



MODELO DE CONHECIMENTO DE QUALIDADE DE CONTEXTO PARA AMBIENTES UBÍQUOS BASEADO EM ONTOLOGIA

Débora Cabral Nazário *

Mário Antônio Ribeiro Dantas **

José Leomar Todesco ***

RESUMO

A computação ubíqua é um paradigma que está cada vez mais fazendo parte das atividades diárias das pessoas, através do uso de dispositivos móveis ou portáteis. Este tipo de computação possui forte ligação com as características do mundo físico e dos perfis de seus usuários. Estas informações são chamadas de contextos e representam o elemento de entrada para a computação ciente ou sensível ao contexto. O uso do contexto pode prover serviços mais dinâmicos e personalizados, sendo um aspecto essencial à garantia da Qualidade de Contexto (QoC), para atender a satisfação dos usuários. A QoC descreve a qualidade da informação que é usada para caracterizar o contexto. Através do levantamento de literatura, foi identificado que um dos principais desafios desta área é a falta de uniformização de nomenclatura e definições de parâmetros de QoC, além de diferentes formas de quantificação dos parâmetros. Estas dificuldades são refletidas nos modelos de representação, o que prejudica o entendimento e compartilhamento de informações de contexto e QoC. Neste sentido, a Engenharia do Conhecimento pode auxiliar na representação de conhecimento deste domínio, com a utilização de ontologia. Sendo assim, este artigo descreve o desenvolvimento de um modelo de

* Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento (PPGEGC-UFSC). Professora do Departamento de Ciência da Computação da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) - Joinville, Santa Catarina, Brasil - debora.nazario@udesc.br

** Doutor em Ciência da Computação (University of Southampton - UK). Professor Titular do Departamento de Informática e Estatística (INE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis, Santa Catarina, Brasil - mario.dantas@ufsc.br

*** Doutor em Engenharia de Produção (UFSC). Professor Associado do Departamento de Engenharia do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis, Santa Catarina, Brasil - tite@egc.ufsc.br

conhecimento de qualidade de contexto, cujo processo metodológico foi baseado nas atividades de especificação, aquisição do conhecimento, implementação e verificação. Estas atividades foram desempenhadas em cinco ciclos de desenvolvimento, através das ferramentas OntoKEM e Protégé. Desta forma, esta pesquisa contribuiu com um Modelo de Conhecimento de QoC para apoiar pesquisadores e desenvolvedores de computação ciente de contexto, facilitando o entendimento e acesso aos conceitos deste domínio, permitindo sua reutilização. Foram modelados os principais aspectos identificados na revisão detalhada da literatura. Os procedimentos metodológicos adotados e ferramentas utilizadas foram adequados e podem ser adotados para outros domínios. A estruturação, organização e integração de conhecimento permitirá o compartilhamento e reutilização do modelo proposto, facilitando novas pesquisas nesta área.

Palavras-Chave: Modelo de Conhecimento. Ontologia. Qualidade de Contexto. Computação Ubíqua.

1 INTRODUÇÃO

A computação ubíqua é um paradigma caracterizado pela presença de dispositivos portáteis, que estão cada vez mais fazendo parte das atividades diárias das pessoas. O termo computação ubíqua foi definido pelo cientista Mark Weiser, para se referir a dispositivos conectados em todos os lugares de forma transparente para o ser humano.

A computação ubíqua se beneficia de avanços tecnológicos de dois ramos de pesquisa: computação móvel e computação pervasiva. A computação móvel é a capacidade de um dispositivo computacional e os serviços associados serem móveis, podendo ser carregado e transportado, mantendo-se conectado à rede ou à Internet. A computação pervasiva define que os meios de computação estarão distribuídos no ambiente de trabalho ou do dia a dia dos usuários de forma perceptível ou imperceptível. Desta forma, a computação ubíqua é a integração entre mobilidade com sistemas e presença distribuída, em grande parte imperceptível, inteligente e altamente integrada aos computadores e suas aplicações para benefício dos usuários. O processamento das informações é integrado a atividades e objetos do dia a dia do usuário, compostos por dispositivos pequenos, baratos e robustos. Estes dispositivos computacionais podem estar localizados em vários lugares, como: nos veículos, tecidos, móveis, produtos que consumimos, entre outros (MOREIRA, 2011).

Alguns destes dispositivos possuem uma considerável capacidade de processamento, recursos de comunicação sem fio e armazenamento de dados. Possuem funcionalidades diversificadas e interfaces como GPS (*Global Positioning System*), rádio e TV, tocadores de áudio, câmeras digitais, sendo utilizados em aplicações de diversas áreas como: indústria, comércio, turismo, saúde, entretenimento. Este tipo de aplicação possui forte ligação com as características do mundo físico e dos perfis de seus usuários. Tais informações são chamadas de contextos e representam o elemento básico de entrada para a computação ciente ou sensível ao contexto (LOUREIRO et al., 2009).

O contexto é qualquer informação que possa ser utilizada para caracterizar a situação de entidades como: pessoa, lugar ou objeto, que sejam consideradas relevantes para interação entre um usuário e uma aplicação (DEY, 2000).

Para Chen e Kotz (2000) o contexto apresenta quatro dimensões composta por: contexto computacional que lida com os aspectos técnicos, relacionados com capacidades e recursos

computacionais; contexto físico que é acessível por meio de sensores e recursos como: localização, condição de tráfego, velocidade, temperatura, iluminação; contexto de tempo que capta informações de tempo, como de um dia, semana, mês, estação do ano, ano; contexto do usuário que está relacionado à dimensão social do usuário, como seu perfil, pessoas nas proximidades, situação social, preferências, condição de saúde, entre outros.

Sistemas computacionais podem utilizar estas informações de contexto relevantes e consequentemente prover serviços mais otimizados e personalizados, aumentando a satisfação dos usuários. Mas as informações de contexto podem não ser confiáveis ou úteis, apresentando um problema de qualidade da informação de contexto.

Qualidade de contexto (*Quality of Context - QoC*) é qualquer informação que descreve a qualidade da informação que é usada como contexto. Assim, QoC refere-se à informação e não ao processo, nem ao componente de *hardware* que fornece as informações (BUCHHOLZ; KÜPPER; SCHIFFERS, 2003).

A definição de QoC para Krause e Hochstatter (2005) é qualquer informação inerente que descreve informação de contexto e pode ser usada para determinar o valor da informação para uma aplicação específica. Isso inclui informações sobre o processo de provisionamento que a informação foi submetida (“histórico”, “idade”), mas não tratam de estimativas sobre os passos de provisionamentos futuros.

A qualidade das informações de contexto utilizadas na adaptação de serviços tem um impacto significativo sobre as experiências dos usuários com serviços sensíveis ao contexto, que pode ser positivo ou negativo, dependendo da Qualidade de Contexto (QoC). Desta forma, a QoC pode auxiliar o usuário a estimar o comportamento de um serviço sensível ao contexto. A QoC também pode servir como um indicador para a seleção de um provedor de contexto mais adequado.

Uma das questões mais desafiadoras aberta desta área é a padronização de um (ou mais) *framework* de QoC com parâmetros de QoC para os aspectos principais de contexto (computação, tempo, físico e contexto de usuário). Estes parâmetros de QoC podem permitir uma gestão de adaptações mais efetivas e complexas em sistemas sensíveis ao contexto (BELLAVISTA et al., 2012).

Com o estudo da literatura, nota-se uma dificuldade em padronização de nomenclaturas e a construção de modelagens próprias para a QoC, o que dificulta o entendimento e o

compartilhamento de informações contextuais entre sistemas. Neste sentido, a Engenharia do Conhecimento pode auxiliar na construção de um modelo para representação de conhecimento de QoC. Com este modelo, pretende-se permitir a exploração, o compartilhamento e reuso do conhecimento neste domínio.

O artigo está organizado da seguinte forma: A seção 2 aborda a evolução da pesquisa até o momento, a seção 3 apresenta uma fundamentação teórica sobre ontologia, a seção 4 introduz os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do modelo proposto, a seção 5 descreve o desenvolvimento do Modelo de Conhecimento e a seção 6 apresenta algumas considerações sobre a pesquisa.

2 EVOLUÇÃO DA PESQUISA

Na etapa inicial desta pesquisa foi realizada uma detalhada revisão da literatura sobre Qualidade de Contexto, gerando uma taxonomia das publicações que abordam QoC (NAZÁRIO; DANTAS; TODESCO, 2012a).

Na sequência, outro trabalho abordou a Representação de Conhecimento de Contexto e Qualidade de Contexto, onde foram identificados modelos que utilizam notação gráfica, marcação XML (*Extensible Markup Language*), UML (*Unified Modelling Language*) e ontologias e OWL (*Ontology Web Language*) (NAZÁRIO; DANTAS; TODESCO, 2012b).

Destas abordagens para representação de conhecimento destaca-se a ontologia, por permitir o compartilhamento de conhecimento entre humanos e agentes de *software*, além de possibilitar a reutilização de conhecimento entre aplicações e a sua utilização por motores de inferência. Um estudo inicial sobre ontologia de contexto e QoC foi apresentado em (NAZÁRIO; DANTAS; TODESCO, 2013).

Dando continuidade ao trabalho, foi proposta uma arquitetura de gerenciamento de contexto aplicada a um cenário *Ambient Assisted Living* (AAL), focado ao monitoramento de pacientes em suas residências. Alguns parâmetros de QoC foram utilizados, demonstrando a relevância desta abordagem, principalmente na área da saúde (NAZÁRIO et al., 2014).

A utilização de ontologias para modelar conhecimento em domínios específicos se tornou um aspecto a considerar para integração de informação de diferentes origens. Neste sentido, a utilização de ontologias como modelo de conhecimento é encorajada, visto que as ontologias

representam conhecimento para a comunicação entre os seres humanos, primam pela estruturação, pela organização e pela integração de conhecimento. Tais assertivas confirmam a utilização de ontologias para formalizar modelos de conhecimento (RAUTENBERG, 2009).

