G. Theoretical Foundations and Engineering Tools for Building Ontologies as Reference Conceptual Models. **Semantic Web**, v. 1, n. 1-2, p. 3-10. doi: 10.3233/SW-2010-0015, 2010a.

GUIZZARDI, G. Representing Collectives and Their Members in UML Conceptual Models: An Ontological Analysis. In: J. Trujillo; G. Dobbie; H. Kangassalo; et al. (Orgs.); Proceedings of 6th International Workshop on Foundations and Practice of UML (FP-UML). **Anais...** , Lecture Notes in Computer Science. v. 6413, p.265-274. Vancouver, Canada: Springer, 2010b.

- GUIZZARDI, G. On the Representation of Quantities and their Parts in Conceptual Modeling. In: Proceeding of the 2010 conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010). **Anais...** . p.103–116. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: IOS Press, 2010c.
- GUIZZARDI, G.; HALPIN, T. Ontological foundations for conceptual modelling. **Appl. Ontol.**, v. 3, p. 1–12, 2008.
- GUIZZARDI, G.; MASOLO, C.; BORGIO, S. In Defense of a Trope-Based Ontology for Conceptual Modeling: An Example with the Foundations of Attributes, Weak Entities and Datatypes. In: D. Embley; A. Olivé; S. Ram (Orgs.); Conceptual Modeling - ER 2006. **Anais...** , Lecture Notes in Computer Science. v. 4215, p.112-125. doi: 10.1007/11901181_10, 2006.
- GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. Some Applications of a Unified Foundational Ontology in Business Modeling. In: M. Rosemann P. Green (Orgs.); . p.345-367. IDEA Publisher, 2005.
- GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. What's in a Relationship: An Ontological Analysis. In: Proceedings of the 27th International Conference on Conceptual Modeling. **Anais...** , ER '08. p.83–97. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-540-87877-3_8, 2008.
- GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. Using the Unified Foundational Ontology (UFO) as a Foundation for General Conceptual Modeling Languages. In: R. Poli; M. Healy; A. Kameas (Orgs.); **Theory and Applications of Ontology: Computer Applications**. p.175-196. Germany: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-90-481-8847-5_8, 2010.
- GUIZZARDI, G.; WAGNER, G.; GUARINO, N.; SINDEREN, M. V. An Ontologically Well-Founded Profile for UML Conceptual Models. In: A. Persson J. Stirna (Orgs.); CAiSE. **Anais...** , Lecture Notes in Computer Science. v. 3084, p.112-126. Latvia: Springer, 2004.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. Textbook of Medical Physiology. In: . 9 ed., p.803-813. Philadelphia: University of Mississippi, 1996.
- HOBBS, J. R.; PAN, F. An ontology of time for the semantic web. **ACM Transactions on Asian Language Information Processing (TALIP)**, v. 3, n. 1, p. 66-85. doi: 10.1145/1017068.1017073, 2004.
- HOEKSTRA, R. **Ontology Representation: Design Patterns and Ontologies that Make Sense - Volume 197 Frontiers in Artificial Intelligence and Applications**. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: IOS Press, 2009.
- HORROCKS, I.; KUTZ, O.; SATTLER, U. The Even More Irresistible SROIQ. In: Proc. of the 10th Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2006). **Anais...** . p.57–67. AAAI Press, 2006.
- HORROCKS, I.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; HARMELEN, F. V. From SHIQ and RDF to OWL: the making of a Web Ontology Language. **Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web**, v. 1, n. 1, p. 7 - 26. doi: DOI: 10.1016/j.websem.2003.07.001, 2003.
- KRIEGER, H. Where Temporal Description Logics Fail: Representing Temporally-Changing Relationships. In: KI 2008: Advances in Artificial Intelligence, 31st Annual German Conference on AI. **Anais...** , Lecture Notes in Computer Science. v. 5243, p.249-257.

Kaiserslautern, Germany,: Springer. doi: 10.1007/978-3-540-85845-4_31, 2008.

KRIPKE, S. **Naming and Necessity**. Harvard University Press, 1982.

LUTZ, C.; WOLTER, F.; ZAKHARYASCHEV, M. Temporal Description Logics: A Survey. In: Proceedings of the 2008 15th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning. **Anais...** . p.3-14. IEEE Computer Society, 2008.

MASOLO, C.; BORGIO, S.; GANGEMI, A.; GUARINO, N.; OLTRAMARI, A. Ontology Library. **Wonderweb deliverable D18**, v. 33052, 2003.

