

Vitor Rozsa

REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO INCERTA POR MEIO DE ONTOLOGIAS: UM FRAMEWORK PARA SMART HOMES

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação do Centro de Ciências da Educação da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Informação; área de concentração Gestão da Informação, linha de pesquisa Informação, Gestão e Tecnologia.

Orientador: Dr. Moisés Lima Dutra

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Rozsa, Vitor

REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO INCERTA
POR MEIO DE ONTOLOGIAS : UM FRAMEWORK PARA
SMART HOMES / Vitor Rozsa ; orientador, Moisés Lima
Dutra, 2019.

242 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências da Educação, Programa de Pós-
Graduação em Ciência da Informação, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

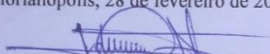
1. Ciência da Informação. 2. Ontologias Incertas.
3. Informação Incerta. 4. Representação da Incerteza.
5. Internet das Coisas. I. Lima Dutra, Moisés. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Ciência da Informação. III. Título.

Vitor Rozsa

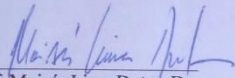
**REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO INCERTA POR MEIO
DE ONTOLOGIAS: UM FRAMEWORK PARA SMART HOMES**

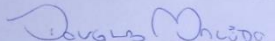
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Ciência da Informação” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação do Centro de Ciências da Educação da Universidade Federal de Santa Catarina.

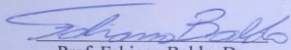
Florianópolis, 28 de fevereiro de 2019.

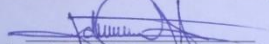

Prof. Adilson Luiz Pinto, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:


Prof. Moisés Lima Dutra, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Prof. Douglas Dyllon Jeronimo de Macedo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Prof. Fabiano Baldo, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)


Prof. José Eduardo Santarem Segundo, Dr.
Universidade de São Paulo (USP)

Prof. Dr. Adilson Luiz Pinto
Coordenador PGCIN/CED/UFSC
Portaria 2282/2017/GR

Este trabalho é dedicado à minha esposa Marta, por todo seu apoio, compreensão e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento e para a qualidade deste trabalho.

A Marta Deniszczwicz, por seu apoio, carinho, companheirismo e auxílio durante a produção deste trabalho.

Ao meu orientador Moisés Lima Dutra, por sua dedicação, orientação, paciência, oportunidades e alto nível de exigência. A qualidade deste trabalho não seria a mesma sem sua orientação.

Aos técnicos e professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação (PGCIN). Tive a felicidade de conhecer apenas pessoas comprometidas com o compartilhamento do conhecimento e aprimoramento de seus colegas e alunos.

A todos os avaliadores deste trabalho, Dr. Douglas Dyllon Jeronimo de Macedo, Dr. José Eduardo Santarem Segundo, Dr. Fabiano Baldo e Dr. Márcio Matias.

“Se vi mais longe foi por estar de pé
sobre ombros de gigantes”
(Isaac Newton, 1676)

RESUMO

Nas *smart homes* e outros cenários da Internet das Coisas (IoT), muitas vezes, as informações coletadas estão sujeitas a interferências externas. Além disso, pode ser necessário representar situações nas quais não é possível se obter informações completas ou precisas sobre determinado fenômeno, gerando a necessidade de se lidar com a informação incerta. As ontologias apresentam um formato amplamente utilizado para a representação das informações coletadas nas *smart homes*. Sendo assim, atualmente existem várias abordagens não padronizadas na literatura baseadas em ontologias para a representação da informação incerta, ou “ontologias incertas”. Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é propor um *framework* para ser utilizado como ferramenta de referência no processo de seleção de ontologias incertas para cenários de *smart homes*. Para isso, foram identificadas ontologias incertas para *smart homes* por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e foram realizadas pesquisas nos anais do International Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web (URSW). O *framework* proposto é composto por dois artefatos gerados a partir de informações extraídas das ontologias incertas identificadas: a) questionário para auxiliar na identificação das necessidades de representação da informação incerta; e b) quadro de referência para ser consultado durante a seleção de uma ontologia incerta de acordo com as necessidades de representação da informação incerta. Ao todo, foram identificados 16 trabalhos que propõem ontologias incertas. Com base nestes trabalhos, elaborou-se o questionário com seis questões e diferentes opções de respostas que remetem as ontologias incertas. O quadro de referência foi elaborado contendo os 16 trabalhos identificados e as características das ontologias incertas propostas por cada trabalho. O *framework* foi aplicado em nove cenários de *smart homes* que utilizam ontologias, mas não representam a informação incerta, de modo a exemplificar o papel do *framework* como ferramenta de referência. Como resultado de sua aplicação, para cada cenário, exceto um, identificou-se uma ou mais opções de ontologias incertas. Isto indica que as ontologias incertas disponíveis cobrem grande parte das necessidades de representação atualmente, mas não completamente. Espera-se que o *framework* proposto possa ser utilizado como referência para facilitar o acesso e uso das ontologias incertas pelos profissionais interessados na construção de ontologias. Finalmente, espera-se gerar oportunidades para que sejam desenvolvidas aplicações que elevem a

qualidade e capacidade dos cenários de *smart homes* tendo em vista principalmente as necessidades e bem-estar das pessoas.

Palavras-chave: Ontologias Incertas. Informação Incerta. Representação da Incerteza. Casas Inteligentes. Internet das Coisas.

ABSTRACT

In smart homes and other Internet of Things (IoT) scenarios, often information collected is subject to external interference. Moreover, it may be necessary to represent situations in which it is not possible to obtain complete or accurate information about a specific phenomenon, causing the need to deal with uncertain information. Ontologies provides a widespread format for representing information collected in smart homes. This way, nowadays there are many non-standard ontology-based approaches in literature focused in the task of uncertain information representation, or "uncertain ontologies". Given this context, the objective of this work is to propose a framework to be used as a reference tool in the process of selecting uncertain ontologies for smart home scenarios. For this purpose, uncertain ontologies for smart homes and other IoT scenarios are identified by means of a Systematic Review of Literature (RSL) and by research in proceedings from International Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web (URSW). The proposed framework is composed by two artifacts generated from information extracted from identified uncertain ontologies: a) a survey to assist in identifying the needs for representing uncertain information; and b) a reference table which can be used for selection of uncertain ontologies according to the representation needs. Altogether, 16 uncertain ontologies proposals have been identified. Based on these proposals, the questionnaire was elaborated with six questions and different options of answers referring to uncertain ontologies. The reference table was built containing the 16 ontologies proposals and its specific features. The framework was applied in nine scenarios of smart homes which use ontologies, but do not represent the uncertain information, in order to exemplify the role of the framework as a reference tool. As a result of its application one or more uncertain ontologies options were identified for most of the work. This indicates that the available uncertain ontologies cover most of the representation needs currently, but not all. It is expected that the proposed framework will be used as a reference to ease the access and use of uncertain ontologies by professionals interested in the creation of ontologies. Finally, it is expected to generate opportunities to develop applications which raise the quality and capacity of smart home scenarios especially in view of the needs and well-being of people.

Keywords: Uncertain Ontologies. Uncertain Information. Uncertainty Representation. Smart Homes. Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura básica de uma aplicação IoT e distribuição de tecnologias por camada.	43
Figura 2 - Composição das aplicações na IoT.....	45
Figura 3 - Atuador utilizado para movimentação de objetos (motor de passo).....	46
Figura 4 - Termostato de Aprendizagem Nest.	51
Figura 5 - Sistema Pessoal de Iluminação Sem Fio HUE.	52
Figura 6 - Robôs de limpeza Roomba e Braava.	52
Figura 7 - Fechadura Inteligente August.....	53
Figura 8 - Foobot: dispositivo de monitoramento e controle da qualidade do ar.	54
Figura 9 - Tomada Inteligente WeMo Switch.....	54
Figura 10 - Qivicon Home Base.....	55
Figura 11 - Espectro de artefatos de informação.....	59
Figura 12 - Extração de um testemunho de gelo.	72
Figura 13 - Representação do conjunto meia-idade por meio da lógica booleana (a) e por meio de conjuntos nebulosos (b).	84
Figura 14 - Operações de união e interseção entre conjuntos nebulosos.....	86
Figura 15 - Operação de complemento sobre o conjunto A.	87
Figura 16 - Diferença entre modelos e probabilidade e conjuntos nebulosos.....	87
Figura 17 - Trecho MOWL representado em Turtle que associa o conceito mármore ao padrão de mídia “cor branca”.	90
Figura 18 - Função nebulosa xHigh.	91
Figura 19 - Codificação da influência de erros nas leituras dos sensores.	92
Figura 20 - Exemplo de codificação da probabilidade base de um conceito.	94
Figura 21 - Exemplo de codificação de uma variável de decisão.	94
Figura 22 - Exemplo de codificação de uma função de utilidade.	95
Figura 23 - Procedimentos metodológicos para construção e verificação do framework.....	100
Figura 24 - Framework para a representação da informação incerta nas <i>smart homes</i>	106
Figura 25 - Fluxo proposto de aplicação do framework.....	109

Figura 26 - Fases da RSL adotadas neste trabalho.	111
Figura 27 - Mapa conceitual das etapas para execução da RSL.	115
Figura 28 - Objetivos dos trabalhos identificados na RSL.	125
Figura 29 - Tópicos das questões elaboradas e suas opções de respostas.	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais características da automação residencial e smart homes.....	40
Quadro 2 - Sublinguagens do OWL.....	61
Quadro 3 - Exemplos de inferência fornecidos pelas ontologias OWL.....	62
Quadro 4 - Tipos de incerteza mencionados pelo URW3-XG. ..	76
Quadro 5 - Distribuição de probabilidades sobre atividades para o final de semana.....	79
Quadro 6 - Caracterização da pesquisa.....	98
Quadro 7 - Informações extraídas das ontologias incertas.....	102
Quadro 8 - Termos selecionados para as buscas nas bases de dados.....	113
Quadro 9 - Critérios de inclusão e exclusão de estudos.....	114
Quadro 10 - Expressões de busca para recuperação de trabalhos primários.....	118
Quadro 11 - Total de trabalhos excluídos ou selecionados devido à etapa de filtragem.....	120
Quadro 12 - Trabalhos selecionados na RSL.....	121
Quadro 13 - Total de trabalhos excluídos ou selecionados devido à etapa de filtragem.....	123
Quadro 14 - Trabalhos selecionados a partir das referências dos trabalhos selecionados na RSL e Anais do URSW.....	124
Quadro 15 - Questão sobre qual tipo de informação incerta deve ser representada.....	133
Quadro 16 - Questão sobre qual é o modelo de representação da informação incerta utilizado.....	134
Quadro 17 - Questão sobre como as propriedades de incerteza estão codificadas na ontologia.....	135
Quadro 18 - Questão sobre qual é o nível de expressividade necessário na abordagem.....	136
Quadro 19 - Questão sobre os meios para o raciocínio sobre a informação incerta.....	138
Quadro 20 - Questão sobre a situação de uso da ontologia incerta.....	139
Quadro 21 - Quadro de referência sobre ontologias incertas para <i>smart homes</i>	144
Quadro 22 - Expressões de busca para a recuperação de ontologias não-incertas na linguagem OWL nas smart homes.....	149

Quadro 23 - Categorias para situações de uso de ontologias não-incertas na linguagem OWL em cenários de smart homes.....	150
Quadro 24 - Relação de trabalhos por categoria identificada...	152
Quadro 25 - Trabalhos selecionados para cada categoria de uso das ontologias não-incertas na linguagem OWL.....	153
Quadro 26 - Sumarização das respostas para o trabalho na categoria Descoberta de Serviços.....	156
Quadro 27 - Abordagens (ontologias incertas) selecionadas a partir da filtragem realizada para o trabalho na categoria Descoberta de Serviços.	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - CPT sobre preferência de homens e mulheres em relação a cães e gatos.....	81
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAL – Ambiente de Vida Assistida
ATMS - Assumption-Based Truth Maintenance System
AVAC – Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
CI – Ciência da Informação
CC – Ciências da Computação
COV – Composto Orgânico Volátil
DL – Description Logic
DN – Redes de Decisão
DBN – Redes Bayesianas Dinâmicas
ECHO IV – Electronic Computing Home Operator
EPC – Electronic Product Code
FFO – Fault Fuzzy-Ontology
FOL – Lógica de Primeira Ordem
GPS – Global Positioning System
IMEI – International Mobile Equipment Identity
IoT – Internet das Coisas
IP – Internet Protocol
IPv4 – Internet Protocol Versão 4
IPv6 – Internet Protocol Versão 6
LPWAN – Low-Power, Wide-Area Networks
LS-WSN – Rede de Sensores Sem Fio em Larga Escala
MEBN – Redes Bayesianas Multi-Entidade
MIT – Massachusetts Institute of Technology
MOWL - Multimedia Web Ontology Language
NAHB – Associação Nacional de Construtoras
NFC – Near Field Communication
OWL – Web Ontology Language
PM – Material Particulado
PRM – Modelos Relacionais Probabilísticos
RDF – Resource Description Framework
RDFS – Resource Description Framework Schema
RFID – Identificação por Radiofrequência
RI – Recuperação da Informação
RSL – Revisão Sistemática da Literatura
SOA – Arquitetura Orientada a Serviços
SWRL – Semantic Web Rule Language
URSW – International Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web

URW3-XG – W3C Uncertainty Reasoning for the World Wide
Web Incubator Group
WS – Web Semântica
WSN – Rede de Sensores sem Fio
W3C – World Wide Web Consortium

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	OBJETIVOS	31
1.1.1	Objetivo geral	31
1.1.2	Objetivos específicos	31
1.2	JUSTIFICATIVA.....	31
1.3	ENQUADRAMENTO	31
1.4	DELIMITAÇÃO	32
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	33
2	SMART HOMES	35
2.1	HISTÓRICO	35
2.2	CONCEITUAÇÃO	38
2.3	SMART HOMES E INTERNET DAS COISAS	41
2.3.1	Arquitetura IoT.....	42
2.3.2	Composição e Tecnologias.....	44
2.4	SISTEMAS PARA SMART HOMES	50
3	ONTOLOGIAS	57
3.1	TIPOS	58
3.2	LINGUAGENS DE REPRESENTAÇÃO	60
3.3	ONTOLOGIAS OWL NAS SMART HOMES	63
3.3.1	Reconhecimento de Atividades	65
3.3.2	Gestão de Energia Domiciliar	65
3.3.3	Sistema de Diálogo	66
4	A INCERTEZA NA INFORMAÇÃO	68
4.1	INFORMAÇÃO NAS SMART HOMES E INTERNET DAS COISAS	71
4.2	INFORMAÇÃO INCERTA.....	73
4.3	TIPOS DE INCERTEZA	75
4.4	MODELOS PARA REPRESENTAÇÃO DA INCERTEZA	77
4.4.1	Teoria da Probabilidade	77

4.4.2	Conjuntos Nebulosos	83
4.5	EXEMPLOS DE ONTOLOGIA INCERTA	88
4.5.1	Ontology based context aware situation tracking	88
4.5.2	A Fault Fuzzy-Ontology for Large Scale Fault-Tolerant Wireless Sensor Networks	90
4.5.3	Uncertainty Reasoning for <i>Smart Homes</i>: an Ontological Decision Network Based Approach	92
4.6	SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	96
5	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	97
5.1	CARACTERIZAÇÃO	97
5.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	99
5.2.1	Objetivo Específico A	100
5.2.2	Objetivo Específico B.....	101
5.2.3	Objetivo Específico C	107
5.2.4	Objetivo Específico D	108
5.3	PROTOCOLO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	110
5.3.1	Objetivo, Pergunta e Seleção de Fontes	111
5.3.2	Palavras-chave	112
5.3.3	CrITÉrios de Seleção de Trabalhos.....	113
5.3.4	Procedimentos	115
6	MAPEAMENTO DE ONTOLOGIAS INCERTAS PARA SMART HOMES	118
6.1	CONDUÇÃO DA RSL.....	118
6.1.1	Recuperação dos Trabalhos Primários nas Bases de Dados	118
6.1.2	Filtragem dos Trabalhos Recuperados	120
6.1.3	Extração de informações	121
6.2	BUSCA A PARTIR DAS REFERÊNCIAS DOS TRABALHOS SELECIONADOS E ANAIS DO URSW.....	122
6.2.1	Recuperação de Trabalhos.....	123

6.2.2	Filtragem dos Trabalhos Recuperados	123
6.2.3	Extração de Informações	124
6.3	ANÁLISE (TRABALHOS RELACIONADOS)	125
7	FRAMEWORK PARA ONTOLOGIAS INCERTAS NAS SMART HOMES	129
7.1	EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES	129
7.2	ELABORAÇÃO DAS QUESTÕES	130
8	APLICAÇÃO DO FRAMEWORK PROPOSTO	148
8.1	IDENTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS DE <i>SMART HOMES</i>	148
8.2	APLICAÇÃO DO FRAMEWORK NOS CENÁRIOS DE <i>SMART HOMES</i>	153
8.2.1	Towards adaptive control in smart homes: Overall system design and initial evaluation of activity recognition	154
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
9.1	TRABALHOS FUTUROS.....	162
	REFERÊNCIAS	165
	APÊNDICE A - Estudos recuperados nas bases de dados durante a RSL	185
	APÊNDICE B - Trabalhos excluídos devidos aos critérios CE 1, CE 2 e CE 3	193
	APÊNDICE C - Trabalhos excluídos devidos aos critérios CE 4 e CE 5	196
	APÊNDICE D - Aplicação dos critérios CI 1, CI 2, CE 5, CE 6, CE 7 e CE 8	197
	APÊNDICE E - Informações extraídas dos estudos selecionados na RSL	199
	APÊNDICE F – Quantidade de referências fornecidas por trabalho selecionado na RSL	211
	APÊNDICE G – Quantidade de referências fornecidas por anal do URSW	212
	APÊNDICE H – Informações extraídas dos estudos selecionados a partir das referências dos estudos selecionados na RSL e anais do URSW	213
	APÊNDICE I – Informações extraídas das ontologias incertas na etapa de criação do framework (parte 1/2)	216

APÊNDICE J – Informações extraídas das ontologias incertas na etapa de criação do framework (parte 2/2).....	220
APÊNDICE K – Trabalhos que aplicam ontologias não-incertas na linguagem OWL nas <i>smart homes</i>	227
APÊNDICE L – Respostas obtidas e ontologias incertas identificadas a partir das respostas obtidas para cada trabalho (parte 1/2).....	231
APÊNDICE M – Respostas obtidas e ontologias incertas identificadas a partir das respostas obtidas para cada trabalho (parte 2/2).....	237

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a redução nos custos de tecnologias em geral nos últimos anos potencializaram a criação de ambientes inteligentes voltados para o auxílio das pessoas em suas tarefas cotidianas. Nesse contexto, as casas inteligentes (do inglês, *smart homes*) podem ser entendidas como ambientes inteligentes que proveem benefícios como segurança, comodidade, entretenimento e economia aos seus habitantes. Estes benefícios são fornecidos por diferentes aplicações que se baseiam principalmente na coleta de dados e consumo de informações sobre o ambiente e os habitantes das *smart homes*.

Especificamente, a visão das *smart homes*, tal como é considerada hoje, está voltada para um cenário residencial no qual objetos são capazes de coletar dados e atuar sobre o ambiente, são autoconfiguráveis e podem ser controlados por meio da Internet, possibilitando uma variedade de aplicações de monitoramento e controle (LI *et al.*, 2011). Devido ao desenvolvimento da economia e do contínuo aumento do consumo da informação na sociedade, os requisitos das pessoas sobre suas condições de vida estão em constante crescimento, tornando o desenvolvimento das *smart homes* cada vez mais necessário (LI; YU, 2011). Assim, conforme relatório da IoT Analytics (2015a), constatou-se que no ano de 2015 os três cenários mais populares da Internet das Coisas (IoT - do inglês *Internet of Things*) eram, por ordem crescente de popularidade, as cidades inteligentes, os dispositivos vestíveis e as *smart homes*, ressaltando-se o interesse no desenvolvimento das *smart homes*.

As *smart homes* possuem potencial para causar um impacto significativo em nossa sociedade, uma vez que são capazes de auxiliar as pessoas em tarefas do cotidiano por meio de objetos “inteligentes” integrados ao ambiente. Os objetos “inteligentes” são capazes de coletar dados sobre as pessoas e o ambiente e, a partir disso, podem operar automaticamente ou disponibilizar informações que aumentam a percepção das pessoas sobre o contexto ao seu redor.

Nas *smart homes*, dados representam fatos daquele universo por meio de símbolos. Os dados estão disponíveis no ambiente e podem ser coletados por meio de sensores, porém, por si só não possuem significado ou não são capazes de provocar mudanças. Neste contexto, as informações podem ser entendidas como dados processados, estruturados e contextualizados para que possuam significado. Uma vez coletados, os dados são processados e transformados em informações e

assim podem ser utilizadas pelos objetos “inteligentes” para prover serviços aos habitantes das *smart homes*.

Um exemplo de uso das informações coletadas é o monitoramento da saúde de pacientes em suas próprias *smart homes*. Neste cenário, um fluxo contínuo de informações sobre os sinais vitais do paciente é gerado por meio de sensores alocados na residência e estas informações são disponibilizadas para profissionais da saúde. Estes profissionais, por sua vez, são responsáveis por acompanhar a saúde do indivíduo e intervir em casos de necessidade. As aplicações que proveem este serviço - monitoramento e assistência de pessoas dependentes em suas próprias residências - são designadas, em geral, como Ambientes de Vida Assistida (AAL - do inglês *Ambient Assisted Living*) e recentemente proliferaram-se trabalhos que proveem este tipo de serviço nas *smart homes* (MACHADO *et al.*, 2017; TRIBOAN *et al.*, 2017; HUANG *et al.*, 2016; WANG; LUO; SUN, 2016).

Frequentemente, pode ocorrer de os dados obtidos nos cenários de *smart homes* estarem sujeitos a interferências externas, como a indisponibilidade dos sensores ou a imprecisão em suas leituras, o que pode levar a inconsistências das informações geradas. Além disso, em algumas situações, pode não ser possível obter informações completas sobre determinado fenômeno ou habitante da *smart home* que são pertinentes para a interpretação da situação, gerando a necessidade de se lidar com a consequência desses fatores, ou seja, da capacidade de se lidar com a informação incerta.

Tomando como exemplo a aplicação de AAL descrita anteriormente, um indivíduo poderá apresentar determinados sintomas que indicam alguma enfermidade. Como em alguns casos os mesmos sintomas podem indicar diferentes enfermidades, nem sempre é possível realizar um diagnóstico preciso de maneira completamente automatizada. Por meio da representação da informação incerta seria possível representar o quanto um sintoma está relacionado à determinada doença, permitindo calcular a probabilidade de um determinado conjunto de sintomas indicarem uma ou outra enfermidade.

Um paradigma tecnológico que contribui amplamente para o desenvolvimento das *smart homes* e que vem ganhando impulso nos últimos anos é a Internet das Coisas. A visão da IoT está baseada em um cenário no qual os objetos do cotidiano estão interconectados e são capazes de transmitir e receber informações por meio da Internet. Estes objetos percebem e interagem com o mundo de forma autônoma e “inteligente”, processando dados coletados do ambiente para disponibilizar informações para as pessoas ou executar ações

automaticamente. No contexto deste trabalho, considera-se que, atualmente, a IoT provê a base tecnológica e paradigmática para o desenvolvimento das *smart homes*. Sendo assim, as *smart homes* e outros cenários da IoT compartilham diferentes tecnologias, destacando-se neste trabalho as ontologias que são utilizadas na representação de informações.

As ontologias apresentam um dos formatos mais apropriados para a representação das informações geradas nas aplicações da IoT (STRANG; POPIEN, 2004). Uma das linguagens mais utilizadas para a criação de ontologias é a Web Ontology Language (OWL), sendo mantida como um padrão da Web Semântica (WS) pelo World Wide Web Consortium (W3C). No entanto, ainda não há um padrão para ontologias no âmbito do W3C para tratar da representação da informação incerta.

Nas *smart homes* e em outros cenários IoT, a informação incerta ocorre de diferentes formas (ex.: ambígua, probabilista, imprecisa ou vaga) exigindo diferentes abordagens em seu tratamento. Atualmente, o OWL permite a representação formal do conhecimento de forma que diferentes entidades que partilham a mesma ontologia compreenderão o conhecimento do domínio da mesma maneira, reduzindo assim possíveis ambiguidades (GUARINO; OBERLE; STAAB, 2009). No entanto, nem todos os tipos de informação incerta podem ser representados utilizando-se o OWL, sendo necessário a utilização de outras abordagens.

Pode-se encontrar na literatura diferentes propostas de abordagens para a representação da informação incerta por meio de ontologias, ou “ontologias incertas”, baseadas em diferentes modelos (ex.: teoria das probabilidades, Multi-Entity Bayesian Networks, Decision Networks, Teoria de Dempster-Shafer, Fuzzy Dempster-Shafer, Fuzzy Bayesian, conjuntos nebulosos, etc.). Por exemplo, o trabalho de Carvalho, Laskey e Costa (2013) aborda a informação incompleta e o trabalho de Bobillo e Straccia (2011) trata da informação vaga.

Algumas iniciativas tratam de investigar e direcionar esforços em benefício da representação e raciocínio sobre a informação incerta por meio de ontologias. Por exemplo, entre os anos de 2007 e 2008 a W3C incubou o grupo de pesquisa W3C Uncertainty Reasoning for the World Wide Web Incubator Group (URW3-XG), destinado a identificar os desafios do raciocínio e representação da informação incerta na World

Wide Web¹. Ainda, convém citar a conferência anual International Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web (URSW), que visa integrar e disseminar conhecimentos relacionados a representação da incerteza na Web Semântica (WS), estando em sua 12.^a edição no ano de 2016². Mesmo diante da variedade de abordagens e de diferentes iniciativas, ainda não há uma referência (ex.: quadro ou lista) que reúna informações sobre as ontologias incertas existentes.

A inexistência de um padrão para ontologias incertas, a variedade de abordagens e de modelos utilizados e a falta de uma referência na qual as ontologias incertas disponíveis possam ser consultadas dificultam a seleção da abordagem mais adequada para tratar da informação incerta nas *smart homes*. Neste trabalho, a seleção refere-se à possibilidade de se escolher uma entre diferentes ontologias incertas existentes para a representação da informação incerta de acordo com as necessidades de determinado cenário de *smart homes*.

Diante deste contexto, justifica-se a necessidade de identificação e organização das abordagens existentes, bem como a compreensão de como estas abordagens podem ser empregadas nas *smart homes*. Assim sendo, este trabalho busca responder a seguinte questão: **como selecionar as ontologias adequadas para a representação da informação incerta em cenários de *smart homes*?**

¹ Relatório final produzido pelo grupo disponível em <https://www.w3.org/2005/Incubator/urw3/group/draftReport.html>.

² Até o presente momento (17/01/2019) não foram encontradas informações sobre a ocorrência de edições do URSW em 2017 e 2018.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Propor um *framework* para ser utilizado como ferramenta de referência na seleção de ontologias incertas para cenários de *smart homes*.

1.1.2 Objetivos específicos

- A. Mapear as ontologias incertas disponíveis atualmente para cenários de *smart homes*;
- B. Desenvolver o *framework* proposto baseando-se nas ontologias incertas identificadas;
- C. Identificar cenários de *smart homes* que utilizam ontologias não-incertas representadas na linguagem OWL;
- D. Aplicar o *framework* desenvolvido nos cenários de *smart homes* identificados de modo a exemplificar seu papel como ferramenta de referência.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho aborda um tema inerente aos cenários de *smart homes* e IoT em geral, que são as ontologias incertas, mas que ainda é pouco mencionado nas soluções baseadas no paradigma da IoT. A baixa ocorrência de trabalhos que empregam ontologias incertas nos cenários de *smart homes* foi identificada por meio de buscas preliminares a este trabalho e verificada por meio dos resultados de uma Revisão Sistemática de Literatura apresentada no Capítulo 6. O cenário de *smart homes* para estudar este tema foi escolhido devido ao fato de as pessoas estarem tornando-se cada vez mais exigentes sobre suas condições de vida; e ao potencial das *smart homes* para gerar soluções de alto impacto para as pessoas como, por exemplo, as aplicações de AAL.

1.3 ENQUADRAMENTO

Em virtude da grande quantidade de dados gerados nas *smart homes* e em outros cenários IoT, provenientes de diversas fontes e sobre diferentes eventos, surge a demanda da gestão desses dados para que possam ser utilizados em benefício das pessoas. Para Santos e Vidotti (2009), um dos papéis da Ciência da Informação (CI) é converter o

grande volume de dados operacionais disponíveis diariamente em informações consistentes que permitam a tomada de decisões e agreguem valor às atividades diárias e negócios. Diante do meio informacional criado nas *smart homes*, no qual se potencializa o acesso à informação e seu consumo pelas pessoas de forma direta ou indireta³, a CI desempenha papel relevante ao investigar o tratamento dos dados e sua conversão em informações úteis às pessoas.

Em pesquisa realizada por Whitmore, Agarwal e Xu (2015), identificou-se que os trabalhos sobre a IoT estão mais focados em questões tecnológicas. Dessa forma, questões relacionadas a gestão dos dados e recuperação da informação carecem de trabalhos (DING; CHEN; YANG, 2014). A questão preponderante está relacionada à conversão de dados capturados na IoT em informação para gerar conhecimento e proporcionar ambientes mais convenientes para as pessoas (TSAI *et al.*, 2014). Nesse sentido, o interesse da CI no aperfeiçoamento e compreensão de ferramentas e fatores - tanto humanos quanto tecnológicos - relacionados a origem, coleta, organização, armazenamento, recuperação, interpretação, transmissão, transformação e uso de informação evidencia uma estreita relação com o paradigma tecnológico da IoT e os cenários de *smart homes*.

1.4 DELIMITAÇÃO

Entre os objetivos desta pesquisa, está a busca por abordagens que proponham ontologias incertas. Pode-se encontrar diferentes trabalhos na literatura que propõem sistemas baseados em ontologia e que tratam de aspectos de incerteza, porém, apenas uma parte destes trabalhos trata de fato dos aspectos de incerteza por meio de ontologias. Nos casos em que isto não ocorre, a ontologia é utilizada para armazenar e processar informações, enquanto tanto a representação de aspectos de incerteza na informação quanto o processamento de informações em vista da incerteza são realizados por meio de mecanismos externos à ontologia. Assim sendo, estes trabalhos não foram considerados nesta pesquisa como propostas de ontologias incertas, considerando-se que não fornecem subsídios para os objetivos desta pesquisa.

Em complemento ao exposto anteriormente, nesta pesquisa foram buscadas apenas ontologias incertas que tenham por base linguagens da família OWL, inclusive o Resource Description Framework (RDF) e

³ O consumo de informações de forma indireta se refere à tomada de decisões de forma automática por objetos inteligentes.

RDF Schema (RDFS). As linguagens para a codificação de ontologias OWL são amplamente utilizados nas *smart homes* e em outros cenários IoT. Não fez parte do escopo desta pesquisa avaliar qual é a linguagem mais adequada para a criação de ontologias incertas. Entretanto, por meio de leituras prévias, identificou-se que a maior parte das propostas de ontologias incertas estão baseadas na linguagem OWL. Sendo assim, estar baseada em OWL foi um requisito para as ontologias incertas trabalhadas nesta pesquisa.

Busca-se por meio do *framework* proposto nesta pesquisa reunir informações sobre as características das ontologias incertas disponíveis em trabalhos publicados na literatura. As informações utilizadas na construção do *framework* foram obtidas exclusivamente por meio da leitura dos trabalhos identificados e de seus artefatos relacionados (ex.: páginas Web relativas à abordagem). O *framework* constitui uma referência sobre ontologias incertas objetivando a seleção das abordagens mais adequadas aos cenários de *smart homes*.

Em áreas relacionadas à Ciência da Computação, o termo *framework* se refere a uma estrutura base ou modelo voltado para o desenvolvimento de sistemas. Nesse caso, o propósito de um *framework* é fornecer serviços básicos (bibliotecas ou aplicações de software) e conceitos fundamentais para aplicações computacionais que se baseiam em suas funcionalidades (TECHOPEDIA, 2018). Entretanto, neste trabalho, o termo *framework* remete à “uma estrutura conceitual básica (como de ideias)” (OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2018) e incorpora o propósito de um quadro de referência, “um conjunto de ideias, abordagens ou premissas que determinam como algum assunto será abordado, percebido ou compreendido” (MERRIAN-WEBSTER, 2018). Assim, o termo *framework*, quando utilizado para referenciar a ferramenta proposta neste trabalho, denota uma abordagem que estrutura informações para determinar uma forma de abordar um determinado assunto.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em nove capítulos. Neste capítulo, foram introduzidos o tema e o problema de pesquisa, foram apresentados objetivos gerais e específicos, o enquadramento, justificativa e a delimitação do trabalho. Nos capítulos 2, 3 e 4 é fornecida a fundamentação teórica deste trabalho focada, respectivamente, nas *smart homes*, em ontologias e na incerteza na informação. No Capítulo 5, são descritos os aspectos metodológicos do

trabalho e o protocolo de Revisão Sistemática de Literatura empregada (RSL) para identificar as ontologias incertas disponíveis para *smart homes*. No Capítulo 6, são apresentados os resultados da aplicação da RSL proposta no Capítulo 5. No Capítulo 7, descreve-se a aplicação dos procedimentos para elaboração do *framework* e os resultados obtidos. No Capítulo 8, são identificados na literatura cenários de *smart homes* baseados na linguagem OWL e descreve-se a aplicação do *framework* nestes cenários. Por fim, no Capítulo 9, são realizadas as considerações finais deste trabalho e são apresentadas suas perspectivas futuras.

2 SMART HOMES

O desenvolvimento das *smart homes* não é um tema recente e possui raízes em marcos históricos ocorridos no início do século XX. Ao longo de sua evolução, foram utilizadas diferentes denominações para os sistemas residenciais, o que atualmente pode causar confusão quando se trata deste tema. A denominação mais recente, *smart home*, refere-se à um cenário residencial conectado e consciente, baseado principalmente nas tecnologias da IoT.

Neste capítulo, contextualiza-se o tema de *smart homes* por meio de uma revisão sobre seu histórico, conceitos e sua base tecnológica (IoT). Além disso, também são apresentados exemplos de dispositivos e sistemas para as *smart homes* disponíveis atualmente no mercado.

2.1 HISTÓRICO

Neste breve histórico busca-se retratar diferentes eventos e fatores que contribuíram para a evolução das *smart homes* e os propósitos das soluções para as residências ao longo dos anos. Desde o início do século XX pensa-se em como automatizar tarefas do dia-a-dia nas residências tendo em vista o conforto, eficiência, segurança e entretenimento (ALDRICH, 2003) de seus habitantes. Nesse contexto, as *smart homes* evoluíram a partir de soluções localizadas e independentes para sistemas complexos e interligados.

A invenção do controle remoto e a introdução da eletricidade nas casas podem ser vistos como os eventos iniciais que impactaram na criação de aplicações automáticas para as residências. Em 1889, Nikola Tesla utilizou a tecnologia de controle remoto sem fio em uma demonstração para controlar um barco em miniatura por meio de ondas de rádio (BUCKINGHAM, 2015). Durante a demonstração, o público supôs situações para o uso militar da tecnologia, como torpedos teleguiados, ao passo que Tesla rejeita a ideia e acrescenta “você vê ali o primeiro de uma raça de robôs, homens mecânicos que realizarão as trabalhosas tarefas da raça humana” (O’NEILL, 2007, p.167, tradução livre). Segundo O’Neill (2007), a “raça de robôs” tratava-se de uma das ideias de Tesla direcionadas ao bem das pessoas, tendo em vista o aumento da capacidade humana e uso mais eficiente desta capacidade.

Desde a época da demonstração de Tesla, as tecnologias de comunicação sem fio evoluíram e atualmente podem ser identificadas em diferentes aspectos do nosso cotidiano e das *smart homes*. Exemplos de uso da comunicação sem fio estão nos telefones celulares (ex.: GSM,

3G, 4G, etc.) e dispositivos domésticos como controles remoto, aspiradores de pó automáticos, notebooks, entre outros, para transmitir e receber informações a curtas distâncias (ex.: WiFi, Bluetooth, ZigBee, NFC, IR, etc).

A introdução da eletricidade nas residências no primeiro quarto do século XX, por sua vez, disponibilizou uma nova forma de alimentação para aplicações. Este novo recurso estimulou a criação de novos equipamentos baseados neste tipo de alimentação (ALDRICH, 2003) como, por exemplo, os eletrodomésticos.

Diferentes eletrodomésticos foram criados durante as duas primeiras décadas do século XX. De acordo com a National Academy of Engineering (2017), o primeiro aspirador de pó motorizado foi criado em 1901, porém, era pouco prático pois exigia diversas pessoas para seu manuseio. Ainda segundo a mesma fonte, ao longo dos anos seguintes foram criados eletrodomésticos como ferro de passar, aspirador de pó, torradeira, refrigerador e máquina de lavar louça, para citar alguns. O foco inicial estava na criação de aparelhos para a semiautomação⁴ das atividades domésticas, buscando o incremento na eficiência de execução destas atividades.

Entre as décadas de 1920 e 1940, continuou-se a criação de novas soluções para automação nas residências. A ideia geral com a introdução dos eletrodomésticos era, como mencionado, o aumento na eficiência da execução das atividades domésticas e menor tempo gasto nestas atividades, liberando os moradores para investir em seu lazer. Entretanto, como menciona Aldrich (2003), o resultado foi diferente, aumentando-se os padrões de higiene e limpeza e culminando no uso mais frequente dos eletrodomésticos para estas finalidades.

A partir de 1945, os eletrodomésticos começaram a apresentar uma penetração maior no mercado. Assim, os designs das residências passaram a refletir o uso das novas tecnologias à medida que diferentes dispositivos para facilitar o trabalho tornaram-se comuns nos lares como, por exemplo, torradeiras, fogões, máquinas de café e chá, processadores de alimentos, secadores de cabelo, máquinas de barbear elétricas, máquinas de lavar roupa e máquinas de costura (ALDRICH, 2003).

Em 1966, Jim Shuterland começou a desenvolver o primeiro sistema de automação residencial denominado Electronic Computing Home Operator (ECHO IV) (INFIELD, 1968). O sistema estava apto a

⁴ Utiliza-se o termo “semiautomação” pois os aparelhos ainda precisavam da intervenção humana para operar.

produzir listas de compras, controlar a temperatura do ambiente e ligar e desligar aparelhos, porém, não foi comercializado (BUCKINGHAM, 2015).