Sendo assim, o foco deste estudo é o desenvolvimento de um modelo de conhecimento de qualidade de contexto baseado em ontologia, a partir dos estudos bibliográficos e experimentos realizados.

3 ONTOLOGIA

Originalmente proposto por filósofos, o termo ontologia foi definido como uma disciplina dedicada à natureza e à existência de elementos. Já no campo da Inteligência Artificial, as ontologias se tornaram populares na representação de conhecimento. Particularizando o uso de ontologias na Gestão do Conhecimento, na última década, a comunidade de Engenharia do Conhecimento adaptou a utilização das ontologias com vistas à análise e à representação do conhecimento em certos domínios de interesse, de modo que este conhecimento possa ser compartilhado (RAUTENBERG, 2009).

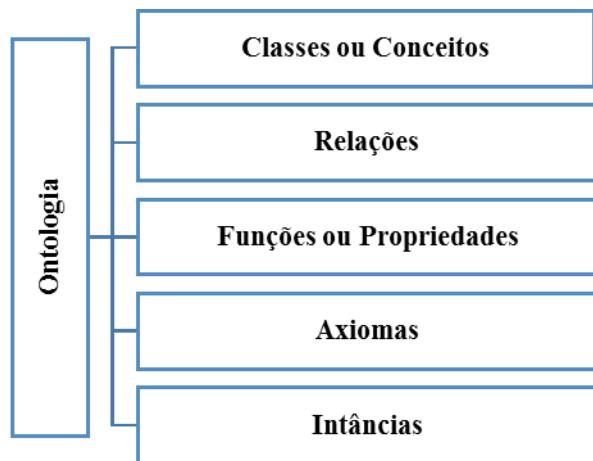
Segundo Studer et al. (1998), baseado em Gruber (1993) e Borst (1997), ontologia é: “*especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada*”, onde:

- Conceitualização: indica que se trata de um modelo abstrato que representa algum fenômeno ou objeto do mundo real;
- Formal: implica que uma ontologia deve ser compreendida e processada por máquinas;
- Explícita: significa que os conceitos utilizados, bem como as relações e restrições sobre seu uso, são objetivamente definidos e claros;
- Compartilhada: no sentido de que uma ontologia reflete o conhecimento consensual sobre um determinado assunto por uma comunidade de especialistas no domínio.

Para Bechhoffer (2002) ontologias são esquemas de metadados, que fornecem um vocabulário controlado dos termos, todos eles explicitamente definidos e com semântica que pode ser processada pelas máquinas. Desta forma as ontologias ajudam as pessoas e as máquinas a se comunicarem com mais eficácia.

Para Gruber (1993) o conhecimento é formalizado na ontologia por cinco tipos de componentes: classes ou conceitos, relações, funções ou propriedades, axiomas e instâncias, conforme representado na Figura 1.

Figura 1: Estrutura de uma ontologia



Fonte: Baseado em (GRUBER, 1993)

Estes cinco componentes são comentados por (GÓMEZ-PÉREZ, 1999), onde:

- Classes: são usadas em um sentido amplo. Um conjunto de classes e uma hierarquia entre estas classes formam uma taxonomia. Por exemplo, a classe “mãe” é uma subclasse da classe “mulher”;
 - Relações: representam um tipo de interação entre as classes de um domínio. Um exemplo de relacionamento entre as classes “pessoa” e “casa” é o relacionamento “eh_proprietario”;
 - Funções: é um caso especial de relacionamento em que um conjunto de elementos tem uma única relação com outro elemento. Um exemplo de função é “ser_pai”, onde a classe “homem” e a classe “mulher” estão relacionadas a uma classe “pessoa”;
 - Axiomas: são regras que são sempre válidas. Um exemplo de axioma é afirmar que toda pessoa tem uma mãe. As regras possibilitam inferências sobre as classes;
- Instâncias: representam indivíduos específicos de uma determinada classe.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DE ONTOLOGIAS

Algumas classificações de ontologias encontradas na literatura são apresentadas a seguir.

Para Heijst, Schreiber e Wielinga (1997) ontologias podem ser classificadas segundo o conteúdo representado. Segundo a percepção dos autores, existem três classes de ontologias:

- Ontologias terminológicas: são ontologias que especificam os termos utilizados para representar o conhecimento do discurso de um domínio. Estas ontologias podem ser comparadas, por exemplo, aos tessauros como índices de um domínio;
- Ontologias de informação: são ontologias que especificam as estruturas de registros de uma base de dados, os esquemas de bases de dados ou a especificação das classes em um projeto orientado a objetos, só para citar alguns exemplos deste tipo de ontologias;
- Ontologias para modelagem de conhecimento: são ontologias que especificam conceitualizações do conhecimento. Geralmente, tais ontologias têm uma estrutura interna complexa e semanticamente rica. Por descrever o conhecimento de um domínio, também são refinadas, ou estendidas para promover ampla utilização perante uma comunidade de prática, por exemplo.

Hierarquicamente ontologias são classificadas em (GUARINO, 1998):

- Ontologia de alto nível - ontologias que descrevem conceitos gerais como espaço, tempo, matéria, objetos, eventos e ações, que são conceitos independentes de um problema ou domínio particular. Parece razoável, em teoria, haver ontologias deste tipo disponíveis para serem reutilizadas por uma comunidade de engenheiros de ontologias na construção de outras ontologias;
- Ontologias de domínio e de tarefa - uma ontologia de domínio descreve os elementos genéricos de um domínio (por exemplo, o termo —doença em medicina). Já uma ontologia de tarefa representa o conjunto de ações desempenhadas sobre um domínio (por exemplo, —diagnosticar em medicina). Hierarquicamente, isto é possibilitado por especializar e/ou reutilizar termos introduzidos em ontologias de alto nível;
- Ontologias de aplicação - são ontologias que descrevem conceitos que dependem de ontologias de domínio e de tarefa, mutuamente. Uma ontologia de aplicação geralmente é uma especialização das ontologias hierarquicamente superiores, sendo que seus conceitos geralmente correspondem a papéis desempenhados por entidades do domínio enquanto tais entidades executam uma atividade.

Já quanto à expressividade, as ontologias são classificadas pelo tipo de linguagem de representação utilizada e pelos elementos que a constituem, sendo classificadas em (GÓMEZ-PÉREZ; CORCHO, 2002):

- Ontologias de menor expressividade - são ontologias que modelam informação de um determinado domínio (conceitos e sua taxonomia), sem incluir axiomas e restrições. Este tipo de ontologia não requer um nível de expressividade elevado, o que, por outro lado, dificulta o processo de raciocinar em computadores;
- Ontologias de maior expressividade: são ontologias que requerem um alto nível de expressividade para incorporar axiomas e restrições, facilitando os processos de inferência computacional neste tipo de ontologia.

Diante das classificações apresentadas, a ontologia desenvolvida e descrita neste artigo pode ser caracterizada segundo o conteúdo representado, como ontologia para modelagem de conhecimento (HEIJST; SCHREIBER; WIELINGA, 1997). De acordo com a hierarquia como ontologia de domínio (GUARINO, 1998) e quanto à expressividade como ontologia de menor expressividade (GÓMEZ-PÉREZ; CORCHO, 2002).

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento da ontologia de qualidade de contexto, foco deste estudo.

4 EVOLUÇÃO DA PESQUISA

Os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do modelo de conhecimento proposto está baseada em Rautenberg (2009). Onde o processo para construção de ontologia foi elaborado combinando as melhores práticas das metodologias *On-to-Knowledge* (SURE; STUDER, 2003), *Methontology* (GÓMEZ-PÉREZ; CORCHO; FERNÁNDEZ-LÓPES, 2004) e do guia *Ontology Development 101* (NOY; MCGUINNESS, 2008), onde:

- *On-to-Knowledge* - contribui na especificação dos requisitos da ontologia, por meio do emprego de questões de competência como modo simples e direto para confirmar o propósito e o escopo de uma ontologia. Tal fato permite identificar antecipadamente, conceitos, propriedades, relações e instâncias.
- *Methontology* - por meio de uma rica gama de artefatos, contribui na documentação e na verificação de ontologias.

- *Ontology Development 101* - contribui com uma visão clara de como se dá um processo iterativo para o desenvolvimento de ontologias.

Esse processo metodológico está baseado em quatro atividades e suas tarefas, como descrito a seguir:

1) Especificação:

- a) Identificar o propósito da ontologia - identificar em que ambiente o modelo se insere, por que o modelo deve ser desenvolvido, entre outros;
- b) Identificar o escopo da ontologia - responder as questões gerais como “quem são os usuários”, “quais são as intenções de uso”, entre outras;
- c) Considerar o reuso de ontologias - verificar a existência de demais ontologias correlacionadas para fazer uso de conceitos já estabelecidos;
- d) Identificar as fontes de conhecimento - procurar por livros, artigos, dicionários, entre outras fontes, das quais pode-se abstrair conceitualizações;

2) Aquisição do conhecimento:

- a) Gerar as questões de competência - entrevistar especialistas de domínio na perspectiva que estes elaborem questões que a ontologia deva responder e que relacionem os termos, jargões e relacionamentos presentes no domínio;
- b) Listar os termos da ontologia - a partir das fontes de conhecimento e das questões de competência, enumerar termos comumente utilizados pelos especialistas de domínio;
- c) Agregar os elementos reutilizáveis - uma vez definidas as ontologias que tem aderência ao modelo proposto, capturar delas alguns elementos;
- d) Definir as classes - verificar na lista de termos, das fontes de conhecimento e dos elementos reutilizados se o entendimento de um termo remete a um conceito geral do domínio;
- e) Definir as propriedades das classes - verificar na lista de termos, das fontes de conhecimento e dos elementos reutilizados se o entendimento de um termo remete a um dado necessário de algum conceito geral do domínio;
- f) Definir as relações entre classes - verificar na lista de termos, das fontes de conhecimento e dos elementos reutilizados se o entendimento de um termo remete a uma associação entre dois ou mais conceitos do domínio;

g) Definir as restrições - para cada propriedade e relação de classes, verificar a existência de alguma regra que possa ser atribuída ao seu valor. Por exemplo, para a propriedade idade, a restrição que esta não pode receber valores negativos;

h) Criar as instâncias – para cada classe associar os termos tidos como instâncias, que caracterizam-se como exemplos concretos da classe em questão;

3) Implementação:

a) Valorar as propriedades das instâncias - definir os valores para cada propriedade de dados dos elementos da ontologia;

b) Valorar as relações das instâncias - definir explicitamente os valores para cada relação entre as instâncias da ontologia;

c) Valorar as restrições – para cada instância deve-se valorar as restrições presentes no domínio quanto aos valores possíveis para as suas propriedades de dados e para suas relações admitidas com a classe da ontologia.