MASOLO, C.; GUIZZARDI, G.; VIEU, L.; BOTTAZZI, E.; FERRARIO, R. Relational roles and qua-individuals. In: Procs. of AAAI Fall Symposium Roles. **Anais...** . v. 5. Virginia, USA, 2005.

MEALY, G. H. Another look at data. In: Proceedings of the November 14-16, 1967, fall joint computer conference. **Anais...** , AFIPS '67 (Fall). p.525-534. New York, NY, USA: ACM. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1465611.1465682>, 1967.

MOTIK, B.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; BECHHOFFER, S.; ET AL. **OWL 2 Web Ontology Language: XML Serialization**. W3C. Recuperado Junho 15, 2010, de <http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-xml-serialization-20091027/>, 2009.

MOTIK, B.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; GRAU, B. C. **OWL 2 Web Ontology Language: Direct Semantics**. W3C. Recuperado Junho 15, 2010, de <http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-direct-semantics-20091027/>, 2009.

MOTIK, B.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; PARSIA, B.; ET AL. **OWL 2 Web Ontology Language: Structural Specification and Functional-Style Syntax**. W3C. Recuperado Junho 15, 2010, de <http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-syntax-20091027/>, 2009.

O'CONNOR, M.; DAS, A. A Method for Representing and Querying Temporal Information in OWL. In: Biomedical Engineering Systems and Technologies (Selected Papers). **Anais...** , Communications in Computer and Information Science. Springer, 2011.

QUINE, W. V. Events and reification. In: **Actions and Events: Perspectives on the Philosophy of Davidson**. p.162-71. Blackwell, 1985.

Reifying. **Merriam-Webster Online Dictionary**. Recuperado Outubro 10, 2010, de <http://www.merriam-webster.com/dictionary/reifying>, 2010.

SMITH, B.; WELTY, C. Ontology: towards a new synthesis. In: Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - FOIS '01. **Anais...** . p.3-9. Ogunquit, Maine, USA. doi: 10.1145/505168.505201, 2001.

TEKINERDOGAN, B.; AKSIT, M. Synthesis - Based Software Architecture Design. In: M. Askit (Org.); **Software Architecture and Component Technology**. p.143-174. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

VARZI, A. C. Naming the stages. **Dialectica**, v. 57, n. 4, p. 387-412, 2003.

VIEU, L.; BORGIO, S.; MASOLO, C. Artefacts and Roles: Modelling Strategies in a Multiplicative Ontology. In: Proceeding of the 2008 conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008).

Anais... . p.121-134. IOS Press, 2008.

WAND, Y.; WEBER, R. On the deep structure of information systems. **Information Systems Journal**, v. 5, n. 3, p. 203–223. doi: 10.1111/j.1365-2575.1995.tb00108.x, 1995.

WELTY, C.; FIKES, R. A Reusable Ontology for Fluents in OWL. In: Proceeding of the 2006 conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006). **Anais...** . p.226-236. IOS Press, 2006.

WELTY, C.; GUARINO, N. Supporting ontological analysis of taxonomic relationships. **Data Knowl. Eng.**, v. 39, n. 1, p. 51–74. doi: 10.1016/S0169-023X(01)00030-1, 2001.

ZAMBORLINI, V. **Implementação de uma Ontologia de Referência de Eletrocardiograma com Análise da Perda de Expressividade**. Projeto Final de Graduação, Vitória, ES, Brazil: Universidade Federal do Espírito Santo, 2008, Fevereiro.

ZAMBORLINI, V.; GONÇALVES, B.; GUIZZARDI, G. Codification and Application of a Well-Founded Heart-ECG Ontology,. In: 3rd Workshop on Ontologies and Metamodels in Software and Data Engineering. In: Proceedings of the 3rd Workshop on Ontologies and Metamodels for Software and Data Engineering (WOMSDE'08). **Anais...** . Campinas, Brazil, 2008.

ZAMBORLINI, V.; GUIZZARDI, G. On the representation of temporally changing information in OWL. In: EDOC Workshops - VORTE'10. **Anais...** . p.6. Vitória, ES, Brazil: IEEE Computer Society, 2010a.

ZAMBORLINI, V.; GUIZZARDI, G. **An Ontologically-founded Reification Approach for Representing Temporally Changing Information in OWL**. p.11. NEMO - Ontology and Conceptual Modeling Research Group, 2010b.