Outro sistema de automação proposto na época, em 1969, foi o Computador de Cozinha da Honeywell, idealizado para o armazenamento de receitas gastronômicas. De acordo com Atkinson (2010), este sistema foi divulgado em um catálogo de natal para presentes extravagantes de uma cadeia de lojas de departamentos nos Estados Unidos, estando mais próximo de um “golpe de publicidade” do que de um produto real. De qualquer modo, estas aplicações tidas como futuristas serviram para demonstrar as capacidades tecnológicas da época.

Em 1971, o primeiro microprocessador da Intel foi anunciado comercialmente (FAGGIN *et al.*, 1996). Desde então, os dispositivos móveis e aparelhos domésticos passaram a incorporar capacidades de computação (COOK, 2002), tornando-os mais sofisticados. Além disso, de acordo com Buckingham (2015), a disponibilidade de tal tecnologia teve por consequência a redução no preço dos eletrônicos e seu acesso a uma maior parcela de consumidores.

Em 1975, criou-se o projeto X10 da Pico Electronics para automação residencial. A ideia inicial do projeto era utilizar a rede elétrica para transmissão de sinais de controle para aparelhos e iluminação e após alguns anos de desenvolvimento, em 1978, o X10 passou a ser comercializado (RYE, 1999). A versão inicial do X10 como produto era composta por “módulos” que se localizavam entre a rede elétrica e os aparelhos na residência; e uma unidade central que poderia ser configurada para realizar o controle dos módulos individuais (WOODFORD, 2016). Convém mencionar que X10 se refere tanto ao protocolo de comunicação desenvolvido para troca de informações via rede elétrica quanto ao produto produzido para controle residencial que emprega este protocolo. Dito isso, o protocolo de comunicação X10 tornou-se um padrão da indústria para automação residencial (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

Na década de 1980, o termo “smart house” foi cunhado. De acordo com Harper (2003), a Associação Nacional de Construtoras (NAHB - do inglês *National Association of Home Builders*) utilizou o termo oficialmente pela primeira vez em 1984. Neste ano, a NAHB desenvolveu a ideia de uma casa controlada por computador para a automação das tarefas domésticas diárias, o que resultou em um protótipo de US\$40 milhões idealizado para evoluir e tornar-se em um padrão da indústria (MILLMAN; WAGONER, 1991).

Finalmente, em 1999, Kevin Ashton, cofundador do Auto-ID Center do Massachusetts Institute of Technology (MIT), utilizou pela primeira vez o termo “Internet of Things”. O termo foi utilizado como título de uma apresentação sobre o uso da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID - do inglês *Radio Frequency Identification*) em cadeias de suprimento e sua conexão com a Internet (ASHTON, 2009). Passados então quase duas décadas, o conjunto de tecnologias abrangidas e cenários de aplicação atendidos expandiu-se consideravelmente, inclusive em direção ao seu uso nos cenários de *smart homes*.

Como apresentado, as *smart homes* representam um amplo contexto que contém diversos marcos e eventos em sua história. As primeiras soluções tratavam-se de aplicações isoladas (em termos de comunicação) e semiautomáticas, com os eletrodomésticos, enquanto que as soluções mais recentes buscam a interconexão de diferentes aparelhos e a automação de tarefas, como sistemas integrados baseados no X10. Com esta seção buscou-se retratar os diferentes eventos e fatores na evolução das *smart homes*, especialmente o advento da IoT. Em seções próximas, o paradigma tecnológico da IoT é explorado tendo em vista suas contribuições para as *smart homes*.

2.2 CONCEITUAÇÃO

O contexto das *smart homes* é amplo e diversificado, o que culmina em diferentes visões sobre os requisitos que um determinado cenário deve atender para que possa receber esta denominação. Além disso, é possível encontrar diferentes denominações na literatura para aplicações residenciais como, por exemplo, sistemas domésticos integrados, domótica, casas adaptáveis, casas conscientes, casas inteligentes, casas digitais, casas do futuro, automação residencial e *smart homes* (ALAM; REAZ; ALI, 2012; BOUNEGRU, 2009; RICQUEBOURG *et al.*, 2006; ALDRICH, 2003). Neste trabalho, considera-se todas estas denominações como sinônimos, porém, será realizada a distinção entre automação residencial e *smart homes* de modo a explicar a visão de *smart homes* adotada neste trabalho e sua relação com a IoT.

A automação residencial, para Lyazidi e Mouline (2015), fornece sistemas autogerenciáveis de forma transparente e inteligente, que são capazes de atuar em benefício do bem-estar dos habitantes, sendo este o principal objetivo destes sistemas. Apesar de não explicitar exatamente como os sistemas devem ser transparentes e inteligentes, este conceito

destaca dois aspectos, que são a autonomia dos sistemas e seu foco nas pessoas. Em suma, na automação residencial os sistemas são capazes de atuar automaticamente no lar de acordo com as preferências dos habitantes. Por exemplo, um sistema capaz de regular a temperatura de determinado ambiente de acordo com as preferências de seus integrantes.

As *smart homes*, de acordo com de Li *et al.* (2011), estão voltadas para um ambiente residencial do futuro que incorpora sensores e atuadores autoconfiguráveis e passíveis de controle por meio da Internet. Além disso, segundo estes autores, os objetos nas *smart homes* são capazes de perceber as atividades dos moradores, prever seus comportamentos futuros e realizar ações proativas de acordo com as necessidades e preferências dos habitantes, de modo a fornecer o máximo de conveniência, conforto, eficiência e segurança aos seus habitantes.

A conceituação de Li *et al.* (2011) incorpora aspectos de coleta de informações (sensores) e execução de ações (atuadores), conectividade e controle remoto (Internet), reconhecimento de atividades, predição e proatividade e está focada no benefício dos habitantes. Estas características compõem sistemas que permitem o controle e monitoramento remoto das *smart homes* e de seus habitantes como, por exemplo, aplicações para monitoramento de pacientes em seus próprios lares.

Brush *et al.* (2011) atribuem diferentes significados aos termos automação residencial e *smart homes*. Enquanto o primeiro se refere à capacidade de automação e controle de diferentes sistemas, o segundo possui um enfoque no qual os sistemas se adaptam de acordo com as necessidades dos habitantes. Esta distinção revela um elemento de destaque nas *smart homes* que é a adaptabilidade dos sistemas domésticos. Os autores ainda mencionam que no início da década de 2010 as tecnologias disponíveis estavam mais aptas a atender ao cenário de automação residencial. Desde então, intensificou-se o desenvolvimento da IoT, viabilizando a criação de ambientes inteligentes (KIBRIA; CHONG *et al.*, 2016) e aplicações com capacidades para prever e adaptarem-se de acordo com as necessidades das pessoas.

Diante desta breve exposição, é possível perceber que a automação residencial e as *smart homes* possuem propósitos e serviços similares. De fato, pode-se entender que as *smart homes* incrementam os sistemas de automação residencial. As *smart homes* tomam forma por meio das tecnologias da IoT e, sendo assim, suas principais

contribuições estão voltadas para a conectividade dos sistemas e tecnologias de processamento e análise das informações coletadas. O Quadro 1 destaca as principais características de cada conceito.

Quadro 1 - Principais características da automação residencial e smart homes.

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	SMART HOMES
<p>Focada na automação de sistemas.</p> <p>Responde de acordo com as preferências dos usuários.</p>	<p>Focada na conectividade dos sistemas.</p> <p>Tecnologias preditivas e sistemas adaptativos.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste trabalho, será utilizado o conceito de Aldrich (2003) que, apesar de proposto há mais de uma década, representa a situação atual das *smart homes*:

Uma “smart home” pode ser definida como uma residência equipada com tecnologia da informação e computação que antecipa e responde às necessidades dos ocupantes, trabalhando para promover seu conforto, conveniência, segurança e entretenimento por meio da gestão de tecnologias na casa e conexões para o mundo além (ALDRICH, 2003, tradução nossa).⁵

A conceituação do autor mencionado incorpora as questões atuais referentes à uma *smart home* no contexto da IoT. Uma *smart home* é uma casa que provê conforto, conveniência, segurança e entretenimento para seus habitantes por meio de tecnologias computacionais. Possui capacidades preditivas e contextuais para identificar, adaptar-se e responder às necessidades dos habitantes ou antecipar-se a estas necessidades. Além disso, também possui conectividade, principalmente com a Internet, o que viabiliza a troca de informações úteis entre as aplicações na própria *smart home* e em outros serviços (permitindo a

⁵ Texto original: “A “smart home” can be defined as a residence equipped with computing and information technology which anticipates and responds to the needs of the occupants, working to promote their comfort, convenience, security and entertainment through the management of technology within the home and connections to the world beyond.” (ALDRICH, 2003).

obtenção de informações de fontes externas como a Web); e permite o monitoramento e controle remoto pelo morador de sua residência.

Na conceituação adotada, a conectividade e capacidade das aplicações de anteciparem-se às necessidades dos habitantes estão relacionadas principalmente com as tecnologias da IoT. Como será visto na seção seguinte, a IoT realiza a conexão entre os mundos físicos e digital, o que permite o monitoramento e controle das *smart homes* de qualquer local via Internet. Além disso, a IoT incorpora paradigmas como Big Data e Computação em Nuvem, o que potencializa a utilidade das informações coletadas nas *smart homes*.

2.3 SMART HOMES E INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas é um paradigma tecnológico que realiza a interconexão entre os mundos físico e digital, criando um meio informacional que amplia a percepção das pessoas sobre o ambiente ao seu redor. No contexto da IoT, pessoas e objetos “inteligentes” estão conectados na Internet em qualquer lugar e a todo momento, produzem e consomem informações e são capazes de comunicar-se entre si (GUBBI *et al.*, 2013). Este paradigma exige cada vez mais atenção, uma vez que está em constante expansão e baseia-se principalmente na produção e consumo de informações que devem ser operacionalizadas.

Em virtude da difusão do paradigma da IoT e da contínua demanda por soluções que facilitem a vida das pessoas, é possível encontrar diversos trabalhos na literatura que propõem ou descrevem aplicações baseadas neste paradigma (ITU; CISCO, 2016; GHAYVAT *et al.*, 2015; SERRA *et al.*, 2014; GUBBI *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2011). Estas aplicações possuem propósitos variados e atendem a diferentes cenários e domínios como, por exemplo, o setor médico, a indústria e as cidades inteligentes (BORGIA, 2014). O foco está na criação de aplicações capazes de interagir entre si, atuar conforme o contexto e com o mínimo de intervenção humana.

Entre os cenários de aplicação da IoT, as *smart homes* compõem o domínio das cidades inteligentes e estão focadas em prover benefícios para as pessoas em suas casas. Alguns dos objetivos em se projetar as *smart homes* são: vida independente, aumento do conforto, uso eficiente da energia elétrica, proteção e segurança (GHAYVAT *et al.*, 2015). Para que estes objetivos sejam alcançados, as *smart homes* incorporam objetos inteligentes que são capazes de coletar uma grande quantidade de dados sobre as condições do ambiente e de seus habitantes e, a partir

disso, estão aptas a responder automaticamente ou disponibilizar informações para as pessoas.

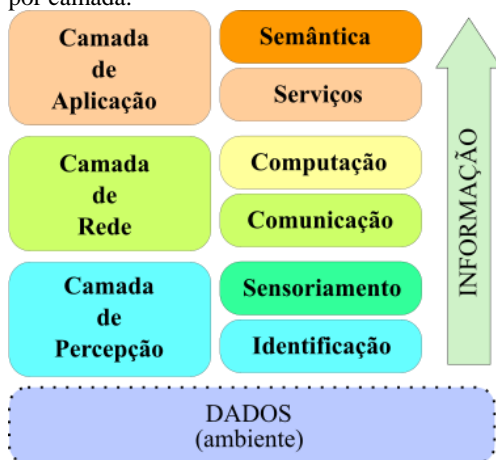
Como descrito anteriormente, neste trabalho adota-se uma visão de *smart homes* baseada no paradigma da IoT. De modo a melhor compreender este paradigma tecnológico, nas seções seguintes são apresentadas características como arquitetura, composição e tecnologias relacionadas a IoT.

2.3.1 Arquitetura IoT

A arquitetura de uma aplicação na IoT define a forma como as tecnologias envolvidas interagem para fornecer aplicações aos usuários das *smart homes*. As principais tecnologias que constituem estas aplicações estão relacionadas a identificação, sensoriamento, comunicação, computação, serviços e semântica (AL-FUQAHA *et al.*, 2015). Nesta subseção, descreve-se a arquitetura básica utilizada nas soluções IoT e relaciona-se as tecnologias mencionadas a esta arquitetura.

A arquitetura da IoT pode ser vista como uma pilha na qual cada camada é construída sobre a camada anterior. Atualmente, existem diferentes arquiteturas que podem ser utilizadas na construção de aplicações para a IoT (GUTH *et al.*, 2016; RAY, 2016; ABDMEZIEM; TANDJAOUI; ROMDHANI, 2016) sendo a mais comum baseada em três camadas (ABDMEZIEM; TANDJAOUI; ROMDHANI, 2016; AL-FUQAHA *et al.*, 2015; TSAI *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2011), que são: camada de percepção; camada de rede; e camada de aplicação. Esta arquitetura e sua composição estão representadas na Figura 1. A explicação seguinte sobre cada camada está baseada no trabalho de Al-Fuqaha *et al.* (2015).

Figura 1 - Arquitetura básica de uma aplicação IoT e distribuição de tecnologias por camada.



Fonte: Adaptado de ROZSA *et al.* (2017).

A camada de percepção é responsável por transformar as informações potenciais (dados) no ambiente em sinais digitais para serem transmitidos pela rede. As tecnologias de identificação e sensoriamento pertencem a esta camada. Dados são coletados pelos sensores que compõem os objetos inteligentes e podem sofrer pré-processamento antes de serem transmitidos. São utilizadas tecnologias de identificação para distinguir entre os diferentes objetos inteligentes em uma determinada aplicação. Nesta camada também estão inclusos os atuadores, que viabilizam a interação dos objetos inteligentes com o ambiente ao seu redor.

A camada de rede realiza a interconexão entre as camadas de percepção e aplicação e viabiliza a troca de informações entre os objetos inteligentes. Além disso, a camada de rede também é responsável pelo processamento dos dados coletados e armazenamento das informações geradas a partir desses dados, para posterior uso pela camada de aplicação.

A computação em nuvem é considerada como uma tecnologia elementar em vista da gestão de dados na IoT (ABDMEZIEM; TANDJAQUI; ROMDHANI, 2016) e para viabilizar aplicações futuras baseadas em Big Data e Aprendizagem de Máquina. Sendo assim, na camada de rede estão inclusas as tecnologias de comunicação e computação. Convém notar que, em algumas variações da arquitetura baseada em três camadas, as atividades relativas à gestão dos dados

pertencem à uma camada à parte, denominada de “camada de *middleware*” (CHETAN; TEJASWINI, 2016; SRI; PRASAD; VIJAYALAKSHMI, 2016), localizada entre as camadas de rede e de aplicação⁶.

Por fim, a camada de aplicação se refere ao consumo da informação provida pela camada de percepção e gerida pela camada de rede. Nesta camada combina-se a informação obtida nos cenários com ferramentas específicas de cada setor (ex.: agricultura, transporte, saúde, etc.) para disseminar a informação e prover serviços nos variados domínios de aplicação da IoT. Nesta camada estão inclusas as tecnologias de serviços e semântica.

A arquitetura da IoT baseada em três camadas é uma abordagem simples e intuitiva, entretanto, outras abordagens são propostas na literatura, tais como as arquiteturas orientadas a serviços (SOA - do inglês *Service Oriented Architecture*). Devido a heterogeneidade dos elementos (ex.: dispositivos, protocolos, etc.) que constituem a IoT, em consequência de seu fornecimento por diferentes produtores, surgem questões que dificultam a interoperabilidade entre diferentes sistemas na IoT. Nas arquiteturas SOA, estas questões são abordadas principalmente por meio de camadas responsáveis por abstrair a heterogeneidade dos diferentes componentes e tecnologias da IoT. Exemplos de abordagens baseadas nas arquiteturas SOA para a IoT podem ser encontrados em Lan *et al.* (2014) e Varga *et al.* (2017).

2.3.2 Composição e Tecnologias

As aplicações na IoT são compostas por uma grande diversidade de tecnologias com diferentes propósitos. Conforme mencionado anteriormente, as principais tecnologias que constituem as aplicações na IoT estão relacionadas à identificação, sensoriamento, comunicação, computação, serviços e semântica (Figura 2).

⁶ Os *middlewares* podem ser entendidos como entidades intermediárias que fornecem funcionalidades para gerenciar dispositivos (na camada de dispositivos), gerenciar comunicação (na camada de rede) e gerenciar aplicações e serviços (na camada de aplicação).

Figura 2 - Composição das aplicações na IoT.



Fonte: Al-Fuqaha *et al.* (2015).

Identificação

Aplicações na IoT podem apresentar dezenas de objetos inteligentes contendo centenas de sensores. Estes objetos precisam ser identificados unicamente para que suas informações possam fazer sentido e precisam ser capazes de comunicar informações na Internet. Em suma, a identificação se refere às tecnologias utilizadas para viabilizar o discernimento e comunicação entre os objetos inteligentes.

O discernimento entre diferentes objetos pode ser alcançado por meio do uso de tecnologias como Electronic Product Code (EPC), que permite a identificação utilizando o RFID (AL-FUQAHA *et al.*, 2015), e padrões mais modernos como o Near Field Communication (NFC) (WHITMORE; AGARWAL; XU, 2015). Outras formas de identificação voltadas para tecnologia móvel são o International Mobile Equipment Identity (IMEI) e cartões inteligentes, como o *Subscriber Identity Module*, também conhecido como SIM Card (ITU; CISCO, 2016).

A comunicação entre os dispositivos na IoT conta com outras formas de identificação. Para viabilizar a identificação durante a comunicação são utilizados os endereçamentos Internet Protocol (IP) versão 4 (IPv4) e versão 6 (IPv6) (SRI; PRASAD; VIJAYALAKSHMI, 2016; AL-FUQAHA *et al.*, 2015), que se tratam dos padrões utilizados para comunicação na Internet.

Sensoriamento

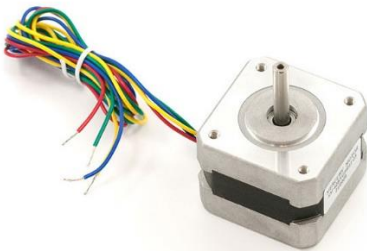
Assim como as pessoas possuem um sistema sensorial composto por 5 sentidos e utilizado para discernir as coisas no mundo, os objetos inteligentes na IoT possuem sensores eletrônicos que coletam informações sobre o ambiente e que podem ser utilizadas na tomada de decisões. A principal diferença refere-se à infinidade de sensores à disposição dos objetos inteligentes para que possam coletar diferentes informações.

Rozsa *et al.* (2016) identificaram 5 principais conjuntos de sensores utilizados pelas aplicações na IoT, agrupados de acordo com os tipos de medidas: a) sensores de movimento, que obtêm medidas relacionadas ao movimento de um corpo (ex.: velocidade, aceleração e vibração); b) sensores de posição, que obtêm medidas relacionadas ao posicionamento de um corpo (ex.: inclinação, proximidade e presença); c) sensores de ambiente, que obtêm medidas de um ambiente (ex.: temperatura, pressão e umidade); d) sensores de medida de massa, que obtêm medidas de um corpo ou sobre a força de uma interação física sobre um corpo; e e) biossensores, que obtêm medidas sobre organismos.

Estes sensores podem ser empregados em diferentes áreas e domínios. Rozsa *et al.* (2016) listam pelo menos 17 diferentes tipos de sensores para a área de construções nas cidades inteligentes. Entre os sensores listados pelos autores estão aqueles que coletam dados de: acústica, cor, gás, umidade, luminosidade, presença, proximidade e temperatura.

Os autores supracitados também destacam a relevância de tecnologias como o RFID e Global Positioning System (GPS) que, apesar de não se tratarem de sensores, são frequentemente utilizados nas aplicações da IoT, principalmente para a identificação e localização de objetos ou pessoas.

Figura 3 - Atuador utilizado para movimentação de objetos (motor de passo).



Fonte: Multilógica-shop (2017).

Em paralelo com os sensores, também convém mencionar o papel dos atuadores na IoT (Figura 3). Incrementando a analogia anterior, os atuadores são os “membros” dos objetos inteligentes, como pés e mãos, que os permitem interagir com o mundo. Rayes e Salam (2017) descrevem cinco grupos de atuadores, que são: elétricos; lineares; hidráulicos; pneumáticos; e manuais. Exemplos de atuadores são

alarmes (para a emissão de sinais sonoros), motores (para a movimentação de objetos, como portas, janelas e cortinas), monitores e lâmpadas (para a exibição de sinais e elementos visuais) e alto-falantes (para possibilitar o diálogo entre objeto inteligente e pessoas).

Comunicação

Uma aplicação na IoT apresenta um conjunto heterogêneo de dispositivos. Estes dispositivos apresentam diferentes especificações em relação a suas capacidades de comunicação, memória e armazenamento (LI; XU; ZHAO, 2015), o que exige diferentes formas de comunicação que atendam às características e limitações de cada dispositivo. Baseado em Borgia (2014), pode-se dividir a comunicação de informações na IoT em diferentes etapas, que atendem a propósitos específicos e possuem diferentes requisitos: comunicação durante a coleta; comunicação para a centralização; e comunicação para a distribuição.

A primeira etapa envolve a comunicação de curto alcance relacionada à coleta de uma informação produzida por um sensor ou à transmissão de um comando para um atuador. Por exemplo, redes de sensores sem fio (WSN - do inglês *Wireless Sensor Networks*) são utilizadas para coletar informações de uma grande quantidade de sensores em determinado ambiente (ex.: diversos sensores espalhados em um campo de cultivo para monitorar as condições do solo). No cenário da WSN, cada sensor é capaz de transmitir suas informações por meio de comunicação sem fio (ex.: Bluetooth, ZigBee, NFC, 6LoWPAN, PoE, etc.) para um ou mais nodos de coleta.

Na segunda etapa, os nodos de coleta em uma WSN devem transmitir as informações centralizadas para que sejam consumidas por aplicações e serviços. Esta comunicação ocorre por meio de tecnologias de maior alcance como, por exemplo, WiMAX, Internet 3G/4G ou comunicação via satélite. Naito (2017) menciona uma nova categoria de protocolos de transmissão, Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN), que viabilizam a comunicação a longa distâncias, com baixa taxa de dados e baixo consumo de energia. Tecnologias LPWAN podem ser empregadas em cenários nos quais apenas pequenas quantidades de dados precisam ser transferidas, mas que devem ser transmitidas por amplas áreas (ATREYAM *et al.*, 2017).

Na terceira etapa, ocorre a distribuição das informações por meio da Internet. Na proposta de Borgia (2014), antes de serem consumidas pelas aplicações, as informações são recebidas por elementos intermediários que tem o propósito de abstrair as tecnologias e

especificidades das camadas anteriores (baseado na arquitetura SOA). Estes elementos são vistos pelas aplicações como os provedores das informações.

Computação

Do ponto de vista de Al-Fuqaha (2014), a etapa de computação se refere tanto aos componentes de *hardware* quanto de *software* que representam o “cérebro” da IoT. O componente de *hardware* se refere às plataformas de *hardware* sob as quais são desenvolvidas as aplicações IoT. Estas plataformas são constituídas de recursos físicos utilizados, por exemplo, na coleta, armazenamento, processamento e distribuição de informações. Já os componentes de *software* se referem às plataformas de *software* que abstraem o *hardware* sob o qual as aplicações são desenvolvidas, ou seja, são os sistemas e *middlewares* sobre os quais as aplicações estão baseadas.

Singh e Kapoor (2017) investigaram diferentes plataformas de *hardware* e *software* tendo em vista auxiliar os interessados na IoT em suas escolhas nesses aspectos. Nesta pesquisa, os autores classificaram as plataformas de *hardware* em sistemas embarcados (ou sistemas embutidos) e dispositivos vestíveis. Os sistemas embarcados se referem às plataformas utilizadas no desenvolvimento de objetos inteligentes como, por exemplo, (SINGH; KAPOOR, 2017; AL-FUQAHA *et al.*, 2015): Arduino, UDOO, FriendlyARM, Intel Galileo, Raspberry PI, Gadgeteer, BeagleBone, Cubieboard, Z1, WiSense, Mulle, T-Mote Sky, ESP8266, littleBits, PHOTON, PINOCCIO e Samsung Artik.

Os dispositivos vestíveis contemplam uma categoria diferente pois possuem propósitos mais específicos, associados aos tipos de medidas que são capazes de obter. Os dispositivos vestíveis coletam informações sobre os sinais vitais, atividades física e comportamento das pessoas (HIREMATH; YANG; MANKODIYA, 2014), sendo que as aplicações mais proeminentes dos dispositivos vestíveis estão relacionadas à área da saúde. Relógios, braceletes e roupas podem ser utilizados para monitorar os sinais vitais de pacientes (ITU; CISCO, 2016) e, em alguns casos, atuar automaticamente em vista do bem-estar dos mesmos.

As plataformas de *software* fornecem a base sobre a qual as soluções IoT são criadas. As plataformas aceleram o processo de desenvolvimento e implantação de novas aplicações, pois fornecem conjuntos de ferramentas e serviços padronizados, e facilitam o

gerenciamento e controle da infraestrutura (dispositivos, conexões e dados) destas aplicações.

As ferramentas e serviços fornecidos por uma plataforma de *software* são entendidos como seus componentes. Os principais componentes exigidos em uma plataforma de *software* (PELINO; HEWITT, 2016; IOT ANALYTICS, 2015b) são: conectividade e integração; gestão de dispositivos; armazenamento; gestão de processos e ações; análise; visualização; interfaces externas; e segurança.

Serviços

Os serviços se referem a diferentes tipos de sistemas que podem ser entendidos como componentes intermediários que abstraem as tecnologias de baixo nível - e possíveis heterogeneidades existentes - proporcionando transparência de acesso a estas tecnologias. Podem ser mencionados 4 principais tipos de serviços na IoT (Al-Fuqaha, 2015; GIGLI; KOO, 2011; XIAOJIANG; JIANLI; MINGDONG, 2010): identificação, agregação, colaboração e ubiquidade.

Os serviços de identificação fornecem a identificação inequívoca de objetos na IoT. Uma vez que o objeto é identificado, pode-se acessar outras informações sobre este armazenadas em uma base de dados (ex.: rastreamento de funcionários e equipamentos).

Serviços de agregação são responsáveis por receber e pré-processar as informações dos sensores. Por exemplo, um serviço de agregação pode obter diversas amostras de temperatura de uma sala e transmitir apenas a média destas temperaturas para uma aplicação de controle de ar-condicionado. Serviços de colaboração são responsáveis por receber os dados dos serviços de agregação e reagir de acordo com as informações recebidas. Nesse contexto, cada vez mais será necessário que as coisas na IoT sejam capazes de trocarem informações entre si e executar ações baseadas em estímulos. Serviços ubíquos são aqueles que conseguem estar presentes em qualquer lugar e a todo momento. Por exemplo, uma aplicação de secretária digital que é capaz de fornecer apontamentos relevantes de acordo com a localização do usuário e pessoas com as quais está interagindo.

Semântica

A semântica está relacionada principalmente à capacidade de os objetos inteligentes “compreenderem” inequivocamente o contexto no qual estão inseridos. De acordo com Gyrard *et al.* (2015), a semântica

está tornando-se um requisito nas aplicações baseadas na IoT, sendo algumas questões relacionadas a: a) interoperação entre aplicações; b) interpretação dos dados; c) facilitação do desenvolvimento de aplicações; e d) identificação e adaptação às necessidades específicas de cada pessoa. As principais ferramentas para abordar estas questões são as ontologias e os padrões da Web Semântica.

Atzori, Iera e Morabito (2010) sugerem diferentes perspectivas para o desenvolvimento da IoT, entre elas uma perspectiva “orientada à semântica”, ao lado das perspectivas orientadas à Internet (identificação IP e comunicação em larga escala entre os objetos) e às coisas (identificação e comunicação locais, e tecnologias de sensoriamento). Esta perspectiva orientada à semântica tem em vista a grande quantidade de dispositivos que produzem e transmitem informações na Internet e o emprego de tecnologias semânticas - entre elas, as ontologias - para abordar os desafios decorrentes deste cenário que estão relacionados a representação, armazenamento, interoperabilidade, busca e organização das informações.

Por meio da construção de ontologias é possível representar o conhecimento de diferentes domínios e o uso da mesma ontologia por diferentes aplicações viabiliza a interoperabilidade. Nesse contexto, pode-se mencionar as ontologias como uma das ferramentas utilizada para abordar as questões de interoperabilidade em cenários de *smart homes* (MOHAMMED *et al.*, 2017; KIBRIA; CHONG, 2016; RASCH *et al.*, 2016). Além disso, as ontologias também podem ser utilizadas para a realização de inferência sobre as informações e podem ser compartilhadas, evitando-se assim que tenham que ser recriadas para cada nova aplicação.

2.4 SISTEMAS PARA SMART HOMES

Para que as residências sejam transformadas em *smart homes*, podem ser utilizados dispositivos com propósitos específicos ou sistemas amplos que abranjam diferentes soluções para o lar. É possível encontrar dispositivos para, por exemplo, o monitoramento e controle de temperatura, luminosidade, limpeza, segurança e qualidade do ar; e sistemas que permitam a interligação de diferentes dispositivos residenciais em uma unidade central de monitoramento e controle. Em seguida são apresentados exemplos destes objetos e sistemas comercializados atualmente.

Alguns dispositivos para propósitos específicos disponíveis no mercado são o Termostato de Aprendizagem Nest, o Sistema Pessoal de

Iluminação Sem Fio HUE, Roomba, Braava e a Fechadura Inteligente August. Inicialmente proposto em 2011 e atualmente em sua terceira geração, o Termostato de Aprendizagem Nest (Figura 4) é um termostato inteligente capaz de configurar-se automaticamente e que permite o monitoramento remoto - por meio da Internet - da temperatura de uma residência (NEST LABS, 2017).

Figura 4 - Termostato de Aprendizagem Nest.



Fonte: Nest Labs (2017).

Inicialmente o termostato deve ser configurado manualmente e, a partir destas configurações, cria-se uma agenda com as preferências de temperatura do usuário para determinados horários do dia. Posteriormente, estas preferências passam a ser aplicadas automaticamente. Além da comodidade de autoconfiguração, outro benefício do Nest é a otimização no consumo de energia com a climatização do lar, o que implica em economia para seus usuários.

O Sistema Pessoal de Iluminação Sem Fio HUE (Figura 5) é um produto fornecido pela Philips para o controle e automatização de iluminação residencial (PHILIPS, 2017a). Sua principal funcionalidade é o agendamento de “eventos” para o controle da iluminação em uma residência. Isto possibilita a criação de avisos que deverão lembrar o usuário sobre determinadas tarefas ou atividades como, por exemplo, o início de um programa televisivo ou a hora de acordar para ir ao trabalho. Outro uso para esta funcionalidade é a criação um cronograma de iluminação quando seus habitantes estiverem em viagem, simulando assim que a casa está ocupada e desencorajando invasões. A configuração deste sistema é realizada por um aplicativo específico para *smartphones* por meio da Internet.

Figura 5 - Sistema Pessoal de Iluminação Sem Fio HUE.



Fonte: Philips (2017b).

Para a automação da limpeza residencial há disponível a linha Roomba (Figura 6, esquerda), fornecido pela iRobot, e lançado pela primeira vez em 2002. Basicamente, o Roomba é um robô de limpeza - similar à um aspirador de pó - que interage automaticamente com o ambiente residencial, sendo capaz de gerar um mapa de navegação para localizar-se no ambiente e identificar os locais nos quais deve atuar (IROBOT CORPORATION, 2017). Sua configuração, monitoramento e agendamento de serviços podem ser realizados por um aplicativo para *smartphones* por meio da Internet. A iRobot fornece ainda uma versão alternativa denominada Braava (Figura 6, direita) e voltada para “serviços pesados”. Sua operação é similar à do robô Roomba, porém, o Braava atua na limpeza interior esfregando o chão ao invés de aspirá-lo.

Figura 6 - Robôs de limpeza Roomba e Braava.



Fonte: iRobot Corporation (2017).

A Fechadura Inteligente August (Figura 7) é um dispositivo voltado para o monitoramento e controle de acesso nas *smart homes* e fornecido pela empresa August. Este dispositivo é acoplado às

fechaduras residenciais para reduzir a necessidade do uso das chaves tradicionais, substituindo-as por *smartphones* ou relógios inteligentes (AUGUST HOME, 2017).

A Fechadura Inteligente August utiliza uma conexão Bluetooth para comunicar-se com o dispositivo do usuário e abrir automaticamente a fechadura assim que este está próximo da porta. É possível que este dispositivo seja controlado remotamente por meio da Internet e aplicativo para *smartphone*, definindo permissões temporárias para convidados e para determinados horários do dia (para isto, é necessário o uso de um módulo externo que conecta a fechadura na Internet). Além disso, a fechadura inteligente também fornece informações sobre a identidade e horários de acesso à *smart home*, ou seja, fornece uma funcionalidade de monitoramento.

Figura 7 - Fechadura Inteligente August.



Fonte: August Home (2017).

Voltado para o monitoramento e controle da qualidade do ar - o que está relacionado à saúde dos habitantes das *smart homes* - pode-se utilizar o dispositivo Foobot (Figura 8), comercializado pela Airboxlab (AIRBOXLAB, 2017). O Foobot é capaz de detectar e informar os níveis de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e material particulado (em inglês, *particulate matter* - PM) no ar, além da temperatura e umidade do ambiente. Além disso, este dispositivo pode ser interligado a outros dispositivos de controle (e.x., WeMo Switch e Termostato de Aprendizagem Nest) para acioná-los automaticamente quando necessário. A configuração e visualização de informações coletadas pelo Foobot podem ser realizadas por um aplicativo específico para *smartphones*.

Figura 8 - Foobot: dispositivo de monitoramento e controle da qualidade do ar.



Fonte: Airboxlab (2017).

Outra categoria de soluções para as *smart homes* são sistemas que permitem a interligação de soluções específicas para viabilizar seu monitoramento e controle de forma centralizada. Exemplos destes sistemas são a Tomada Inteligente WeMo Switch e Qivicon Home Base.

A Tomada Inteligente WeMo Switch (Figura 9) é um sistema fornecido pela Belkin que permite o controle de aparelhos eletrônicos nas *smart homes*. Similar ao projeto X10, apresentado anteriormente, esse sistema conta com dispositivos intermediários que são dispostos entre a alimentação (a tomada) e os aparelhos eletrônicos, fornecendo controle dos estados de ligado e desligado destes aparelhos (BELKIN INTERNATIONAL, 2017). Também pode-se utilizar em conjunto um módulo externo para detecção de movimento e controle automático dos aparelhos (como ligar e desligar a luz). Um sistema WeMo Switch é criado utilizando os dispositivos intermediários em diferentes aparelhos da residência. O monitoramento e controle dos aparelhos conectados ao sistema é realizado por um aplicativo para *smartphones* por meio da Internet.

Figura 9 - Tomada Inteligente WeMo Switch.



Fonte: Belkin International (2017).

Qivicon Home Base é um sistema de monitoramento e controle centralizado de diferentes aplicações para smart homes (Figura 10). Diferentemente do WeMo Switch, este sistema permite uma combinação mais sofisticada de diferentes aplicações para atender a determinadas situações (QIVICON, 2017). Por exemplo, o usuário vai até a sala de estar para assistir a um filme e utiliza o sistema para adaptar automaticamente o cômodo para a configuração “cinema”, ou seja, fechar as persianas, desligar possíveis fontes de ruídos (como o robô aspirador de pó) apagar ou reduzir a intensidade das luzes e ligar a televisão. Convém notar que este sistema é uma combinação de esforços da indústria de *smart homes* para combinar aplicações independentes para as *smart homes* e proporcionar maior conveniência para seus habitantes.

Figura 10 - Qivicon Home Base.



Fonte: Adaptado de QIVICON (2017).

Como visto, todos os aplicativos e sistemas mencionados podem ser configurados, monitorados e/ou controlados por meio da Internet, utilizando-se aplicativos para *smartphones*. Isto pode ser entendido como um reflexo da IoT, cuja principal característica está relacionada à conexão das coisas com a Internet. Outros aspectos que também convém notar são os sensores utilizados pelas aplicações (ex.: temperatura, proximidade e movimento) e seus atuadores (ex.: refrigeração e ar condicionado, motores para aspiração e lâmpadas); um processamento mais refinado (diferente das regras clássicas procedurais no estilo “se, então”) das informações coletadas, como no termostato Nest (para aprender a rotina dos usuários e prever suas necessidades de climatização), e os robôs da iRobot (para mapearem os cômodos e localizarem-se no ambiente, mantendo um rastreamento do locais nos

quais ainda precisam atuar); e protocolos para comunicação, principalmente o Wi-Fi e Bluetooth.

Por fim, as soluções para *smart homes* têm por objetivo final a conveniência de seus habitantes. Os objetos inteligentes coletam informações continuamente sobre o ambiente e as pessoas, principalmente por meio de diferentes sensores, sendo estas informações utilizadas em benefício dos habitantes. Assim, as informações são recursos fundamentais nas *smart homes* e, conseqüentemente, é necessário a gestão dessas informações para que suas aplicações sejam eficazes. A ontologia é uma ferramenta amplamente adotada para este propósito, como será visto a seguir.

3 ONTOLOGIAS

Nas *smart homes* e em outros cenários na IoT as ontologias são utilizadas, em geral, para os propósitos de processamento semântico de informações bem como para o compartilhamento de conhecimento entre entidades de *software*. Neste capítulo, busca-se fornecer uma visão geral sobre este tema. Assim, primeiramente conceitualiza-se o termo ontologia no contexto deste trabalho. Em seguida, situa-se a ontologia abordada neste trabalho em relação a outros tipos de ontologias. Depois, trata-se das variações existentes do padrão OWL. Por fim, são fornecidos exemplos sobre o uso das ontologias OWL em cenários de *smart homes*.