4) Verificação:

a) Verificação técnica da ontologia perante o domínio - verificar se a ontologia não expressa inconsistências em relação ao entendimento aceito sobre o domínio nas fontes de conhecimento;

b) Verificação técnica da ontologia perante o framework de referência - revisitar o propósito, o escopo e as questões de competência da ontologia para avaliar a consistência da ontologia frente os requisitos levantados;

c) Verificação da ontologia - questionar os possíveis usuários da ontologia, quanto à utilidade, à precisão e a cobertura da ontologia na explicitação do conhecimento modelado.

5 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE CONHECIMENTO

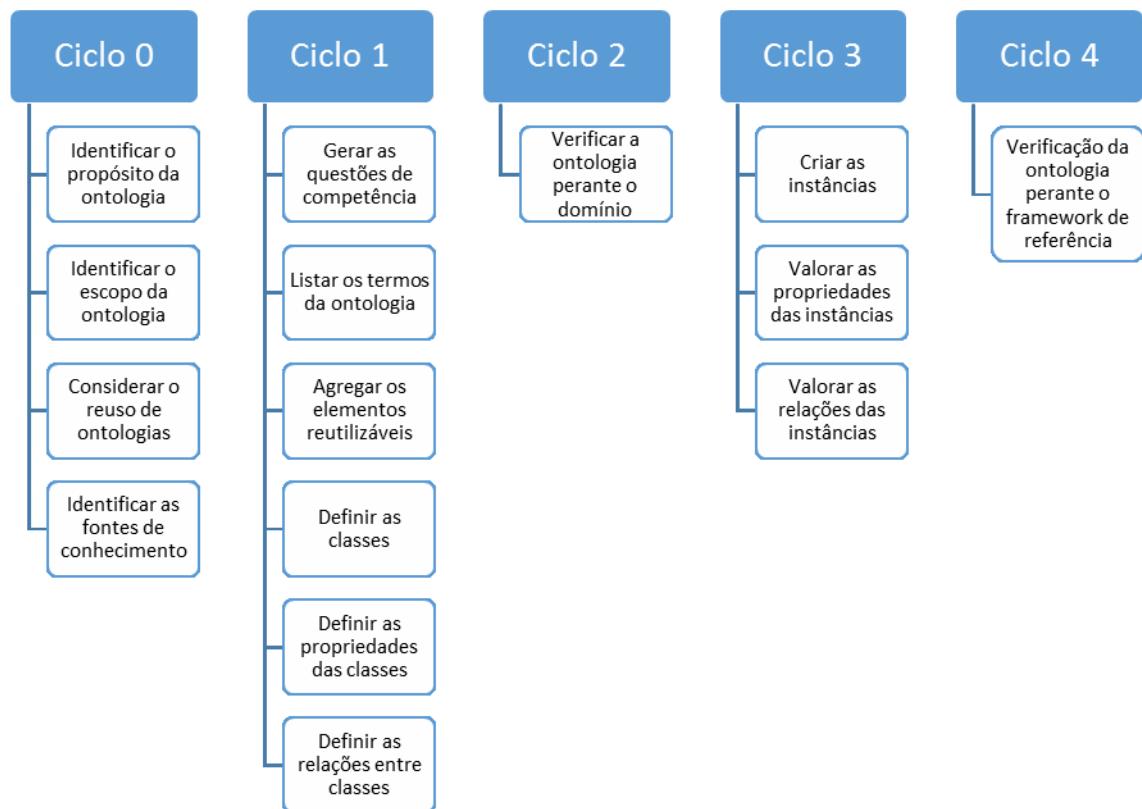
As tarefas anteriormente descritas foram desempenhadas em cinco ciclos de desenvolvimento do modelo, distribuídas de acordo com a representação da Figura 2:

- Ciclo 0 – Propósito e Escopo;
- Ciclo 1 – Levantamento das questões de competência e definição de termos;
- Ciclo 2 – Refinamento dos termos;

- Ciclo 3 – Prototipação;
- Ciclo 4 – Verificação do modelo.

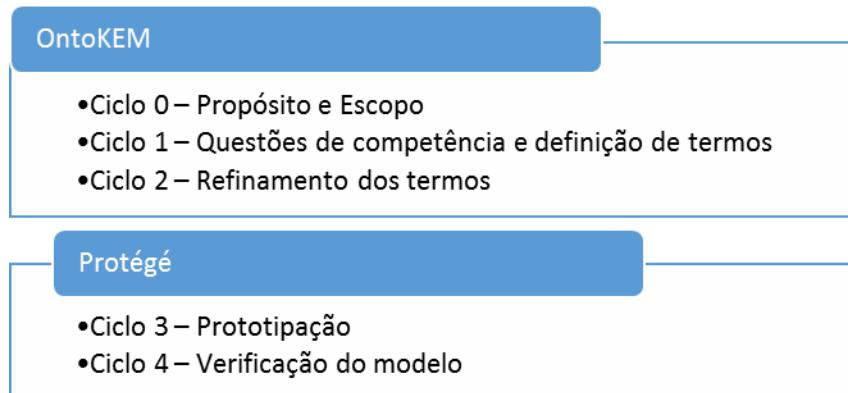
No processo de construção de ontologias são utilizados ambientes específicos que oferecem uma série de recursos e funcionalidades que auxiliam e facilitam o desenvolvimento do trabalho. Existem inúmeras dessas ferramentas disponíveis que, embora tenham em comum o objetivo de oferecer facilidades para o desenvolvimento de uma ontologia, oferecem diferentes recursos e funções. As ferramentas utilizadas na construção deste modelo estão representadas na Figura 3.

Figura 2: Distribuição de tarefas nos ciclos de desenvolvimento da Ontologia



Fonte: dos autores (2015).

Figura 3: Ferramentas utilizadas X Ciclos de desenvolvimento



Fonte: dos autores (2015).

- OntoKEM – A ferramenta *Ontology for Knowledge Engineering and Management*, conhecida como ontoKEM, desenvolvida no Laboratório de Engenharia do Conhecimento da UFSC, apoia o processo de construção e documentação de ontologias (LEC-EGC-UFSC, 2009; TODESCO et al., 2009). A OntoKEM foi utilizada no Ciclo 0, Ciclo 1 e Ciclo 2, gerando artefatos de documentação de ontologias automaticamente.
- Protégé – A ferramenta Protégé suporta a criação, visualização e manipulação de ontologias (PROTÉGÉ, 2013). Foi utilizada no Ciclo 3 e Ciclo 4, permitindo criar instâncias, valorando as propriedades e as relações, propiciando um ambiente de testes para a verificação.

Os ciclos de desenvolvimento do modelo de conhecimento de qualidade de contexto proposto serão descritos a seguir, com ênfase em aspectos considerados mais relevantes.

5.1 CICLO 0 – PROPÓSITO E ESCOPO

A identificação do propósito e do escopo da ontologia representa o ponto inicial para o desenvolvimento do modelo de conhecimento proposto. Ainda neste ciclo foram executadas as tarefas: considerar o reuso de ontologias e identificar as fontes de conhecimento. Ou seja, este ciclo caracteriza-se pelas tarefas da atividade de Especificação, descrita nos procedimentos metodológicos.

O **propósito** desta Ontologia é modelar o conhecimento relacionado ao tema Qualidade de Contexto. Na fase inicial deste estudo, a revisão de literatura mostrou que os conceitos não

estão consolidados. Um dos principais desafios desta área é a falta de uniformização de nomenclaturas, definições, quantificação e consequentemente de modelagem, o que dificulta o compartilhamento de informações de contexto e de QoC pela falta de um vocabulário comum.

Com o levantamento bibliográfico realizado, gerou-se uma taxonomia de QoC para uma organização inicial do conhecimento. Com base nesta taxonomia será modelada a ontologia com o objetivo de uma melhor estruturação, organização e integração de conhecimento neste domínio, baseado na literatura.

Esta ontologia estará relacionada a ontologias de contexto, que podem conter informações de contexto de domínios diversos, como ambientes inteligentes, cuidados com a saúde, entretenimento, entre outros.

O **escopo** da ontologia está voltado a pesquisadores e/ou desenvolvedores do tema qualidade de contexto em diversos cenários da computação ciente de contexto. Onde a ontologia poderá ser utilizada inicialmente para o entendimento deste tema baseado nos trabalhos da literatura, principalmente artigos de conferências e periódicos. Entende-se que este conhecimento estruturado facilitará as próximas pesquisas nesta área.

A ontologia ficará disponível para reuso total ou parcialmente, de acordo com a necessidade do usuário, que inclusive poderá contribuir com a mesma.