Neste trabalho, adota-se a definição de ontologia tradicionalmente utilizada em CI e Ciência da Computação (CC), originalmente proposta por Tom Gruber (1993) e posteriormente expandida por Studer, Benjamins e Fensel (1998, p. 25) com base em Borst (1997). Nessa definição, ontologia é uma “especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada”. Em ambas as áreas, CI e CC, o termo ontologia denota uma ferramenta ou artefato utilizado para modelar conhecimento sobre um domínio real ou imaginado (GRUBER, 2009).

Primeiramente, uma ontologia é uma conceitualização sobre algum domínio de conhecimento. Uma conceitualização é uma abstração, uma visão simplificada do mundo que se pretende representar para algum propósito (GRUBER, 1995). Esta característica se refere especificamente àquilo que existe em determinado domínio de conhecimento, como entidades ou conceitos, e às suas relações; e que será representado por meio de alguma linguagem. Ademais, o propósito para qual a ontologia será desenvolvida implica no que será representado na mesma.

Por exemplo, uma conceitualização para entender os papéis entre docentes e discentes em uma instituição educacional pode representar os conceitos de “aluno”, “professor” e “disciplina”. A relação “matriculado em” pode ser criada para relacionar alunos com disciplinas; e a relação “leciona” pode ser criada para relacionar professores com disciplinas. No final, a conceitualização seria composta por três entidades, “professor”, “aluno” e “disciplina”, e duas relações “matriculado em” e “leciona”.

Enquanto uma especificação formal e explícita, a ontologia torna-se um artefato para compartilhamento de conhecimentos de forma não-ambígua e passíveis de serem processados automaticamente (por

máquina). A formalização da especificação restringe a representação do conhecimento ao uso de linguagens formais e interpretáveis por máquina (exclui-se o uso de linguagem natural); enquanto a especificação explícita refere-se à representação do conhecimento de forma que permita uma compreensão não-ambígua dos conceitos e suas relações e exclua interpretações errôneas, podendo-se para isso utilizar axiomas (GUARINO; OBERLE; STAAB, 2009). Além disso, de acordo com Borst (1997) a formalização é essencial para possibilitar o reuso de ontologias. Sendo assim, tanto pessoas como agentes de *software* serão capazes de interpretar o conhecimento contido na ontologia de forma não-ambígua e interagir de acordo com estas interpretações.

Como complemento do exemplo anterior, pode-se criar axiomas que restrinjam a interpretação das entidades existentes. Na conceitualização anterior, uma pessoa poderia ser considerada professor apenas se possuir título de mestre ou doutor. Um aluno poderia estar matriculado em uma universidade apenas se houver concluído o ensino médio. No Brasil, esta última interpretação é válida, porém, nos Estados Unidos não é necessário cursar o ensino médio para matricular-se em uma universidade⁷. Este caso destaca a função delimitadora de uma especificação explícita, que restringe a interpretação do conhecimento representado eliminando assim possíveis ambiguidades.

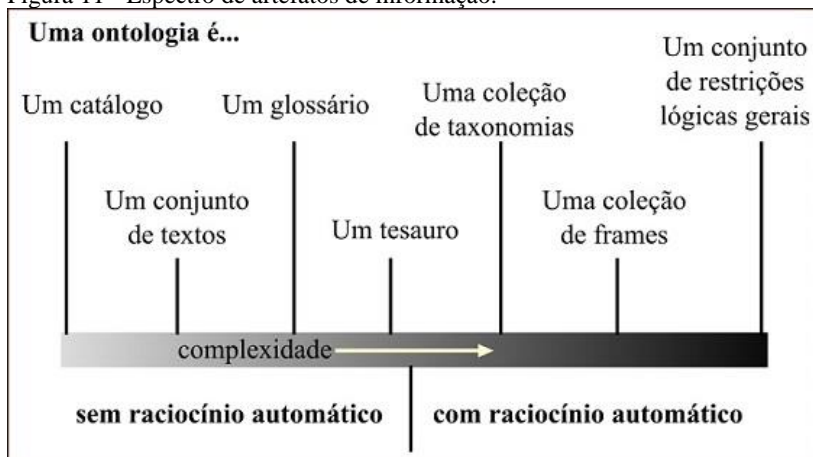
Por fim, a característica compartilhada da conceitualização se refere ao entendimento comum ou acordo entre diferentes partes sobre o conhecimento representado na ontologia. De acordo com Borst (1997), a relevância desta característica se justifica devido à capacidade de reuso da ontologia, que exige aceitação do conhecimento representado. Esta característica é particularmente interessante pois uma das grandes vantagens da ontologia é o reuso do conhecimento representado para diferentes situações.

3.1 TIPOS

Atualmente, diferentes artefatos para a organização e representação do conhecimento são classificados como ontologias. Smith e Welty (2001) identificaram diferentes artefatos que receberam em algum momento esta denominação. Na Figura 11 representa-se um espectro de artefatos de informação organizado da esquerda para a direita de acordo com a complexidade do artefato.

⁷ Baseado no exemplo do livro sobre Dados Abertos Conectados de Isotani e Bittencourt (2015).

Figura 11 - Espectro de artefatos de informação.



Fonte: Adaptado de Smith e Welty (2001).

Na Figura 11 representa-se sete diferentes artefatos de informação que recebem a denominação “ontologia”. Smith e Welty (2001) se referem a esta situação - inúmeros artefatos diferentes sob a mesma alcunha - como uma confusão, apesar de todos estes artefatos atenderem à definição de ontologia de Gruber (1993). Na Figura 11, os elementos mais à esquerda são ontologias mais simples, com menor expressividade e maior possibilidade de ambiguidade. Na outra ponta do espectro, à direita, as ontologias são mais complexas e possuem maior expressividade, ou seja, capacidade de representar o conhecimento em um domínio de modo não-ambíguo, especialmente por meio de axiomas de linguagens formais como lógica de primeira ordem ou lógica modal (SMITH; WELTY, 2001). Além disso, na Figura 11 representa-se, a partir da metade direita, a característica de capacidade de raciocínio automático sobre as informações representadas pelas ontologias, disponível apenas para os artefatos de informação mais complexos.

Neste trabalho, a abordagem utilizada se encontraria mais à direita no espectro de artefatos de informação anteriormente mencionado. Considera-se, neste trabalho, que uma ontologia ‘O’ é composta por conceitos ‘C’, relações entre os conceitos e propriedades ‘R’, instâncias ‘I’ e axiomas ‘A’. Então uma ontologia pode ser matematicamente definida como $O = \{C, R, I, A\}$ (ISOTANI; BITTENCOURT, 2015). Os conceitos e as relações entre os conceitos correspondem ao atributo “conceitualização” da ontologia. Os axiomas correspondem às restrições que tornam a especificação explícita. As

instâncias correspondem àquilo que é representado de fato, ou seja, às entidades em determinado domínio representadas pela ontologia.

3.2 LINGUAGENS DE REPRESENTAÇÃO

As ontologias são comumente codificadas por meio dos padrões definidos para a Web Semântica (WS) e possuem diferentes níveis de expressividade. Como mencionado anteriormente, uma das linguagens mais utilizadas para a criação de ontologias é o OWL, que é composto por diferentes sublinguagens.

Pode-se entender o OWL como um conjunto de sublinguagens que possuem diferentes níveis de expressividades e estão voltadas para situações específicas. Além disso, estas sublinguagens estão baseadas em outros padrões da WS para a representação do conhecimento e informações, que são o Resource Description Framework (RDF) e Resource Description Framework Schema (RDFS).

Sucintamente, o RDF permite a descrição de recursos por meio de triplas no formato “sujeito”, “predicado” e “objeto” e o RDFS trata-se de uma extensão semântica do RDF e fornece mecanismos para a descrição de grupos de recursos e o relacionamento entre estes recursos (W3C, 2014a; W3C, 2014b). Já as sublinguagens OWL adicionam vocabulário para descrever propriedades e classes, relações entre classes, cardinalidade, equivalência, características de propriedades e classes enumeradas.

As sublinguagens relativas ao OWL são o OWL Lite, OWL DL e OWL Full. Além disso, uma versão mais atual do OWL é o OWL 2, que fornece as sublinguagens OWL 2 EL, OWL 2 QL e OWL 2 RL. Estas sublinguagens estão descritas e organizadas no Quadro 2 por nível de expressividade (da linguagem menos expressiva para a mais expressiva).

Quadro 2 - Sublinguagens do OWL.

VARIAÇÃO	DESCRIÇÃO
OWL Lite	Voltado para criação de uma hierarquia de classificação com restrições simples. Provê uma forma rápida de migração de tesouros e taxonomias para o OWL.
OWL 2 EL	Adequada a aplicações com grandes ontologias nas quais a expressividade é trocada por performance computacional.
OWL 2 QL	Possui facilidades de acesso e consulta às bases de dados especialmente por meio de consultas relacionais. Adequada a situações nas quais a ontologia modela poucos conceitos e relações, mas possui grandes quantidades de indivíduos.
OWL 2 RL	Possui facilidades de acesso e consulta às bases de dados para operar diretamente sobre triplas RDF. Adequada a situações nas quais a ontologia modela poucos conceitos e relações, mas possui grandes quantidades de indivíduos.
OWL DL	Provê alto nível de expressividade mantendo a completude (garante-se que todas as conclusões/inferências serão computadas) e decidibilidade (garante que todas as computações sejam finalizadas em um tempo finito) da ontologia.
OWL Full	Provê máximo nível de expressividade sem garantias computacionais (completude e decidibilidade).

Fonte: elaborado pelo autor com base em (W3C, 2004a; W3C, 2012b).

Cada sublinguagem do OWL possui diferentes níveis de expressividade e, conseqüentemente, diferentes níveis de complexidade. A expressividade da linguagem está principalmente relacionada ao que se pode representar na ontologia (tipos de relações, propriedades e regras de inferência), enquanto a complexidade impacta na manutenção da base de dados e durante o processo de inferência sobre as informações na base.

De acordo com suas capacidades, cada sublinguagem do OWL adapta-se melhor a determinada situação. Por exemplo, em alguns casos, como em uma base médica, há uma grande quantidade de entidades, relações e propriedades, exigindo maior capacidade em lidar com ontologias muito grandes (ex.: OWL 2 EL); em outros casos, podem ser empregadas ontologias mais leves, porém, com uma grande quantidade

de entidades, sendo necessário formas mais eficientes de acesso à base de dados (ex.: OWL 2 QL e OWL 2 RL) (W3C, 2012a).

Por meio da descrição formal de conceitos, suas propriedades e relações, as ontologias possibilitam a realização de processos de inferência para descobrir novos conhecimentos a partir das informações previamente armazenadas em uma base de dados semântica. Alguns tipos comuns de inferência por meio de ontologias são herança, transitividade, simetria e equivalência (W3C, 2004a). Estes tipos de inferência estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Exemplos de inferência fornecidos pelas ontologias OWL.

TIPO DE INFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
Herança	Permite a criação de hierarquia de conceitos. Um subconceito também é considerado do mesmo tipo de um conceito mais geral. Por exemplo, Pessoa pode ser um subconceito de Mamífero. Assim, um raciocinador entende que Pessoa também é um tipo de mamífero.
Transitividade	Permite a criação de relações transitivas. Quando um indivíduo A está relacionado a um indivíduo B por meio de uma relação transitiva; e o indivíduo B está relacionado a um indivíduo C por meio desta relação, então infere-se que A está relacionado a C por meio desta relação. Por exemplo, a relação “ancestralDe” pode ser definida como transitiva. Então se Maria é ancestral de João, e João é ancestral de Pedro, então infere-se que Maria é ancestral de Pedro.
Simetria	Permite a criação de relações simétricas. Quando um indivíduo A está relacionada a um indivíduo B por meio de uma relação simétrica, infere-se que o indivíduo B apresenta a mesma relação. Por exemplo, a relação “amigoDe” pode ser definida como simétrica. Então se Fred é amigo de Paulo, então Paulo também é amigo de Fred.
Equivalência	Permite a criação de classes sinônimos. Assim, a instância de uma classe também será considerada instância da classe sinônimo. Por exemplo, o conceito Carro pode ser definido como equivalente de Automóvel. Então qualquer instância de Carro também será uma instância de automóvel e vice-versa.

Fonte: elaborado pelo autor com base em (W3C, 2004a).

Para o uso de regras personalizadas e mais complexas é possível utilizar a Semantic Web Rule Language (SWRL). O SWRL pode ser entendido como uma extensão do OWL que permite a definição de axiomas do tipo Horn (W3C, 2004b). No SWRL, estes axiomas são compostos por antecedente e consequente, ou seja, quando determinada expressão lógica for verdadeira (antecedente), infere-se que o consequente também seja verdadeiro (consequente). Assim sendo, o SWRL⁸ permite a definição de axiomas (ou regras de inferência) específicos que potencializam o uso das ontologias OWL.

3.3 ONTOLOGIAS OWL NAS SMART HOMES

Considerando-se que as ontologias apresentam um dos formatos mais adequados para a representação de informações nas *smart homes* e IoT, seu emprego é amplo e diversificado em cenários nestes contextos. As ontologias proveem diferentes funcionalidades, são utilizadas em diferentes situações e para propósitos variados. De acordo com Noy e McGuinness (2001), algumas das razões ou propósitos para se desenvolver uma ontologia são:

- Para a obtenção de uma compreensão compartilhada da estrutura da informação entre pessoas ou agentes de *software*;
- Para permitir o reuso de conhecimento de domínio;
- Para explicitar premissas no domínio;
- Para separar conhecimento de domínio de conhecimento operacional;
- Para analisar conhecimento de domínio.

Deve-se notar que estas razões estão próximas da definição de ontologia fornecidas anteriormente. Do ponto de vista das *smart homes* e IoT, a compreensão compartilhada está voltada principalmente para a interoperabilidade entre agentes de *software*. Por meio de ontologias, os agentes de *software* nas aplicações para *smart homes* possuem uma compreensão compartilhada do conhecimento de um domínio e podem se comunicarem de forma não-ambígua.

O reuso do conhecimento de domínio está relacionado ao reaproveitamento de ontologias. Em alguns casos, as ontologias são

⁸ Convém notar que, apesar de submetido em 2004 e comumente utilizado em conjunto com as ontologias OWL, o SWRL ainda não se tornou um padrão da W3C.

propostas com objetivo específico de serem reutilizadas. Por exemplo, DogOnt (ONINO; CORNO, 2008) é uma ontologia voltada para a modelagem de ambientes domésticos inteligentes e é utilizada em diferentes propostas para as *smart homes* (MACHADO *et al.*, 2017; DIAMANTINI *et al.*, 2016; CORNO; RAZZAK, 2014).

Como descrito anteriormente, a explicitação das premissas (ou especificação explícita) por meio das ontologias permite que o conhecimento seja interpretado de forma não-ambígua. Noy e McGuinness (2001) apontam como vantagem das ontologias a facilidade de acesso e alteração destas premissas, uma vez que não estão codificadas no agente de *software*; e também a utilidade dessas premissas explícitas para novos usuários (no caso, projetistas, desenvolvedores e profissionais da CI) para conhecer os termos e seus significados na ontologia.

A separação do conhecimento de domínio do conhecimento operacional está amplamente relacionada ao reuso das ontologias. Em soluções de *software*, a criação de um artefato para a representação do conhecimento desatrela o conhecimento de domínio da lógica específica e programada para determinado problema. Dessa forma, o conhecimento gerado para determinada solução pode ser reutilizado de forma transparente em outras soluções de *software*. Isto evita retrabalhos e acelera o desenvolvimento de novas soluções baseadas em ontologias.

Por fim, Noy e McGuinness (2001) também mencionam que é possível realizar a análise de um domínio de conhecimento representado pela ontologia devido à especificação declarativa dos termos. Esta característica das ontologias também está relacionada ao seu reuso, uma vez que é necessário compreender as capacidades da ontologia para utilizá-la adequadamente ou para estender suas capacidades de acordo com as necessidades específicas de um determinado cenário.

Nas *smart homes*, é possível observar uma grande diversidade de contextos e situações de uso das ontologias. Por exemplo, nas *smart homes* as ontologias são utilizadas para o aperfeiçoamento da tarefa de reconhecimento em robôs (RAMOLY *et al.*, 2017); para a gestão de energia domiciliar baseada em agentes (SANTOS *et al.*, 2016); e em sistemas de diálogo que servem como interface entre os habitantes e as *smart homes* (HUANG; LIU; ZHOU, 2015). De modo ilustrativo, em seguida são apresentados trabalhos que empregam ontologias OWL em cenários de *smart homes*, porém, sem lidar com a informação incerta.

3.3.1 Reconhecimento de Atividades

Direcionados para a tarefa de reconhecimento de atividades nas *smart homes*, Ramoly *et al.* (2017) propuseram uma abordagem para o aperfeiçoamento do processo de reconhecimento visual de atividades de um robô. De acordo com os autores, a ideia principal da abordagem foi realizar a colaboração entre o robô e a *smart home* para melhorar a eficiência do reconhecimento de atividades dos habitantes nas *smart homes*. Nesta abordagem, destacam-se dois elementos principais: a) um robô autônomo no ambiente que coleta informações por meio de sensores visuais; e b) um servidor que recebe e centraliza informações de diferentes sensores (inclusive do robô) sobre o ambiente e habitantes nas *smart homes*. O servidor utiliza as informações armazenadas para realizar o reconhecimento de atividades e disponibiliza as informações resultantes para o robô.

Na proposta descrita anteriormente (RAMOLY *et al.*, 2017), o papel da ontologia é armazenar as informações coletadas; inferir novas informações a partir das informações previamente armazenadas; e inferir, por meio de regras, as atividades dos habitantes na *smart homes*. O robô por si só possui informações sobre o ambiente coletadas por meio de sensores visuais. Porém o servidor possui, além destas informações, informações coletadas por sensores alocados na *smart home* e informações extras inferidas por meio de regras na ontologia. O benefício desta abordagem está na combinação destas informações para a detecção de atividades nas *smart homes* de forma mais precisa do que o robô poderia detectar individualmente.

3.3.2 Gestão de Energia Domiciliar

Em Santos *et al.* (2016) os autores propuseram uma abordagem para gestão de energia domiciliar baseada em agentes destinada a permitir a gestão eficiente de energia dos consumidores finais em microrredes. Uma microrrede pode ser entendida como diferentes entidades produtoras e consumidoras de energia que são gerenciadas de forma descentralizada e agrupadas para serem tratadas do ponto de vista da rede elétrica como um único produtor e consumidor de energia (HATZIARGYRIOU *et al.*, 2007). No contexto do trabalho de Santos *et al.* (2016), uma *smart home* é um componente de uma microrrede e possui diferentes agentes, tanto produtores (ex.: painéis solares, turbinas eólicas, etc.) quanto consumidores (ex.: carros elétricos, eletrodomésticos, etc.) de eletricidade, que precisam ser capazes de se

comunicarem entre si para coordenar as necessidades energéticas da *smart home*.

A proposta de Santos *et al.* (2016) está baseada na comunicação entre diferentes agentes heterogêneos para uma eficiente gestão dos recursos energéticos. As ontologias são utilizadas neste cenário para prover a comunicação semântica entre os agentes nas *smart homes*. Assim sendo, os autores propõem diferentes ontologias para representar o conhecimento a ser compartilhado. Por exemplo, são propostas: i) ontologia de instalações, relacionada aos cômodos em uma *smart home*; ii) ontologia de controlador lógico programável, para representar características de controladores (sensores e atuadores) em um cômodo e viabilizar seu gerenciamento; e iii) ontologias de produção e consumo para representar a comunicação entre agentes produtores e consumidores que transmitem suas informações sobre geração e uso de energia à uma unidade gerenciadora dos agentes.

Em suma, nesta proposta, a ontologia viabiliza a comunicação semântica, ou seja, a interoperabilidade, de forma que os diferentes agentes envolvidos sejam capazes de se comunicarem entre si para transmitir e receber informações de forma não ambígua. Nesse contexto, a interoperabilidade, viabilizada por meio da ontologia, permite a gestão mais eficiente dos recursos energéticos disponíveis em uma *smart home* quando vista como parte de uma microrrede.

3.3.3 Sistema de Diálogo

Em outro trabalho, Huang, Liu e Zhou (2015) propuseram um sistema de diálogo baseado em ontologias para servir de interface entre habitantes e os serviços fornecidos por uma *smart home*. Para destacar o benefício de sua proposta, os autores explicam a diferença entre um sistema de diálogo e um serviço de controle por voz: o primeiro trata do conteúdo de um diálogo enquanto que o segundo trata apenas das palavras-chave em um comando por voz fornecido pelo habitante. Nesse contexto, as ontologias possuem papel principal no processamento e interpretação do diálogo entre sistema e habitantes.

O sistema de diálogo proposto por Huang, Liu e Zhou (2015) é composto por duas ontologias: ontologia do lar e ontologia de membros da família. O objetivo principal da primeira ontologia é modelar informações sobre, por exemplo, o ambiente (cômodos e localização de dispositivos); dispositivos, especialmente atuadores (sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado - AVAC, iluminação, controle de gás, etc.); e funcionalidades dos dispositivos (ex.: ligar,

desligar, nível de aquecimento ou iluminação, etc.). A segunda ontologia tem por objetivo modelar informações sobre os habitantes da *smart home* como, por exemplo, informações para identificá-los, suas condições de saúde e localização.

Por meio da combinação das informações modeladas pelas ontologias descritas anteriormente, o sistema de diálogo proposto por Huang, Liu e Zhou (2015) realiza diferentes tipos de inferência. O sistema é capaz de inferir qual dispositivo deve ser acionado de acordo com a localização do habitante (ex.: a requisição “ligue o ventilador” não indica qual ventilador deve ser acionado). O sistema também é capaz de fornecer informações sobre os habitantes e identificar seus relacionamentos (ex.: a requisição “onde está minha mãe?” exige que o sistema descubra quem é a “mãe” e onde ela se encontra). E, por fim, o sistema é capaz de reconhecer uma requisição abstrata (ex.: a requisição “reduza a temperatura do quarto” exige que o sistema descubra quais dispositivos são capazes de “reduzir a temperatura” de um cômodo). Este trabalho demonstra o potencial da funcionalidade de inferência das ontologias, que pode ser utilizado para inferir informações em diferentes situações nas *smart homes*.

Todos estes trabalhos empregam ontologias em suas propostas para dispor de funcionalidades como compartilhamento de conhecimento do domínio, comunicação semântica, interoperabilidade e inferência. Porém, nestes trabalhos não se considera a incerteza inerente ao mundo físico e que se reflete na geração de informações incertas. Por exemplo, em sistemas para reconhecimento de atividades baseados em ontologias, caso falte alguma informação produzida por um sensor, o sistema estará incapacitado de processar regras de inferência que dependam daquela informação (NOOR; SALCIC; WANG, 2016). No próximo capítulo, serão abordadas questões sobre a representação da informação incerta por meio de ontologias.

4 A INCERTEZA NA INFORMAÇÃO

Uma das primeiras formas de emprego do termo “incerteza” no campo da CI ocorre na definição de informação em termos de incerteza, na teoria matemática da comunicação de Shannon (1948). Uma de suas interpretações é de que a informação é aquilo que reduz a incerteza. Porém devido ao paradigma determinístico utilizado pela CI em seus estudos da informação na época, a questão da incerteza nos processos informacionais começa a ser discutida com intensidade apenas por volta dos anos 1970.

Shannon (1948) foi um dos primeiros autores a fornecer uma definição científica de informação, por meio de sua Teoria Matemática da Comunicação (também conhecida como Teoria da Informação). Ademais, nos anos 1960 a CI adotou esta teoria para que seu objeto de estudo, a informação, fosse determinado e para que pudesse enfrentar diferentes desafios na época (ARAÚJO, 2014). Preocupado com a interferência causada por ruídos em sinais de telecomunicações, Shannon descreve um modelo de comunicação para representar o processo de transmissão de sinais com o propósito de estudar os efeitos da interferência neste processo.

Por meio da teoria da informação, Shannon associa os conceitos de incerteza e entropia ao significado de informação. Em uma situação em que há um emissor, um receptor e um canal pelo qual uma mensagem será enviada, quanto maior a quantidade de possíveis mensagens - da qual uma será selecionada para ser enviada -, maior a incerteza. Assim, a mensagem menos provável de ser selecionada possuirá maior conteúdo informacional. Por outro lado, do ponto de vista do receptor, quanto maior a redução em sua incerteza por meio da mensagem recebida, maior a quantidade de informação transportada naquela mensagem. A entropia está relacionada à desorganização do conteúdo informacional na mensagem e o ruído é o meio pelo qual a entropia se manifesta no canal, degradando a mensagem (sinal) transmitida (CASE, 2002).

A partir do modelo estabelecido na teoria da informação, dois conceitos de incerteza podem ser percebidos: i) do ponto de vista do transmissor, em que a incerteza está ligada diretamente à informação (quanto menor a probabilidade de uma mensagem ser utilizada, maior o conteúdo informacional da mensagem); e ii) do ponto de vista do receptor, em que informação é ligada à redução da incerteza (a mensagem recebida reduz a incerteza no receptor). De acordo com Cole (1993), os estudos em CI acerca da teoria da informação focaram-se

mais na informação como redução da incerteza no receptor. Este ponto de vista direcionou diversos trabalhos relacionados ao estudo da influência da incerteza no usuário em relação ao comportamento informacional (CHOWDHURY; GIBBI; LANDONI, 2011; ANDERSON, 2006; COLE, 1993; BELKIN, 1980).

Considera-se que até 1970 o paradigma físico predominou no campo da CI, no qual a informação era estudada à parte de questões cognitivas e sociais, tendo como foco principal os sistemas de recuperação da informação (ARAÚJO, 2014). No entanto, a partir dos anos 1970 as pesquisas na área de CI começaram a ramificar-se para além dos estudos de canais formais de informação e necessidades orientadas por tarefas (CASE, 2002), os quais passaram a considerar aspectos cognitivos e o não-determinismo da mente humana.

Em 1974, Rosenberg (1974) critica as características do paradigma físico adotado pela CI. Para Rosenberg, a premissa subjacente ao campo da CI se referia ao relacionamento entre homem e computador, no qual considerava-se que “direta ou indiretamente, a natureza dos processos mentais, das interações sociais e pessoais e do comportamento físico do homem são mecânicos” (ROSENBERG, 1974, p.265). Uma interpretação desta ideia é a de que o comportamento humano é determinístico, lógico e replicável por máquina. Para o autor, esta noção inibe a consideração de aspectos sociais, culturais e espirituais da comunicação humana.

O problema descrito por Rosenberg é exemplificado por Bates (1986), por meio da descrição de estudos sobre a consistência entre indexadores e de estudos sobre a consistência das associações entre termos gerados por pessoas. No primeiro caso, foi identificado que a consistência entre os termos utilizados por diferentes indexadores para descrever um documento é bastante baixa. Ou seja, os termos escolhidos por diferentes indexadores para um mesmo documento eram em grande parte diferentes. Ainda em relação a estes estudos, foi identificado inconsistência entre os termos utilizados pelo mesmo indexador para os mesmos documentos quanto o indexador foi solicitado a indexar um documento já indexado no passado.

O segundo conjunto de estudos realizados por Bates (1986) trata das associações entre termos na mente humana, buscando-se mensurar a frequência com que termos são relacionadas uns com os outros. Identificou-se que a relação entre os termos associados por diferentes pessoas é baixa, entendendo-se assim que não é possível prever quais termos serão utilizados por uma pessoa em determinada situação.

Uma vez que o trabalho de Bates (1986) está voltado para o aprimoramento de ferramentas de catálogos *online*, chega-se à conclusão, a partir destes exemplos, de que não é possível prever quais termos serão utilizados por indexadores para descrever um documento, tampouco quais termos um usuário utilizará para descrever um tópico de consulta. A pesquisa desta autora evidencia a incerteza inerente à mente das pessoas, e a necessidade de considerá-la nos sistemas de recuperação da informação de forma auxiliar o usuário e melhorar sua experiência na pesquisa. A questão da incerteza associada aos usuários foi amplamente explorada em estudos sobre o comportamento informacional.

Por meio desta breve revisão, pode-se destacar tanto uma abordagem física quanto uma abordagem cognitiva em relação ao estudo da incerteza no campo da CI. Em relação a abordagem cognitiva, a incerteza é explorada principalmente a partir de aspectos cognitivos associados a mente humana por meio de autores como Belkin (1980), Chowdhury, Gibbi e Landoni (2011), Anderson (2006), Spink *et al.* (2002) e Kuhlthau (1993), especialmente relacionado ao estudo do comportamento informacional.

Em relação a aspectos físicos, tem-se o emprego de conceitos gerados no estudo do comportamento informacional em sistemas de Recuperação da Informação (RI). Diferentes trabalhos focados em sistemas de RI consideram a incerteza em um ou mais componentes do sistema. Nesses trabalhos, o aspecto da incerteza é considerado no modelo de dados com o intuito de viabilizar a representação de informações vagas, imprecisas, confusas e ambíguas (BESBES; ZGHAL, 2016; MOLINERA *et al.*, 2016; SAPPAGH; ELMOGY; RIAD, 2015; NAGARAJAN; THYAGHARAJAN, 2014) ou pode estar em contato direto com o usuário por meio de funcionalidades de expansão de consultas, que visam auxiliar o usuário na formulação de sua consulta (LEITE; RICARTE, 2013; ZHAI; LI; LI, 2012; HOURALI; MONTAZER, 2011; ZHAI; CHEN; LI, 2011). Além disso, algumas das propostas visam permitir que o usuário expresse sua consulta de maneira natural, utilizando termos imprecisos como, por exemplo, “alto”, “bom”, “bastante”, etc. (BESBES; ZGHAL, 2016; MOLINERA *et al.*, 2016).

Nesta dissertação, foca-se na incerteza inerente ao mundo físico e que resulta na geração de informações incertas que devem ser tratadas pelas aplicações para *smart homes*. Na seção seguinte, descreve-se o ponto de vista adotado neste trabalho com relação à informação gerada nos cenários *smart homes* e IoT. Depois, descreve-se como a incerteza

pode se manifestar nestes cenários. Então, são apresentados e descritos os tipos de informações incertas considerados neste trabalho. Por fim, são apresentados dois modelos tradicionalmente utilizados na representação e raciocínio a sobre informações incertas.

4.1 INFORMAÇÃO NAS SMART HOMES E INTERNET DAS COISAS

Pode-se considerar que o principal insumo nas aplicações IoT é a informação, seja na forma de medidas sobre o funcionamento de equipamentos pesados, na forma de informações sobre diferentes condições de uma cidade, ou na forma de informações sobre as condições de saúde de uma pessoa em sua *smart home*. Porém esta informação - a informação na IoT - contrasta com a informação tradicionalmente trabalhada na CI, pois possui caráter especial que a aproxima da definição de “informação-como-coisa” de Buckland (1991), exigindo assim a realização de algumas considerações sobre esta questão.

A informação na IoT provém do ambiente, dos objetos do cotidiano, de animais, pessoas e até mesmo de eventos. Estas informações são diferentes daquelas tradicionalmente trabalhadas no campo da CI no sentido de que não são conhecimentos gerados pela mente humana, tampouco estão armazenadas em documentos no sentido usual (ex.: banco de dados, textos, vídeos, etc.). Elas estão à nossa volta para serem percebidas e internalizadas pelas pessoas. Assim como o conhecimento humano registrado é relevante para o desenvolvimento de novas pesquisas e tecnologias, a informação obtida por meio da IoT é relevante para, além disso, o dia a dia das pessoas nos mais variados cenários.

Neste trabalho, julga-se que a “informação-como-coisa” de Buckland (1991) é a interpretação do conceito de informação em CI que está mais próximo da informação da IoT. Em seu trabalho, “Information as Thing”, Buckland identifica a partir da literatura os 3 principais usos da palavra “informação”: “informação como conhecimento”; “informação como processo”; e informação-como-coisa. Enquanto informação como processo, a informação se refere ao processo de apreensão da informação na mente humana. A informação como conhecimento se refere à mudança causada pela informação como processo, ou seja, o produto da apreensão da informação na mente humana, o conhecimento. Por fim, a informação-como-coisa remete a objetos aos quais o termo “informação” é associado. Neste caso, as

coisas ao nosso redor como objetos, textos, documentos e dados em bases de dados são consideradas informativas.

Basicamente, qualquer “coisa”, seja um objeto, animal, pessoa ou evento, pode ser considerado informação-como-coisa (ou informativo), basta que alguém identifique um propósito para tal “coisa”. Um exemplo prático dessa questão é o uso de “testemunhos de gelo” para estudar as condições climáticas em diferentes épocas. Um testemunho de gelo é uma amostra de gelo retirada da neve em diferentes profundidades (Figura 12). Esta amostra pode possuir bolhas de ar presas que fornecem pistas relevantes aos cientistas para o estudo sobre as condições atmosféricas de épocas passadas.

Figura 12 - Extração de um testemunho de gelo.



Fonte: Discovering Antarctica (2017).

Diante deste contexto, é possível realizar a mesma conclusão de Buckland (1991), de que é possível entender qualquer coisa como informativa, bastando que alguém identifique alguma situação em que aquela “coisa” possui potencial informativo. Assim sendo, também pode-se atribuir um caráter social à informação da IoT, no sentido de que depende tanto das experiências pessoais quanto do contexto social - do consenso - das pessoas para considerar algo como informativo.

Antes de prosseguir, convém realizar a distinção de dois termos frequentemente utilizados neste trabalho e que possuem estreita relação, “dados” e “informação”. Os dados representam fatos no mundo por meio de símbolos, porém, por si só não possuem significado ou não são capazes de provocar mudanças (HENRY, 1974). Por exemplo, nomes,

datas, idades, pesos e alturas codificados em uma planilha de texto podem ser entendidos como uma fonte de dados. Já as informações podem ser entendidas como dados que são processados, estruturados e contextualizados para que possuam um significado. No exemplo anterior, os nomes, datas, idades, pesos e alturas sem um contexto podem não ser úteis, porém, se remeterem ao registro médico de pacientes poderão ser utilizados por profissionais da saúde para consultas posteriores ao histórico dos pacientes. A mesma lista de dados poderia, em outra situação, remeter ao cadastro de peças em um museu, com o nome, idade, peso e altura de objetos de exposição e a data de registro daquele objeto. Estas informações poderiam ser úteis, por exemplo, para o curador de um museu.

No contexto deste trabalho, dados são a matéria-prima para o fornecimento de serviços inteligentes na IoT. Dados são coletados por sensores, são processados, estruturados e contextualizados gerando-se informações com o auxílio de ontologias e então estas informações são utilizadas pelos objetos inteligentes para prover serviços aos habitantes das *smart homes*. De forma complementar, a informação-como-coisa é qualquer coisa no mundo que possa ser considerada informativa e sobre a qual pode-se coletar dados para gerar informações. Por exemplo, um sistema de ar-condicionado inteligente que coleta a temperatura (dados) de diferentes cômodos de uma *smart home* (informação) e adapta a temperatura de cada cômodo de acordo com as preferências dos habitantes. Uma medida de temperatura é apenas um dado (ex.: 23°C), enquanto “a medida de temperatura da sala de estar” é uma informação (ex.: a temperatura atual da sala de estar é de 23°C) que pode ser interpretada por um objeto ou sistema inteligente e gerar uma reação como o aumento ou redução na potência do ar-condicionado na sala de estar.

4.2 INFORMAÇÃO INCERTA

As *smart homes* e outros cenários IoT são influenciadas por fatores inesperados e muitas vezes imprevisíveis que acabam incorporando incertezas nas informações coletadas nestes cenários. Por exemplo, as informações coletadas nas *smart homes* podem apresentar lacunas ou imprecisões em suas leituras; podem ser inexatas, desatualizadas ou contraditórias. As causas destas incertezas podem ser atribuídas a imperfeições, mau funcionamento, falta de energia ou desconexão da rede dos sensores (GAYATHRI; EASWARAKUMAR; ELIAS *et al.*, 2017; SFAR *et al.*, 2017; JARRAYA, 2016;

RAMPARANY; MONDI; DEMAZEAU, 2016; YE; STEVENSON; DOBSON, 2016; SILVA; MORIKAWA; PETRA, 2012).

Por meio de um estudo sobre a implantação em larga-escala de sensores em *smart homes*, utilizando-se de 47 até 217 sensores em 20 *smart homes*, durante um período de 25 a 44 semanas (HNAT *et al.*, 2011), identificou-se que em média um sensor falhou por dia em cada *smart home* (MUNIR; STANKOVIC, 2014). As principais causas para a falha nos sensores estavam relacionadas a: a) desconexão da rede sem fio; b) término da bateria de alimentação (para sensores alimentados por bateria); c) desconexão do cabo de alimentação (para sensores alimentados por cabo); d) indisponibilidade de um subsistema de sensores; e) indisponibilidade da Internet; f) falta de energia da rede elétrica; e g) indisponibilidade de todo o sistema de controle dos sensores (HNAT *et al.*, 2011). Essas são situações que interrompem a coleta de informações ou geram incertezas que prejudicam a operação regular das aplicações nas *smart homes*, caso as aplicações não estejam aptas a lidar com as informações incertas produzidas.

Um exemplo prático das consequências de interferências causadas em sensores é a contradição das informações geradas em um cenário de agricultura inteligente. Liu *et al.* (2015) propõem um cenário de estufa inteligente cujo objetivo é monitorar e controlar o ambiente em uma estufa de orquídeas. Neste cenário, o monitoramento ocorre por meio de sensores (ex.: temperatura e umidade) e o controle ocorre por meio de atuadores (ex.: umidificador, ventilador e aquecedor). Existem diversos sensores espalhados pela estufa que fornecem informações utilizadas para a tomada de decisões de controle como, por exemplo, aumentar ou diminuir a umidade do ambiente e ligar o aquecimento ou a ventilação.

O problema no cenário descrito acima (LIU *et al.*, 2015) está na confiabilidade das leituras geradas pelos sensores. Em determinados períodos do dia, alguns sensores podem estar na sombra enquanto outros podem estar recebendo luz direta do sol, o que deve gerar medidas contraditórias de temperatura e umidade. Nessa situação, é necessário que a aplicação esteja apta a identificar as leituras confiáveis das leituras pouco confiáveis, caso contrário, controladores podem ser acionados em momentos inoportunos e ações prejudiciais às plantas serão realizadas.

Além de lidar com os efeitos negativos da incerteza, a representação da informação incerta também pode ser utilizada de forma proativa pelas aplicações nas *smart homes*. Por exemplo, o uso de modelos probabilísticos para tratar da informação incompleta permitiria a uma aplicação identificar e prever situações de perigo para os

habitantes de uma *smart home* e agir proativamente para eliminar ou reduzir os impactos destas situações (MACHADO *et al.*, 2017). Em contraste com as aplicações baseadas em ontologias não-incertas na linguagem OWL - que identificam ou não identificam uma situação -, a representação da informação incompleta permite que as aplicações possam identificar diferentes situações com variados níveis de certeza gerados a partir das informações disponíveis.

Outra aplicação positiva da representação da informação incerta é a capacidade de tratar diferentes valores dentro de determinados limites com um mesmo significado utilizando-se conjuntos nebulosos. De acordo com Rodríguez *et al.* (2014), algumas das vantagens desta aplicação é estender consultas a ontologias para também recuperar resultados relacionados ao invés de uma resposta exata (que poderia não existir). Além disso, ainda de acordo com estes autores, esse tipo de representação também viabiliza que informações sejam inferidas com diferentes níveis de “pertencimento” (ou certeza) de acordo com as informações disponíveis.

A informação incerta é uma questão que deve ser considerada nas aplicações IoT. Como visto, a incerteza manifesta-se na forma de falhas dos componentes ou na forma de fatores externos que prejudicam a operação de uma aplicação; mas também pode ser vista como uma oportunidade para melhorar as capacidades das aplicações para atender as necessidades das pessoas nos ambientes inteligentes.

4.3 TIPOS DE INCERTEZA

Além das causas e fatores que podem levar um sistema a lidar com a informação incerta, também deve-se considerar o tipo de incerteza a ser tratado. Neste trabalho, será utilizada como base a classificação de tipos de incertezas fornecida no relatório final gerado pelo grupo de pesquisa URW3-XG (2008), pois apresenta os tipos de incerteza empregados (incompletude e vagueza) em ontologias incertas identificadas em análises prospectivas realizadas para este trabalho. Os tipos de incerteza presentes na classificação do URW3-XG são: ambiguidade, empírico, aleatoriedade, vagueza, inconsistência e incompletude. Estes tipos de incerteza são descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Tipos de incerteza mencionados pelo URW3-XG.

TIPO	DESCRIÇÃO
Ambiguidade	A informação ambígua se refere a informação passível de ser interpretada de diferentes maneiras (OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2018a).
Empírico	Quando não há conhecimento completo para determinar se uma informação sobre o mundo é verdadeira ou falsa.
Aleatoriedade	Uma informação é regida por uma lei estatística que define se a informação é verdadeira ou falsa em determinado contexto. É um subtipo da incerteza empírica.
Vagueza	Não há uma correspondência exata entre a informação e referências no mundo.
Inconsistência	As informações geradas em determinado cenário remetem a uma situação irreal ou conflitua. Informação contraditória é um tipo de inconsistência.
Incompletude	Faltam informações sobre o mundo.

Fonte: Elaborado pelo autor com base no relatório final do URW3-XG (2008).

Além dos tipos de incerteza descritos no Quadro 4, outros autores (JARRAYA, 2016; HENRICKESSEN; INDULSKA, 2004) também mencionam incertezas associadas aos sensores como a imprecisão, inexatidão e atualidade da informação produzida. A imprecisão se refere ao rigor de uma medida. Por exemplo, um sensor de temperatura pode apresentar uma imprecisão de mais ou menos 0,5°C. A imprecisão também pode se referir a granularidade das medidas (HENRICKESSEN; INDULSKA, 2004) como, por exemplo, é mais preciso saber as coordenadas de uma pessoa do que sua localização por cômodo em uma *smart home*.

A inexatidão se refere a correspondência de uma medida com a realidade. Uma medida pode estar completamente ou parcialmente errada (JARRAYA, 2016). Assim sendo, um sensor de temperaturas que fornece medidas com uma diferença de 10°C pode ser considerado inexato. Já a incerteza associada a atualidade de informação se refere à diferença de tempo da geração da informação ao momento em que é consumida. Muitas aplicações na IoT estão baseadas no consumo imediato das informações geradas pelos sensores (aplicações reativas).

Nesses casos é necessário que as aplicações estejam aptas a identificar quais informações se referem à situação atual e quais informações se referem a situações passadas.

4.4 MODELOS PARA REPRESENTAÇÃO DA INCERTEZA

Nesta seção, busca-se fornecer uma visão geral sobre diferentes modelos para representação e raciocínio sobre a informação incerta. Estes modelos são comumente utilizados em aplicações de *software* e fornecem os fundamentos para abordagens que propõem ontologias incertas. Os modelos para a representação da informação incerta tradicionais são a Teoria da Probabilidade e os Conjuntos Nebulosos.

4.4.1 Teoria da Probabilidade

A teoria da probabilidade foi uma das primeiras abordagens propostas para capturar a incerteza em situações no mundo real. Sua proposição ocorreu pelos estudiosos Fermat e Pascal, na França no século XVII (LIU, 2017). Na época, Fermat e Pascal buscavam determinar a probabilidade de resultados em apostas de jogos e, a partir desses esforços, estes estudiosos desenvolveram a abordagem clássica da teoria da probabilidade.

Na abordagem clássica, se um jogo possui N possíveis resultados dos quais M resultados correspondem à vitória, então, a probabilidade de vencer é calculada pela razão entre M e N , ou seja, M/N . Por exemplo (GRINSTEAD; SNELL, 1997), ao se lançar uma moeda será obtido um de dois possíveis resultados (N): cara ou coroa. Considerando a escolha de apenas um lado da moeda (M), a probabilidade de se obter um resultado positivo (o lado da moeda escolhido) é de $1/2$. Outro exemplo é a probabilidade de se obter um número par no lançar de um dado. Um dado com seis faces (N) possui três números pares (M) que são 2, 4 e 6. A probabilidade de o resultado ser um número par é de $3/6$.

Uma segunda forma de calcular a probabilidade dos resultados em jogos é o método de frequência (também conhecido como método empírico). Nesse método, repete-se um teste por um grande número de vezes e verifica-se a frequência da ocorrência dos resultados (GRINSTEAD; SNELL, 1997). Em um jogo, a probabilidade de vitória corresponde a proporção de vezes que o jogo foi ganho nos testes. Por exemplo, ao se lançar uma moeda 100 vezes obtendo-se 56 caras e 44 coroas, a probabilidade do resultado cara é $56/100$ e a probabilidade do

resultado coroa é 44/100. Convém notar que quanto mais o teste for repetido, mais precisos serão os resultados.

Um requisito na abordagem tradicional é a necessidade de os resultados serem equiprováveis, o que nem sempre pode ocorrer. Foi apenas em 1933 que o autor soviético Andrey Kolmogorov (KOLMOGOROV, 1950) desenvolveu a primeira abordagem rigorosa de probabilidade. Em seu trabalho, Kolmogorov fornece um conjunto de axiomas fundamentais que devem ser atendidos para a criação de modelos de probabilidade consistentes (descritos em seguida). Sua abordagem baseia-se principalmente na perspectiva de que cada possível resultado em um experimento possui uma probabilidade bem definida que é independente de qualquer mensuração (DEBNATH; BASU, 2015). Em outras palavras, o valor de probabilidade de um resultado existe *a priori*, antes de qualquer mensuração *a posteriori* de sua frequência (DEBNATH; BASU, 2015).

Modelo de Probabilidade

Um modelo de probabilidade é uma descrição matemática de uma situação incerta (BERTSEKAS; TSITSIKLIS, 2000) e é composto por (ROLLA, 2018): i) um espaço amostral; ii) eventos aleatórios; e iii) uma medida de probabilidade. O espaço amostral, denotado por Ω , é o conjunto de todos os possíveis resultados em um experimento. Os eventos aleatórios são subconjuntos (também denominados “eventos”) pertencentes ao espaço amostral aos quais são atribuídos valores de probabilidade. Já a medida de probabilidade é uma função responsável por atribuir uma probabilidade não-negativa aos subconjuntos pertencentes ao espaço amostral.

Para obter-se modelos de probabilidade consistentes, as medidas de probabilidade devem satisfazer os seguintes axiomas de Kolmogorov (1950):

1. **Não-negatividade** - $P(A) \geq 0$, a probabilidade de um subconjunto A deve ser maior que ou igual a zero;
2. **Normalização** - $P(\Omega) = 1$, a probabilidade de todo o espaço amostral deve ser igual a 1;
3. **Aditividade** - se $A \cap B = \emptyset$, então $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$, se os subconjuntos A e B não possuem elementos comuns, então a probabilidade de A ou B ocorrer é igual à soma de suas probabilidades.

Convém notar que, independentemente da quantidade de elementos no espaço amostral, eles devem ser mutuamente exclusivos e coletivamente exaustivos (BERTSEKAS; TSITSIKLIS, 2000). A primeira característica permite que se obtenha um único resultado em um determinado experimento. Já a segunda característica garante que sempre se obtenha um resultado que está contido no espaço amostral definido para o modelo.

Em um cenário que possui um espaço com um número finito de possíveis resultados, mutuamente exclusivos e coletivamente exaustivos, como o lançar de uma moeda ou o rolar de um dado, a medida de probabilidade de um conjunto é especificada pela soma da probabilidade de seus elementos $\{s_1, s_2, \dots, s_k\}$:

$$P(\{s_1, s_2, \dots, s_k\}) = \sum_{j=1}^k P(\{s_j\})$$

Neste modelo, os possíveis resultados não são necessariamente equiprováveis. Por exemplo, em um cenário no qual um aluno de faculdade deve decidir qual atividade realizar durante o final de semana podem existir as seguintes opções: lavar o carro; estudar em casa; jogar vídeo games; ir à praia; ou visitar os pais. A distribuição de probabilidade deste exemplo é definida no Quadro 5.

Quadro 5 - Distribuição de probabilidades sobre atividades para o final de semana.

ELEMENTO	OPÇÃO	PROBABILIDADE
s1	Lavar o carro	0,3/5
s2	Estudar em casa	1/5
s3	Jogar vídeo games	0,7/5
s4	Ir à praia	1,5/5
s5	Visitar os pais	1,5/5

Fonte: elaborado pelo autor.

Para esse exemplo, podem ser criados dois subconjuntos: subconjunto A (atividades em casa), composto pelos elementos $\{s1, s2, s3\}$; e subconjunto B (atividades fora de casa), composto por $\{s4, s5\}$. A equação descrita anteriormente pode ser utilizada para identificar a probabilidade de cada subconjunto:

$$P(A) = P(\{s1, s2, s3\}) = P(\{s1\}) + P(\{s2\}) + P(\{s3\}) \\ = \frac{0,3}{5} + \frac{1}{5} + \frac{0,7}{5} = \frac{2}{5}$$

$$P(B) = P(\{s4, s5\}) = P(\{s4\}) + P(\{s5\}) = \frac{1,5}{5} + \frac{1,5}{5} = \frac{3}{5}$$

Também pode-se verificar que a medida de probabilidade neste exemplo atende ao axioma de normalização, pois:

$$P(\Omega) = P(A \cup B) = \frac{2}{5} + \frac{3}{5} = \frac{5}{5} = 1$$

Probabilidade condicional

A probabilidade condicional busca fornecer medidas de probabilidade mais adequadas a partir da observação da ocorrência ou não de um dado evento (ROLLA, 2018). Em outras palavras, tem-se a possibilidade de raciocinar sobre o resultado de um experimento baseado em informações parciais (BERTSEKAS; TSITSIKLIS, 2000). Por exemplo (BERTSEKAS; TSITSIKLIS, 2000), pode-se identificar a probabilidade de uma pessoa possuir ou não uma doença considerando-se que um exame médico prévio forneceu um resultado negativo.

A probabilidade condicional de um evento A ocorrer dado que um evento B ocorreu, ou a probabilidade de A dado B, é definida por (ROLLA, 2018):

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

De acordo com Bertsekas e Tsitsiklis (2000), probabilidades condicionais também podem ser vistas como medidas de probabilidades concentradas em um novo universo B. Isto ocorre, pois, as probabilidades condicionais estão concentradas em B.

Um exemplo do uso da probabilidade condicional é calcular a probabilidade do resultado um dado de seis faces ser par, dado que seu valor rolado é maior que três (ROLLA, 2018). Nesse caso, a informação parcial é denotada por $B = \{4, 5, 6\}$ e o evento que se deseja calcular é denotado por $A = \{2, 4, 6\}$. De acordo com as informações recebidas, sabe-se que os possíveis elementos em A são apenas $\{4, 6\}$ (o elemento 2 é excluído pois sabe-se que o resultado do dado é maior que três). Sendo assim, pode-se calcular a probabilidade do resultado ser par:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P\{4, 6\}}{P\{4, 5, 6\}} = \frac{2/6}{3/6} = \frac{2}{3}$$

Um recurso utilizado na representação de probabilidades condicionais são as Tabelas de Probabilidade Condicionais (CPT – do inglês Conditional Probability Table). As CPT permitem registrar as probabilidades condicionais em forma de matriz e facilitam a visualização de causa e efeito entre diferentes variáveis. Por exemplo, em uma situação fictícia, entrevistou-se homens e mulheres sobre suas preferências entre cães e gatos como animais de estimação e obteve-se os resultados ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 - CPT sobre preferência de homes e mulheres em relação a cães e gatos.

	CÃES	GATOS	(TOTAL)
HOMENS	15	5	20
MULHERES	6	11	17
(TOTAL)	21	16	37

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 1, a segunda linha contém as preferências dos respondentes homens; a terceira linha contém as preferências das respondentes mulheres; e a quarta linha contém o valor total de cada coluna. Por meio da CPT representada na Tabela 1, podemos responder questões como “qual é a probabilidade de um homem entrevistado preferir um gato como animal de estimação?”. Como há 20 repostas de

homens e apenas em 5 delas foram preferidos os gatos, tem-se a seguinte resposta:

$$P(\text{gato}|\text{homem}) = \frac{5}{20} = 0,25$$

Ou seja, a probabilidade de um homem preferir um gato ao invés de um cão como animal de estimação é de 25%.

Também é possível realizar o raciocínio inverso como, por exemplo, “qual é a probabilidade de determinado respondente ser homem dado que se preferiu um cão?”. Nesse caso, há 21 respostas nas quais foram preferidos os cães e 15 destas respostas são de homens (segunda coluna na Tabela 1). Assim, obtém-se a seguinte solução:

$$P(\text{homem}|\text{cão}) = \frac{15}{21} = 0,71$$

Ou seja, a probabilidade de um respondente ser homem dado que se preferiu um cão é de 71%. Convém notar que esta medida (71%) não é complementar da medida anterior (25%) e assim não temos o total de 100% no caso de os dois valores serem somados. Isto ocorre devido às variáveis de referência entre as duas medidas serem diferentes. No primeiro caso $P(\text{gato}|\text{homem})$, a referência é o total de homens. No segundo caso $P(\text{homem}|\text{cão})$, a referência é o total de cães.

Outros Modelos de Probabilidade

Atualmente na literatura é possível encontrar diferentes modelos com o propósito de modelar as probabilidades de diferentes sistemas. As Redes Bayesianas são um exemplo comum de modelo de incerteza baseado na Teoria da Probabilidade.

As Redes Bayesianas são uma combinação entre a Teoria da Probabilidade e Teoria dos Grafos no qual a dependência entre variáveis é expressa por meio de grafos (GHAHRAMANI, 1998). De acordo com Mihajlovic e Petkovic (2001), uma rede bayesiana permite criar um modelo de um sistema contendo evidências e eventos. Por meio do modelo é possível deduzir a probabilidade de determinados eventos a partir das evidências, bem como é possível deduzir a probabilidade das evidências terem ocorrido a partir dos eventos.

As Redes Bayesianas possuem ainda algumas derivações, como as Redes de Decisão (DN - do inglês *Decision Networks*), Redes Bayesianas Dinâmicas (DBN - do inglês *Dynamic Bayesian Networks*) e

as Redes Bayesianas Multi-Entidade (MEBN - do inglês *Multi-Entity Bayesian Networks*). As Redes de Decisão são uma extensão das Redes Bayesianas que incorporam elementos de decisão a serem escolhidos por atores no sistema (ex.: uma pessoa ou agente de *software*) e elementos de utilidade que estão relacionados à satisfação (benefícios) das possíveis decisões (DALTON; NUTTER, 2017). As Redes de Decisão podem ser utilizadas para modelar situações de tomada de decisão.

As Redes Bayesianas Dinâmicas são modelos que permitem relacionar variáveis probabilísticas em diferentes dimensões temporais (GHAHRAMANI, 2001). Dessa forma, é possível modelar a dependência de uma ou mais variáveis com outras variáveis no intervalo de tempo imediatamente anterior ao da variável dependente. Em outras palavras, criam-se Redes Bayesianas nas quais considera-se que eventos no passado podem causar outros eventos no futuro (GHAHRAMANI, 2001).

Por fim, a MEBN é uma linguagem que, por um lado, estende as Redes Bayesianas para adicionar capacidades representativas da lógica de primeira ordem (FOL - do inglês *First Order Logic*) ou lógica dos predicados e, por outro lado, estende a FOL para prover meios de representar distribuições de probabilidade (LASKEY, 2008). Uma MEBN é composta por Fragmentos MEBN (MFragments) e Teorias MEBN (MTheories). Os MFragments podem ser entendidos como pequenos modelos de Redes Bayesianas que definem relações e lógicas de inferência sobre uma coleção de parâmetros (TIAN *et al.*, 2015). Já os MTheories representam a composição de diferentes MFragments que possuem uma distribuição de probabilidade conjunta (LASKEY, 2008). De forma simplificada, as MEBN permitem criar modelos genéricos de Redes Bayesianas e permite representar relações entre estes modelos por meio da FOL.

4.4.2 Conjuntos Nebulosos

De acordo com Klir e Yuan (1995), um importante marco para o conceito moderno de incerteza foi a introdução dos conjuntos nebulosos por Zadeh (1965). Os conjuntos nebulosos diferem da tradicional lógica booleana, nos quais se tem apenas duas opções em oposição como, por exemplo, “completamente verdade” e “completamente falso”. Nos conjuntos nebulosos, os conjuntos possuem bordas imprecisas (KLIR; YUAN, 1995), permitindo a existência de valores parciais de verdade.

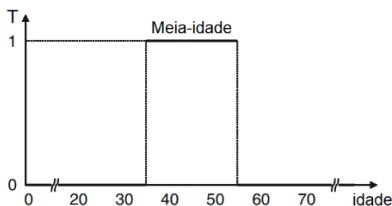
Os conjuntos nebulosos fornecem uma melhor forma - em relação à lógica booleana - para modelar a imprecisão na mente humana (WERRO, 2015). Por exemplo (WERRO, 2015), uma pesquisa define que, para uma pessoa ser considerada de meia-idade, ela deve possuir entre 35 e 55 anos. Na lógica booleana, todas as pessoas com mais de 34 anos e menos de 56 anos serão consideradas de meia-idade (Figura 13a). Porém esse conceito nítido de meia-idade não corresponde à percepção humana, já que cada pessoa pode possuir uma compreensão diferente do conceito de meia-idade.

No exemplo anterior, por meio dos conjuntos nebulosos, poder-se-ia modelar bordas imprecisas que permitem transições graduais de uma pessoa para dentro e fora do conjunto de meia-idade. Por exemplo (WERRO, 2015), poder-se-ia definir que uma pessoa passa a pertencer ao conjunto de meia-idade a partir dos 20 anos com um nível de pertencimento de 0.1. Quanto maior o nível de pertencimento, mais forte a relação da pessoa com o conjunto. Então, poder-se-ia dizer que uma pessoa com 45 anos pertence ao conjunto meia-idade com um nível de pertencimento de 1 (o valor máximo), que vai decrescendo à medida que a pessoa fica mais velha (Figura 13b).

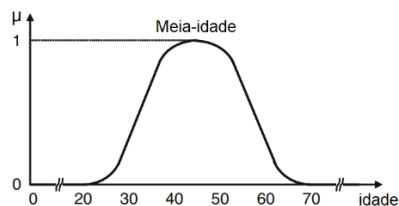
A Figura 13a ilustra o conjunto meia-idade representado na lógica booleana e a Figura 13b ilustra o conjunto meia-idade representado por meio de conjuntos nebulosos. Na Figura 13a, o eixo T representa o nível de pertencimento de um elemento ao conjunto meia-idade em relação à sua idade. Neste caso, a representação exprime uma transição abrupta na qual não há meio termo, ou uma pessoa é (nível de pertencimento igual a 1) ou não é de meia-idade (nível de pertencimento igual a 0). Na Figura 13b, o eixo μ representa o nível de pertencimento de um elemento ao conjunto meia-idade. Neste caso, a representação apresenta uma curva que exprime diferentes níveis de pertencimento, de acordo com a idade de uma pessoa.

Figura 13 - Representação do conjunto meia-idade por meio da lógica booleana (a) e por meio de conjuntos nebulosos (b).

a) Lógica Booleana



b) Conjunto nebuloso



Fonte: adaptado de Werro (2015).

Formalmente, na lógica booleana, um determinado elemento a pertence ou não pertence a um determinado conjunto A . Os valores de não-pertencimento ($a \notin A$) e pertencimento ($a \in A$) geralmente são representados, respectivamente, por 0 e 1. Então, na lógica booleana, os possíveis valores de a são $\{0, 1\}$.

Nos conjuntos nebulosos, um elemento a pode possuir diferentes níveis de pertencimento a um determinado conjunto A . Os valores que representam este nível de pertencimento estão no intervalo fechado de $[0, 1]$. O valor 0 representa a “completa não-pertinência” do elemento a ao conjunto A , enquanto que o valor de 1 representa a “completa pertinência” do elemento a ao conjunto A . Qualquer valor dentro deste intervalo representa um nível intermediário de pertencimento do elemento em relação a um conjunto (KANTROVITZ, 1993).

A atribuição de um valor que representa o quanto um elemento pertence a um conjunto ocorre por meio de uma função de “pertinência”. Dado um conjunto nebuloso representado por A no universo U , $A \subset U$, a função de pertinência do conjunto nebuloso A pode ser denotada por μ_A (KLIR; YUAN, 1995):

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$$

Então, um conjunto nebuloso $A \subset X$, definido por um conjunto de pares ordenados, é denotado por:

$$A : \{(x, \mu_A(x)), \quad x \in U$$

onde $\mu_A(x)$ é a função de pertinência e $\mu_A(x) \in [0, 1]$ é o nível de pertinência de x em A .

Operações

Assim como nos conjuntos booleanos, os conjuntos nebulosos possuem diferentes operações lógicas. Algumas das operações mais comuns são: união, interseção e complemento (WERRO, 2015). Convém notar que estas operações, apesar de similares às dos conjuntos booleanos, possuem diferentes implicações sobre os conjuntos nebulosos.

A operação de união utiliza o operador *max* nos conjuntos envolvidos. Sendo assim, a união de dois conjuntos nebulosos resulta no

valor máximo do nível de pertinência entre os conjuntos. Então, a união de dois conjuntos nebulosos A e B no universo U é denotada por:

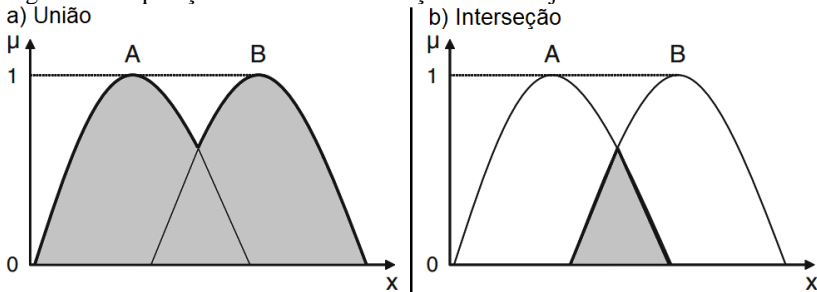
$$A \cup B = \mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad x \in U$$

A operação de interseção utiliza o operador *min* nos conjuntos envolvidos. Nesse caso, a interseção de dois conjuntos nebulosos resulta no valor mínimo do nível de pertinência entre os conjuntos. Então, a interseção de dois conjuntos nebulosos A e B no universo U é denotada por:

$$A \cap B = \mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad x \in U$$

Dado dois conjuntos nebulosos A e B , a Figura 14a representa a operação de união entre esses conjuntos, enquanto a Figura 14b representa a operação de interseção entre esses conjuntos. O contorno e a área sombreada nas figuras representam o conjunto resultante destas operações.

Figura 14 - Operações de união e interseção entre conjuntos nebulosos.



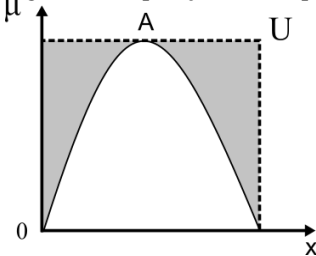
Fonte: Adaptado de Werro (2015).

A operação de complemento ocorre pela subtração de 1 do nível de pertinência dos elementos em determinado conjunto. O complemento do nível de pertinência de um elemento pode ser interpretado como o quanto tal elemento não-pertence a determinado conjunto (KLIR; YUAN, 1995). O complemento de um conjunto nebuloso A no universo U é denotado por:

$$\neg A = \mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x), \quad x \in U$$

Na Figura 15 ilustra-se a operação de complemento sobre um conjunto nebuloso A no universo U . A área sombreada representa o conjunto resultante desta operação.

Figura 15 - Operação de complemento sobre o conjunto A .



Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar de tanto os modelos baseados em probabilidade quanto os conjuntos nebulosos serem utilizados para representar a incerteza, tratam-se de dois tipos de representações diferentes. De acordo com Kantrovitz (1994), os modelos de probabilidade fornecem uma noção estatística sobre a possibilidade de um evento ocorrer ou não ocorrer, porém, por meio dos conjuntos nebulosos, é possível dizer apenas até que ponto um evento ocorreu.

Um exemplo da diferença entre modelos de probabilidade e conjuntos nebulosos é fornecido por Bezdek (1993), sobre uma pessoa perdida no deserto que encontra duas garrafas, A e B, das quais deve escolher uma para beber. A garrafa A possui um nível de pertencimento de 0,91 ao conjunto “líquido potável” (L), enquanto a garrafa B possui a probabilidade de 0,91 de possuir um líquido potável (Figura 16). Qual seria a escolha mais adequada?

Figura 16 - Diferença entre modelos de probabilidade e conjuntos nebulosos.



$$\mu_L(A) = 0,91 \quad P(A) \in L = 0,91$$

Fonte: adaptado de Bezdek (1993).

No exemplo anterior, a garrafa A possui um líquido que pertence com um nível de 91% ao grupo dos líquidos potáveis, enquanto a garrafa B possui uma probabilidade de 91% de ser um líquido potável. Em outras palavras, pode-se dizer que a garrafa A possui um líquido “praticamente” potável. Já a garrafa B, possui nove em dez chances de possuir um líquido potável. A escolha mais segura seria beber da garrafa A. Bezdek (1993) procura destacar essa escolha mencionando que na garrafa B, quando o líquido não for potável, será ácido clorídrico. Então, na garrafa A sabe-se exatamente o que se estará bebendo, enquanto na garrafa B há uma chance em 10 de beber-se um líquido prejudicial à saúde.

4.5 EXEMPLOS DE ONTOLOGIA INCERTA

Nessa seção são fornecidos exemplos de ontologias incertas disponíveis na literatura. São apresentados exemplos de ontologias probabilísticas e ontologias nebulosas. A ênfase está principalmente na sintaxe e contribuições de cada proposta apresentada.

4.5.1 Ontology based context aware situation tracking

Uma abordagem que provê a representação da informação incerta por meio de ontologias e pode ser empregada em cenários IoT é o Multimedia Ontology Language (MOWL), proposta por Mallik *et al.* (2015). Entre os objetivos dos autores com sua proposta está a redução da lacuna semântica (do inglês, *semantic gap*), ou seja, a desconexão entre os mundos conceitual e perceptivo. No contexto da IoT, podemos entender a lacuna semântica como a interpretação (ou tradução) das informações coletadas pelos sensores (mundo perceptivo) em seus conceitos correspondentes nas ontologias (mundo conceitual). Esta capacidade é especialmente interessante para informações no formato de mídias como, por exemplo, áudio, vídeo e imagens.

O MOWL permite associar conceitos com propriedades de mídia que servem como evidências de tal conceito. Por exemplo (MALLIK *et al.*, 2015), um dia ensolarado pode manifestar-se em uma foto de paisagem com um céu azul. Porém uma foto de um dia ensolarado durante o amanhecer pode não apresentar um céu azul. Neste exemplo, o conceito ilustrado é “dia ensolarado” e sua propriedade de mídia associada, ou evidência, é a cor do céu em uma imagem. Em uma ontologia OWL, a interpretação seria binária: caso houver um céu azul na foto, o dia é ensolarado; caso contrário, não é ensolarado. Os autores

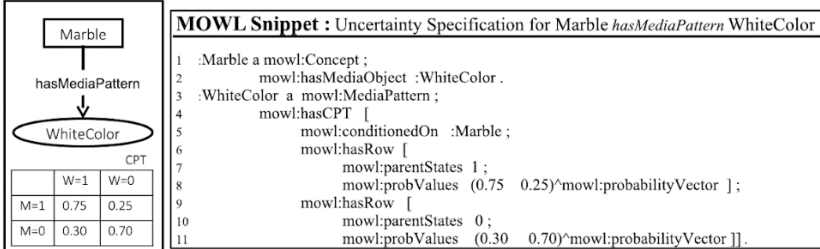
do MOWL reconhecem a incerteza inerente a interpretação da evidência e assim também buscam fornecer meios para associar um nível de incerteza nas propriedades de mídias de conceitos. Para isso, são utilizados Tabelas de Probabilidade Condicionais.

A formalização do MOWL provê novas classes e propriedades como, por exemplo (CHAUDHURY; MALLIK; GHOSH, 2015):

- `mowl:Concept` - representa objetos do mundo real ou eventos;
- `mowl:hasMediaObject` - associa um conceito a um objeto de mídia;
- `mowl:MediaPattern` - representa a manifestação de um conceito em forma de um padrão de mídia (é um tipo de objeto de mídia);
- `mowl:hasCPT` - associa uma CPT com um conceito ou padrão de mídia;
- `mowl:conditionedOn` - define a qual conceito a CPT está atrelada;
- `mowl:hasRow` - define uma linha em uma CPT;
- `mowl:parentStates` - define o estado do conceito associado a CPT. Pode apresentar o valor 1 (conceito presente) ou 0 (conceito ausente);
- `mowl:probValues` - define a probabilidade de o padrão de mídia manifestar-se de acordo com a presença ou ausência do conceito associado.

Uma aplicação do MOWL, por exemplo, seria auxiliar na classificação de diferentes tipos de rochas representadas em fotos de um catálogo. Nesse caso, teríamos trechos similares a Figura 17 representados na ontologia MOWL que permitem inferir com determinado nível de certeza o tipo de rocha em uma imagem. A Figura 17 representa a manifestação do padrão de mídia “cor branca” em rochas do tipo mármore. Nesse caso, a CPT indica que quando a rocha se tratar de mármore, a probabilidade de a cor branca manifestar-se é de 75% e de não se manifestar é de 25%. Quando a rocha não se tratar de mármore, a probabilidade de a cor branca manifestar-se é de 30% e de não se manifestar é de 70%.

Figura 17 - Trecho MOWL representado em Turtle que associa o conceito mármore ao padrão de mídia “cor branca”.



Fonte: Chaudhury, Mallik e Ghosh (2015).

Uma vez codificadas estas informações na ontologia, pode-se empregar diferentes técnicas de raciocínio para identificar os tipos de rocha. Por exemplo, no mesmo trabalho, Mallik *et al.* (2015) propõem a extração de um modelo de observação da ontologia (um ou mais grafos relacionados entre si) para a construção de uma rede bayesiana. A capacidade de raciocínio sobre padrões de mídia e da representação da incerteza entre as manifestações desses padrões em diferentes conceitos é útil para a IoT, considerando-se que seu insumo principal provém do mundo real e que nem sempre as informações coletadas pelos sensores terão um formato textual ou numérico. Além disso, a capacidade de representar a incerteza na manifestação de um padrão de mídia por meio de um conceito também é oportuna para as soluções na IoT, uma vez que as manifestações dos conceitos no mundo, ou as coisas, não são perfeitas e possuem diferenças entre si.

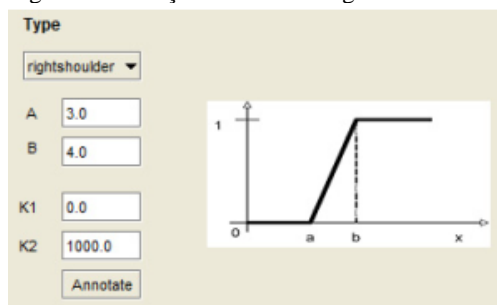
4.5.2 A Fault Fuzzy-Ontology for Large Scale Fault-Tolerant Wireless Sensor Networks

Focados no tratamento de falhas em redes de sensores sem fio em larga escala (LS-WSN), Benazzouz, Aktouf e Parissis (2014) propuseram uma Ontologia Nebulosa de Falhas (FFO – do inglês Fault Fuzzy-Ontology). Por meio de sua proposta, os autores procuram atender a diferentes objetivos como: a) facilitar o teste e diagnóstico de LS-WSN; b) descrever áreas de falhas; c) projetar sistemas capazes de compreender as situações de falhas; d) suportar automaticamente testes e diagnósticos para tolerância a falhas; e e) permitir testes e diagnósticos adaptativos em LS-WSN dinâmicas. Para alcançar estes objetivos, os autores modelam o domínio de falhas em redes de sensores sem em larga escala por meio de uma ontologia nebulosa.

Para projetar a FFO em questão, os autores se basearam na linguagem para representação de ontologias nebulosas Fuzzy OWL 2 de Bobillo e Straccia (2011). Assim, na FFO são descritos diferentes conceitos, como categorias (ex.: queda no sistema, falha de medida, etc), componentes (ex.: sensor, agregador, etc.), sintomas (ex.: desvio na medida, limite da medida ultrapassado, etc.) e motivos das falhas (ex.: deterioração do componente, ruído externo, etc.). Todos estes conceitos são codificados na ontologia nebulosa e estão relacionados ao domínio de falhas. Já a incerteza na FFO é codificada por meio de tipos de dados nebulosos (do inglês, fuzzy datatype) que, por sua vez, representam sintomas de falhas e são utilizados na “fuzificação” das mesmas.

Em seu trabalho, os autores (BENZAOUZ; AKTOUF; PARISSIS, 2014) fornecem um exemplo de função nebulosa que é transformado em um tipo de dado nebuloso na FFO para LS-WSN, o “xHigh”. O xHigh pode indicar uma falha de *Hardover*, que ocorre quando o sinal de entrada é maior do que um determinado limite ($x(i) > X4$). Esta situação está ilustrada na Figura 18.

Figura 18 - Função nebulosa xHigh.



Fonte: adaptado de (BENZAOUZ; AKTOUF; PARISSIS, 2014).

Uma vez que é possível identificar determinadas falhas a partir dos dados gerados pelos sensores, a associação entre sintomas e falhas é realizada na ontologia por meio de equivalência de classes. Por exemplo, como mencionado anteriormente, uma falha de *Hardover* ocorre quando o sintoma xHigh é detectado. Sendo assim, temos a seguinte equivalência (BENZAOUZ; AKTOUF; PARISSIS, 2014): $\text{HardoverPositive} \equiv \exists \text{hasLimit.xHigh}$.

Outro uso da codificação da informação incerta na ontologia proposto pelos autores é representar o quanto determinados erros nos sensores podem influenciar nas falhas manifestadas nos sensores. Por

exemplo, o envelhecimento de componentes possui 50% de chance de induzir a flutuação das leituras (ErraticHigh) e a 50% de discrepância entre os valores lidos e valores reais. Essas informações estariam codificadas na ontologia conforme a Figura 19.

Figura 19 - Codificação da influência de erros nas leituras dos sensores.

```
<fuzzyOwl2 fuzzyType="concept">
  <Concept type="weightedSum">
    <Concept type="weighted" value="0.5"
      base="ErraticHigh" />
    <Concept type="weighted" value="0.5"
      base="BiasPositive" />
  </Concept>
</fuzzyOwl2>
```

Fonte: Benazzouz, Aktouf e Parissis (2014).

O tratamento de falhas é um aspecto que deve ser considerado em praticamente todos os sistemas IoT. O trabalho de Benazzouz, Aktouf e Parissis (2014) ressalta que, além das incertezas presentes nos dados coletados e processamento realizado sobre estes dados, o próprio meio utilizado na coleta destes dados (as WSN) são fontes de incerteza nos sistemas IoT. Por meio de uma ontologia nebulosa, os autores buscaram abordar essa questão e propuseram uma ontologia focada no domínio de falhas em LS-WSN, mas genérica o suficiente para ser reaproveitada em diferentes domínios que façam uso de WSN.

4.5.3 Uncertainty Reasoning for *Smart Homes*: an Ontological Decision Network Based Approach

Pautados na premissa de que aplicações no cenário das *smart homes* necessitam da capacidade de representar informações incertas, Mohammed *et al.* (2016) propuseram uma extensão baseada em redes de decisão para modelagem probabilística por meio de ontologias para *smart homes*. Em comparação com outras abordagens baseadas principalmente em redes bayesianas, os autores mencionam que a abordagem proposta é adequada para atender cenários de larga escala nos quais realiza-se a tomada de decisões considerando a incerteza. Para

realizar sua proposta, os autores combinaram ontologias OWL, Fronteira de Markov (MB - do inglês Markov Boundary) e redes de decisão.

Na abordagem de Mohammed *et al.* (2016), os componentes de uma DN são codificados na ontologia por meio de extensões. Os nodos em uma DN correspondem a classes e os arcos correspondem a propriedades na ontologia. Assim, a representação proposta possui as seguintes classes:

- smh:PriorPClass - probabilidade base de um conceito;
- smh:CondPClass - probabilidade condicional de um conceito;
- smh:DecClass - variável de decisão;
- smh:UtilClass - nodo de utilidade.

Além das classes, também são propostas as seguintes propriedades:

- smh:hasCVariable - relaciona uma variável condicional a um conceito;
- smh:hasParent - define a classe ancestral (pai) de um nodo;
- smh:hasValueT e smh:hasValueF - representam as probabilidades condicionais de nodos com apenas estados binários (verdadeiro ou falso);
- smh:hasCPT - utilizada para definir a distribuição de probabilidade de um nodo, ou seja, define uma tabela de probabilidade condicional;
- smh:hasElement - define um elemento na tabela de probabilidade condicional;
- smh:hasValue - define o valor de um elemento na tabela de probabilidade condicional;
- smh:hasDecision - define possíveis resultados de decisões para ações;
- smh:hasUtility - define uma função de utilidade;
- smh:hasUValue - define o valor de utilidade de uma função de utilidade.