A tarefa **considerar o reuso de ontologias** visa verificar a existência de demais ontologias correlacionadas para fazer uso de conceitos já estabelecidos. Considerou-se reuso buscando ontologias de QoC na literatura, que serão consideradas na modelagem. Os trabalhos de GU *et al.* (2004), Preuveneers e Berbers (2006), Tang, Yang e Wu (2007) e Toninelli e Corradi (2009) apresentam alguns parâmetros de QoC. Já o trabalho de Filho *et al.* (2010) detalha um pouco mais, abordando Parâmetros de QoC (QoCP) e Indicadores de QoC (QoCI) modelando a proposta de quantificação de parâmetros dos autores. Dessas ontologias foram reutilizados alguns parâmetros de QoC e formas de quantificações destes parâmetros já modelados.

As **fontes de conhecimento** foram identificadas a partir do levantamento da literatura sobre o tema qualidade de contexto e posterior classificação dos trabalhos na Taxonomia de QoC proposta (NAZÁRIO; DANTAS; TODESCO, 2012a). Os temas que se destacaram no conjunto estudado e abordados na ontologia foram: definição de parâmetros de QoC, alternativas de quantificação de parâmetros de QoC, modelos de representação de QoC, demais temas abordados e aplicação de QoC em determinados cenários. Esta taxonomia serviu de ponto de partida para a

modelagem da ontologia, sendo a principal fonte de conhecimento utilizada. Algumas outras fontes de conhecimento também foram consideradas no desenvolvimento da ontologia, mais detalhes podem ser encontrados em (NAZÁRIO, 2015).

Considerando este ciclo inicial, a identificação do propósito e escopo da ontologia, a identificação de ontologias para reuso de conceitos e a identificação das fontes de conhecimento são resultados importantes para a continuidade dos demais ciclos previstos no processo metodológico adotado.

5.2 CICLO 1 – LEVANTAMENTO DAS QUESTÕES DE COMPETÊNCIA E DEFINIÇÃO DE TERMOS

O objetivo deste ciclo é elaborar questões pertinentes que o modelo proposto deve atender. Neste ciclo também foram executadas as tarefas: listar os termos da ontologia, agregar os elementos reutilizáveis, definir as classes, definir as propriedades das classes, definir as relações entre classes.

A tarefa de elaboração das **questões de competência** foi executada sem a participação de especialistas externos, as perguntas foram elaboradas com base em todo o estudo realizado sobre este domínio. As perguntas consideradas inicialmente na modelagem estão relacionadas a seguir.

- Qual a definição de QoC?
- Quais são os parâmetros sugeridos para medir QoC (definição X autores)?
- Que parâmetros de QoC são utilizados com mais frequência?
- Que modelos são utilizados na representação de QoC (tipo de representação X autores)?
- Quais são as aplicações de QoC (tema abordado X autores)?
- Como são medidos (quantificados) os parâmetros de QoC (forma X autores)?
- Como avaliar a QoC?
- Em que referência bibliográfica se encontra informações a respeito de QoC?
- Que cenários já foram utilizados com QoC (cenário X autores)?
- Onde se pesquisa a respeito de QoC (Centro de pesquisa, universidade)?
- Quem são os pesquisadores que trabalham com o tema QoC?

Outras perguntas ainda foram elaboradas e podem ser consideradas para a inclusão na modelagem em etapas posteriores, como:

- Qual o custo de aplicação de QoC?
- Qual a vantagem de uso de QoC?
- Qual a desvantagem de uso de QoC?
- Qual o desempenho no uso de QoC?
- Onde se pode aplicar QoC (outros tipos de aplicação)?
- Qual é o cenário ideal de aplicação de QoC?
- Quem são os usuários envolvidos na utilização de QoC?
- Por que utilizar QoC?
- Por que não utilizar QoC?
- Quando é recomendado utilizar QoC?
- Quando não é recomendado utilizar QoC?

A partir das fontes de conhecimento identificadas, das questões de competência elaboradas e dos **elementos reutilizáveis** das ontologias encontradas na literatura, obteve-se uma lista de possíveis **termos para a ontologia**.

Na sequência, foi verificado para cada termo, se o seu entendimento remete a um conceito geral do domínio, gerando uma versão inicial de **possíveis classes** e subclasses. Da mesma forma, foram definidas as possíveis relações entre as classes e as possíveis propriedades das classes. A Figura 4 mostra o resultado deste ciclo. No ciclo seguinte é realizado então o refinamento destes termos identificados nesta etapa.

5.3 CICLO 2 – REFINAMENTO DOS TERMOS

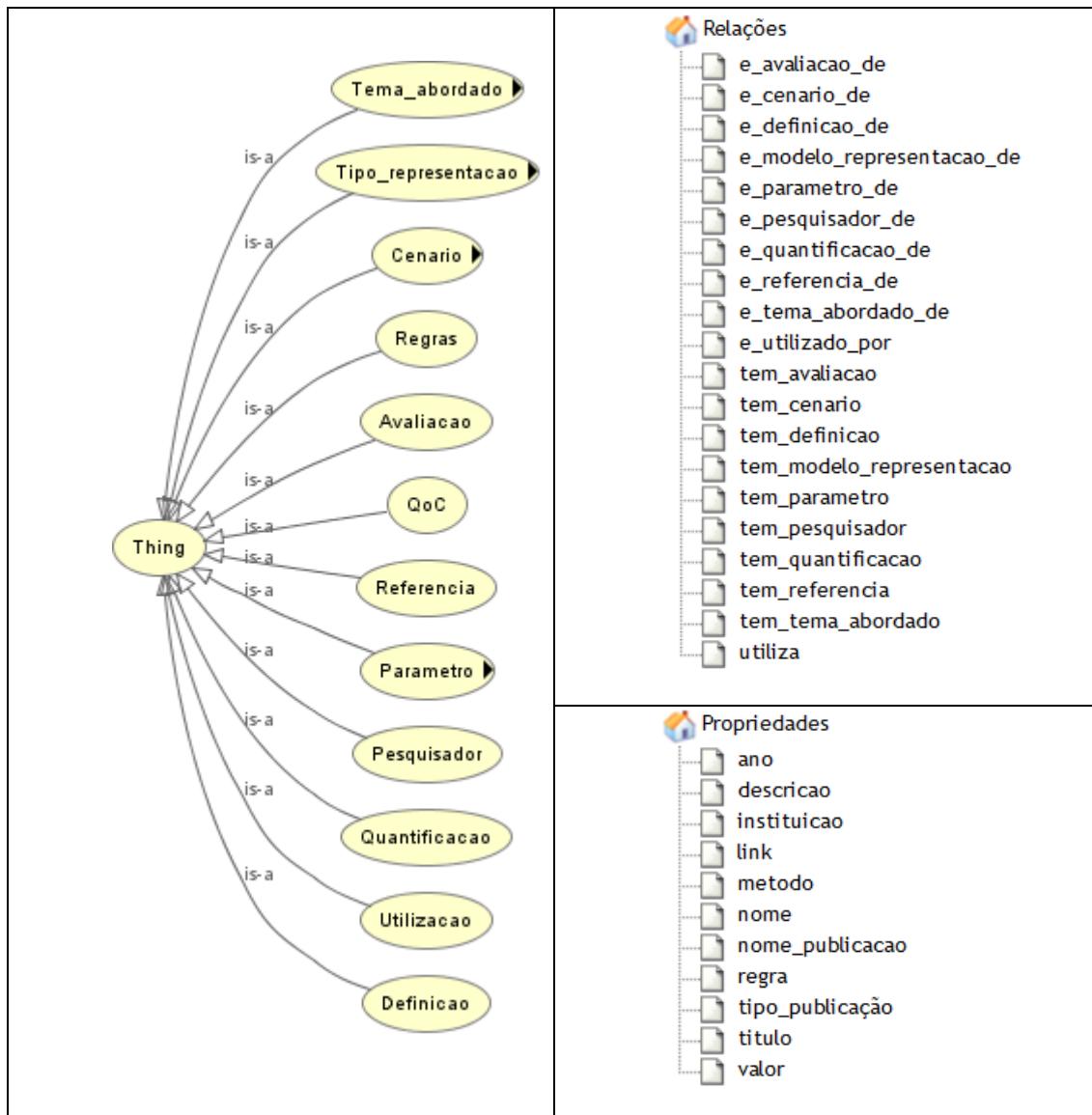
Neste ciclo é feita uma verificação técnica da ontologia perante o domínio, na busca por possíveis inconsistências em relação ao domínio nas fontes de conhecimento. Com base nesta revisão, é feito o refinamento dos termos neste ciclo, tanto para classes, como relações entre classes e propriedades das classes.

Com relação às Classes os seguintes ajustes foram realizados:

- Eliminada a classe *Regras*, será propriedade da classe *Avaliação*;
- Eliminada a classe *Utilização*, será uma relação entre as classes *Referência* e *Parâmetro*;
- A classe *Tipo_representação* foi renomeada para *Modelo_representação*;
- Foi incluída a classe *Valor*;

- A classe *Parâmetro* não terá subclasses, os parâmetros serão instâncias desta classe;

Figura 4: a) Classes, b) Relações entre Classes, c) Propriedades das Classes



Fonte: dos autores (2015)

Após este ciclo, tem-se **as classes** e as suas subclasses da ontologia de QoC, descritas no Apêndice A, e representadas na Figura 5.

Neste ciclo foram ainda incluídas as relações entre Classes:

- **e_valor_de**;
- **tem_valor**;

- *aborda_parâmetro*;
- *e_abordado_por*;

Após os ajustes realizados as **relações entre classes** definidas, estão descritas no Apêndice B, e também estão representadas na Figura 5.

Com relação às propriedades das classes, as seguintes alterações foram realizadas neste ciclo de desenvolvimento:

- Eliminadas as propriedades: *ano*, *nome_publicacao*, *tipo_publicacao*, *título*. Todas estas informações ficarão na *descrição* da classe *Referência*;
- Incluída a propriedade *data*, relacionada a classe *Valor*;
- Renomeada a propriedade *valor* para *valor_qoc*, diferenciando assim da classe *Valor*;

Após os ajustes realizados, as **propriedades das classes** são descritas no Apêndice C e também estão representadas na Figura 5.

Após este ciclo, foi gerada a documentação na ferramenta OntoKEM que inclui os documentos:

- Escopo do projeto;
- Perguntas de Competência;
- Definição de Classes;
- Propriedades de Tipos de Dados;
- Relações entre Classes;
- Vocabulário Completo;
- Hierarquia de Classes;
- Dicionário de Classes.

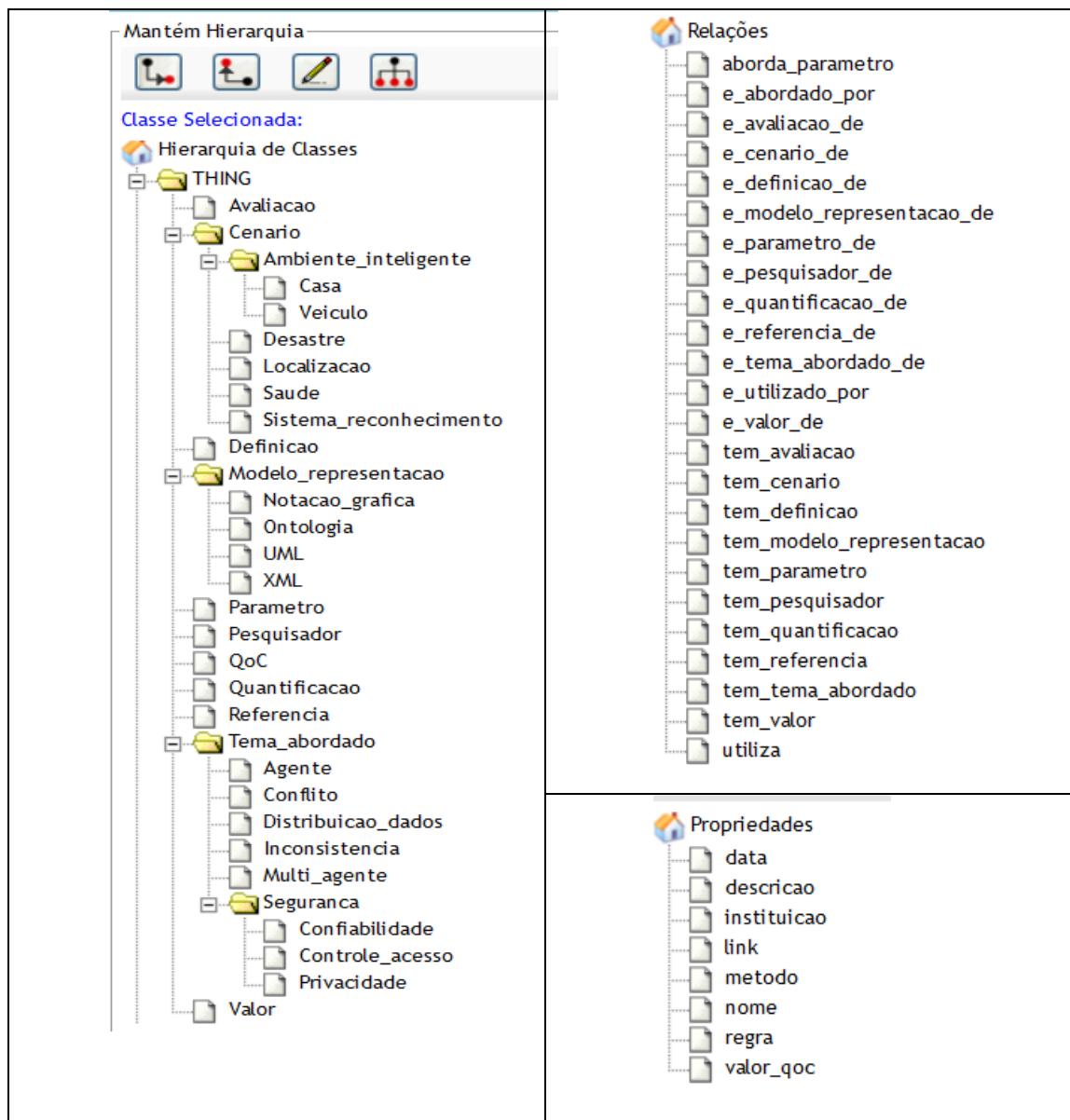
5.4 CICLO 3 – PROTOTIPAÇÃO

O objetivo deste ciclo é a atividade de prototipação da ontologia. De acordo com o processo metodológico adotado, foram executadas as tarefas: criar as instâncias, valorar as propriedades das instâncias, valorar as relações das instâncias.

Neste ciclo foi utilizada a ferramenta Protégé. O código OWL gerado pela ferramenta OntoKEM foi importado no Protégé. Foi feita uma revisão e alguns ajustes foram necessários

antes de continuar o processo, por exemplo, as relações inversas não foram importadas, entre outros detalhes.

Figura 5: a) Hierarquia de Classes, b) Relações entre Classes, c) Propriedades das Classes



Fonte: os autores (2015)

Mais de trezentas instâncias foram criadas nesta etapa, sendo valoradas suas propriedades e relações entre as instâncias, visando responder as questões de competência escolhidas. As quantidades de instâncias de algumas classes estão relacionadas na Tabela 1.

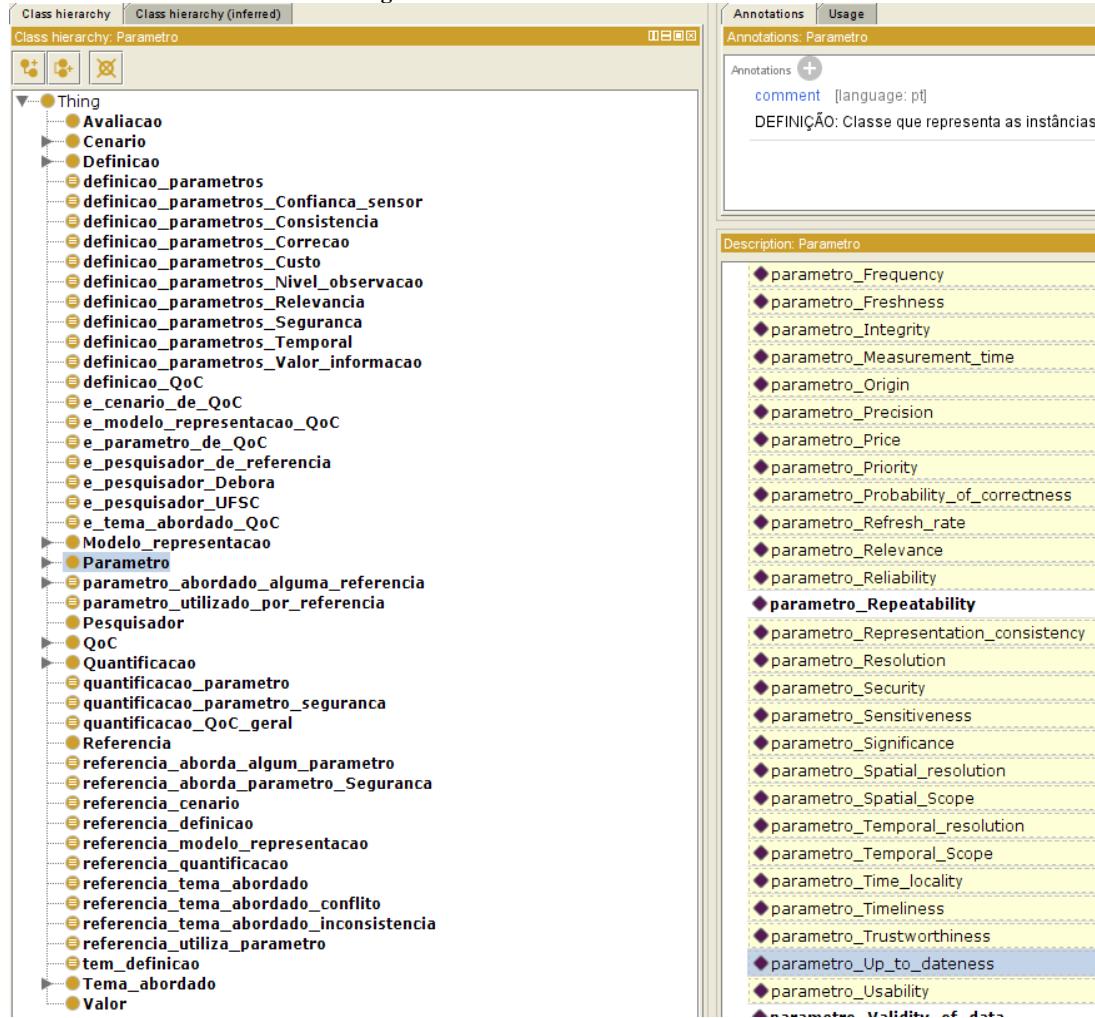
Tabela 1: Quantidade de instância por classe da ontologia

Classe	Quantidade
Cenário	18
Definição	56
Modelo_representação	10
Parâmetro	43
Pesquisador	135
Quantificação	21
Referência	64
Tema_abordado	17

Fonte: os autores (2015)

Na Figura 6 pode-se ver uma parte das instâncias da classe Parâmetro.