A partir das novas classes e propriedades, é possível codificar diferentes conceitos das redes de decisão na ontologia. Na Figura 20 está representada a codificação da probabilidade base de um conceito.

Figura 20 - Exemplo de codificação da probabilidade base de um conceito.

```
<smh:PriorPClass rdf:ID="P(Summer)">
  <smh:hasCVariable>Summer</smh:hasCVariable>
  <smh:hasValueT>0.90</smh:hasValueT>
  <smh:hasValueF>0.10</smh:hasValueF>
</smh:PriorPClass>
```

Fonte: Mohammed *et al.* (2016).

Na Figura 20, está representada a probabilidade de os dias de verão serem longos. Nesse caso, a probabilidade dessa afirmação ser verdadeira é de 0.9 (90%) e de ser falsa 0.1 (10%). Já na Figura 21 estão ilustradas as informações necessárias para codificar uma variável de decisão.

Figura 21 - Exemplo de codificação de uma variável de decisão.

```
<smh:DecClass rdf:ID="D(Alert/Heat,atHome)">
  <smh:hasCVariable>Alert</smh:hasCVariable>
  <smh:hasParent>Heat</smh:hasParent>
  <smh:hasParent>atHome</smh:hasParent>
  <smh:hasDecision>On the AC</smh:hasDecision>
  <smh:hasDecision>Off the AC</smh:hasDecision>
</smh:DecClass>
```

Fonte: Mohammed *et al.* (2016).

Na Figura 21, está representada a decisão de ligar ou desligar um ar-condicionado. As informações codificadas nesse exemplo atrelam a decisão à um conceito “Alerta” que depende da temperatura da *smart home* e da presença ou não dos habitantes da mesma. Outro elemento de uma rede de decisão passível de representação no formalismo apresentado são as funções de utilidade. Na Figura 22, ilustra-se a codificação de uma função de utilidade.

Figura 22 - Exemplo de codificação de uma função de utilidade.

```

<smh: UtilClass rdf:ID="U(Alert , atHome , LightOn)">
  <smh: hasUtility>U(Alert , Home , Light)</smh: hasUtility>
  <smh: hasParent>atHome</smh: hasParent>
  <smh: hasParent>Alert</smh: hasParent>
  <smh: hasParent>LightOn</smh: hasParent>
  <smh: hasUValue>100</smh: hasUValue>
</smh: UtilClass>

```

Fonte: Mohammed *et al.* (2016).

Na Figura 22, está representada a utilidade de a iluminação da *smart home* ser ativada quando se detecta a presença de um habitante. Uma vez que é possível codificar a rede de decisão na ontologia, torna-se necessário raciocinar sobre as informações que são representadas por meio da mesma. Para isso, os autores (MOHAMMED *et al.*, 2016) propõem um algoritmo (OWLMB) para extração e raciocínio sobre a rede de decisão.

O algoritmo de transformação da rede de decisão da ontologia busca extrair apenas o conjunto mínimo relevante de conceitos da ontologia relacionados ao conceito alvo (sobre o qual deseja-se tomar uma decisão). Desta forma, a abordagem proposta é capaz de lidar com ontologias em larga escala. Após a extração da rede de decisão da ontologia, utiliza-se um algoritmo proposto no mesmo trabalho (MOHAMMED *et al.*, 2016) para computar a decisão ótima em relação àquela rede de decisão.

As contribuições fornecidas pelo trabalho de Mohammed *et al.* (2016) apontam questões a serem consideradas durante a construção de ontologias para o cenário de *smart homes*. Este trabalho destaca a necessidade do tratamento da informação incerta para que as ontologias estejam melhores capacidades a representar o cenário das *smart homes*. Além disso, também se destacam a necessidade de abordagens capazes de tratar domínios em larga escala de forma eficiente e genérica e a capacidade de representação de modelos de tomada de decisão e execução dos mesmos consumindo-se poucos recursos computacionais.

4.6 SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nestes três últimos capítulos, buscou-se fornecer a fundamentação teórica desta dissertação. Inicialmente, apresentou-se um breve histórico sobre as *smart homes*; dissertou-se sobre suas diferentes conceituações e o conceito de *smart homes* adotado neste trabalho; apresentou-se a arquitetura e composição básica da IoT, sobre a qual os sistemas modernos de *smart homes* estão baseados; e foram apresentados sistemas para *smart homes* disponíveis comercialmente.

Em seguida, discutiu-se sobre o conceito de ontologia adotado neste trabalho; dissertou-se sobre diferentes artefatos que são considerados ontologias e a composição de uma ontologia do ponto de vista deste trabalho; foram apresentadas diferentes variações da linguagem para ontologias OWL; e dissertou-se sobre o emprego de ontologias nas *smart homes*.

Por fim, o tema da incerteza na informação foi abordado. Assim, foi realizada uma breve revisão sobre diferentes autores que abordaram este tema no campo da CI; dissertou-se sobre a manifestação da informação incerta em cenários de *smart homes* e IoT; foram apresentados diferentes tipos ou formas de manifestação da incerteza que são considerados neste trabalho; foram apresentados diferentes modelos utilizados tradicionalmente para representação da incerteza; e foram apresentados exemplos de ontologias incertas disponíveis na literatura.

As informações e discussões fornecidas nestes capítulos tiveram por objetivo tanto fornecer uma visão geral sobre os principais tópicos do trabalho quanto fundamentar a metodologia e discussões subsequentes sobre os resultados do trabalho. Nos capítulos seguintes, são apresentados os aspectos metodológicos da dissertação, são descritos a aplicação da metodologia e os resultados obtidos.

5 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo está dividido em três seções: a) caracterização da pesquisa quanto a sua abordagem, objetivos, procedimentos e natureza; b) especificação dos procedimentos metodológicos adotados neste trabalho; e c) descrição do protocolo da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) adotado na identificação de ontologias incertas e trabalhos relacionados.

É oportuno mencionar que a segunda seção (procedimentos metodológicos) está estruturada de forma que associa objetivos específicos a ações que devem ser executadas para alcançá-los e os produtos gerados pela soma dessas ações. O universo e amostra utilizados, procedimentos de coleta e análise de dados são descritos em conjunto com os objetivos específicos e ações correspondentes.

5.1 CARACTERIZAÇÃO

Este trabalho busca o aprofundamento no entendimento de um tema por meio da análise e interpretação de evidências, que são as informações extraídas dos trabalhos que propõem ontologias incertas, por isso conta com uma abordagem qualitativa. Entre as diferentes características da pesquisa qualitativa, Creswell (2010) menciona, baseado em (ROSSMAN; RALLIS, 1998), que este tipo de pesquisa envolve a descrição de elementos como pessoas e cenários, a identificação de temas e categorias relacionadas a estes elementos e a interpretação ou realização de conclusões sobre o significado do que foi observado. Assim sendo, de acordo com este autor, a pesquisa qualitativa é fundamentalmente interpretativa. Esta e outras características metodológicas desta pesquisa estão representadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Caracterização da pesquisa.

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
Abordagem	Qualitativa - busca o aprofundamento no entendimento de um tema por meio da análise e interpretação de evidências.
Objetivos	Descritiva - visa a coleta de informações sobre determinado domínio de conhecimento e a análise e compreensão de suas variáveis.
Procedimentos	Bibliográfica e Documental - fundamenta-se em padrões da Web Semântica e utiliza informações de diferentes estudos científicos para identificar situações de uso de ontologias e para gerar o <i>framework</i> proposto.
Natureza	Aplicada - busca gerar novos conhecimentos para a solução de problemas em cenários de <i>smart homes</i> por meio da proposição de um <i>framework</i> aplicável nestes cenários.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quanto aos objetivos, este é um trabalho descritivo, pois visa a coleta de informações sobre determinado domínio de conhecimento (ontologias incertas) e a análise e compreensão da relação entre suas variáveis, resultando no *framework* para *smart homes*.

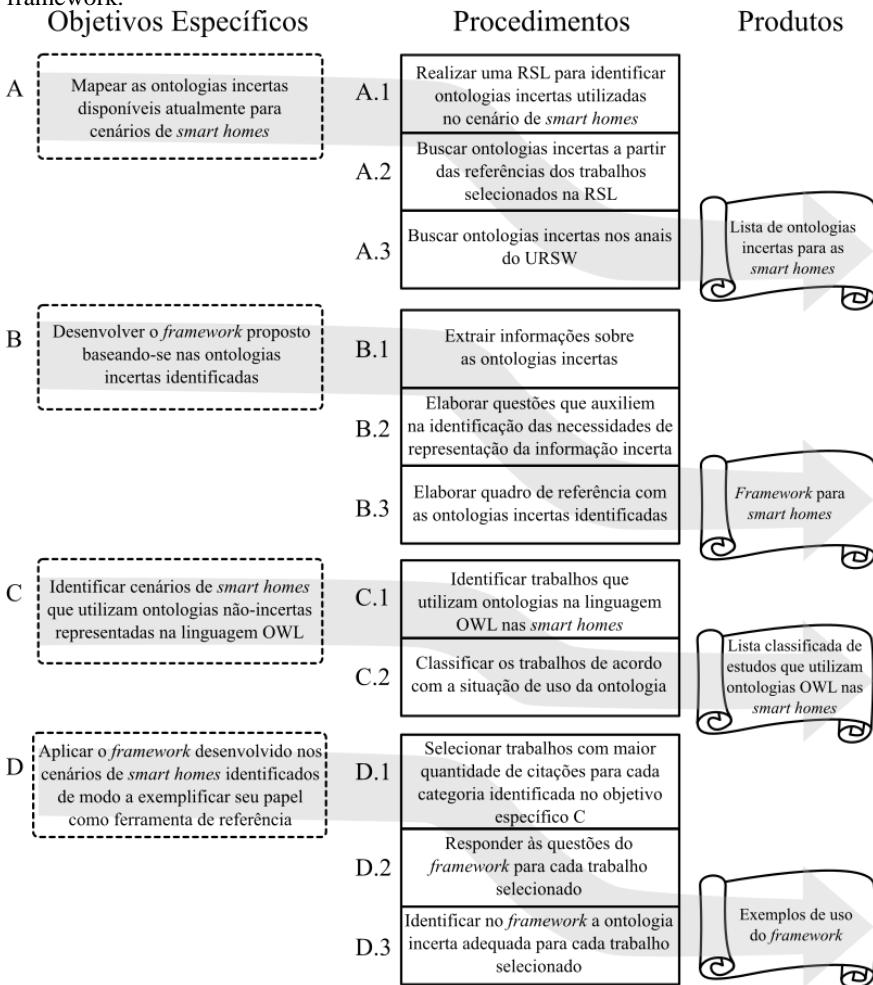
Em relação aos procedimentos, este trabalho é uma pesquisa bibliográfica e documental, pois são utilizadas informações extraídas de diferentes trabalhos para identificar situações de uso de ontologias nos cenários das *smart homes*, assim como informações sobre ontologias incertas para gerar e explicar o *framework* proposto. De acordo com Lima e Mioto (2007), a pesquisa bibliográfica é realizada para fundamentar um objeto de estudo e difere-se da revisão bibliográfica, pois exige a observação e compreensão crítica dos dados contidos nos estudos. Além disso, de acordo com estes autores, a pesquisa bibliográfica não é aleatória e demanda critérios claros e bem definidos para o projeto e execução dos procedimentos metodológicos tendo em vista a busca por soluções ao objeto de estudo proposto. Além disso, é uma pesquisa documental por basear-se em padrões de linguagens para ontologias propostos pelo W3C.

Por fim, quanto à natureza, este é um trabalho aplicado, pois busca gerar novos conhecimentos voltados para a solução de problemas em cenários de *smart homes* por meio da proposição de um *framework* aplicável nestes cenários.

5.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos executados nesta pesquisa estão orientados à realização de cada objetivo específico. Os objetivos específicos A e B estão voltados para a construção do *framework*, enquanto os objetivos específicos C e D estão voltados para a aplicação do mesmo. Na Figura 23, são ilustrados os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho, organizados por objetivo específico, procedimentos realizados para cada objetivo específico e o produto final gerado a partir da execução dos procedimentos. Em seguida, são explicados em detalhes cada objetivo específico, seus procedimentos e produtos correspondentes.

Figura 23 - Procedimentos metodológicos para construção e verificação do *framework*.



Fonte: elaborado pelo autor.

5.2.1 Objetivo Específico A

Por meio deste objetivo específico busca-se reunir o corpus de ontologias incertas disponíveis na literatura que são passíveis de uso nas *smart homes*. Com este propósito, são realizadas três ações: i) realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para identificar ontologias incertas utilizadas no cenário de *smart homes* (A.1); ii) utilizar

referências dos trabalhos selecionados na RSL como fonte de busca para expandir o corpus de ontologias incertas (A.2); e iii) buscar ontologias incertas nos anais do URSW (A.3).

Na primeira ação (A.1), busca-se “Identificar o estado da arte sobre trabalhos que sintetizam informações sobre a representação da informação incerta por meio de ontologias nas *smart homes*” por meio de uma RSL. Para isto, são pesquisados trabalhos relacionados aos tópicos de incerteza, ontologias e *smart homes*, identificando-se assim trabalhos que de fato propõem ontologias incertas ou que empregam ontologias incertas propostas em outros trabalhos para seus cenários específicos.

A segunda ação (A.2) busca expandir o corpus identificado por meio da RSL. Para isto, os trabalhos identificados na ação anterior são reavaliados em busca de referências para possíveis trabalhos relacionados que propõem ontologias incertas. Então os trabalhos relacionados identificados são avaliados de acordo com os mesmos critérios de inclusão e exclusão definidos na RSL para verificar se tratam-se de ontologias incertas válidas para esta pesquisa. Esta ação está pautada na premissa de que as pesquisas científicas são produzidas a partir de conhecimento prévio. Dessa forma, um trabalho que propõe uma ontologia incerta pode vir a citar outros trabalhos que propõem ontologias incertas ou buscam desenvolver este tema.

A terceira ação (A.3) consiste em realizar buscas por ontologias incertas nos anais do URSW. O URSW aborda tópicos relevantes para o progresso da representação da informação incerta na WS como, por exemplo, sintaxe e semântica de linguagens para a representação da informação incerta; o emprego da teoria da probabilidade e abordagens baseadas em conjuntos nebulosos para tratar a informação incerta; e melhores práticas para tratar da informação incerta no contexto da WS (URSW, 2016). Até o momento, este foi o único evento identificado pelo autor que engloba ontologias da WS e está focado no tratamento da informação incerta. Os trabalhos identificados nos anais do URSW também são avaliados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão definidos na RSL. Com estas ações, o produto deste objetivo específico é uma lista de ontologias incertas passíveis de aplicação no cenário de *smart homes*.

5.2.2 Objetivo Específico B

Neste objetivo específico, busca-se a elaboração do conteúdo que compõe o *framework* proposto. Para isto são realizadas três ações: i)

extrair informações sobre as ontologias incertas (B.1); ii) elaborar questões que auxiliem na identificação das necessidades de representação da informação incerta (B.2); e iii) elaborar quadro de referência com as ontologias incertas identificadas (B.3).

A primeira ação (B.1) consiste na obtenção de informações sobre as ontologias incertas identificadas no objetivo específico A. Estas informações estão relacionadas às características das ontologias, suas vantagens, desvantagens, possíveis situações de uso e exemplos de aplicação. No Quadro 7 estão listadas as informações extraídas de cada ontologia incerta nesta ação.

Quadro 7 - Informações extraídas das ontologias incertas.

INFORMAÇÃO	DESCRIÇÃO
Tipo de Incerteza	Incertezas tratadas pela ontologia (ex.: informação incompleta, informação vaga, etc.).
Modelo de Incerteza	Modelo utilizado na abordagem (ex.: redes bayesianas, conjuntos nebulosos, etc.).
Codificação da Incerteza	Como as propriedades de incerteza são codificadas na ontologia (ex.: classes extras, propriedades de dados, anotações, etc.).
Ontologia-Base	A abordagem estende outra ontologia incerta ou utiliza algum dos formatos padronizados pela W3C (RDF, RDFS, OWL ou OWL 2)?
Raciocínio Incerto	A abordagem prevê meios para o raciocínio sobre a informação incerta?
Situação de Uso	Situação ou situações para as quais a ontologia foi projetada.
Vantagens	Vantagens declaradas no trabalho sobre a abordagem.
Desvantagens	Desvantagens declaradas no trabalho sobre a abordagem.
Exemplos de Aplicação	Exemplos ou casos de uso fornecidos pelos autores da abordagem.

Fonte: elaborado pelo autor.

Convém notar que a RSL definida no objetivo específico A foi realizada de forma preliminar durante a proposição desta metodologia e assim as informações extraídas das ontologias incertas (Quadro 7) foram definidas com base nas leituras realizadas dos trabalhos selecionados a partir desta RSL. Os resultados obtidos a partir da aplicação da RSL são apresentados no Capítulo 6, bem como a lista de ontologias incertas

identificadas. As informações extraídas são: a) tipo de incerteza; b) modelo de incerteza; c) codificação da incerteza; d) ontologia-base; e) capacidade de raciocínio sobre as informações incertas; f) vantagens e desvantagens das abordagens; g) situações de uso; e h) exemplos de aplicação. Estas informações foram identificadas em praticamente todas as ontologias incertas analisadas, sendo assim consideradas informações básicas disponíveis em cada proposta de ontologia incerta.

O tipo de incerteza tratado define quais situações de representação da informação incerteza são atendidas pela abordagem. Por exemplo, o tratamento da informação incompleta pode ser aplicado no reconhecimento de atividades ou reconhecimento de situações (MACHADO *et al.*, 2017; SFAR *et al.*, 2017); e o tratamento de informações vagas pode ser aplicado no processamento de eventos complexos (ZHOU; WANG; CAO, 2013).

O modelo de incerteza empregado na abordagem fornece pistas sobre as capacidades e complexidade da abordagem. Por exemplo, o modelo de Redes Bayesianas pode ser considerado simples e aplicável no tratamento da informação incompleta, mas não é adequado para modelar domínios de conhecimentos dinâmicos (LU; LI; PAN, 2017), como nos cenários das *smart homes*.

A codificação da incerteza refere-se aos métodos utilizados para a codificação da incerteza nas ontologias. Esta característica fornece informações sobre a compatibilidade da abordagem. Por exemplo, o uso de metadados (propriedades de anotações) para representar a incerteza na ontologia pode ser considerado um método menos intrusivo do que a criação de novas classes e propriedades para representar a incerteza, pois não afeta o processo de raciocínio ou compatibilidade com o padrão OWL (KIM; CHOI, 2006).

A ontologia-base utilizada está relacionada à expressividade da abordagem. As ontologias incertas podem ser criadas sobre as diferentes variações da família OWL pois, como visto, as variações do OWL possuem propósitos e expressividades diferentes. Sendo assim, esta é uma informação requerida durante a escolha da abordagem.

Ainda em relação à ontologia-base, algumas propostas podem estender uma ontologia incerta em vez de alguma das linguagens padronizadas pelo W3C. Nesse caso, a abordagem provavelmente herdará as características, vantagens e desvantagens da abordagem na qual está baseada. Exemplos de trabalhos com esta característica são Mallik *et al.* (2015), que se baseia na ontologia incerta MOWL (MALLIK *et al.*, 2013); e Rodríguez *et al.* (2014) e Benazzouz, Aktouf

e Parissis (2014), que utilizam como base a ontologia incerta Fuzzy OWL 2 (BOBILLO; STRACCIA, 2011).

A informação sobre o raciocínio incerto refere-se à capacidade da abordagem de raciocinar sobre as informações incertas codificadas na ontologia. Esta capacidade, em geral, está refletida no fornecimento - pelos autores da abordagem - de um algoritmo capaz de processar as informações incertas codificadas na ontologia. Esta capacidade representa um dos principais elementos em propostas baseadas em ontologias incertas, pois permite derivar novas informações a partir de informações incertas.

A informação sobre as situações de uso da ontologia incerta está relacionada às capacidades específicas de representação e raciocínio sobre as informações incertas. Por exemplo, Benazzouz, Aktouf e Parissis (2014) propuseram uma ontologia nebulosa para representar e diagnosticar situações de falha em redes de sensores sem fio em larga escala (Large Scale Wireless Sensor Networks - LS-WSN). A situação original de uso desta abordagem é o diagnóstico de falhas. Como mencionado anteriormente, outras abordagens podem estar voltadas, por exemplo, para o reconhecimento de atividades, reconhecimento de situações e para o processamento de eventos complexos. A informação sobre a situação de uso da ontologia incerta direciona sua aplicação nos cenários de *smart homes*.

Por fim, as vantagens e desvantagens de uma ontologia incerta representam os pontos fortes e fracos declarados pelos autores da abordagem. Já os exemplos de aplicação e casos de uso representam informações extras fornecida pelos autores das abordagens que visam auxiliar no entendimento das capacidades da abordagem e em como aplicá-la dentro de determinados cenários.

Fundamentando-se nas informações listadas no Quadro 7 e nas informações extraídas na primeira ação (B.1), na ação seguinte (B.2) são elaboradas questões a serem respondidas pelos projetistas, pesquisadores e demais interessados para auxiliá-los na identificação de suas necessidades de representação da informação incerta. Estas questões representam o núcleo do *framework* proposto pois espera-se que, por meio delas, os interessados possam identificar quais são as necessidades de representação da informação incerta em cenários de *smart homes* e assim estarem aptos a selecionar a ontologia incerta mais adequada às suas necessidades. Assim, a abordagem utilizada para gerar estas questões é:

Transformar cada característica identificada em uma questão e fornecer como possíveis opções de respostas as características específicas extraídas de cada ontologia.

Por exemplo, para a característica “Tipo de Incerteza” poderia ser gerada a seguinte questão:

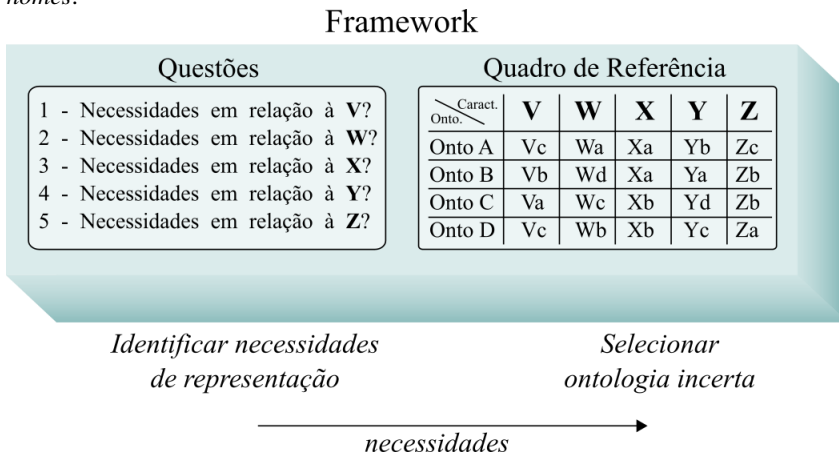
“Quais tipos de informação incerta devem ser representadas?”

Como resposta, ter-se-ia uma lista de opções contendo notas explicativas:

- Informação imprecisa - informações que não possuem um valor exato. Por exemplo, preferências de temperatura de um cômodo (frio, morno, quente, etc.); leituras inexatas de sensores como a localização de um habitante (o habitante X está na sala, mas não se sabe exatamente em qual parte da sala);
- Informação incompleta - quando nem todas as informações necessárias para processar uma inferência estão disponíveis. Por exemplo, o habitante X, que é idoso, ligou o fogão, apagou a luz da cozinha, sentou-se no sofá da sala e ligou a televisão. De acordo com as evidências (fogão ligado, luz da cozinha desligada, habitante X sentado no sofá e televisão ligada), a probabilidade do habitante X ter esquecido o fogão ligado é de 70%.

Por fim, a terceira ação (B.3) consiste na criação de um quadro de referência sobre as ontologias incertas para cenários de *smart homes* existentes atualmente. O quadro é gerado a partir da sintetização das informações coletadas sobre as ontologias incertas (apresentadas no Capítulo 6). Este quadro também constitui parte do *framework* e é organizado de forma que, uma vez que as questões sobre as necessidades de representação da informação incerta sejam respondidas, seja possível identificar uma ontologia incerta que corresponda à estas necessidades neste quadro de referência. Como produto destas ações, obtém-se um *framework* para seleção de ontologias incertas para *smart homes* (Figura 24).

Figura 24 - Framework para a representação da informação incerta nas *smart homes*.



Fonte: elaborado pelo autor.

O *framework* proposto nesta pesquisa é constituído por um conjunto de questões e um quadro de referência de ontologias incertas. No retângulo esquerdo da Figura 24, está representado um conjunto de questões relacionadas as características das ontologias incertas. Nesse retângulo, as letras maiúsculas V, W, X, Y e Z representam as características das ontologias como, por exemplo, tipo de incerteza e modelo de incerteza. Enquanto no retângulo no lado direito da Figura 24, estão representadas as ontologias identificadas e suas características específicas. Nesse caso, as combinações entre letras maiúsculas e minúsculas correspondem aos possíveis valores para as características das ontologias. Por exemplo, o tipo de incerteza (X) possui as opções informação incerta (Xa) e informação imprecisa (Xb). Na parte inferior da figura há uma seta que representa o fluxo de uso desta ferramenta.

As questões são utilizadas para a identificação das necessidades de representação da informação incerta, enquanto o quadro de referência é posteriormente utilizado para a seleção de uma abordagem adequada às necessidades identificadas. Por exemplo, para um determinado cenário de *smart homes*, um projetista identificou - após responder as questões - que necessita de uma ontologia incerta com as seguintes características: V=Va; W=Wc; X=Xb; Y=Yd; e Z=Zb. Nesse caso, o projetista consulta o quadro de referência e seleciona a ontologia C (Onto C), pois esta atende às suas necessidades de representação da informação incerta.

Cabe destacar que podem haver casos que serão atendidos apenas parcialmente pelas ontologias incertas disponíveis, dependendo das necessidades identificadas. Em outras palavras, atualmente não há ontologias incertas para todas as combinações de características possíveis. Por exemplo, poderíamos identificar as seguintes características, $V=V_a$; $W=W_a$; $X=X_a$; $Y=Y_a$; e $Z=Z_a$, que não correspondem a nenhuma das opções no quadro de referência ilustrado na Figura 24. Nestas situações, cabe ao pesquisador selecionar a abordagem mais adequada ao seu cenário de acordo com critérios próprios de escolha (ex.: utilizar preferencialmente abordagens que implemente técnicas de raciocínio conhecidas ao invés de abordagens que propõe algoritmos próprios).

5.2.3 Objetivo Específico C

Para este objetivo específico são definidas duas ações: i) identificar trabalhos que utilizam ontologias não-incertas na linguagem OWL nas *smart homes* (C.1); e ii) classificar os trabalhos de acordo com a situação de uso da ontologia (C.2). Por meio deste objetivo, busca-se obter uma amostra de trabalhos que utilizam ontologias na linguagem OWL, ou ontologias OWL, em cenários de *smart homes*.

A primeira ação (C.1) visa, por meio de um levantamento bibliográfico, identificar trabalhos que empreguem ontologias OWL (não-incertas) nas *smart homes*. São considerados apenas trabalhos com até dois anos desde sua data de publicação (ex.: caso a busca seja realizada em 01 de julho de 2018, são considerados trabalhos publicados entre julho de 2016 e junho de 2018) e pesquisados nas bases de dados Scopus, IEEE Xplore Digital Library e Web of Science. Estas bases foram selecionadas devido ao alto índice de trabalhos recuperados sobre os tópicos de *smart homes* e ontologias em pesquisas exploratórias prévias. As palavras-chave utilizadas na busca são: "smart home", "home automation", "smart house", "domotic", "digital home", ontology, ontologies e owl, combinadas de forma que retornem necessariamente trabalhos no contexto das *smart homes* e que empreguem ontologias em sua solução.

A partir dos trabalhos identificados, a segunda ação (C.2) busca extrair informações que caracterizem estes trabalhos quanto à situação de emprego das ontologias. Exemplos de situação de emprego das ontologias nas *smart homes* são a fusão semântica de dados (TAO *et al.*, 2016) em que dados coletados de múltiplos sensores são combinados para gerar informações mais confiáveis e exatas; e o reconhecimento de

atividades (RAMOLY *et al.*, 2017) em que busca-se identificar a intenção ou objetivo de um ou mais agentes em um determinado ambiente. Os títulos e resumos destes trabalhos serão analisados por esta perspectiva. A partir disso, são criadas categorias de uso das ontologias no cenário de *smart homes*. Por fim, os trabalhos são classificados de acordo com estas categorias. Assim sendo, o produto deste objetivo específico é uma lista classificada de trabalhos que utilizam ontologias não-incertas na linguagem OWL nas *smart homes*.

É oportuno reforçar que neste objetivo específico não se busca a realização de uma revisão exaustiva da literatura para caracterizar o uso das ontologias nas *smart homes*, mas sim obter uma amostra deste cenário. Esta amostra é utilizada na etapa de aplicação do *framework*. Em razão de divergências de propósito e profundidade de análise, decidiu-se não associar a coleta desta amostra com a RSL elaborada no objetivo específico A.

5.2.4 Objetivo Específico D

O propósito deste objetivo específico é aplicar a solução proposta (o *framework*) como ferramenta de referência em cenários de *smart homes* de forma que sejam gerados exemplos de uso desta solução. Para isto, são definidas três ações: i) selecionar os trabalhos com maior quantidade de citações para cada categoria identificada no objetivo específico C (D.1); ii) responder às questões do *framework* para cada trabalho selecionado (D.2); e iii) identificar no *framework* a ontologia incerta adequada para cada trabalho selecionado (D.3).

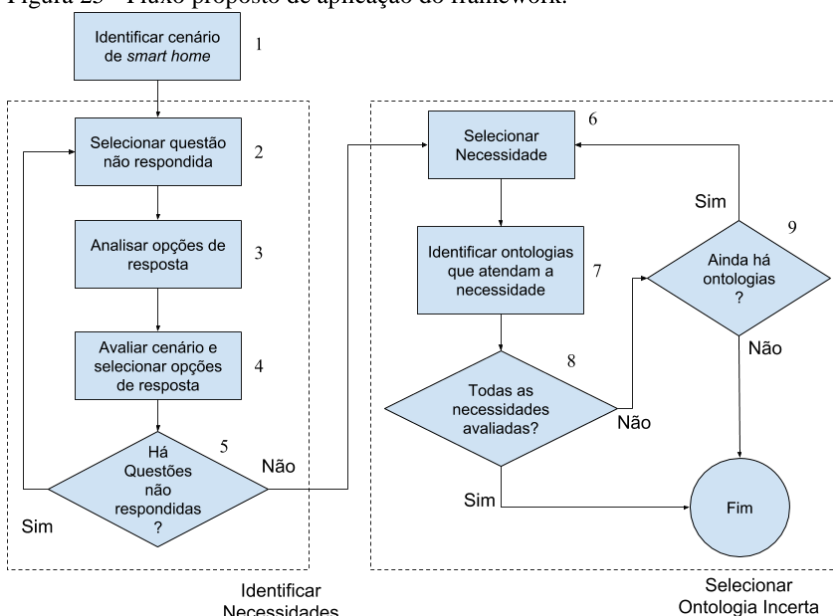
A primeira ação (D.1) tem por objetivo definir os trabalhos que serão utilizados na verificação do *framework*. Assim, seleciona-se o trabalho com maior quantidade de citações para cada categoria gerada no objetivo específico C. Ou seja, caso sejam identificadas três situações de uso de ontologias nas *smart homes*, haverá três categorias com diferentes quantidades de trabalhos, como por exemplo: categoria A com 30 trabalhos; categoria B com 50 trabalhos; e categoria C com 30 trabalhos. Neste exemplo, ao todo, há 110 trabalhos, porém, seria inviável aplicar o *framework* a todo este volume de trabalhos. Sendo assim, são selecionados apenas os trabalhos mais citados de cada categoria para realizar a aplicação do *framework*.

Convém notar que os critérios de seleção de trabalhos nesta ação são arbitrários. Espera-se que os trabalhos mais citados abordem questões significativas da pesquisa voltada para as *smart homes*.

Também se espera que sejam gerados resultados variados por serem utilizados trabalhos com diferentes situações de uso das ontologias.

A segunda (D.2) e terceira (D.3) ações consistem na aplicação do *framework* para cada trabalho selecionado. Os trabalhos selecionados são lidos integralmente em busca de informações que permitam responder às questões no *framework*. Caso algum trabalho não apresente informações suficientes, o próximo trabalho mais citado na mesma categoria será utilizado. Na Figura 25, ilustra-se o fluxo de aplicação do *framework* utilizado nestas ações.

Figura 25 - Fluxo proposto de aplicação do framework.



Fonte: elaborado pelo autor.

O fluxo de aplicação do *framework* proposto neste trabalho pode ser dividido em três etapas: i) identificação do cenário de *smart home*; ii) identificação das necessidades de representação da informação incerta; e iii) seleção de ontologias incertas. Na primeira etapa (passo 1 na Figura 25), é realizada a identificação do cenário de *smart home* que possui necessidades de representação da informação incerta. Basicamente, este é o cenário utilizado na coleta de informações que serão utilizadas para responder as questões do *framework*.

Na segunda etapa (passos 2 ao 5 na Figura 25), são respondidas as questões do *framework* para identificar as necessidades de representação da informação incerta no cenário de *smart home*. Assim, seleciona-se uma questão no *framework* e analisa-se as opções de resposta disponíveis para a questão. Então o cenário de *smart home* é avaliado para que as opções de respostas da questão mais adequadas ao cenário sejam selecionadas. Por fim, este procedimento se repete até que todas as questões do *framework* sejam respondidas.

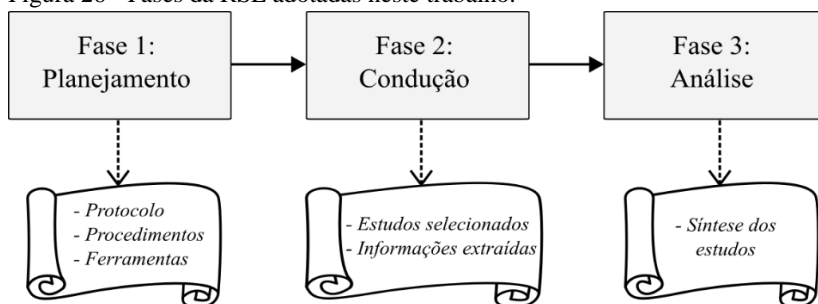
Na terceira etapa (passos 6 ao 9 na Figura 25), realiza-se a filtragem das ontologias incertas disponíveis que atendem as necessidades de representação identificadas. Assim, seleciona-se uma necessidade de representação e são identificadas no quadro de referência todas as ontologias que atendam a necessidade selecionada. Assim, apenas as ontologias que atenderam a todas as necessidades avaliadas até então são utilizadas ao avaliar-se a próxima necessidade de representação. O procedimento de avaliação das necessidades é finalizado quando todas as necessidades foram avaliadas ou quando se identificou que nenhuma ontologia atende a as necessidades avaliadas até o momento. Ao final da aplicação do *framework*, obtém-se uma lista de ontologias incertas que atendem as necessidades de representação identificadas. Os resultados gerados neste objetivo específico demonstram a viabilidade de uso do *framework* proposto e proveem exemplos de uso do mesmo.

5.3 PROTOCOLO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Por meio de uma RSL, objetiva-se mapear os trabalhos que forneçam informações sobre ontologias incertas no cenário de *smart homes* e no contexto da IoT. Uma RSL busca revisar e avaliar o conteúdo produzido sobre determinado tema de forma rigorosa e reproduzível (KITCHENHAM; CHALTERS, 2007), sendo dividida em dois tipos (KITCHENHAM *et al.*, 2010): i) RSL convencionais, que reúnem resultados de diferentes trabalhos e permitem o uso de meta-análise para agregar os resultados estatisticamente; e ii) trabalhos de mapeamento, que visam reunir e analisar o conhecimento disponível sobre determinado tópico. Esta RSL encaixa-se na categoria de trabalho de mapeamento, pois busca-se identificar a literatura produzida sobre o tópico de ontologias incertas em cenários de *smart homes* e no contexto da IoT.

Com base nas diretrizes de Kitchenham e Chalters. (2007), a RSL proposta neste trabalho foi dividida em três fases: planejamento, condução e análise, conforme a Figura 26. Na primeira fase, os procedimentos metodológicos e ferramentas utilizadas para conduzir a revisão são descritas e justificadas, resultando em um protocolo de revisão. Na segunda fase, os trabalhos candidatos são recuperados nas bases de dados, verificados de acordos com critérios de inclusão e exclusão e analisados para a extração de informações, resultando em uma lista de trabalhos selecionados e suas informações extraídas. Por fim, na terceira fase elabora-se uma análise sobre os resultados obtidos tendo em vista a proposta deste trabalho.

Figura 26 - Fases da RSL adotadas neste trabalho.



Fonte: elaborado pelo autor.

Esta seção consiste na fase de planejamento da RSL. Sendo assim, são apresentados o objetivo e pergunta da RSL; fontes; palavras-chave; critérios de inclusão e exclusão; e etapas para a extração de informações e seleção de trabalhos.

5.3.1 Objetivo, Pergunta e Seleção de Fontes

O objetivo desta revisão é:

Identificar o estado da arte sobre trabalhos que sintetizam informações sobre a representação da informação incerta por meio de ontologias nas smart homes.

Esta RSL busca responder a seguinte pergunta:

Quais são os trabalhos que sintetizam informações sobre a representação da informação incerta por meio de ontologias nas smart homes?

Nas buscas, são utilizadas bases de dados *online* que fornecem trabalhos relacionados a Computação, Eletrônica, Engenharia e áreas afins. As seguintes bases foram selecionadas para este trabalho: IEEE Xplore; Scopus; ACM Digital Library; Web Of Science; e Science Direct. Estas bases foram selecionadas devido ao alto índice de trabalhos recuperados sobre os tópicos de incerteza, *smart homes* e ontologias em pesquisas exploratórias prévias realizadas pelo autor desta dissertação.

Convém notar que a partir do produto desta RSL é possível obter dois conjuntos de informações significativas para este trabalho: a) trabalhos que propõem ou utilizam ontologias incertas no cenário de *smart homes*; e b) trabalhos com o propósito específico de reunir informações sobre ontologias incertas de forma a fornecer uma referência para a descoberta e seleção destas abordagens. O primeiro conjunto contribui para a construção do *framework* proposto neste trabalho, enquanto o segundo conjunto fornece uma visão geral sobre propostas correlatas (ou trabalhos relacionados a este) produzidas até o momento.

5.3.2 Palavras-chave

As palavras-chave selecionadas para esta RSL representam os principais tópicos da pergunta de pesquisa: incerteza; ontologias e *smart homes*. Para cada tópico, foram selecionados diferentes termos relacionados e sinônimos com base em leituras sobre o tópico realizadas pelo autor da pesquisa. Os termos selecionados estão representados no Quadro 8.

Quadro 8 - Termos selecionados para as buscas nas bases de dados.

TÓPICO	TERMOS
Incerteza	uncertain, uncertainty, fuzzy e probabilistic
Ontologia	ontology, ontologies e owl
<i>Smart Homes</i>	iot, "internet of things", "smart home", "home automation", "smart house", "domotic" e "digital home"

Fonte: elaborado pelo autor.

A IoT fornece a base tecnológica para o desenvolvimento de soluções para *smart homes*, porém, este paradigma abrange diferentes áreas e domínios além das *smart homes*. Baseando-se na premissa de que abordagens que utilizam ontologias incertas em outros cenários da IoT também podem ser empregadas nos cenários de *smart homes* (uma vez que todos baseiam-se na IoT), os termos “iot” e “internet of things” foram incluídos no conjunto de palavras-chave buscando-se abranger estes outros trabalhos.

5.3.3 Critérios de Seleção de Trabalhos

Nesta RSL, são utilizados tanto critérios de inclusão quanto de exclusão para a seleção dos trabalhos. Os critérios de inclusão (CI) e critérios de exclusão (CE) estão listados no Quadro 9.

Quadro 9 - Critérios de inclusão e exclusão de estudos.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	
ID	CRITÉRIO
CI 1	Trabalho que aborda a representação da informação incerta por meio de ontologias em cenários IoT ou <i>smart homes</i>
CI 2	Trabalho que descreva a abordagem utilizada no tratamento da incerteza
CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	
ID	CRITÉRIO
CE 1	Trabalho duplicado
CE 2	Banner, resumo de artigo, tutorial ou resumo de conferência
CE 3	Trabalho que não está em inglês ou português
CE 4	Republicação de um trabalho anterior
CE 5	Trabalho que não aborda a representação da informação incerta por meio de ontologias em cenários IoT ou <i>smart homes</i>
CE 6	Trabalho que não descreva a abordagem utilizada no tratamento da incerteza
CE 7	Trabalho que não trata de abordagens concretas (há trabalhos que apenas discutem como poderia ser realizada a representação da informação incerta por meio de ontologias, não sendo úteis para a proposta desta dissertação)
CE 8	Trabalho indisponível

Fonte: elaborado pelo autor.

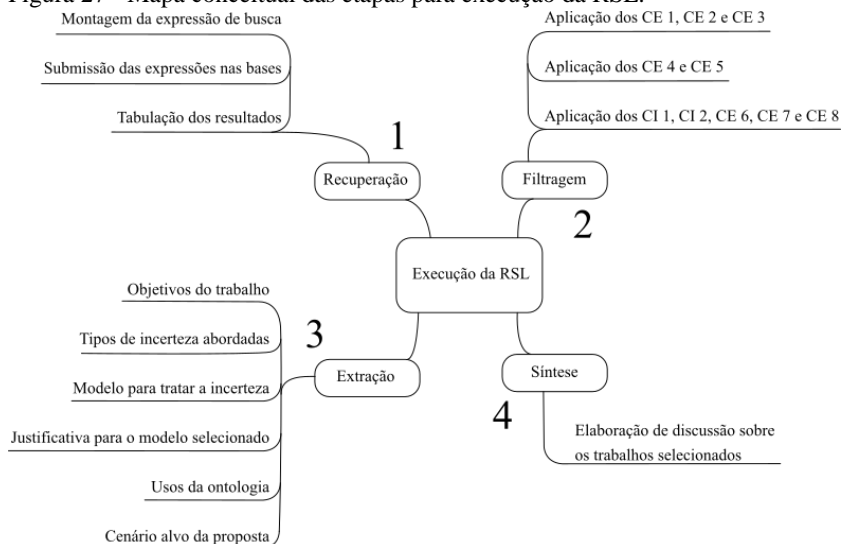
Os critérios de inclusão e exclusão são utilizados durante a etapa de filtragem dos trabalhos. Os critérios de inclusão definem as características que os trabalhos devem apresentar para serem considerados relevantes na RSL. Os critérios de exclusão definem

determinadas características (ex.: o trabalho é um *banner* ou resumo de outro artigo) ou situações indesejáveis (ex.: o trabalho foi recuperado mais de uma vez ou trata-se de uma republicação de outro trabalho recuperado). Para serem considerados válidos nesta pesquisa, os trabalhos devem apresentar todos os critérios de inclusão e não apresentar critérios de exclusão.

5.3.4 Procedimentos

Nesta subseção, são descritos os procedimentos, organizados em etapas, para a condução da RSL e análise dos resultados. As seguintes etapas foram definidas: recuperação, filtragem, extração e discussão sobre os trabalhos selecionados. Estas etapas estão ilustradas no mapa conceitual na Figura 27.

Figura 27 - Mapa conceitual das etapas para execução da RSL.



Fonte: elaborado pelo autor.

As etapas para condução da RSL e síntese dos resultados são detalhadas em seguida:

1. Recuperação dos trabalhos primários nas bases de dados. Para cada base:

- a. Montagem da expressão de busca de acordo com os termos específicos da base. As palavras-chave definidas são buscadas nos metadados: título, resumo e palavras-chave;
 - b. Submissão dos termos de busca nas bases;
 - c. Os resultados são reunidos e tabulados em uma planilha. As informações extraídas nesse primeiro momento são título, ano e autores.
2. Filtragem dos trabalhos recuperados. Esta etapa conta com três subetapas de aplicação dos critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE):
 - a. Inicialmente, por meio da leitura do título, ano e da identificação dos autores, é realizada a eliminação de trabalhos duplicados (CE 1), banners, resumo de artigo, tutorial ou resumo de conferência (CE 2) e trabalhos em idiomas diferentes do inglês e português (CE 3);
 - b. Em seguida, serão obtidos os resumos e palavras-chave dos trabalhos restantes. Com isto, é realizada a leitura do resumo e palavras-chave de cada trabalho para eliminação de trabalhos de acordo com os critérios de exclusão CE 4 e CE 5;
 - c. Por fim, são obtidos os textos integrais dos trabalhos restantes e realiza-se a aplicação dos critérios de inclusão (CI 1 e CI 2) e exclusão (CE 6, CE 7 e CE 8) baseados na leitura integral da introdução e conclusão, e por meio da leitura superficial das demais seções de cada trabalho;
3. Extração de informações. Por meio da leitura completa, as seguintes informações são extraídas dos trabalhos identificados como relevantes na etapa 2:
 - a. Objetivos do trabalho;
 - b. Tipos de incerteza abordadas;
 - c. Modelo para tratar a incerteza (ex.: redes bayesianas, redes de decisão, conjuntos nebulosos, etc.);
 - d. Justificativa para o modelo selecionado;
 - e. Como a ontologia é utilizada para alcançar os objetivos do trabalho;
 - f. Cenário e tarefa principal da proposta (se houver);
4. Elaboração de discussão sobre os trabalhos selecionados (trabalhos relacionados).

Convém salientar que a etapa de extração de informações dos trabalhos nesta RSL não se refere ao objetivo específico de extrair informações sobre as ontologias incertas. Nesta etapa, são identificadas informações necessárias para a compreensão do trabalho selecionado de forma geral. Especificamente, para este propósito, são extraídas informações sobre: i) objetivo do trabalho; ii) como as ontologias são utilizadas para alcançar este objetivo; e iii) cenário alvo da proposta. Além disso, características mais específicas de cada trabalho, como tipo de incerteza abordado, modelo de incerteza utilizado e justificativa para o modelo utilizado também são coletadas tendo em vista obter uma primeira visão geral das ontologias incertas propostas ou empregadas nestes trabalhos. A partir destas informações, como fase final da RSL, realiza-se uma síntese do material disponível atualmente na literatura focado na representação da informação incerta por meio de ontologias em cenários de *smart homes* e outros cenários IoT.

6 MAPEAMENTO DE ONTOLOGIAS INCERTAS PARA SMART HOMES

Neste capítulo, são realizadas as ações propostas no objetivo específico A e discutidos seus resultados. Inicialmente, descreve-se a fase de condução da RSL. Em seguida, descreve-se a identificação de ontologias incertas a partir das referências dos trabalhos selecionados na RSL e a partir dos anais do URSW. Por fim, discute-se sobre as ontologias incertas identificadas e sobre suas características.

6.1 CONDUÇÃO DA RSL

Nesta fase da RSL foi realizada a etapa de recuperação de trabalhos primários nas bases de dados e foram aplicadas as etapas de filtragem dos trabalhos recuperados e extração de informações. Os resultados da execução destes passos foram sintetizados nas seções seguintes e o resultado completo da aplicação de cada passo está registrado em um apêndice específico neste documento.

6.1.1 Recuperação dos Trabalhos Primários nas Bases de Dados

O propósito desta etapa é a obtenção de trabalhos primários para análise sistemática. O primeiro passo foi a construção das expressões de busca de acordo com as especificidades de cada base. Os termos de busca foram utilizados no segundo passo, que se trata da submissão dos mesmos nas bases de dados. Os resultados destes passos estão registrados no Quadro 10.

Quadro 10 - Expressões de busca para recuperação de trabalhos primários.

BASE	EXPRESSÃO	RECUPERADOS
Scopus	TITLE-ABS-KEY (ontology OR ontologies OR owl) AND TITLE-ABS-KEY (iot OR "internet of things" OR "smart home" OR "smart homes" OR "home automation" OR "smart house" OR "domotic" OR "digital home") AND TITLE-ABS-KEY (uncertain OR uncertainty OR fuzzy OR probabilistic)	72

IEEE Xplore	(ontology OR ontologies OR owl) AND (iot OR "internet of things" OR "smart home" OR "smart homes" OR "home automation" OR "smart house" OR "domotic" OR "digital home") AND (uncertain OR uncertainty OR fuzzy OR probabilistic)	21
Web of Science	TS=(ontology OR ontologies OR owl) AND TS=(iot OR "internet of things" OR "smart home" OR "smart homes" OR "home automation" OR "smart house" OR "domotic" OR "digital home") AND TS=(uncertain OR uncertainty OR fuzzy OR probabilistic)	32
ACM	(acmdlTitle:(ontology ontologies owl) OR recordAbstract:(ontology ontologies owl) OR keywords.author.keyword:(ontology ontologies owl)) AND (acmdlTitle:(iot "internet of things" "smart home" "smart homes" "home automation" "smart house" "domotic" "digital home") OR recordAbstract:(iot "internet of things" "smart home" "smart homes" "home automation" "smart house" "domotic" "digital home") OR keywords.author.keyword:(iot "internet of things" "smart home" "smart homes" "home automation" "smart house" "domotic" "digital home")) AND (acmdlTitle:(uncertain uncertainty fuzzy probabilistic) OR recordAbstract:(uncertain uncertainty fuzzy probabilistic) OR keywords.author.keyword:(uncertain uncertainty fuzzy probabilistic))	5
Science Direct	tak(ontology OR ontologies OR owl) AND tak(iot OR "internet of things" OR "smart home" OR "smart homes" OR "home automation" OR "smart house" OR "domotic" OR "digital home") AND tak(uncertain OR uncertainty OR fuzzy OR probabilistic)	5
	Total:	135

Fonte: elaborado pelo autor.

Cada linha no Quadro 10 corresponde a uma base de dados na qual foi realizada a recuperação de trabalhos primários. Este quadro é composto pelas colunas “BASE”, “EXPRESSÃO” e “RECUPERADOS”. A coluna BASE representa a base de dados na qual a expressão de busca foi submetida. A coluna EXPRESSÃO representa a expressão de busca utilizada na recuperação de trabalhos. A coluna RECUPERADOS indica a quantidade de resultados obtidos na base em questão. Convém destacar que não foram utilizadas restrições de tempo nas buscas. As buscas foram realizadas na data de 11/07/2017 recuperando-se 135 trabalhos no total.

No terceiro passo desta etapa tratou-se da tabulação dos resultados e extração de título, autores e ano de cada trabalho. O resultado deste passo está registrado no APÊNDICE A.

6.1.2 Filtragem dos Trabalhos Recuperados

Esta etapa consistiu na leitura e análise dos trabalhos em diferentes níveis de profundidade. A avaliação dos trabalhos foi dividida em três passos, nos quais buscou-se identificar determinados critérios de inclusão por meio de diferentes informações extraídas dos trabalhos. As informações extraídas, os critérios avaliados, o total de trabalhos avaliados, o total de trabalhos excluídos e o total de trabalhos selecionados em cada passo estão sintetizados no Quadro 11.

Quadro 11 - Total de trabalhos excluídos ou selecionados devido à etapa de filtragem.

INFO.	CRIT.	AVALIADOS	EXCLUÍDOS	SELECIONADOS
Título, ano e autores	CE 1, CE 2, e CE 3	135	86	49
Resumo e Palavras-chave	CE 4 e CE 5	49	18	31
Introdução, conclusão e demais seções	CI 1, CI 2, CE 5, CE 6, CE 7 e CE 8	31	17	14

Fonte: elaborado pelo autor.

No primeiro passo, realizou-se a leitura das informações de título, ano de publicação e autores de 135 trabalhos e foram avaliados os

critérios CE 1, CE 2 e CE 3, excluindo-se 86 trabalhos. No segundo passo, realizou-se a leitura do resumo e palavras-chave de 49 trabalhos e foram avaliados os critérios CE 4 e CE 5, excluindo-se 18 trabalhos. Por fim, no terceiro passo, realizou-se a leitura completa da introdução e conclusão dos trabalhos, e leitura superficial das demais seções de 31 trabalhos. Ao todo, no terceiro passo, 17 trabalhos foram excluídos.

Após a execução dos passos de filtragem, restaram apenas 14 trabalhos que atenderam aos critérios de inclusão sem apresentar critérios de exclusão. As informações sobre os critérios de inclusão e exclusão identificados em cada trabalho no primeiro, segundo e terceiro passo estão registradas, respectivamente, nos apêndices B, C e D.

Nesta fase, realizou-se parte da condução da RSL que consiste na filtragem dos trabalhos para identificar aqueles que atendessem aos critérios de inclusão - sem apresentar critérios de exclusão - definidos de acordo com os objetivos e pergunta. Na fase seguinte, de condução, é realizada a extração de informações relevantes e a elaboração de um resumo descritivo para cada trabalho selecionado.

6.1.3 Extração de informações

Para os 14 trabalhos que atenderam aos critérios de inclusão sem apresentar critérios de exclusão foi realizada a extração de informações relevantes (etapa 3). O identificador (coluna ID), título, autores e data de publicação (coluna ANO) destes trabalhos estão registrados no Quadro 12.

Quadro 12 - Trabalhos selecionados na RSL.

ID	TÍTULO	AUTORES	ANO
1	Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living	MACHADO <i>et al.</i>	2017
4	A method of meta-context ontology modeling and uncertainty reasoning in SWoT	LU; LI; PAN	2017
6	A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments	RAMPARANY; MONDI; DEMAZEAU	2017
7	AGACY monitoring: A hybrid model for activity recognition and uncertainty handling	SFAR <i>et al.</i>	2017

9	Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning	MOHAMMED; XU; LIU	2016
11	Ontology based context aware situation tracking	MALLIK <i>et al.</i>	2015
12	FSCEP: A new model for context perception in smart homes	JARRAYA <i>et al.</i>	2016
13	Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach	MOHAMMED <i>et al.</i>	2016
30	A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	BENAZZOUZ; AKTOUF; PARISSIS	2014
36	Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning	ZHOU; WANG; CAO	2013
56	Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things	WANG; CAO	2012
70	An ontology-based context model in a smart home	KIM; CHOI	2006
98	Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition	NOOR; SALCIC; WANG	2016
112	A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour	RODRÍGUEZ <i>et al.</i>	2014

Fonte: elaborado pelo autor.

Tal como mencionado no protocolo da revisão, as seguintes informações foram extraídas: a) objetivos do trabalho (coluna OBJETIVOS); b) tipos de incerteza abordadas (coluna INCERTEZA); c) modelo para tratar a incerteza (ex.: redes bayesianas, redes de decisão, conjuntos nebulosos, etc.) (coluna MODELOS); d) justificativa para o modelo selecionado (coluna JUSTIFICATIVA); e) como a ontologia é utilizada para alcançar os objetivos do trabalho (coluna USO DA ONTOLOGIA); e f) cenário e tarefa principal da proposta (coluna CENÁRIO/TAREFA). As informações extraídas de cada trabalho estão registradas no APÊNDICE E.

6.2 BUSCA A PARTIR DAS REFERÊNCIAS DOS TRABALHOS SELECIONADOS E ANAIS DO URSW

Como procedimentos complementares da RSL descrita anteriormente, buscou-se trabalhos que proponham ontologias incertas a partir das referências dos trabalhos selecionados na RSL e a partir de

trabalhos publicados nos anais do URSW. Uma vez recuperados os trabalhos a partir de ambas as fontes, sua filtragem e a extração de informações foi realizada sem distinção da fonte original. Nesta seção, são descritos os resultados da recuperação, filtragem e extração de informações dos trabalhos identificados a partir destas fontes extras.

6.2.1 Recuperação de Trabalhos

Nesta etapa, realizou-se a identificação de trabalhos a partir das referências dos trabalhos selecionados na RSL e a partir dos trabalhos publicados nos anais do URSW. No primeiro caso, identificou-se um total de 391 trabalhos. Já nos anais do URSW, foram identificados 125 trabalhos, totalizando 516 trabalhos candidatos nesta etapa. A quantidade de referências fornecidas por cada trabalho selecionado na RSL está registrada no APÊNDICE F e a quantidade de referências fornecidas por anal do URSW está registrada no APÊNDICE G.

6.2.2 Filtragem dos Trabalhos Recuperados

Similar a filtragem realizada na RSL, os trabalhos recuperados foram filtrados utilizando-se determinados critérios de inclusão e exclusão. Os critérios avaliados nestes trabalhos são os mesmos utilizados na RSL e descritos anteriormente no Quadro 9. A filtragem dos trabalhos foi realizada em três etapas, utilizando-se informações extraídas dos trabalhos e aplicando-se determinados critérios. O resultado destas ações está registrado no Quadro 13.

Quadro 13 - Total de trabalhos excluídos ou selecionados devido à etapa de filtragem.

INFO.	CRIT.	AVALIADOS	EXCLUÍDOS	SELECIONADOS
Título, ano e autores	CE 1, CE 2, e CE 3	516	64	452
Resumo e Palavras-chave	CE 4 e CE 5	452	411	41
Introdução, conclusão e demais seções	CI 1, CI 2, CE 5, CE 6, CE 7 e CE 8	41	39	2

Fonte: elaborado pelo autor.

No primeiro passo, realizou-se a leitura das informações de título, ano de publicação de 516 trabalhos e foram avaliados os critérios CE 1, CE 2 e CE3, excluindo-se 64 trabalhos. No segundo passo, realizou-se a leitura do resumo e palavras-chave de 452 trabalhos e foram avaliados os critérios CE 4 e CE 5, excluindo-se 411 trabalhos. Por fim, no terceiro passo, realizou-se a leitura completa da introdução e conclusão dos trabalhos, e leitura superficial das demais seções de 41 trabalhos. Ao todo, no terceiro passo, 39 trabalhos foram excluídos, resultando ao todo em 2 trabalhos selecionados.

6.2.3 Extração de Informações

Os dois trabalhos selecionados a partir das referências dos trabalhos selecionados na RSL e trabalhos recuperados no URSW estão registrados no Quadro 14, contendo título, autores e data de publicação (coluna ANO). Para estes trabalhos também foi realizada a extração de informações.

Quadro 14 - Trabalhos selecionados a partir das referências dos trabalhos selecionados na RSL e Anais do URSW.

TÍTULO	AUTORES	ANO
A probabilistic ontological framework for the recognition of multilevel human activities	HELAOUI; RIBONI; STUCKENSCHMIDT	2013
Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments	ALMEIDA; LÓPEZ-DE-IPÍÑA	2011

Fonte: elaborado pelo autor.

As seguintes informações foram extraídas dos trabalhos apresentados no Quadro 14: a) objetivos do trabalho (coluna OBJETIVOS); b) tipos de incerteza abordadas (coluna INCERTEZA); c) modelo para tratar a incerteza (ex.: redes bayesianas, redes de decisão, conjuntos nebulosos, etc.) (coluna MODELOS); d) justificativa para o modelo selecionado (coluna JUSTIFICATIVA); e) como a ontologia é utilizada para alcançar os objetivos do trabalho (coluna USO DA ONTOLOGIA); e f) cenário e tarefa principal da proposta (coluna CENÁRIO/TAREFA). As informações extraídas de cada trabalho estão registradas no APÊNDICE H.

6.3 ANÁLISE (TRABALHOS RELACIONADOS)

A partir das informações extraídas dos 16 trabalhos selecionados (Quadro 12 e Quadro 14), foi possível perceber que os objetivos dos trabalhos estão direcionados para a proposição de ferramentas que viabilizam o tratamento da incerteza em tarefas específicas. As propostas recebem diferentes denominações como *frameworks* (MACHADO *et al.*, 2017; RAMPARANY; MONDI; DEMAZEAU, 2017; MALLIK *et al.*, 2015; HELAOU; RIBONI; STUCKENSCHMIDT, 2013), arquiteturas (WANG; CAO, 2012), algoritmos (SFAR *et al.*, 2017; MOHAMMED *et al.*, 2016; NOOR; SALCIC; WANG, 2016) e abordagens (MOHAMMED; XU; LIU, 2016). Os objetivos mais comuns estão relacionados a propostas de modelos de ontologias ou extensões do padrão OWL (por meio de novas classes e propriedades) para o tratamento da incerteza em situações específicas (LU; LI; PAN, 2017; JARRAYA *et al.*, 2016; BENAZZOUZ; AKTOUF; PARISSIS, 2014; RODRÍGUEZ *et al.*, 2014; ZHOU; WANG; CAO, 2013; ALMEIDA; LÓPEZ-DE-IPÍÑA, 2011; KIM; CHOI, 2006). Os objetivos dos trabalhos estão resumidos na Figura 28.

Figura 28 - Objetivos dos trabalhos identificados na RSL.



Fonte: elaborado pelo autor.

Convém notar que a classificação anterior não pretende ser definitiva e está baseada nos rótulos fornecidos pelos autores dos trabalhos. Do ponto de vista do autor desta pesquisa, estes trabalhos partilham de propósitos e resultados comuns. Assim sendo, o

fornecimento de meios para o tratamento (representação e raciocínio) da incerteza é o aspecto central na maioria dos trabalhos. Os resultados dos trabalhos apresentam meios para a representação da informação incerta por meio de ontologias e meios para extrair e raciocinar sobre a informação incerta a partir das ontologias.

Quanto ao tipo de incerteza tratada, predomina o foco na representação da informação incompleta e informação vaga, porém, uma pequena parcela de trabalhos aborda ambos os tipos de incerteza (MOHAMMED; XU; LIU, 2016; HELAOUI; RIBONI; STUCKENSCHMIDT, 2013; KIM; CHOI, 2006). Além disso, observa-se diversidade de modelos empregados no tratamento destas formas de incerteza. A informação incompleta é tratada principalmente por meio de modelos probabilísticos como MEBN no trabalho de Machado *et al.* (2017); DN no trabalho de Mohammed *et al.* (2016); e Teoria de Dempster-Shafer no trabalho de Noor, Salcic e Wang (2016). A informação vaga é tratada por meio do modelo Fuzzy Dempster-Shafer em Zhou, Wang e Cao (2013); abordagem Fuzzy Bayesian em Mohammed, Xu e Liu (2016); e principalmente pelos conjuntos nebulosos (JARRAYA *et al.*, 2016; BENAZZOUZ; AKTOUF; PARISSIS, 2014; RODRÍGUEZ *et al.*, 2014; WANG; CAO, 2012; ALMEIDA; LÓPEZ-DE-IPÍÑA, 2011).

Quanto às tarefas realizadas, os trabalhos estão voltados principalmente para as tarefas de reconhecimento de atividades e de situações (MACHADO *et al.*, 2017; SFAR *et al.*, 2017; NOOR; SALCIC; WANG, 2016; RODRÍGUEZ *et al.*, 2014; HELAOUI; RIBONI; STUCKENSCHMIDT, 2013); seguido da tarefa de Processamento de Eventos Complexos (JARRAYA *et al.*, 2016; WANG; CAO, 2012; ZHOU; WANG; CAO, 2013); Tomada de Decisão (MALLIK *et al.*, 2015; MOHAMMED *et al.*, 2016); e Suporte à Decisão (MALLIK *et al.*, 2015). O papel das ontologias em vista destas tarefas é representar o conhecimento do domínio e codificar aspectos de incerteza por meio de propriedades e anotações. Em diferentes trabalhos baseados em modelos probabilísticos, as informações são extraídas da ontologia para gerar e processar o modelo de incerteza em um suporte externo à ontologia.

Grande parte dos trabalhos analisados reutilizaram ontologias incertas propostas em outras pesquisas. As ontologias incertas reutilizadas são especificamente a representação Fuzzy OWL 2 de Bobillo e Straccia (2011), utilizada em cinco dos trabalhos analisados (JARRAYA *et al.*, 2016; BENAZZOUZ; AKTOUF; PARISSIS, 2014; RODRÍGUEZ *et al.*, 2014; ZHOU; WANG; CAO, 2013; WANG; CAO,

2012); e a representação Multimedia Web Ontology Language (MOWL) de Mallik *et al.* (2013) utilizada em um dos trabalhos analisados (MALLIK *et al.*, 2015). Pode-se interpretar esta taxa de reuso (42,85%) - quase metade dos trabalhos - como evidência da necessidade da padronização de uma ou mais linguagens para o desenvolvimento de ontologias incertas. A representação Fuzzy OWL 2 fornece documentação e *plugin* para uso da linguagem em ferramentas de desenvolvimento de ontologias, como o Protegé⁹, o que facilita seu acesso e reuso.

Quanto às justificativas sobre a escolha dos modelos utilizados no tratamento da informação incerta, estas são específicas e relacionadas às tarefas propostas em cada trabalho. Em geral, os autores mencionam vantagens e desvantagens dos modelos escolhidos em relação à tarefa específica que buscam solucionar. Por exemplo, Lu, Li e Pan (2016) utilizam em seu trabalho o modelo de Redes Bayesianas Dinâmicas. Os autores justificam a escolha dessa abordagem devido a sua capacidade de representar relações temporais entre as variáveis e sua baixa complexidade em relação a outros modelos.

Em outro trabalho, Mohammed *et al.* (2016) propõem uma abordagem para a modelagem probabilística em ontologias tendo em vista seu uso para tomada de decisão considerando informações incertas. Os autores mencionam que as Redes Bayesianas não são adequadas para a modelagem de domínios grandes e então incorporam Redes de Decisão e Markov Boundary em seu modelo visando superar esta limitação. Estas informações auxiliam na seleção da ontologia incerta mais adequada para determinado cenário uma vez que se entende as capacidades e limitações das abordagens.

Outra forma de justificativa observada nos trabalhos analisados foi a realização de testes comparativos entre o modelo adotado com outros modelos disponíveis na literatura. Por exemplo, Mohammed, Xu e Liu (2016) propuseram a abordagem híbrida HyProb-Onto baseada em Modelos Relacionais Probabilísticos (PRM) e na Abordagem Bayesiana Nebulosa (do inglês *Fuzzy Bayesian*). Com esta proposta, os autores buscaram fornecer uma representação probabilística capaz de lidar tanto com medidas discretas quanto com medidas contínuas, sendo este o único trabalho nesta análise a fornecer uma abordagem prática com esta capacidade. Por meio de testes, os autores identificaram que sua abordagem apresenta melhor desempenho (eficiência de processamento) do que o modelo de Redes Bayesianas.

⁹ Disponível em <http://www.umbertostraccia.it/cs/software/FuzzyOWL/#documentation>.

Finalmente, em relação a proposta da RSL executada, não foram encontrados trabalhos com o objetivo específico de reunir informações sobre ontologias incertas de forma a fornecer uma referência para a descoberta e seleção destas abordagens. Como descrito anteriormente, os trabalhos estão focados na proposta e uso de ontologias incertas para determinadas situações. Diante disso, estes trabalhos fornecem informações pontuais que explicam apenas o modelo utilizado em suas propostas e, em alguns casos, fornecem informações que justificam a escolha desse modelo.

Convém ainda mencionar a efetividade das ações complementares a RSL, ou seja, a busca nas referências dos trabalhos selecionados na RSL e em anais do URSW. A partir destas ações, foram selecionados dois trabalhos entre 516 recuperadores em ambas as fontes. Apesar da baixa quantidade de trabalhos selecionados em relação ao total de trabalhos recuperados, o autor desta pesquisa considera produtivo o resultado desta ação.

As informações fornecidas pelos trabalhos são de fato úteis para os projetistas e estudiosos de ontologias para selecionar a abordagem mais adequada a sua situação. Porém estas informações estão difundidas em diferentes trabalhos e poderá ser benéfica aos pesquisadores uma referência que reúna as informações sobre as abordagens específicas e forneça uma visão unificada dos recursos atualmente disponíveis para a representação da informação incerta por meio de ontologias nos cenários de *smart homes*.

7 FRAMEWORK PARA ONTOLOGIAS INCERTAS NAS *SMART HOMES*

A criação do *framework* para ontologias incertas nas *smart homes* consistiu em três ações principais:

- Extração de informações sobre as ontologias incertas identificadas na RSL;
- Elaboração de questões sobre as características de ontologias incertas baseadas nas informações extraídas; e
- Elaboração de quadro de referência com as ontologias incertas identificadas.

Neste capítulo, inicialmente descreve-se a extração das informações das ontologias incertas. Em seguida, são apresentadas as questões geradas a partir das informações extraídas. Por fim, apresenta-se o quadro de referência com as ontologias incertas identificadas e a forma final do *framework* proposto nesta pesquisa.

7.1 EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES

Na ação para extração de informações visou-se a obtenção de informações sobre as ontologias incertas para a elaboração de questões para o *framework*. As informações extraídas foram: a) tipo de incerteza; b) modelo de incerteza; c) codificação da incerteza; d) ontologia-base; e) raciocínio incerto; f) situação de uso; g) vantagens; h) desvantagens; e i) exemplos de aplicação da ontologia incerta (Quadro 7). As informações extraídas nesta ação estão registradas no APÊNDICE I e no APÊNDICE J.

As informações foram extraídas por meio da leitura integral dos 16 trabalhos que propõe ontologias incertas para as *smart homes*. Algumas das informações extraídas como tipo de incerteza e modelo de incerteza já haviam sido obtidas durante a ação de extração da RSL realizada. Nesses casos, as informações foram apenas revisadas durante a leitura dos textos.

A partir do APÊNDICE I e do APÊNDICE J, as informações extraídas das ontologias incertas podem ser classificadas em dois tipos: informações objetivas; e informações gerais. As informações objetivas são as características da ontologia incerta como tipo de incerteza, modelo de incerteza, codificação da incerteza, ontologia-base, raciocínio

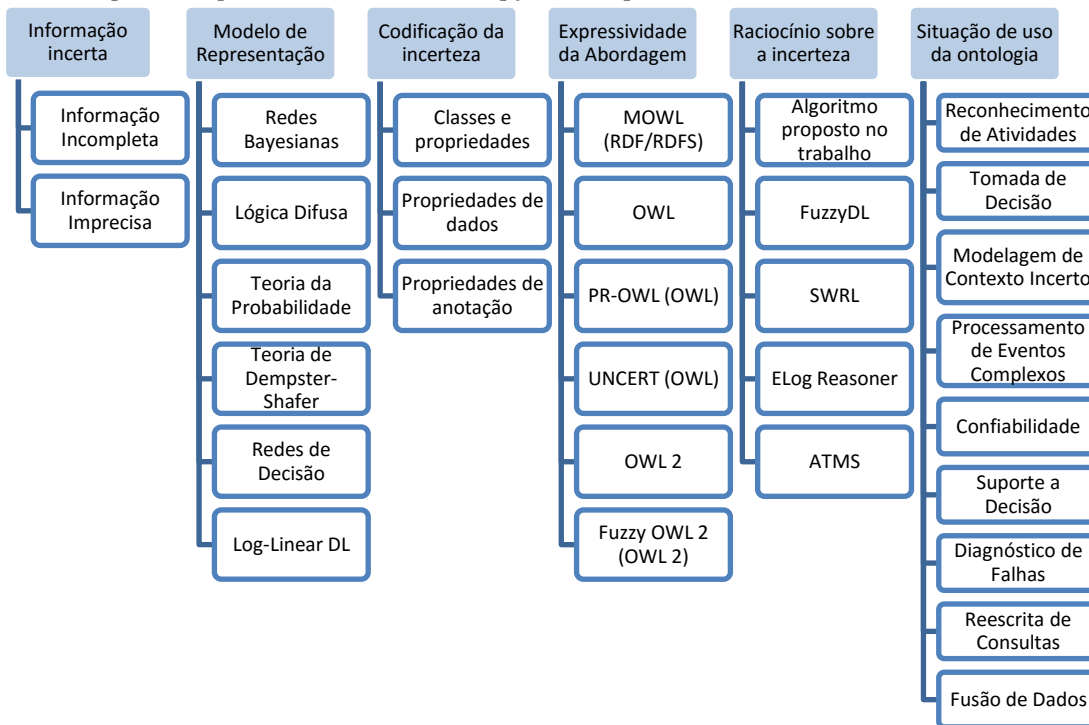
incerto e situações de uso. Estas são informações específicas que, por se tratarem de características, estão presentes em todas as propostas de ontologias incertas analisadas. Já as informações gerais remetem a vantagens, desvantagens e exemplos de aplicação da ontologia incerta. Estas informações variam de trabalho para trabalho e podem possuir maior ou menor nível de detalhamento.

As informações gerais podem ser tendenciosas. Por exemplo, o autor de uma ontologia incerta pode afirmar que sua abordagem possui desempenho e flexibilidade, porém esta afirmação pode estar baseada em testes comparativos de sua abordagem contra um conjunto específico de outras abordagens escolhidas arbitrariamente. Por outro lado, de forma geral, uma informação objetiva se refere a um fato como, por exemplo, a ontologia incerta ser capaz de raciocinar sobre informações incertas. Esta é uma informação verificável que será verdade ou não será verdade para cada ontologia incerta. Todas as informações são relevantes para a compreensão de uma ontologia incerta, porém a distinção entre informações objetivas e informações gerais auxilia no peso que cada informação terá na escolha da abordagem utilizada (i.e.: informações objetivas possuem maior peso pois são menos passíveis de viés do que as informações gerais).

7.2 ELABORAÇÃO DAS QUESTÕES

Após a ação de extração de informações, realizou-se a ação de elaboração de questões sobre as ontologias incertas com base nas informações extraídas e nas informações listadas no Quadro 7. Dentre as informações extraídas, apenas as informações objetivas foram utilizadas na elaboração das questões, considerando-se que as informações gerais podem ser tendenciosas e variam de trabalho para trabalho. A Figura 29 resume os diferentes tópicos abordados pelas questões elaboradas e as opções de respostas disponíveis para cada questão.

Figura 29 - Tópicos das questões elaboradas e suas opções de respostas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao todo, foram geradas seis questões sobre as características de ontologias incertas: i) tipos de informação incerta; ii) modelo de representação da informação incerta utilizado; iii) meio de codificação das propriedades de incerteza na ontologia; iv) nível de expressividade do modelo de incerteza utilizado; v) se a abordagem provê meios para o raciocínio sobre a informação incerta; e vi) situação de uso da ontologia. Cada questão possui diferentes opções de resposta e informações que auxiliam o interessado na seleção da opção que melhor se adequa ao seu cenário.

Cada questão está dividida em quatro informações: i) pergunta; ii) opções de resposta; iii) descrição de cada opção de resposta; e iv) exemplo de cada opção de resposta. A pergunta indica que tipo de informação se busca identificar com aquela questão. As opções de resposta são as possibilidades de resposta para cada pergunta e refletem as características das ontologias incertas para *smart homes* disponíveis na literatura atualmente. A descrição de cada opção fornece um breve sumário técnico ou sobre a aplicação da opção em um cenário de *smart home*. Por fim, por meio de um exemplo para cada opção busca-se fornecer uma visão das possíveis aplicações da opção nos cenários de *smart home*.

A primeira questão está representada no Quadro 15 e tem por objetivo identificar qual é o tipo (ou tipos) de informação incerta que deve ser representada no cenário alvo. As opções de resposta dessa questão são informação incompleta e informação imprecisa.

Quadro 15 - Questão sobre qual tipo de informação incerta deve ser representada.

Questão	Opções	Descrição	Exemplo
Quais tipos de informação incerta devem ser representadas?	Informação incompleta	Quando nem todas as informações necessárias para processar uma inferência estão disponíveis.	O habitante X, que é idoso, ligou o fogão, apagou a luz da cozinha, sentou-se no sofá da sala e ligou a televisão. De acordo com as evidências (fogão ligado, luz da cozinha desligada, habitante X sentado no sofá e televisão ligada), a probabilidade do habitante X ter esquecido o fogão ligado é de 70%.
	Informação imprecisa	Informações que não possuem um valor exato ou podem ser definidas de diferentes maneiras com diferentes graus de precisão.	Preferências de temperatura de um cômodo (frio, morno, quente, etc.); leituras inexatas de sensores como a localização de um habitante (o habitante X está na sala, mas não se sabe exatamente em qual parte da sala). Uma temperatura de 26°C pode ser definida como 30% do tipo "quente", 60% do tipo "morno" e 10% do tipo "frio".

Fonte: elaborado pelo autor.

A segunda questão está representada no Quadro 16 e tem por objetivo identificar qual é o modelo de representação da informação incerta de preferência utilizado pela ontologia incerta. As opções de resposta dessa questão são modelos baseados em: a) Redes Bayesianas; b) Lógica Difusa; c) Teoria da Probabilidade; d) Teoria de Dempster-Shafer; e) Redes de Decisão; e f) Log-Linear DL.

Quadro 16 - Questão sobre qual é o modelo de representação da informação incerta utilizado.