Figura 6: Instâncias da classe Parâmetro



Fonte: os autores (2015)

Já a Figura 7 detalha a instância da classe Parâmetro *Up-to-dateness*, onde pode-se perceber todas as relações valoradas para esta instância e a propriedade valorada ‘descrição’.

Figura 7: Detalhe do Parâmetro Up-to-dateness

Property assertions: parametro_Up_to_dateness

Object property assertions

- e_parametro_de_QoC_instancia
 - tem_definicao definicao_Upto-dateness
 - e_abordado_por '(FILHO_et_al.,_2010)'
 - e_abordado_por '(MANZOOR;_TRUONG;_DUSTDAR,_2008)'
 - e_abordado_por '(KIM,_Y.;_LEE,_2006)'
 - e_abordado_por '(FILHO;_MARTIN,_2008a)'
 - e_abordado_por '(BUCHHOLZ;_KÜPPER;_SCHIFFERS,_2003)'
 - e_abordado_por '(HUEBSCHER;_MCCANN,_2004)'
 - tem_quantificacao quantificacao_Nazario
 - tem_quantificacao quantificacao_Manzoor_2008
 - tem_quantificacao quantificacao_Brgulja
 - tem_quantificacao quantificacao_Zheng
 - e_utilizado_por '(BRGULJA_et_al.,_2009)'
 - e_utilizado_por '(NAZÁRIO_et_al.,_2014a)'

Data property assertions

- descricao "Up-to-dateness"

Fonte: dos autores (2015)

Cada relação entre instâncias pode ser explorada. Como exemplo, a relação ‘tem_definição’ da Figura 7, relaciona as instâncias ‘parametro_Upto-dateness’ e ‘definição_Upto-dateness’, que é detalhada na Figura 8. A definição deste parâmetro está descrita na propriedade ‘descrição’ de acordo com a referência indicada na relação ‘tem_referência’ com a instância ‘(BUCHHOLZ; KÜPPER; SCHIFFERS, 2003)’.

Ainda na Figura 8, pode-se observar na parte superior algumas definições equivalentes à do parâmetro *Up-to-dateness*, a saber parâmetros *Freshness* e *Timeliness*. Explorando estas definições, a Figura 9 mostra a propriedade ‘descrição’ e referência relacionada a estas duas definições equivalentes à definição do parâmetro *Up-to-dateness*.

Cada instância criada na ontologia pode ser examinada, assim como suas relações e propriedades.

Figura 8: Definição do Parâmetro Up-to-dateness

Fonte: dos autores (2015)

Figura 9: Definições equivalentes ao Parâmetro Up-to-dateness

Fonte: dos autores (2015)

5.5 CICLO 4 – VERIFICAÇÃO DO MODELO

Neste ciclo foi realizada a verificação técnica da ontologia perante o *framework* de referência, onde é revisitado o propósito, o escopo e as questões de competência da ontologia, permitindo uma avaliação da consistência da ontologia frente aos requisitos levantados.

Todas as questões de competência consideradas nesta etapa puderam ser respondidas através de buscas na ontologia desenvolvida. Como exemplo, pode-se citar a questão inicial:

“Qual a definição de QoC?”. Executando a query: ‘e_definicao_de some QoC’, pode-se visualizar as instâncias encontradas. Para cada instância, pode-se acessar suas propriedades e relações, como representado na Figura 10, para uma instância selecionada.

Figura 10: Instância de definição de QoC na ontologia proposta

Fonte: dos autores (2015)

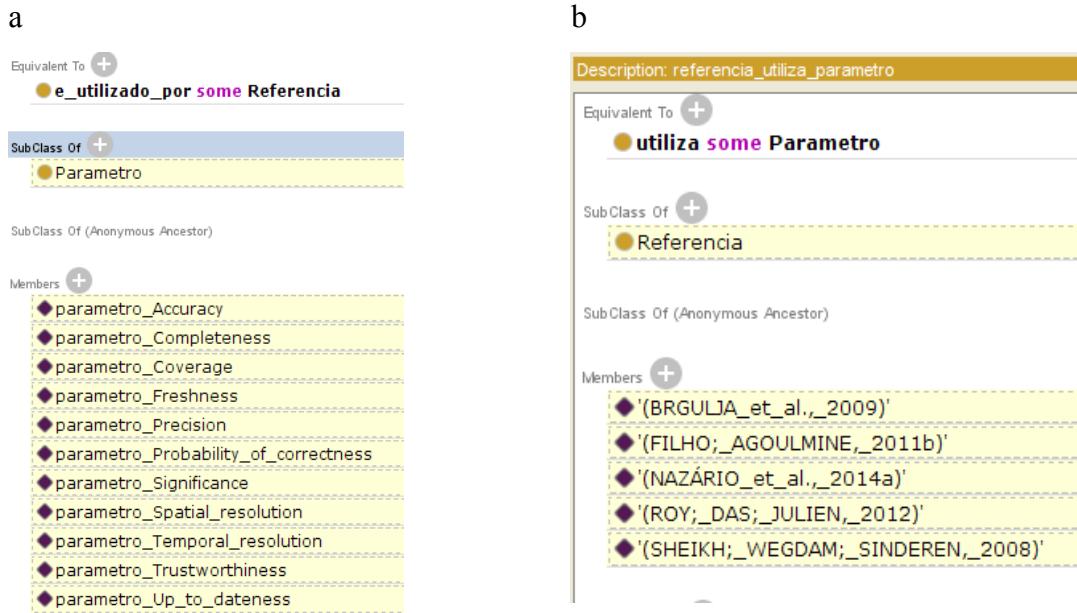
Outros exemplos de consultas são mostrados na Figura 11. A consulta da Figura 11a responde a questão: “Que parâmetros de QoC são utilizados com mais frequência?”. Com a query ‘e_utilizado_por some Referencia’ são listados os parâmetros utilizados em estudos de casos (práticos). Já na Figura 11b, tem-se a relação inversa sendo explorada ‘utiliza some Parametro’. Sendo assim, são listadas as referências da literatura que utilizam determinado parâmetro de QoC em seus experimentos. Podemos perceber que das 64 instâncias de referências inseridas na ontologia, apenas 5 utilizam avaliação de parâmetros de QoC em experimentos. Muitas outras informações podem ser exploradas na ontologia com maior agilidade.

A resposta da questão de competência “Como são medidos (quantificados) os parâmetros de QoC?” está representada na Figura 12. Neste caso, são as próprias instâncias da classe Quantificação. Cada instância pode ser visualizada em detalhes, como mostra a Figura 13 a instância ‘quantificação_Nazario’.

Pode-se observar na Figura 13 na propriedade ‘descrição’ uma explicação sobre a quantificação proposta, já nas relações tem-se os links para os parâmetros que são quantificados (*Significance, Up-to-dateness, Coverage, Precision, Completeness*) pela referência ‘(NAZARIO et al., 2014a)’, além da proposta de uma quantificação geral de QoC.

A mesma referência ‘(NAZARIO et al., 2014a)’ aparece na Figura 7 do ‘parametro_Up-to-dateness’ na relação ‘e_utilizado_por’. Pois a proposta desta referência utiliza o parâmetro *Up-to-dateness* em seus experimentos. Da mesma forma aparece na Figura 11b, onde lista as referências que utilizam algum parâmetro de QoC em seus experimentos.

Figura 11: Exemplos de consultas na ontologia de QoC.



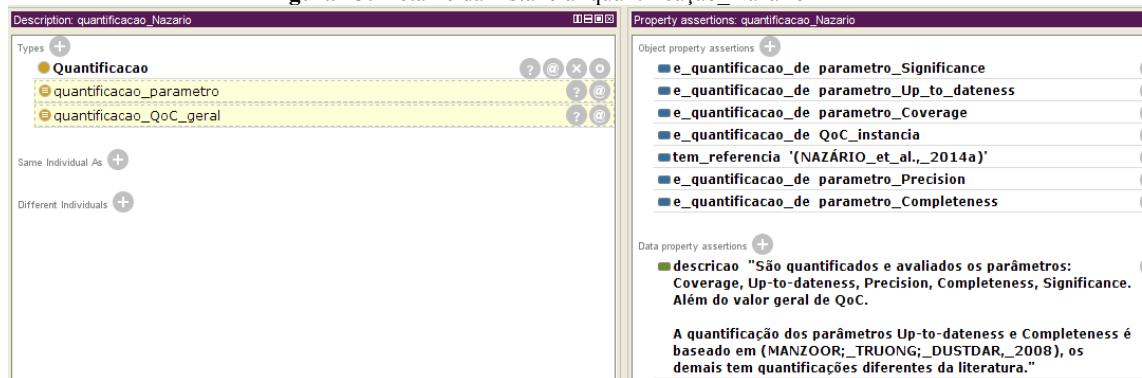
Fonte: dos autores (2015)

Figura 12: Instâncias da Classe Quantificação



Fonte: dos autores (2015)

Figura 13: Detalhe da instância ‘quantificação_Nazario’



Fonte: dos autores (2015)

Com as relações entre instâncias valoradas, diversas formas de consultas podem ser realizadas, de acordo com a necessidade do usuário. Tendo em vista que o *link* entre instâncias, relações e propriedades facilitam a obtenção de conhecimento, de forma simplificada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de ontologias como modelo de conhecimento é incentivada, visto que as ontologias representam conhecimento para a comunicação entre os seres humanos, primam pela estruturação, pela organização e pela integração de conhecimento.

Algumas ontologias que abordam QoC foram encontradas na literatura, mas quase não tratam detalhes sobre QoC, apenas apresentam alguns parâmetros e abordam com mais detalhes as questões do contexto envolvido. Percebeu-se então uma boa oportunidade de avanço nas pesquisas, propondo um modelo de conhecimento de QoC, com sua formalização e codificação do conhecimento através de ontologia.