Questão	Opções	Descrição	Exemplo
Qual é o modelo de representação da informação incerta de preferência utilizado?	Baseado em Redes Bayesianas	Abordagens que estão baseadas ou estendem o modelo de Redes Bayesianas (BN). Multi-Entity Bayesian Network (MEBN), Dynamic Bayesian Network (DBN), abordagem Bayesiana Difusa e Probabilistic Relational Model (PRM).	Pode ser utilizada para prever e rastrear situações que se alteram ao longo do tempo.
	Baseado em Lógica Difusa	Abordagens que tem por base a Lógica Difusa.	Considerando-se uma escala de medida de falhas entre 0 (a falha não é do tipo) e 1 (a falha é do tipo), a lógica difusa permite afirmar que uma determinada falha é de diferentes tipos: a falha pode ser tanto do tipo superaquecimento em menor grau (0,2) quanto do tipo sobrecarga (0,8) em maior grau.
	Baseado em Teoria da Probabilidade	Abordagens que tem por base a Teoria da Probabilidade.	Pode-se utilizar informações de temperatura, umidade e luminosidade para inferir se o dia será chuvoso, ensolarado ou nublado com certa taxa de precisão.
	Teoria de Dempster-Shafer	Abordagens que tem por base a Teoria de Dempster-Shafer. Teoria de Dempster-Shafer e Fuzzy Dempster-Shafer.	Pode ser utilizada para a classificação de ações de pessoas e características de um cômodo em uma <i>smart home</i> em atividades (i.e.: reconhecimento de atividades).

	Baseado em Redes de Decisão	Abordagens que tem utilizam Redes de Decisão.	Um sistema de irrigação automática pode decidir a partir de informações de sensores qual é o melhor momento de auto ativar-se para irrigar o jardim.
	Baseado em Log-Linear DL	Abordagens que tem por base a Lógica Descritiva Log-Linear.	Pode ser utilizado para a modelagem de atividades com diferentes níveis de complexidade (ex.: gesto, atividade simples, atividade complexa).

Fonte: elaborado pelo autor.

A terceira questão está representada no Quadro 17 e tem por objetivo identificar como as propriedades de incerteza estão codificadas na ontologia. As opções de resposta dessa questão são: a) por meio de classes e propriedades; b) por meio de propriedades de dados; e c) por meio de propriedades de anotação.

Quadro 17 - Questão sobre como as propriedades de incerteza estão codificadas na ontologia.

Questão	Opções	Descrição	Exemplo
Como as propriedades de incerteza estão codificadas na ontologia?	Por meio de classes e propriedades	A abordagem provê classes para a codificação da informação incerta e propriedades que relacionam as classes entre si.	Uma abordagem baseada em Redes de Decisão poderia fornecer classes para representar variáveis de decisão, nodos de utilidade e probabilidades de conceitos; e propriedades como "possui decisão", "possui utilidade" para relacionar as classes entre si.
	Por meio de propriedades de dados	A abordagem provê propriedades de dados que representam valores de incerteza.	Os dados coletados pelos sensores poderiam ter um valor numérico associado que representasse a confiabilidade do dado. Estes valores de confiabilidade poderiam ser propagados para as informações de alto nível geradas a partir desses dados e serem utilizados em modelos de probabilidade nos quais essas informações fossem utilizadas.
	Por meio de	A abordagem	As propriedades de anotação

	propriedades de anotação	provê propriedades de anotação nas quais são codificados diferentes tipos de informações incertas.	possuem caráter de metadados na ontologia e não interferem no processo de raciocínio sobre a ontologia. Diferentes informações incertas podem ser codificadas por meio de propriedades de anotação que posteriormente podem ser utilizadas por ferramentas externas que compreendem estas informações para serem utilizadas no raciocínio incerto.
--	--------------------------	--	--

Fonte: elaborado pelo autor.

A quarta questão está representada no Quadro 18 e tem por objetivo identificar o nível de expressividade da ontologia incerta (ou seja, em qual ontologia ela está baseada). As opções de resposta dessa questão são: a) MOWL; b) OWL; c) PR-OWL; d) UNCERT; d) OWL 2; e e) Fuzzy OWL 2.

Quadro 18 - Questão sobre qual é o nível de expressividade necessário na abordagem.

Questão	Opções	Descrição	Exemplo
Qual é o nível de expressividade necessário na abordagem? (ontologia-base)	MOWL (RDF/RDFS)	O Multimedia Web Ontology Language (MOWL) possui capacidades específicas que facilitam a representação e identificação de conceitos de mídia não-numéricos como, por exemplo, imagens, áudio e vídeo.	Pode ser utilizada em um sistema de monitoramento de vida selvagem que identifica e classificando informações contidas em imagens e sons.
	OWL	Padrão de linguagem para criação de ontologias mantido pelo W3C.	Possui a expressividade do OWL e facilita a integração com sistemas pré-existentis também baseados no OWL.
	PR-OWL (OWL)	O PR-OWL é uma extensão para o OWL que visa prover capacidades de representar a	Focado em tarefas que necessitam representar e raciocinar sobre informações probabilísticas, especialmente em casos nos

		informação incerta por meio de ontologias. A representação da informação incerta nesta abordagem tem por base as Multi-Entity Bayesian Networks (MEBN).	quais há falta de informações.
	UNCERT (OWL)	Ontologia incerta fornecida no relatório final gerado pelo grupo de pesquisa URW3-XG e utilizada para classificar e explicar os cenários de incerteza propostos no relatório.	Pode ser utilizada como base para qualquer sistema que necessita classificar ou gerenciar diferentes situações e tipos de incertezas.
	OWL 2	Padrão de linguagem para criação de ontologias mantido pelo W3C.	Possui a expressividade do OWL 2 e facilita a integração com sistemas pré-existentes também baseados no OWL 2.
	Fuzzy OWL 2 (OWL 2)	Ontologia Fuzzy baseada em OWL 2 utilizada para representar a imprecisão na informação ou funções de incerteza por meio de propriedades de anotação.	Pode-se representar a informação imprecisa de forma não-invasiva, pois utiliza propriedades de anotação.

Fonte: elaborado pelo autor.

A quinta questão está representada no Quadro 19 e tem por objetivo identificar se há necessidade e preferência sobre a forma como o raciocínio incerto ocorre na ontologia incerta. As opções de resposta para essa questão são raciocínio por meio de: a) algoritmo proposto no trabalho; b) FuzzyDL; c) SWRL; d) ELog Reasoner; e e) ATMS.

Quadro 19 - Questão sobre os meios para o raciocínio sobre a informação incerta.

Questão	Opções	Descrição	Exemplo
A abordagem provê meios para o raciocínio sobre a informação incerta?	Por meio de algoritmo proposto no trabalho	A abordagem descreve a extração das informações e propriedades de incerteza da ontologia e provê um ou mais algoritmos capazes de raciocinar sobre estas informações.	A aplicação varia de trabalho para trabalho. O conjunto de situações nas quais estes algoritmos podem ser aplicados são: Processamento de Eventos Complexos, Reconhecimento de Atividades, Modelagem de Contexto Incerto, Suporte a Decisão, Confiabilidade, Tomada de Decisão e Fusão de Dados.
	FuzzyDL	O FuzzyDL é um raciocinador para ontologias incertas amplamente utilizado em conjunto com ontologias baseadas em Fuzzy OWL.	Um serviço que encontra partidas em um jogo com times adversários. O raciocinador seria capaz de classificar os jogadores em diferentes níveis de proficiência (ex.: jogador novato, jogador intermediário e jogador experiente) e criar partidas balanceadas com jogadores do mesmo nível.
	SWRL	O SWRL é uma linguagem para expressar regras e construções lógicas que permitem inferir novas informações a partir da combinação de conjuntos de premissas, potencializando o uso das ontologias OWL.	Poderia-se criar regras como: se uma pessoa X tem um pai P e esse pai P tem um irmão I, então I é tio de X.
	ELog Reasoner	O ELog é um raciocinador semântico que combina lógica descritiva com modelos Log-Linear.	Pode ser utilizado em reconhecimento de atividades para computar a ontologia mais provável a partir de uma ontologia incerta. Em outras palavras, transforma uma ontologia incerta na ontologia tradicional correspondente mais provável (permitindo assim que o raciocinador da ontologia tradicional seja utilizado).

	ATMS	<p>O Sistemas de Manutenção com Base em Suposição (Assumption-Based Truth Maintenance Systems - ATMS) é uma ferramenta complementar que permite a um raciocinador processar diferentes mundos ou situações. Estes mundos ou situações podem ser incompatíveis entre si, sendo papel do ATMS manter a coerência sobre o que é verdade em cada mundo ou situação (RAMPANARY; MONDI; DEMAZEAU, 2016).</p>	<p>Podem ser utilizados para o cálculo de probabilidade a partir de informações com diferentes níveis de confiabilidade.</p>
--	------	--	--

Fonte: elaborado pelo autor.

A sexta e última questão está representada no Quadro 20 e tem por objetivo a situação de uso pretendida para a ontologia incerta. As opções de resposta para essa questão são: a) Reconhecimento de Atividades; b) Tomada de Decisão; c) Modelagem de Contexto Incerto; d) Processamento de Eventos Complexos; e) Confiabilidade; d) Suporte a Decisão; e) Diagnóstico de Falhas; f) Reescrita de Consultas; e g) Fusão de Dados.

Quadro 20 - Questão sobre a situação de uso da ontologia incerta.

Questão	Opções	Descrição	Exemplo
Qual é a situação de uso da ontologia?	Reconhecimento de Atividades	As informações da ontologia são utilizadas para o reconhecimento das atividades dos habitantes nas <i>smart homes</i> .	A identificação ao longo do tempo de diferentes ações de um habitante em determinada sequência pode indicar a atividade executada por aquele habitante. Por exemplo, as seguintes ações executadas por um habitante da <i>smart home</i> em determinada sequência e período:

			entrar na cozinha; abrir a geladeira; pegar alimentos; e ligar o fogão; podem indicar que o habitante está realizando a atividade "cozinhar".
Tomada de Decisão	Consiste na reunião de informações por um objeto ou sistema inteligente na <i>smart home</i> que o permita decidir quais ações devem ser executadas dentro de seu contexto.		Um sistema de acompanhamento de idosos em suas <i>smart homes</i> pode estar preparado para decidir se deve ou não acionar uma ambulância de acordo com os sinais vitais do idoso.
Modelagem de Contexto Incerto	Focado na modelagem de informações incertas no contexto da IoT sem prever aplicações específicas para a ontologia.		Pode-se modelar uma ontologia ampla e genérica, como para o contexto das <i>smart homes</i> , modelando-se informações sobre cômodos, objetos e pessoas que poderia ser utilizada por dois sistemas com diferentes propósitos: um para a segurança física dos habitantes e da <i>smart home</i> ; e outro para o controle e automação de tarefas da <i>smart home</i> , como iluminação, limpeza e irrigação.
Processamento de Eventos Complexos	Busca identificar situações ou eventos a partir de múltiplas fontes de informação.		A partir de informações obtidas por meio de sensores de umidade, temperatura e gases tóxicos reportando, respectivamente, baixo nível de umidade, alta temperatura e presença de gases tóxicos poder-se-ia identificar evento complexo "incêndio" na <i>smart home</i> .
Confiabilidade	Define o nível de confiabilidade das informações na ontologia.		Pode-se atribuir um nível de confiabilidade aos sensores na <i>smart home</i> e cada informação gerada é associado o nível de confiabilidade do sensor de origem da mesma. Esta informação pode ser propagada

			<p>para níveis mais abstratos do tratamento daquela informação. Por exemplo, em um sistema de reconhecimento de atividades a confiabilidade da informação pode implicar na confiabilidade da situação reconhecida (i.e.: baixa confiabilidade na informação implicaria que a situação reconhecida possui baixa confiabilidade ou probabilidade de ser verdadeira).</p>
	<p>Suporte a Decisão</p>	<p>Provê informações relevantes para o habitante da <i>smart home</i> tomar decisões em determinados contextos.</p>	<p>Um sistema de irrigação inteligente pode verificar que a umidade do solo no jardim da <i>smart home</i> está baixa e que não há previsão de chuva para os próximos dias. A partir destas informações, o sistema pode sugerir aos habitantes da <i>smart home</i> que irriguem seu jardim e apresentar as evidências a favor dessa decisão.</p>
	<p>Diagnóstico de Falhas</p>	<p>Visa prover informações que auxiliem na identificação e compreensão de problemas em diferentes sistemas.</p>	<p>Sistemas complexos e amplos como redes de sensores sem fio em larga escala podem beneficiar-se de sistemas de suporte como para o monitoramento e diagnóstico automático de falhas.</p>
	<p>Reescrita de Consultas</p>	<p>Busca a compreensão da necessidade do usuário a partir de sua consulta de forma a recuperar informações relevantes para o mesmo.</p>	<p>Pode ser utilizado, por exemplo, para compreender a linguagem natural utilizada pelo usuário em um sistema de comandos por voz na <i>smart home</i>.</p>
	<p>Fusão de Dados</p>	<p>Agrega dados coletados de diferentes sensores sobre um mesmo</p>	<p>Diferentes sensores de temperatura em um cômodo podem prover medidas diferentes devido a sua localização na sala (ex.: um sensor pode estar</p>

		fenômeno resolvendo inconsistências ou incompatibilidade entre as diferentes fontes para prover uma informação mais precisa e confiável.	próximo a uma janela e sob incidência direto do sol) ou defeitos de fabricação. O papel da fusão de dados é tratar os dados obtidos a partir destes diferentes sensores e fornecer informações consistentes sobre a temperatura do cômodo.
--	--	--	--

Fonte: elaborado pelo autor.

Curiosamente, todas as questões, exceto uma, apresentaram opções variadas, indicando heterogeneidade nas características das ontologias incertas. Corroborando com essa afirmação, a questão sobre a situação de uso da ontologia fornece uma grande quantidade de opções (nove), ou seja, as ontologias incertas para *smart homes* disponíveis atualmente possuem diferentes características e podem ser empregadas para diferentes propósitos no contexto das *smart homes*.

A única questão com uma quantidade limitada de opções é aquela relacionada ao tipo de informação incerta que deve ser representada no cenário. Enquanto o URW3-XG descreve seis tipos de incertezas (Quadro 4), as ontologias incertas analisadas tratam efetivamente de apenas dois tipos: incompletude e imprecisão. Supostamente, isto pode ocorrer devido à falta de aplicação prática para os outros tipos de incerteza mencionados pelo URW3-XG (i.e.: ambiguidade, empírico, aleatoriedade e inconsistência) ou porque, em geral, os diferentes tipos de incerteza são amalgamados em apenas estes dois tipos (ex.: informação incompleta incorpora a incompletude, aleatoriedade, empírico e inconsistência; enquanto a informação imprecisa incorpora a vagueza e ambiguidade).

A questão com maior variedade de opções é a que se refere a situação de uso da ontologia. As ontologias disponíveis atualmente podem ser utilizadas em: reconhecimento de atividades; tomada de decisão; modelagem de contexto incerto; processamento de eventos complexos; confiabilidade; suporte a decisão; diagnóstico de falhas; reescrita de consultas; e fusão de dados. A diversidade nas situações de uso das ontologias incertas está em concordância com a heterogeneidade em suas características. Do ponto de vista deste trabalho, esta diversidade significa que há uma grande abrangência de propostas de soluções para problemas variados nos cenários de *smart homes*.

7.3 ELABORAÇÃO DE QUADRO DE REFERÊNCIA

O quadro de referência aqui proposto foi gerado a partir das características extraídas anteriormente das ontologias incertas. Este quadro sintetiza as informações obtidas e complementa as questões sobre as características das ontologias incertas. O intuito é que, uma vez que as questões estejam respondidas, o quadro de referência possa ser utilizado para identificar uma ontologia que possua as características apontadas pelas respostas das questões. O quadro de referência está representado por meio do Quadro 21.

Quadro 21 - Quadro de referência sobre ontologias incertas para *smart homes*.

Trabalho	Tipo de Incerteza	Modelo de Incerteza	Codificação da Incerteza	Ontologia-Base	Raciocínio Incerto	Situação de Uso
Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living	Incompletude	Multi-Entity Bayesian Networks (MEBN)	Classes e propriedades	PR-OWL (OWL)	Semantic Web Rule Language (SWRL) Algoritmo próprio	Processamento de Eventos Complexos Reconhecimento de Atividades
A method of meta-context ontology modeling and uncertainty reasoning in SWoT	Incompletude	Dynamic Bayesian Networks (DBN)	Classes e propriedades	OWL	Algoritmo próprio	Modelagem de Contexto Incerto
A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments	Incompletude	Teoria da Probabilidade	Classes e propriedades	UNCERT (OWL)	Assumption-Based Truth Maintenance System (ATMS)	Confiabilidade Processamento de Eventos Complexos
AGACY monitoring: A hybrid model for activity recognition and uncertainty handling	Incompletude	Teoria de Dempster-Shafer	Propriedades de dados	OWL	Algoritmo próprio	Reconhecimento de Atividades
Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning	Incompletude Imprecisão	Modelos Relacionais Probabilísticos (PRM) Abordagem Bayesiana Difusa	Classes e propriedades	OWL	Algoritmo próprio	Modelagem de Contexto Incerto

Ontology based context aware situation tracking	Incompletude	Dynamic Bayesian Networks (DBN)	Classes e propriedades	MOWL (RDF/RDFS)	Algoritmo próprio	Reconhecimento de Atividades Suporte a Decisão
FSCEP: A new model for context perception in smart homes	Imprecisão	Lógica Difusa	Classes e propriedades	Fuzzy OWL2 (OWL 2)	Algoritmo próprio	Processamento de Eventos Complexos Reconhecimento de Atividades Confiabilidade
Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach	Incompletude	Redes de Decisão	Classes e propriedades	OWL	Algoritmo próprio	Tomada de Decisão
A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	Imprecisão	Lógica Difusa	Classes e propriedades	Fuzzy OWL2 (OWL 2)	FuzzyDL	Diagnóstico de Falhas
Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning	Imprecisão	Fuzzy Dempster-Shafer Lógica Difusa	Classes e propriedades	Fuzzy OWL2 (OWL 2)	Algoritmo próprio	Processamento de Eventos Complexos
Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things	Imprecisão	Lógica Difusa	Classes e propriedades	Fuzzy OWL2 (OWL 2)	FuzzyDL	Processamento de Eventos Complexos Reescrita de Consultas

An ontology-based context model in a smart home	Incompletude Imprecisão	Nenhum	Propriedades de anotação	OWL	Não	Modelagem de Contexto Incerto
Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition	Incompletude	Teoria de Dempster-Shafer	Propriedades de dados Propriedades de anotação	OWL	Algoritmo próprio	Reconhecimento de Atividades
A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour	Imprecisão	Lógica Difusa	Classes e propriedades	Fuzzy OWL2 (OWL 2)	FuzzyDL	Reconhecimento de Atividades
A probabilistic ontological framework for the recognition of multilevel human activities	Incompletude	Log-Linear DL	Propriedades de dados	OWL 2	ELog Reasoner	Reconhecimento de Atividades
Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments	Incompletude Imprecisão	Lógica Difusa	Classes e propriedades	OWL	Algoritmo próprio	Fusão de Dados

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma vez proposto o quadro de referência, tem-se todos os componentes do *framework* proposto neste trabalho: questões sobre ontologias incertas para *smart homes*; e quadro de referência sobre ontologias incertas para *smart homes*. Por meio da combinação das opções (características de ontologias) para cada questão podemos obter, de forma simplificada, a quantidade de combinações possíveis de características de ontologias incerta:

2 (tipos de incerteza) x 6 (modelos de incerteza) x 3 (meios de codificação) x 6 (ontologias base) x 5 (abordagens para raciocínio) x 9 (situações de uso),

totalizando 9720 combinações de características de ontologias incertas no contexto dessa pesquisa. Isto significa que, entre 9720 combinações que podem ser realizadas a partir de respostas às questões sobre ontologias incertas, o pesquisador terá disponível apenas 16 ontologias incertas para *smart homes* identificadas nesta pesquisa. Certamente pode-se considerar que uma parte das combinações podem não ser coerentes como, por exemplo, utilizar um modelo probabilístico para representar a informação imprecisa (enquanto os conjuntos nebulosos são a forma mais usual de representar este tipo de informação incerta). Porém, ainda assim, haverá uma grande quantidade de combinações de características de ontologias incertas que ainda não foram exploradas e não estão disponíveis atualmente na literatura. No próximo capítulo explora-se a aplicação do *framework* e a realização de combinações de características a partir das necessidades de cenários de *smart homes* disponíveis na literatura, visando-se fornecer mais informações sobre esta questão.

8 APLICAÇÃO DO FRAMEWORK PROPOSTO

Nas etapas anteriores as informações sobre as ontologias incertas para os cenários de *smart homes* foram obtidas e organizadas em um *framework*. Neste capítulo buscou-se averiguar o produto destas etapas por meio da aplicação do *framework* em cenários de *smart homes*. Para tal, foram identificados na literatura cenários de *smart homes* que aplicam ontologias não-incertas representadas na linguagem OWL (as linguagens da família OWL são amplamente utilizadas nos cenários de *smart homes* e em outros cenários IoT) e aplicou-se o *framework* sobre alguns destes cenários para identificar uma ou mais ontologias incertas adequadas ao contexto de cada cenário. Por meio dos resultados obtidos com estas ações, demonstrou-se o uso do *framework* e foram gerados exemplos de utilização do mesmo.

8.1 IDENTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS DE *SMART HOMES*

A identificação de cenários de *smart homes* que utilizam ontologias não-incertas na linguagem OWL consistiu em duas ações: i) identificação de trabalhos que utilizam ontologias não-incertas na linguagem OWL em cenários de *smart homes*; e ii) classificação dos trabalhos de acordo com a situação de uso da ontologia. A partir destas ações gerou-se uma lista classificada de trabalhos que utilizam ontologias não-incertas na linguagem OWL nas *smart homes*.

Na primeira ação, realizou-se a obtenção de trabalhos nas bases Scopus, IEEE Xplore Digital Library e Web of Science. Na definição da metodologia desta pesquisa fora proposto buscar trabalhos dentro de um intervalo de dois anos a partir da data de busca, porém, as bases de dados não fornecem filtros de data com a precisão em dias. Sendo assim, foram recuperados trabalhos entre os anos de 2016 e 2018, filtrando-se apenas pelo ano de publicação. A busca foi realizada no dia 13 de agosto de 2018. Também foram considerados apenas trabalhos completos (artigo de conferência ou de revista) e nos idiomas Português, Espanhol ou Inglês. As expressões de busca utilizadas para a recuperação dos trabalhos nas bases estão registradas no Quadro 22.

Quadro 22 - Expressões de busca para a recuperação de ontologias não-incertas na linguagem OWL nas smart homes.

BASE	EXPRESSÃO	RECUPERADOS
Scopus	TITLE-ABS-KEY (ontology OR ontologies OR owl) AND TITLE-ABS-KEY ("smart home" OR "smart homes" OR "home automation" OR "smart house" OR "domotic" OR "digital home") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp ") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar ") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ip ")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English ") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Portuguese ") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish "))	92
IEEE XPlore Digital Library	(ontology OR ontologies OR owl) AND ("smart home" OR "smart homes" OR "home automation" OR "smart house" OR "domotic" OR "digital home")	45
Web of Science	TS=(ontology OR ontologies OR owl) AND TS=("smart home" OR "smart homes" OR "home automation" OR "smart house" OR "domotic" OR "digital home")	65

Fonte: elaborado pelo autor.

Somando-se todos resultados obtidos, foram recuperados 202 trabalhos nas bases de dados. Deste montante, identificou-se 86 trabalhos repetidos ou republicados sob diferente título; 42 trabalhos não atenderam ao requisito básico de aplicar ontologia não-incerta na linguagem OWL em cenários de *smart homes*; 3 trabalhos não possuíam o texto integral disponível; e 2 trabalhos tratavam-se apenas de proposta

teórica. Sendo assim, 133 trabalhos foram excluídos por não atenderem aos propósitos desta busca, restando para análise 69 trabalhos dos 202 trabalhos recuperados inicialmente.

Utilizando-se os 69 trabalhos selecionados, realizou-se a segunda ação proposta nesta etapa, ou seja, a classificação dos trabalhos de acordo com a situação de uso da ontologia. Para isto, analisou-se o título, resumo e - quando necessário - o texto integral de cada trabalho. O produto de cada análise foi um texto indicativo da situação de uso da ontologia no contexto do trabalho analisado. A partir desta análise, foram identificadas nove categorias de situações de uso de ontologias não-incertas na linguagem OWL nas *smart homes*. Estas categorias e suas respectivas descrições estão registradas no Quadro 23.

Quadro 23 - Categorias para situações de uso de ontologias não-incertas na linguagem OWL em cenários de smart homes.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Representação do Conhecimento	A ontologia é utilizada fundamentalmente como base do conhecimento. Representa-se o conhecimento na ontologia, utiliza-se suas funcionalidades de inferência (incluindo regras SWRL) e de consulta (por meio de SPARQL). As informações recuperadas na base do conhecimento são posteriormente utilizadas por outros mecanismos e algoritmos.
Reconhecimento de Atividades	A ontologia é utilizada para inferir atividades específicas no cenário de <i>smart homes</i> a partir das informações armazenadas.
Interoperabilidade	A ontologia modela conhecimento sobre um determinado domínio relacionado as <i>smart homes</i> tendo em vista disponibilizar um vocabulário comum para que soluções heterogêneas nas <i>smart homes</i> possam trocar informações.
Descoberta de Serviços	A ontologia é utilizada para inferir quais são os serviços mais adequados em determinadas contextos.
Tomada de Decisão	A ontologia permite inferir informações (decisões) que são utilizadas por sistemas para executar ações na <i>smart home</i> .
Suporte a Decisão	A ontologia é utilizada para auxiliar pessoas ou sistemas a tomar decisões nas <i>smart homes</i> .
Fusão de Dados	A ontologia é utilizada para conciliar diferentes informações sobre um mesmo evento de forma que gere informações mais confiáveis ou precisas sobre tal

	evento.
Modelagem de Domínio	A ontologia modela conhecimento de um determinado domínio relacionado as <i>smart homes</i> em um nível de abstração amplo sem estar voltada para uma aplicação específica.
Diagnóstico de Falhas	A ontologia é utilizada para auxiliar no diagnóstico de falhas em um determinado contexto.

Fonte: elaborado pelo autor.

No APÊNDICE K estão registrados os 69 trabalhos selecionados, juntamente com informações sobre ano, título, situação e de uso e quantidade de citações de cada trabalho. A informação sobre a quantidade de citações foi utilizada na etapa seguinte para definir os trabalhos sobre os quais o *framework* foi aplicado para a geração de exemplos de uso do mesmo.

No Quadro 24 está descrita a relação de trabalhos por categoria identificada. A partir destas informações, pode-se perceber que as ontologias não-incertas são utilizadas principalmente pelos seus atributos e funcionalidades básicas de representação do conhecimento (que envolve inferência e consulta), interoperabilidade e para o compartilhamento do conhecimento (modelagem do domínio). Apenas estas três categorias somam 47 trabalhos, ou seja, quase 70% de todos trabalhos selecionados. O restante das categorias envolve o uso da ontologia para o reconhecimento de atividades, suporte a decisão, fusão de dados, tomada de decisão, diagnóstico de falhas e descoberta de serviços. Estas situações de uso extrapolam as funcionalidades básicas da ontologia para executar tarefas mais complexas e específicas.

Quadro 24 - Relação de trabalhos por categoria identificada.

CATEGORIA	QUANTIDADE
Representação do Conhecimento	20
Interoperabilidade	16
Modelagem de Domínio	11
Reconhecimento de Atividades	9
Suporte a Decisão	7
Fusão de Dados	2
Tomada de Decisão	2
Diagnóstico de Falhas	1
Descoberta de Serviços	1
Total	69

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma suposição para justificar o maior uso das ontologias não-incertas pelas suas funcionalidades básicas seria o menor custo de uso destas funcionalidades. O custo se refere ao tempo necessário para o aprendizado e aplicação da tecnologia já existente (a ontologia OWL). Nestes casos, as tarefas menos custosas se referem a construção da ontologia e a criação regras de inferência e de consultas para recuperação de informações.

Já os usos mais sofisticados (custosos) da ontologia como, por exemplo, o reconhecimento de atividades, exige a compreensão avançada das capacidades e limitações da ontologia OWL. Por meio desta compreensão, o cientista é capaz de adaptar a ontologia ou utilizá-la de modo não tradicional para atender a tarefas específicas. Além disso, a compreensão da tarefa em si (no exemplo, o reconhecimento de atividades nas *smart homes*) também é necessária para que a ontologia seja utilizada de forma que atenda às necessidades específicas da tarefa.

O uso mais amplo das ontologias não-incertas na linguagem OWL pelas suas funcionalidades básicas também pode ser vista como evidência da necessidade de um *framework* no qual as ontologias incertas disponíveis possam ser consultadas. O *framework* visa facilitar

o acesso e seleção de ontologias incertas para serem utilizadas nas *smart homes*. Assim, por meio do *framework* busca-se reduzir as necessidades de compreensão avançada do tópico de ontologias incertas de forma a possibilitar que ontologias e técnicas possam ser escolhidas e utilizadas em cenários de *smart homes*.

8.2 APLICAÇÃO DO FRAMEWORK NOS CENÁRIOS DE *SMART HOMES*

Realizou-se a aplicação do *framework* como ferramenta de referência nos cenários de *smart homes* identificados na seção anterior por meio de três ações: i) identificação dos trabalhos com maior quantidade de citações para cada categoria identificada anteriormente; ii) geração de respostas para as questões do *framework* para cada trabalho selecionado; e iii) identificação no *framework* de uma ou mais ontologias incertas que atendam aos requisitos de cada trabalho selecionado. A partir destas ações, demonstrou-se o uso do *framework* e foram gerados exemplos de uso do mesmo relacionados a cada trabalho sobre o qual o *framework* foi aplicado.

Na primeira ação, identificou-se o trabalho com maior quantidade de citações de cada categoria representada no Quadro 24. Quando houve empate (trabalhos com a mesma quantidade de citações), selecionou-se o trabalho que apresentou a descrição mais detalhada sobre a aplicação da ontologia OWL em seu cenário. Este critério de desempate foi definido buscando-se selecionar o trabalho com maior quantidade de informações sobre o uso da ontologia OWL de forma que facilitasse a geração de respostas para as questões do *framework*. No Quadro 25 estão registrados os trabalhos selecionados para cada categoria.

Quadro 25 - Trabalhos selecionados para cada categoria de uso das ontologias não-incertas na linguagem OWL.

CATEGORIA	TRABALHO SELECIONADO
Representação do Conhecimento	Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes (TAO; OTA; DONG, 2016)
Reconhecimento de Atividades	Semantic segmentation of real-time sensor data stream for complex activity recognition (TRIBOAN <i>et al.</i> , 2017)
Interoperabilidade	Multi-layer cloud architectural model and ontology-based security service framework for IoT-based smart homes (TAO <i>et al.</i> ,

	2016)
Descoberta de Serviços	Towards adaptive control in smart homes: Overall system design and initial evaluation of activity recognition (WANG <i>et al.</i> , 2017)
Tomada de Decisão	Development of an Ontology Based Solution for Energy Saving Through a Smart Home in the City of Adrar in Algeria (SABA <i>et al.</i> , 2018)
Suporte a Decisão	A semantic approach with decision support for safety service in smart home management (HUANG <i>et al.</i> , 2016)
Fusão de Dados	Ontology-based sensor fusion activity recognition (NOOR; SALCIC; WANG, 2018)
Modelagem de Domínio	A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes (NI; DE LA CRUZ; HERNANDO, 2016)
Diagnóstico de Falhas	Knowledge-Based Fault Propagation in Building Automation Systems (DIBOWSKI; HOLUB; ROJÍCEK, 2016)

Fonte: elaborado pelo autor.

Nos apêndices L e M estão registradas as respostas obtidas e as ontologias incertas selecionadas a partir das respostas obtidas para cada trabalho. Em seguida, de modo ilustrativo, o processo de geração de respostas para as questões do *framework* e seleção de ontologia incerta adequada a estas respostas é descrito em detalhes para um dos trabalhos selecionados. A aplicação do *framework* nos cenários de *smart homes* identificados teve por base o fluxo de aplicação ilustrado (Figura 25) e descrito no capítulo de procedimentos metodológicos.

8.2.1 Towards adaptive control in smart homes: Overall system design and initial evaluation of activity recognition

Neste trabalho, Wang *et al.* (2017) propõem um sistema de controle adaptativo para *smart homes*. Os objetivos básicos deste sistema são realizar o reconhecimento das atividades dos habitantes das *smart homes*, identificar os serviços relacionados a estas atividades e executar ações (disparar serviços) relevantes automaticamente para estas atividades. Por exemplo, o sistema poderia detectar que o usuário está assistindo televisão na sala de estar de sua *smart home* e

automaticamente reduzir a iluminação no cômodo em questão e aumentar o volume da televisão.

No cenário descrito, a ontologia é utilizada para realizar o relacionamento entre as atividades (ex.: assistir televisão), serviços (ex.: controle de iluminação e controle de volume da televisão) e dispositivos (sensores e atuadores). Sendo assim, a situação de uso da ontologia é a descoberta de serviços. Uma vez que estas informações estão mapeadas, o sistema consulta a ontologia para descobrir os serviços e dispositivos associados a determinada atividade detectada pelo sistema. As informações recuperadas a partir da ontologia são então utilizadas por outra parte do sistema para executar ações automaticamente.

Em relação ao tipo de informação incerta a ser representada, a proposta de Wang *et al.* (2017) seria beneficiada pela representação da informação imprecisa. Considerando que a abordagem utiliza a ontologia para associar sensores e serviços a atividades, a representação da informação imprecisa permitiria realizar estas associações com diferentes níveis de pertencimento (um sensor pode estar associado a uma atividade em maior ou menor grau).

Não há informações suficientes na pesquisa para determinar o modelo de representação da informação incerta de preferência a ser utilizado. Além disso, não há preferência na forma como as propriedades de incerteza serão codificados na ontologia, considerando-se que no trabalho os autores constroem sua própria ontologia.

Quanto ao nível de expressividade necessário da abordagem, o emprego da ontologia está focado no relacionamento entre entidades, de forma que permita a recuperação de serviços e dispositivos relacionadas a uma atividade. Sendo assim, não há requisitos complexos que a ontologia deverá atender, podendo-se utilizar abordagens baseadas na linguagem OWL ou Fuzzy OWL 2.

Em relação a capacidade de raciocínio da abordagem, o trabalho de Wang *et al.* (2017) menciona o problema de mapeamento múltiplo, no qual um sensor pode estar associado a mais de uma atividade, prejudicando a classificação de atividades. Nesse caso, o raciocínio sobre a informação imprecisa pode identificar a força da relação (grau de pertencimento) de um sensor com uma atividade (o quanto o sensor está de fato relacionado àquela atividade) e auxiliar na identificação das relações mais relevantes de sensores com atividades. Um raciocinador capaz de lidar com a informação imprecisa neste contexto é o FuzzyDL. No Quadro 26 estão sumarizadas as respostas fornecidas para cada questão.

Quadro 26 - Sumarização das respostas para o trabalho na categoria Descoberta de Serviços.

QUESTÃO	RESPOSTA
Quais tipos de informação incerta devem ser representadas?	Informação Imprecisa
Qual é o modelo de representação da informação incerta de preferência utilizado?	Indeterminado
Como as propriedades de incerteza estão codificadas na ontologia?	Não há preferência
Qual é o nível de expressividade necessário na abordagem?	OWL; Fuzzy OWL 2
A abordagem provê meios para o raciocínio sobre a informação incerta?	Sim
Qual é a situação de uso da ontologia?	Descoberta de Serviços

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir das informações no Quadro 26, realizou-se a seleção de uma ontologia no quadro de referência do *framework*. A seguinte filtragem foi realizada:

- Oito abordagens são capazes de lidar com a informação imprecisa;
- O modelo de representação da informação incerta de preferência não pôde ser determinado;
- Não se identificou preferência na forma de codificação das propriedades de incerteza;
- Oito abordagens atendem ao requisito de expressividade (utilizam OWL ou Fuzzy OWL 2);
- Quatro abordagens proveem algoritmo próprio para realizar o raciocínio sobre a informação incerta; três abordagens utilizam o FuzzyDL para realizar o raciocínio sobre a informação incerta; e uma abordagem não prevê um mecanismo para raciocínio sobre a informação incerta;
- Nenhuma das abordagens está focada na situação de uso de descoberta de serviços.

A filtragem deve ser interpretada da seguinte maneira: para cada característica, apenas um conjunto de propostas é selecionado (aquelas

que atendem à característica buscada); na avaliação da característica seguinte, apenas as propostas que atenderam a todas as características anteriores são avaliadas.

A partir da filtragem realizada com base nos requisitos representados no Quadro 26, identificou-se sete ontologias incertas que atendem aos requisitos buscados. Estas ontologias estão registradas no Quadro 27.

Quadro 27 - Abordagens (ontologias incertas) selecionadas a partir da filtragem realizada para o trabalho na categoria Descoberta de Serviços.

ABORDAGEM
Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning
FSCEP: A new model for context perception in smart homes
A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks
Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning
Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things
A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour
Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments

Fonte: elaborado pelo autor.

Para reduzir a quantidade de opções, o pesquisador pode identificar qual característica da ontologia incerta possui maior impacto em seu cenário. Por exemplo, o pesquisador poderia definir que deseja utilizar abordagens que implementem apenas algoritmos conhecidos para o raciocínio incerto. Neste caso, restariam apenas três ontologias incertas (as que utilizam FuzzyDL) restringindo suas opções a abordagens que atendam suas necessidades de forma mais adequada.

Convém notar que as inferências realizadas a partir das informações extraídas (ex.: com base na informação X, esse cenário se beneficiaria da representação da informação incompleta) não são definitivas e cada cenário específico pode apresentar características similares, mas que geram respostas diferentes para as questões. Em outras palavras, cada cenário pode possuir um conjunto de características, não apenas uma, que influenciam na seleção de uma opção para as questões do *framework*. Além disso, não foi avaliado a

influência na ordem de resposta das questões do *framework* e na ordem de filtragem das ontologias no quadro de referência. Porém acredita-se que pode haver variação na relevância das questões do *framework* de acordo com as necessidades específicas de cada cenário de *smart home*.