Neste sentido, este trabalho de pesquisa contribuiu com um Modelo de Conhecimento de QoC baseado em ontologia, melhorando assim a representação de conhecimento neste domínio para a comunicação entre pesquisadores e desenvolvedores de computação ciente de contexto.

Foram modelados os principais aspectos identificados na taxonomia de QoC a partir de uma revisão detalhada da literatura, assim como a avaliação de QoC proposta em (NAZÁRIO et al., 2014), entre várias outras.

Os procedimentos metodológicos adotados são interessantes para o desenvolvimento de outras ontologias, independentemente de seu domínio, pois combina as melhores práticas das

principais metodologias da literatura relacionada. Assim como a utilização de ferramentas como o OntoKEM, que permite a geração de uma documentação detalhada e completa das etapas iniciais de desenvolvimento da ontologia automaticamente.

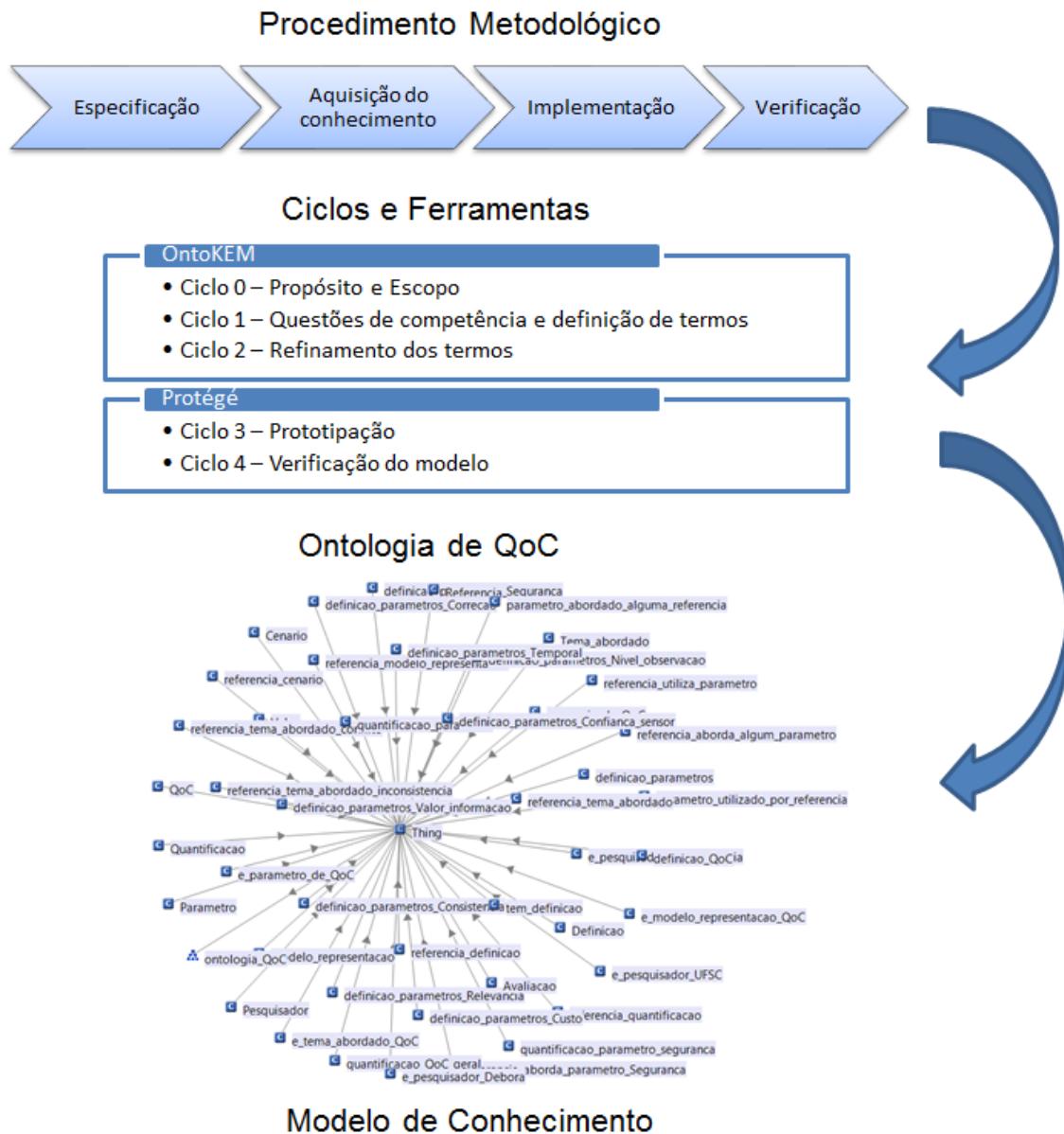
Já em ferramentas semelhantes ao Protégé, com a ontologia desenvolvida (OWL), os usuários podem visualizar a hierarquia e descrição das classes, relações entre classes e propriedades das classes da ontologia, todas as instâncias criadas com suas propriedades e relações, inclusive acessando os links das propriedades e relações entre instâncias. Alguns gráficos também podem ser gerados, facilitando a visualização. Outra funcionalidade muito relevante é a realização de buscas na ontologia, de acordo com a necessidade do usuário. Diversas pesquisas relacionadas as questões de competência já estão prontas na ontologia.

Mas além do modelo responder uma lista de perguntas mais relevantes que foram elaboradas, muitas outras buscas podem ser realizadas na ontologia, facilitando o entendimento e acesso aos conceitos relacionados. A estruturação, organização e integração de conhecimento facilitará o compartilhamento e reutilização do modelo proposto.

A Figura 14 ilustra o processo de desenvolvimento do modelo de conhecimento proposto, partindo do procedimento metodológico adotado, os ciclos desenvolvidos, assim como as respectivas ferramentas utilizadas, finalizando com a ontologia de QoC disponibilizada.

Como trabalhos futuros pretende-se integrar a ontologia de QoC em experimentos que tratam qualidade de contexto em ambientes de monitoramento de saúde. O objetivo é a identificação de possíveis problemas de saúde mais graves precocemente, com o auxílio também de ontologias da área da saúde.

Figura 14: Desenvolvimento do Modelo de Conhecimento



Fonte: dos autores (2015)

Artigo recebido em 25/11/2014 e aceito para publicação em 31/05/2015.

QUALITY OF CONTEXT KNOWLEDGE MODEL FOR UBIQUITOUS ENVIRONMENTS BASED ON ONTOLOGY

ABSTRACT

Ubiquitous computing is a paradigm which has increasingly been part of people's daily activities through the use of mobile and portable devices. This type of computing has strong links with the characteristics of the physical world and its users' profiles. Such information is called context, and represents the input element for context-aware computing. Context use can provide more dynamic and customized services, and is essential to ensure Quality of Context (QoC) for the user's satisfaction. QoC describes the quality of information that is used to characterize context. Literature review pointed out that one of the main challenges of the area is the lack of standardization of nomenclature and definitions of QoC parameters, in addition to different ways of quantifying such parameters. These difficulties are reflected in the representation models, hindering understanding and sharing of context information and QoC. This way, Knowledge Engineering contributes to knowledge representation in this domain, by means of an ontology. Thus, this article describes the development of a knowledge model for Quality of Context, whose methodological process was based on specification activities, knowledge acquisition, implementation and verification. These activities were carried out in five development cycles, through the OntoKEM and Protégé tools. This study therefore contributed to a QoC Knowledge Model which supports researchers and context-aware computing developers, facilitating understanding and access to the concepts of this domain, allowing the model to be reused. The main aspects identified in the detailed literature review were modeled. The methodological procedures and tools used were adequate and can be adopted for other domains. The structuring, organization and integration of knowledge allow for sharing and reuse of the proposed model, facilitating new research in this area.

Keywords: Knowledge Model. Ontology. Quality of Context. Ubiquitous Computing.

REFERÊNCIAS

- BECHHOFER, S. **Ontoweb report: Ontology language standardisation efforts**. 2002. (Technical Report).
- BELLAVISTA, P. et al. A Survey of Context Data Distribution for Mobile Ubiquitous Systems. **ACM Computing Surveys**, v. 44, n. 4, p. 1–45, 2012.
- BORST, W. N. **Construction of Engineering Ontologies**. PhD Thesis. University of Twente, Enschede. 1997.
- BRINGEL FILHO, J., et al. Modeling and Measuring Quality of Context Information in Pervasive Environments. In: IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. **Proceedings...** 2010. p. 690-697.
- BUCHHOLZ, T.; KÜPPER, A.; SCHIFFERS, M. Quality of Context : What It Is And Why We Need It. In: International Workshop of the HP OpenView University Association(HPOVUA). **Proceedings...** 2003. p. 1-14.
- CHEN, G.; KOTZ, D. **A survey of context-aware mobile computing research**. Hanover, NH, USA: 2000. 16 p. (Technical Report).
- DEY, A. K. **Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications**. 2001. 188 f. Tese de Doutorado - Georgia Institute of Technology.
- GÓMEZ-PÉREZ, A. Ontological engineering: a state of the art. **British Computer Society**, v. 2, p. 33–43, 1999.
- GÓMEZ-PÉREZ, A.; CORCHO, O. Ontology Languages for the Semantic Web. **IEEE Intelligent Systems**, v. 17, n. 1, p. 54–60, 2002.
- GÓMEZ-PÉREZ, A; CORCHO, O.; FENÁNDEZ-LÓPEZ, M. **Ontological Engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web**. Springer-Verlag, 2004.
- GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge Acquisition**, v. 5, p. 199–220, 1993.
- GRUBER, T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. **International journal of human-computer studies**, v. 43, n. 5, p. 907–928, 1995.
- GU, T., et al. An Ontology-based Context Model in Intelligent Environments. In: Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference. **Proceedings...** San Diego, CA, USA: 2004, p. 1-6.

- GUARINO, N. **Formal Ontology in Information Systems**. Amsterdam: IOS Press, 1998.
- HEIJST, G. VAN; SCHREIBER, A.; WIELINGA, B. Using explicit ontologies in KBS development. **International Journal Human-Computer Studies**, v. 46, n. 2, p. 183–292, 1997.
- KRAUSE, M.; HOCHSTATTER, I. Challenges in Modelling and Using Quality of Context (QoC). **Mobility Aware Technologies and Applications: LNCS**, v. 3744, p. 324–333, 2005.
- LEC-EGC-UFSC. **OntoKEM - Ontology for Knowledge Engineering and Management**. Disponível em: <<http://ontokem.egc.ufsc.br/ProjetoOntologias/index.html>>.
- LOUREIRO, A. A. F., et al. Computação Ubíqua Ciente de Contexto: Desafios e Tendências. In: 27º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. **Anais...** 2009. p. 99-149.
- MOREIRA, J. **Um Exemplo de Computação Ubíqua em Serviços de Saúde Orientados ao Utente**. 2011. 93 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Electrotécnica de Computadores) - Universidade do Porto, Porto.
- NAZÁRIO, D. C. **CUIDA - Um modelo de conhecimento de qualidade de Contexto aplicado aos ambientes Ubíquos Internos em Domicílios Assistidos**. 2015. 215 f. Tese de Doutorado (Engenharia e Gestão do Conhecimento) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- NAZÁRIO, D. C., et al. Toward Assessing Quality of Context Parameters in a Ubiquitous Assisted Environment. In: IEEE Symposium on Computers and Communications - ISCC. **Proceedings...** Madeira, Portugal: 2014. p. 1-6.
- NAZÁRIO, D. C.; DANTAS, M. A. R.; TODESCO, J. L. Taxonomia das publicações sobre Qualidade de Contexto. **Sustainable Business International Journal**, v. 20, p. 1–28, 2012a.
- NAZÁRIO, D. C.; DANTAS, M. A. R.; TODESCO, J. L. Representação de Conhecimento de Contexto e Qualidade de Contexto. In: Jornada Iberoamericana de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento - JIISIC. **Proceedings...** Lima, Peru: 2012b. p. 95-102.
- NAZÁRIO, D. C.; DANTAS, M. A. R.; TODESCO, J. L. Ontologia de Contexto e Qualidade de Contexto. In: Ontobras - VI Seminar on Ontology Research in Brazil. **Anais...** Belo Horizonte, MG: 2013. p. 179-184.
- NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology**. Disponível em: <<http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness-abstract.html>>. 2008. Acesso: 16 março 2014.
- PREUVENEERS, D.; BERBERS, Y. Quality extensions and uncertainty handling for context ontologies. **Contexts and Ontologies: Theory, Practice and Applications C&O-2006**, p. 62–64, 2006.
- PROTÉGÉ. **The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System**. Disponível em: <<http://protege.stanford.edu/>>.

RAUTENBERG, S. **Modelo de conhecimento para mapeamento de instrumentos da gestão do conhecimento e de agentes computacionais da engenharia do conhecimento baseado em ontologias.** 2009. 238 f. Tese de Doutorado (Engenharia e Gestão do Conhecimento) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D. Knowledge engineering: Principles and methods. **Data & Knowledge Engineering**, v. 25, n. 1-2, p. 161–197, 1998.

SURE, Y.; STUDER, R. A Methodology for Ontology-based Knowledge Management. In: DAVIES, JOHN; ET AL (EDS). TOWARDS THE SEMANTIC WEB: ONTOLOGY-DRIVEN KNOWLEDGE MANAGEMENT. JOHN WILEY & SONS, p. 33-46, 2003.

TANG, S.; YANG, J.; WU, Z. A Context Quality Model for Ubiquitous Applications. IFIP International Conference on Network and Parallel Computing Workshops (NPC 2007). **Proceedings...** 2007. p. 282-287

TODESCO, J. L., et al. Laboratório de Engenharia do Conhecimento: desenvolvendo ontologias para a Gestão do Conhecimento. II Seminário de Pesquisa em Ontologia no Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: 2009.

TONINELLI, A.; CORRADI, A. A Quality of Context-Aware Approach to Access Control in Pervasive Environments. **MobileWireless Middleware, Operating Systems, and Applications: LNCS**, v. 7, p. 236–251, 2009.

APÊNDICE A – Classes e Subclasses da Ontologia de QoC

Avaliação: Classe que representa as instâncias de regras de avaliação de QoC e seus parâmetros.

Cenário: Classe que representa as instâncias de cenários utilizados em trabalhos que tratam QoC.

- **Ambiente_inteligente:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam ambiente inteligente como cenário.
 - **Casa:** Subclasse de Ambiente_inteligente que representa as instâncias de trabalhos que utilizam uma casa como cenário.
 - **Veículo:** Subclasse de Ambiente_inteligente que representa as instâncias de trabalhos que utilizam um veículo como cenário.
- **Desastre:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam cenário de desastre.
- **Localização:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que tratam a localização no cenário abordado.
- **Saúde:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam cenário relacionado à saúde.
- **Sistema_reconhecimento:** Subclasse de Cenário que representa as instâncias de trabalhos que utilizam sistema de reconhecimento em seu cenário.

Definição: Classe que representa as instâncias de definições de determinado termo, baseado em algum autor da literatura.

Modelo_representação: Classe que representa as instâncias de modelos de representação utilizados em trabalhos que tratam QoC.

- **Notação_gráfica:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam notação gráfica como modelo de representação.
- **Ontologia:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam ontologia como modelo de representação.
- **UML:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam UML como modelo de representação.
- **XML:** Subclasse de Modelo_representação que representa as instâncias de trabalhos que utilizam XML como modelo de representação.

Parâmetro: Classe que representa as instâncias de parâmetros de qualidade de contexto a serem avaliados.

Pesquisador: Classe que representa as instâncias de pesquisadores da área.

QoC: Classe que representa as instâncias de Qualidade de Contexto a serem avaliadas.

Quantificação: Classe que representa as instâncias de métodos de quantificação de parâmetros de QoC.

Referência: Classe que representa as instâncias com as informações de um item bibliográfico.

Tema_abordado: Classe que representa as instâncias de temas abordados em trabalhos que tratam QoC.

- **Agente:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que utilizam agentes.
- **Conflito:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam problemas de conflito.
- **Distribuição_dados:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam a distribuição de dados.
- **Inconsistência:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam problemas de inconsistência.
- **Multi_agente:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que utilizam multi agentes.
- **Segurança:** Subclasse de Tema_abordado que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões de segurança.
 - **Confiabilidade:** Subclasse de Segurança que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões específicas de confiabilidade.
 - **Controle_acesso:** Subclasse de Segurança que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões específicas de controle de acesso.
 - **Privacidade:** Subclasse de Segurança que representa as instâncias de trabalhos de QoC que tratam questões específicas de privacidade.

Valor: Classe que representa as instâncias de valores de QoC e seus parâmetros.

APÊNDICE B – Relações entre Classes da Ontologia de QoC

Aborda_parametro: Relação que mapeia a classe Referência à classe Parâmetro. Refere-se à abordagem de definição de parâmetro (teoricamente).

E_abordado_por: Relação inversa de aborda_parametro.

E_avaliação_de: Relação inversa de tem_avaliação.

E_cenário_de: Relação inversa de tem_cenário.

E_definição_de: Relação inversa de tem_definição.

E_modelo_representação_de: Relação inversa de tem_modelo_representação.

E_parâmetro_de: Relação inversa de tem_parâmetro.

E_pesquisador_de: Relação inversa de tem_pesquisador.

E_quantificação_de: Relação inversa de tem_quantificação.

E_referência_de: Relação inversa de tem_referência.

E_tema_abordado_de: Relação inversa de tem_tema_abordado.

E_utilizado_por: Relação inversa de utiliza.

E_valor_de: Relação inversa de tem_valor.

Tem_avaliação: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Avaliação.

Tem_cenário: Relação que mapeia a classe QoC à classe Cenário.

Tem_definição: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Definição.

Tem_modelo_representação: Relação que mapeia a classe QoC à classe Modelo_representação.

Tem_parâmetro: Relação que mapeia a classe QoC à classe Parâmetro.

Tem_pesquisador: Relação que mapeia a classe Referência à classe Pesquisador.

Tem_quantificação: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Quantificação.

Tem_referência: Relação que mapeia as classes: Definição, Quantificação, Cenário, Modelo_representação e Tema_abordado à classe Referência.

Tem_tema_abordado: Relação que mapeia a classe QoC à classe Tema_abordado.

Tem_valor: Relação que mapeia as classes: Parâmetro e QoC à classe Valor.

Utiliza: Relação que mapeia a classe Referência à classe Parâmetro. A referência utiliza determinado parâmetro de QoC em experimento ou estudo de caso (prático).

APÊNDICE C – Propriedades das Classes da Ontologia de QoC

Data: Propriedade de Dados que armazena a data de inserção de informação para a classe Valor.

Descrição: Propriedade de Dados que armazena a descrição de determinada classe.

Instituição: Propriedade de Dados que armazena a instituição para a classe Pesquisador.

Link: Propriedade de Dados que armazena link para a classe Referência.

Método: Propriedade de Dados que armazena o método ou forma utilizada para quantificar um parâmetro ou QoC geral para a classe Quantificação.

Nome: Propriedade de Dados que armazena o nome para a classe Pesquisador.

Regra: Propriedade de Dados que armazena a regra de avaliação de QoC para a classe Avaliação.

Valor_qoc: Propriedade de Dados que armazena o valor de QoC para a classe Parâmetro e QoC.