O papel pretendido para o *framework* proposto é servir como ferramenta de referência na identificação de ontologias incertas adequadas aos cenários de *smart homes*. A partir dos exemplos gerados, pode-se perceber que não se trata de uma ferramenta precisa para determinar com exatidão uma ontologia incerta para determinado cenário. Isto ocorre, pois, esta ferramenta de referência depende do conhecimento e experiência do pesquisador que a utilizará para avaliar seu cenário-alvo. Sendo assim, seu papel principal é de ferramenta auxiliar e sua efetividade depende tanto de sua abrangência (questões utilizadas na avaliação das necessidades de representação da informação incerta e opções de ontologias incertas) quanto do pesquisador que irá utilizá-la.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da falta de uma referência sobre a disponibilidade e uso de ontologias incertas, neste trabalho questionou-se sobre como realizar a seleção de ontologias incertas adequadas às necessidades específicas dos cenários de *smart homes*. Para responder a esta questão, um *framework* de ontologias incertas para *smart homes* foi proposto e desenvolvido. Além disso, aplicou-se o *framework* em cenários de *smart homes*, identificando-se suas necessidades e ontologias incertas correspondentes, para demonstrar e gerar exemplos de uso do mesmo.

Durante o desenvolvimento do *framework*, foram identificados trabalhos que propõem ou aplicam ontologias incertas nos cenários de *smart homes* (16 trabalhos). Em comparação com a quantidade de trabalhos que propõem ontologias não-incertas na linguagem OWL nas *smart homes* (69 trabalhos), essa parece ser uma quantidade relativamente pequena de trabalhos. Esta ideia é reforçada se considerarmos que os 16 trabalhos sobre ontologias incertas foram pesquisados nas bases de dados sem restrição de tempo (ou seja, um período, em geral, maior que 10 anos), enquanto as buscas de trabalhos sobre ontologias não-incertas limitaram-se apenas aos últimos dois anos.

Cabe aqui questionar se a baixa ocorrência de trabalhos sobre ontologias incertas deve-se a baixa aplicabilidade dessas ontologias deve-se a falta de padrões oficiais e uma referência na qual estas ontologias possam ser consultadas. Uma vez que foram recuperados e analisados os trabalhos que propõem ou utilizam ontologias incertas, pôde-se verificar a heterogeneidade de propósitos destes trabalhos. Verificou-se que os objetivos destes trabalhos estão voltados para a proposição de *frameworks*, algoritmos, arquiteturas, abordagens e modelos ou extensões de modelos. Além disso, as situações de uso das ontologias nestes trabalhos também são variadas: reconhecimento de atividades; tomada de decisão; modelagem de contexto incerto; processamento de eventos complexos; confiabilidade; suporte a decisão; diagnóstico de falhas; reescrita de consultas; e fusão de dados.

Apesar de não haver um padrão oficial e poucos trabalhos empregarem ontologias incertas nos cenários de *smart homes*, a variedade de propósitos destes trabalhos e situações de uso das ontologias é grande. Nesse caso, justifica-se supor que caso houvesse um padrão oficial para ontologias incertas, esta tecnologia estaria mais acessível e assim seu uso seria mais difundido.

A W3C, principal entidade internacional de padrões abertos para a Web, incubou o grupo de trabalho URW3-XG tendo em vista o

aprofundamento do tema sobre raciocínio e representação da informação incerta na Web. Porém apesar de gerar um extenso relatório final sobre os resultados de seu trabalho, o grupo não tinha o intuito de gerar um padrão para ontologias incertas. O URW3-XG foi incubado entre 2007 e 2008. Desde então, não há registro de outros grupos de pesquisa incubados pela W3C que focaram neste tema.

Atualmente, uma ontologia incerta que mais se aproxima de um padrão é o Fuzzy OWL 2 de Bobillo e Straccia (2011). A proposta é amplamente documentada na Web e inclusive possui plugins para um dos editores de ontologia mais difundidos, o Protegé. Nesse sentido, cinco das seis ontologias incertas identificadas que empregam lógica difusa utilizam por base o Fuzzy OWL 2. Diante do exposto, parece ser claro que quanto mais as informações sobre ontologias incertas estiverem acessíveis e formalizadas, seu uso será mais difundido. Assim sendo, o tema sobre a criação de padrões oficiais para ontologias incertas deveria ser considerado pelas entidades tradicionalmente responsáveis pelo assunto.

Tendo em vista mitigar a falta de um padrão para escrita de ontologia incerta e de uma referência na qual as ontologias incertas disponíveis possam ser consultadas, espera-se que o *framework* proposto neste trabalho possa ser utilizado para selecionar ontologias incertas adequadas a diferentes situações nas *smart homes*. Por exemplo, partindo do pressuposto que um projetista precisa adaptar um sistema de termostato inteligente para que possa ser configurado por comandos de voz, o projetista identifica, por meio do conjunto de questões do *framework*, que a informação incerta que seu sistema precisa representar é do tipo vaga devido à interação por voz dos habitantes com o sistema. Além disso, o projetista também identifica que a codificação da incerteza deve ser realizada por meio de anotações, de modo que as alterações em seu sistema não sejam intrusivas. Após a identificação das necessidades de representação para sua situação, o projetista consulta o quadro de referência do *framework* e verifica quais ontologias possuem as características identificadas anteriormente, selecionando para seu cenário a ontologia incerta que possa atender à maior quantidade de características identificadas.

Outra consequência do *framework* desenvolvido é a possibilidade de verificar as lacunas que possam existir com relação às características das ontologias incertas disponíveis para as *smart homes*. As questões que compõem o *framework* auxiliam na identificação das necessidades de representação da incerteza em determinada situação e sua tabela de referência auxilia na seleção de uma abordagem adequada para tal

situação. Porém pode não haver uma ontologia incerta que apresente a combinação de características necessárias para determinada situação.

Por exemplo, um sistema de Ambiente de Vida Assistida fictício baseado em ontologias foi projetado para permitir que idosos façam pedidos de refeições por comandos de voz. Porém os idosos podem não lembrar com exatidão o nome das refeições e assim frequentemente as descrevem ao invés de usar seus nomes exatos. Nesse caso, um pedido de refeição poderia ser realizado da seguinte maneira “desejo uma refeição apimentada e com poucos legumes” ao invés de utilizar-se o nome exato da refeição. Para atender a estas situações, o projetista identifica que o sistema deve ser capaz de compreender o que as expressões vagas “uma refeição apimentada” e “poucos legumes” significam para o idoso. Sendo assim, o projetista gostaria de adicionar a capacidade de representação da informação vaga ao sistema sem grandes alterações, sendo isto possível por meio de anotações na ontologia. Porém pode não haver uma ontologia incerta capaz de representar a informação vaga por meio de anotações, como seria adequado às necessidades de representação identificadas pelo projetista para o seu contexto. Esta situação pode significar uma carência no ferramental disponível atualmente para a representação da informação incerta.

As ontologias incertas disponíveis na literatura atualmente podem fornecer pistas sobre as necessidades de representação da informação incerta nas *smart homes* e outros cenários IoT. Em outras palavras, as ontologias incertas criadas e empregadas pelos projetistas e desenvolvedores de sistemas de informação baseados na IoT refletem seus problemas e necessidades de representação da informação incerta. Sendo assim, estas informações podem ser utilizadas por iniciativas voltadas para a padronização de linguagens para a criação de ontologias incertas. Por meio do quadro de referência do *framework* proposto neste trabalho, será possível verificar os problemas e situações para as quais as ontologias incertas disponíveis atualmente foram criadas e, com isso, os esforços nas iniciativas poderão ser direcionados de acordo com as necessidades dos profissionais interessados no desenvolvimento e uso de ontologias incertas.

A representação da informação incerta por si só possui potencial para aprimorar as aplicações para *smart homes* e IoT. Entretanto convém mencionar que as ontologias incertas podem e devem ser combinadas com diferentes tecnologias, como o Big Data e Aprendizagem de Máquina, para a criação de aplicações cada vez mais inteligentes e proativas. Por meio do *framework* desenvolvido, espera-se

gerar oportunidades para que estas aplicações possam ser desenvolvidas e possam elevar a qualidade e capacidade dos cenários das *smart homes* tendo em vista principalmente as necessidades e bem-estar das pessoas.

Em relação ao campo da CI, as contribuições do campo em vista dos problemas informacionais nas *smart homes* e outros cenários da IoT ainda estão em sua fase inicial. Isto pode ser justificado pelo recente desenvolvimento acelerado do paradigma IoT e, conseqüentemente, de sua importância na sociedade (ROZSA *et al.*, 2017). Por meio do estudo realizado neste trabalho sobre a aplicação de ontologias incertas nas *smart homes*, a CI contribui para o desenvolvimento deste cenário com base em uma de suas disciplinas tradicionais, a representação do conhecimento.

Por outro lado, o desenvolvimento dos cenários da IoT beneficia o campo da CI. O paradigma da IoT está apto a contribuir para o campo da CI, principalmente por meio do emprego de aplicações que podem facilitar e melhorar o acesso à informação. Por exemplo, pode-se criar aplicações para gerir e facilitar o acesso as informações de acervos de unidades de informações (ex.: bibliotecas, museus e arquivos) (ROZSA *et al.*, 2017). Além disso, por meio da coleta e monitoramento automatizados, as aplicações baseadas na IoT podem auxiliar no desenvolvimento de pesquisas científicas que dependem destas capacidades.

Por fim, espera-se que este trabalho possa servir de referência tanto para futuros trabalhos sobre ontologias incertas quanto para trabalhos que visam aplicar soluções diversas - não apenas voltadas para ontologias - baseadas ou de origem no campo da CI na IoT. Considerando-se que ainda são escassos os trabalhos que realizam o relacionamento entre CI e IoT, tem-se nesta dissertação uma abordagem que justifica este relacionamento na teoria e na prática.

9.1 TRABALHOS FUTUROS

A proposta de extração de informações nesta pesquisa focou-se na obtenção de informações por meio da leitura das propostas identificadas na RSL. Entretanto, algumas informações que poderiam ser relevantes para os profissionais interessados na escolha das ontologias incertas, como desempenho e flexibilidade da abordagem, declaradas no trabalho dos autores podem ser tendenciosas. Diante disso, um possível tema para trabalhos futuros em vista do desenvolvimento do *framework* seria o levantamento de informações por meio de testes sobre a implementação e aplicação das ontologias

(ex.: desempenho, flexibilidade, viabilidade); e sua comparação com as outras abordagens identificadas no *framework* de ontologias incertas para *smart homes*.

Além disso, de acordo com as propostas de ontologias incertas identificadas, é possível verificar o foco na representação da informação incompleta e imprecisa. Futuros trabalhos para a padronização de formatos para ontologias incertas poderiam estar focados no aprofundamento das necessidades e capacidades de representação da informação incerta destes dois tipos. Por outro lado, estudos sobre a viabilidade da aplicação de conceitos sobre outros tipos de informação incerta (ex.: aleatoriedade e atualidade da informação) também parece ser um tema que merece ser melhor explorado.

Por fim, as capacidades de representação e processamento da informação incerta estão diretamente relacionadas aos modelos de incerteza nas quais as ontologias baseiam-se. Sendo assim, esta é uma característica chave das ontologias incertas que pode ser melhor explorada. Por meio da análise dos modelos de incerteza pode-se identificar quais são as situações fundamentais que cada modelo procura atender e como suas capacidades poderiam ser refletidas nas ontologias incertas e aplicadas nos cenários das *smart homes* e outros cenários da IoT.

REFERÊNCIAS

- ABDMEZIEM, M. R.; TANDJAOU, D.; ROMDHANI, I. Architecting the Internet of Things: State of the Art. *In*: KOUBAA, A.; SHAKSHUKI, E. (ed.). **Robots and Sensor Clouds**, [s. l.]: Springer International Publishing, 2016. p. 55-75. (Studies in Systems, Decision and Control).
- AIRBOXLAB. **FooBot Home Air Quality Monitor: Good Air, Good Vibes**. 2017. Disponível em: <https://foobot.io/>. Acesso em: 04 out. 2017.
- ALAM, M. R.; REAZ, M. B. I.; ALI, M. A. M. A Review of Smart Homes - Past, Present, and Future. **IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, Part C: Applications And Reviews**, [s. l.], v. 42, n. 6, p.1190-1203, nov. 2012.
- ALDRICH, F. K. Smart Homes: Past, Present and Future. *In*: HARPER, R. (ed.). **Inside the Smart Home**. London: Springer, 2003. p. 17-39.
- ALMEIDA, A.; LÓPEZ-DE-IPÍÑA, D. Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments. *In*: 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF UBIQUITOUS COMPUTING AND AMBIENT INTELLIGENCE (UCAMI), 5., 2011, México. **Proceedings [...]**. Ucam, 2011.
- AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [s. l.], v. 17, n. 4, p.2347-2376, 2015.
- ANDERSON, T. D. Uncertainty in action: observing information seeking within the creative processes of scholarly research. **Information Research: An International Electronic Journal**, [s. l.], v. 12, n. 1, 2006.
- ARAÚJO, C. A. A. **Arquivologia, Biblioteconomia, Museologia e Ciência da Informação: o diálogo possível**. Brasília, Briquet de Lemos, 2014. 200 p.
- ASHTON, K. **That 'Internet of Things' Thing: In the real world, things matter more than ideas**. 22 jun. 2009. Disponível em: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>. Acesso em: 04 out. 2017.

ATKINSON, P. The Curious Case of the Kitchen Computer: Products and Non-Products in Design History. **Journal Of Design History**, [s. l.], v. 23, n. 2, p.163-179, 1 jun. 2010.

ATREYAM, S. *et al.* **IDC's Worldwide IoT Infrastructure Taxonomy**. Framingham, MA. mar. 2017. p.11.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, [s. l.], v. 54, n. 15, p.2787-2805, out. 2010.

AUGUST HOME. **August Smart Lock: Keyless Door Lock For A Smarter Home**. San Francisco, 2017. Disponível em: <http://august.com/products/august-smart-lock/>. Acesso em: 29 jun. 2017.

BATES, M. J. Subject Access in Online Catalogs: A Design Model. **Journal of the American Society for Information Science**, [s. l.], v. 37, n. 6, p.357-376, 1986.

BELKIN, N. J. Anomalous states of knowledge as a basis for information retrieval. **Canadian Journal of Information Science**, [s. l.], v. 5, n. 1, p.133-143, 1980.

BELKIN INTERNATIONAL. **Wemo® Switch Smart Plug**. 2017. Disponível em: <http://www.belkin.com/us/F7C027/p/P-F7C027/>. Acesso em: 04 out. 2017.

BENAZZOZ, Y.; AKTOUF, O.; PARISSIS, I. A Fault Fuzzy-ontology for Large Scale Fault-tolerant Wireless Sensor Networks. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 35, p.203-212, 2014.

BERTSEKAS, D. P.; TSITSIKLIS, J. N. **Introduction to Probability**. Belmont, MA, Athena Scientific, 2000. 284 p.

BESBES, G.; ZGHAL, H. B. Fuzzy ontology-based Medical Information Retrieval. **IEEE International Conference On Fuzzy Systems (Fuzzy-IEEE)**, [s. l.], p.178-185, jul. 2016.

BEZDEK, J. Fuzzy models—What are they, and why? [Editorial].

IEEE Transactions On Fuzzy Systems, [s. l.], v. 1, n. 1, p.1-6, fev. 1993.

BOBILLO, F.; STRACCIA, U. Fuzzy ontology representation using OWL 2. **International Journal Of Approximate Reasoning**, [s. l.], v. 52, n. 7, p.1073-1094, out. 2011.

BONINO, D.; CORNO, F. DogOnt - Ontology Modeling for Intelligent Domotic Environments. *In: 7TH INTERNATIONAL SEMANTIC WEB CONFERENCE*, 7., 2008, Karlsruhe, Germany. **Proceedings [...]**. Karlsruhe: Springer, 2008. p. 790 - 803.

BORGIA, E. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. **Computer Communications**, [s. l.], v. 54, p.1-31, dez. 2014.

BORST, W. N. **Construction of Engineering Ontologies For Knowledge Sharing and Reuse**. 243 f. Tese (Doutorado). Institute for Telematica and Information Technology, Universidade de Twente, Enschede, Holanda, 1997.

BOUNEGRU, L. **Smart Houses: From Managing the House at a Distance to the management of Life Itself**. University of Amsterdam. 2009.

BRUSH, B. A. J. B. *et al.* Home automation in the wild. **Proceedings Of The 2011 Annual Conference On Human Factors In Computing Systems - Chi '11**, [s.l.], p.2115-2124, 2011.

BUCKINGHAM, A. **The history of home automation from the beginning**. 2015. Disponível em: <https://betanews.com/2015/08/24/the-history-of-home-automation-from-the-beginning/>. Acesso em: 04 out 2017.

BUCKLAND, M. K. Information as thing. **Journal Of The American Society For Information Science**, [s. l.], v. 42, n. 5, p.351-360, jun. 1991.

CARVALHO, R.N.; LASKEY, K.B.; COSTA, P.C.G. PR-OWL 2.0 - Bridging the Gap to OWL Semantics. *In: BOBILLO, F. et al. (eds.)*

URSW 2008-2010/UniDL 2010. **Proceedings** [...]. LNCS (LNAI), vol. 7123, p. 1–18. Springer, Heidelberg (2013)

CASE, D. O. **Looking for Information: A Survey of Research on Information Seeking, Needs, and Behavior**. San Diego, CA, Academic Press, 2002. 350 p.

CHAUDHURY, S.; MALLIK, A.; GHOSH, H. **Multimedia ontology: representation and applications**. Boca Raton, Florida, CRC Press, 2015. 275 p.

CHETAN, C.; TEJASWINI, N. P. Applications and Challenges of Internet-of-Things- A Survey. **International Journal for Scientific Research & Development**, [s. l.], v. 3, n. 11, p.521-524, 2016.

CHOWDHURY, S.; GIBB, F.; LANDONI, M. Uncertainty in information seeking and retrieval: A study in an academic environment. **Information Processing & Management**, [s. l.], v. 47, n. 2, p.157-175, mar. 2011.

COLE, C. Shannon Revisited: Information in Terms of Uncertainty. **Journal of the American Society for Information Science**, [s. l.], v. 44, n. 4, p.204-211, 1993.

COOK, D. J. How Smart Is Your Home? **Science**, [s. l.], v. 335, n. 6076, p.1579-1581, 29 mar. 2012.

CORNO, F.; RAZZAK, F. SAT based enforcement of domotic effects in smart environments. **Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing**, [s. l.], v. 5, n. 4, p.565-579, 23 abr. 2013.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 296 p.

DALTON, J; NUTTER, B. **Decision Network (Influence Diagram) Analyses in HydeNet**. 07 jan. 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/HydeNet/vignettes/DecisionNetworks.html>. Acesso em: 12 out. 2017.

DEBNATH, L.; BASU, K. A short history of probability theory and its

applications. **International Journal Of Mathematical Education In Science And Technology**, [s. l.], v. 46, n. 1, p.13-39, 22 ago. 2015.

DIAMANTINI, C. *et al.* A goal-oriented, ontology-based methodology to support the design of AAL environments. **Expert Systems With Applications**, [s. l.], v. 64, p.117-131, dez. 2016.

DIBOWSKI, H.; HOLUB, O.; ROJÍCEK, J. Knowledge-Based Fault Propagation in Building Automation Systems. *In*: 2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS INFORMATICS, MODELLING AND SIMULATION (SIMS), 2016. **Proceedings [...]**. Riga, Latvia: IEEE, 2016. p. 124 - 132.

DING, Z.; CHEN, Z.; YANG, Q. IoT-SVKSearch: a real-time multimodal search engine mechanism for the internet of things. **International Journal of Communication Systems**, [s. l.], v. 27, n. 6, p.871-897, set. 2013.

DISCOVERING ANTARCTICA. **Climate change: past and future**. 2017. Disponível em: <http://discoveringantarctica.org.uk/oceans-atmosphere-landscape/atmosphere-weather-and-climate/climate-change-past-and-future/>. Acesso em: 12 out. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. **X10**. 26 ago. 2016. Disponível em: https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/home/domotics-and-home-automation/x10_en. Acesso em: 04 out. 2017.

FAGGIN, F. *et al.* The history of the 4004. **IEEE Micro**, [s. l.], v. 16, n. 6, p.10-20, 1996.

GAYATHRI, K. S.; EASWARAKUMAR, K. S.; ELIAS, S. Probabilistic ontology based activity recognition in smart homes using Markov Logic Network. **Knowledge-based Systems**, [s. l.], v. 121, p.173-184, abr. 2017.

GHAHRAMANI, Z. An introduction to hidden Markov models and Bayesian networks. **International Journal Of Pattern Recognition And Artificial Intelligence**, [s. l.], v. 15, n. 01, p.9-42, fev. 2001.

GHAHRAMANI, Z. Learning dynamic Bayesian networks. **Adaptive**

Processing Of Sequences And Data Structures. Springer, Berlin, Heidelberg, p.168-197, 1998.

GHAYVAT, H. *et al.* WSN- and IOT-Based Smart Homes and Their Extension to Smart Buildings. **Sensors (Basel)**, [s. l.], v. 15, n. 5, p.10350-10379, maio 2015.

GIGLI, M.; KOO, S. Internet of Things: Services and Applications Categorization. **Advances In Internet Of Things**, [s. l.], v. 01, n. 02, p.27-31, 2011. Scientific Research Publishing.

GRINSTEAD, C. M.; SNELL, J. L. **Introduction to Probability**. 2. ed., American Mathematical Society, Providence, RI, 1997. 510 p.

GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge Acquisition**, [s. l.], v. 5, n. 2, p.199-220, jun. 1993.

GRUBER, T. R. Ontology. *In*: LIU, L.; ÖZSU, T. (eds.) **Encyclopedia of database systems**. Springer, Boston, MA. 2009.

GRUBER, T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? **International Journal Of Human-computer Studies**, [s. l.], v. 43, n. 5-6, p.907-928, nov. 1995.

GUARINO, N.; OBERLE, D.; STAAB, S. What is an Ontology? *In*: STAAB, S; STUDER, R. (eds.). **Handbook on ontologies**. 2009. p.1-17.

GUBBI, J. *et al.* Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 29, n. 7, p.1645-1660, set. 2013.

GUTH, J. *et al.* Comparison of IoT platform architectures: A field study based on a reference architecture. *In*: Cloudification Of The Internet Of Things (CIoT), 2016. **Proceedings [...]**. Paris, France. IEEE, nov. 2016, p.1-6.

GYRARD, A. *et al.* A Semantic Engine for Internet of Things: Cloud, Mobile Devices and Gateways. *In*: 9th International Conference On

Innovative Mobile And Internet Services In Ubiquitous Computing, 2015. **Proceedings [...]**. Blumenau, Brazil. IEEE, jul. 2015, p.1-6.

HARPER, R. Inside the Smart Home: Ideas, Possibilities and Methods. *In: HARPER, R. (ed.) **Inside the Smart Home***. London: Springer, 2003, p. 1-13.

HATZIARGYRIOU, N. *et al.* Microgrids. **IEEE Power And Energy Magazine**, [s. l.], v. 5, n. 4, p.78-94, jul. 2007.

HELAOUI, R.; RIBONI, D.; STUCKENSCHMIDT, H. A probabilistic ontological framework for the recognition of multilevel human activities. *In: Of The 2013 ACM International Joint Conference On Pervasive And Ubiquitous Computing - Ubicomp '13, 2013. **Proceedings [...]***. [s. l.], 2013, p.345-354.

HENRICKSEN, K.; INDULSKA, J. Modelling and using imperfect context information. *In: Of The Second Annual Conference On Pervasive Computing And Communications Workshops, 2004. **Proceedings [...]***. Orlando, Florida: IEEE, mar. 2004 p.33-37.

HENRY, N. L. Knowledge Management: A New Concern for Public Administration. **Public Administration Review**, [s. l.], v. 34, n. 3, p.189-196, maio 1974.

HIREMATH, S.; YANG, G.; MANKODIYA, K. Wearable Internet of Things: Concept, Architectural Components and Promises for Person-Centered Healthcare. *In: Of The 4th International Conference On Wireless Mobile Communication And Healthcare, 2014. **Proceedings [...]*** Atenas, Grécia: IEEE, 2014, p.304-307.

HNAT, T. W. *et al.* The hitchhiker's guide to successful residential sensing deployments. *In: Proceedings Of The 9th Acm Conference On Embedded Networked Sensor Systems - Sensys '11, 2011. **Proceedings [...]***. Seattle, Washington, 2011, p.232-245.

HOURALI, M.; MONTAZER, G. A. An Intelligent Information Retrieval Approach Based on Two Degrees of Uncertainty Fuzzy Ontology. **Advances In Fuzzy Systems**, [s. l.], v. 2011, p.1-11, 2011.

HUANG, C. C.; LIU, A.; ZHOU, P. C. Using Ontology Reasoning in Building a Simple and Effective Dialog System for a Smart Home System. *In: IEEE International Conference On Systems, Man, And Cybernetics*, 2015. **Proceedings** [...]. Kowloon, China, out. 2015, p.1508-1513.

HUANG, X. *et al.* A Semantic Approach with Decision Support for Safety Service in Smart Home Management. **Sensors (Basel)**, [s. l.], v. 16, n. 8, p.1-29, 3 ago. 2016.

ISOTANI, S.; BITTENCOURT, I. I. **Dados abertos conectados: Em busca da Web do Conhecimento**. São Paulo: Novatec, 2015. 176 p.

INFIELD, G. A Computer in the Basement? **Popular Mechanics**, [s. l.], v. 129, n. 4, p. 77- 79, abr. 1968.

IOT ANALYTICS. **The 10 most popular Internet of Things applications right now**. 2 fev. 2015a. Disponível em: <https://iot-analytics.com/10-internet-of-things-applications/>. Acesso em: 13 out. 2017.

IOT ANALYTICS. **IOT PLATFORMS: The central backbone for the Internet of Things**, nov. 2015b. 24 p. Disponível em: <http://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2016/01/White-paper-IoT-platforms-The-central-backbone-for-the-Internet-of-Things-Nov-2015-vfi5.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

IROBOT CORPORATION. **iRobot Vacuum Cleaning, Mopping & Outdoor Maintenance: Home Robots**. 2017. Disponível em: <http://www.irobot.com/>. Acesso em: 04 out. 2017.

ITU; CISCO. **Harnessing the Internet of Things for Global Development**. Genebra, 2016. 61 p.

JARRAYA, A. *et al.* FSCEP: A New Model for Context Perception in Smart Homes. *In: DEBRUYNE, C. et al.* (eds). OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems", 2016. **Proceedings** [...]. Rhodes, Grécia, 2016, p.465-484.

KANTROVITZ, M. [2] **What is fuzzy logic?**. 1993. Disponível em: <https://www.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/faqs/ai/fuzzy/part1/faq-doc-2.html>. Acesso em: 13 out. 2017.

KANTROVITZ, M. [10] **What is the relationship between fuzzy truth values and probabilities?**. nov.1994. Disponível em: <https://www.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/faqs/ai/fuzzy/part1/faq-doc-10.html>. Acesso em: 13 out. 2017.

KIBRIA, M. G.; CHONG, I. Knowledge creation model in WoO enabled smart ageing IoT service platform. *In: Eighth International Conference On Ubiquitous And Future Networks (ICUFN)*, 2016. **Proceedings** [...]. Vienna, Austria, jul. 2015, p.526-531.

KIM, E.; CHOI, J. An Ontology-Based Context Model in a Smart Home. *In: GAVRILOVA, M. L. et al. (eds). Computational Science And Its Applications - ICCSA 2006. Proceedings* [...]. Glasgow, UK, 2006. p.11-20.

KITCHENHAM, B. *et al.* Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study. **Information And Software Technology**, [s.l.], v. 52, n. 8, p.792-805, ago. 2010.

KITECHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Durham, UK, jul. 2007. 44 p.

KLIR, G.; YUAN, B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic**. New Jersey, Prentice hall, jan. 1995. 574 p.

KOLMOGOROV A. N. **Foundations of the Theory of Probability**. Chelsea Publishing Company, New York, 1950. 71 p.

KUHLTHAU, C. C. A Principle of Uncertainty for Information Seeking. **Journal of Documentation**, New Brunswick, New Jersey, v. 49, n. 4, p.339-355, 1993.

LASKEY, K. B. MEBN: A language for first-order Bayesian knowledge bases. **Artificial Intelligence**, [s. l.], v. 172, n. 2-3, p.140-178, fev. 2008.

- LAN, L. *et al.* An Event-Driven Service-Oriented Architecture for the Internet of Things. *In: Asia-pacific Services Computing Conference*, 2014. **Proceedings** [...]. Fuzhou, China: IEEE., dez. 2014, p.68-73.
- LEITE, M. A. A.; RICARTE, I. L. M. Relating ontologies with a fuzzy information model. **Knowledge And Information Systems**, [s. l.], v. 34, n. 3, p.619-651, mar. 2013.
- LI, B.; YU, J. Research and Application on the Smart Home Based on Component Technologies and Internet of Things. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 15, p.2087-2092, 2011.
- LI, X. *et al.* Smart community: an internet of things application. **IEEE Communications Magazine**, [s. l.], v. 49, n. 11, p.68-75, nov. 2011.
- LI, S.; XU, L.; ZHAO, S. The internet of things: a survey. **Information Systems Frontiers**, [s. l.], v. 17, n. 2, p.243-259, 26 abr. 2014.
- LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálysis**, Florianópolis, v. 10, n. especial, p.37-45, 2007.
- LIU, B. **Uncertainty Theory**. Springer Uncertainty Research, 5. ed. Beijing, China, 2015. 506 p.
- LIU, B. *et al.* Toward reliable data analysis for Internet of Things by Bayesian dynamic modeling and computation. *In: IEEE China Summit And International Conference On Signal And Information Processing (CHINASIP)*, 2015. **Proceedings** [...]. Chengdu, China: IEEE, jul. 2015, p.1027-1031.
- LU, Z. J.; LI, Z. Y.; PAN, Y. A Method of Meta-Context Ontology Modeling and Uncertainty Reasoning in SWoT. *In: International Conference On Cyber-enabled Distributed Computing And Knowledge Discovery (CYBERC)*, 2016. **Proceedings** [...] Chengdu, China: IEEE, out. 2016, p.128-135.
- LYAZIDI, A.; MOULINE, S. ONDAR: An ontology for home automation. *In: 15th International Conference On Intelligent Systems Design And Applications (ISDA)*, 2015. **Proceedings** [...]. Marrakech, Morocco: IEEE, dez. 2015, p.1-1.

MACHADO, A. *et al.* Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living. **Expert Systems With Applications**, [s. l.], v. 76, p.21-35, jun. 2017.

MALLIK, A. *et al.* MOWL: An Ontology Representation Language for Web-Based Multimedia Applications. **ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)**. ACM: New York, NY, USA v. 10, n. 1, p.1-21, 1 dez. 2013.

MALLIK, A. *et al.* Ontology based context aware situation tracking. *In: IEEE 2nd World Forum On Internet Of Things (WF-IoT), 2015. Proceedings [...]. Milan, Italy: IEEE, dez. 2015*, p.1-6.

MERRIAN-WEBSTER. **Definition of Framework by Merriam-Webster**. 2018 Disponível em: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/framework>. Acesso em: 21 fev. 2018.

MIHAJLOVIC, V.; PETKOVIC, M. Dynamic Bayesian Networks: A State of the Art. **University of Twente**, The Netherlands, v. TR-CTIT-34, n. TR-CTI, out. 2001.

MILLMAN, H.; WAGONER, M. Turn a home sweet home into a smart house. **COMPUTE!**, [s. l.], v. 134, p. 98, out. 1991.

MOHAMMED, A. W. *et al.* Semantical Markov Logic Network for Distributed Reasoning in Cyber-Physical Systems. **Journal Of Sensors**, [s. l.], v. 2017, p.1-15, 2017.

MOHAMMED, A. W. *et al.* Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach. **Web Intelligence**, [s. l.], v. 14, n. 3, p.199-210, 4 ago. 2016.

MOHAMMED, A. W.; XU, Y.; LIU, M. Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning. **Springerplus**, [s. l.], v. 5, n. 1, p.1-27, 10 jun. 2016.

MOLINERA, J. A. M. *et al.* Filling fuzzy ontologies with people knowledge using fuzzy ontologies and group decision making methods. *In: International Conference On Control, Decision And Information*

Technologies (CoDIT), 2016. **Proceedings** [...]. St. Julian's, Malta: IEEE, abr. 2016, p.12-17.

MULTILÓGICA-SHOP. **Motor de passo com cabo**. 2017. Disponível em: <https://multilogica-shop.com/motor-de-passo-com-cabo>. Acesso em: 12 nov. 2017.

MUNIR, S.; STANKOVIC, J. A. FailureSense: Detecting Sensor Failure Using Electrical Appliances in the Home. *In: IEEE 11th International Conference On Mobile Ad Hoc And Sensor Systems*, 2014. **Proceedings** [...]. Philadelphia, PA, USA: IEEE, out. 2014, p.1-9.

NAGARAJAN, G.; THYAGHARAJAN, K. K. Rule-based semantic content extraction in image using fuzzy ontology. **International Review on Computers and Software (I.RE.CO.S.)**. Roma, Itália, v. 9, n. 2, p.266-277, 2014.

NAITO, K. A Survey on the Internet-of-Things: Standards, Challenges and Future Prospects. **Journal Of Information Processing**, [s. l.], v. 25, p.23-31, 2017.

NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Household Appliances Timeline**. 2017. Disponível em: <http://www.greatachievements.org/?id=3768>. Acesso em: 04 out. 2017.

NEST LABS. **Meet the Nest Learning Thermostat: Nest Thermostat**. 2017. Disponível em: <https://nest.com/thermostat/meet-nest-thermostat/>. Acesso em: 04 out. 2017.

NI, Q.; DE LA CRUZ, I. P.; HERNANDO, A. B. G. A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes. **Journal Of Ambient Intelligence And Smart Environments**, [s. l.], v. 8, n. 1, p.47-61, 7 jan. 2016.

NOOR, M. H. M.; SALCIC, Z.; WANG, K. I. Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition. **Knowledge-based Systems**, [s. l.], v. 114, p.47-60, dez. 2016.

NOOR, M. H. M.; SALCIC, Z.; WANG, K. I. Ontology-based sensor fusion activity recognition. **Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing**, [s.l.]: Springer Berlin Heidelberg, p.1-15, 11 jan. 2018.

NOY, F. N.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology development 101: A guide to creating your first ontology**. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880. mar. 2001.

OXFORD UNIVERSITY PRESS. **Definition of ambiguity in English by Oxford Dictionaries**. 2018a. Disponível em: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/ambiguity>. Acesso em: 22 fev. 2018.

OXFORD UNIVERSITY PRESS. **Definition of framework in English by Oxford Dictionaries**. 2018b. Disponível em: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/framework>. Acesso em: 22 fev. 2018.

O'NEILL, J. J. **Prodigal Genius: The Life of Nikola Tesla**. Cosimo, Inc., 1 ago. 2007. 336 p.

PELINO, M.; HEWITT, A. **The Forrester Wave™: IoT Software Platforms**, Q4 2016. p.19. nov. 2016.

PHILIPS. **Meet HUE: HUE PERSONAL WIRELESS LIGHTING**. 2017a. Disponível em: <http://www2.meethue.com/pt-br/>. Acesso em: 04 out. 2017.

PHILIPS. **Personal Wireless Lighting**. 2017b. Disponível em: <http://www.philips.co.uk/c-p/8718291547778/hue-personal-wireless-lighting#see-all-benefits>. Acesso em 04 out. 2017.

QIVICON. **QIVICON benefits**: via the QIVICON Home Base simply integrate devices of many brands into your home automation. Wirelessly connected, controlled by apps. 09 jun. 2017. Disponível em: <https://www.qivicon.com/en/benefits/>. Acesso em: 04 out. 2017.

RAMOLY, N. *et al.* Refining Visual Activity Recognition with Semantic Reasoning. *In: IEEE 31st International Conference On*

Advanced Information Networking And Applications (AINA), 2017. **Proceedings** [...]. Taipei, Taiwan: IEEE, mar. 2017, p.720-727.

RAMPARANY, F.; MONDI, R.; DEMAZEAU, Y. A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments. *In*: 21st International Conference on Engineering of Complex Computer Systems, 2016. **Proceedings** [...]. Dubai, United Arab Emirates: IEEE, 2016, p.63-70.

RASCH, R. *et al.* A decoupled three-layered architecture for service robotics in intelligent environments. *In*: EISE '16 Proceedings of the 1st Workshop on Embodied Interaction with Smart Environments, 2016. **Proceedings** [...]. Tokyo, Japan, 2016, p.1-8.

RAY, P. P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal Of King Saud University - Computer And Information Sciences**, [s. l.], p.1-29, out. 2016.

RAYES, A.; SALAM, S. **Internet of Things From Hype to Reality: The Road to Digitization**. [s. l.]: Springer International Publishing, 2017. 328 p.

RICQUEBOURG, V. *et al.* The Smart Home Concept: our immediate future. *In*: 1st IEEE International Conference On E-learning In Industrial Electronics, 2006. **Conference** [...]. Hammamet, Tunisia: IEEE, dez. 2006, p.23-28.

RODRÍGUEZ, N. D. *et al.* A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour. **Knowledge-based Systems**, [s. l.], v. 66, p.46-60, ago. 2014.

ROLLA, L. T. *Introdução à Probabilidade: Notas de Aula*, IMPA, Rio de Janeiro, 12 jan. 2018. 195 p.

ROSENBERG, V. The Scientific Premises of Information Science. **Journal of the American Society for Information Science**, [s. l.], p.263-269, 1974.

ROSSMAN, G. B.; RALLIS, S. F. **Learning in the Field: An Introduction to Qualitative Research**. Thousand Oaks, CA: Sage, 1998, 369 p.

ROZSA, V. *et al.* An Application Domain-Based Taxonomy for IoT Sensors. *In: 23rd ISPE International Conference on Transdisciplinary Engineering: Crossing Boundaries*, 2016. **Proceedings** [...]. Curitiba, v. 4, p.249-258, out. 2016.

ROZSA, V. *et al.* O Paradigma Tecnológico da Internet das Coisas e sua Relação com a Ciência da Informação. **Informação e Sociedade: Estudos**, Paraíba, v. 27, n.3, dez. 2017.

ROZSA, V; DUTRA, M. L.; NHACUONGUE, J. A.; Linked Open Data no Contexto Acadêmico: Identificação e Análise de Vocabulários Utilizados na Academia e na Pesquisa Científica. **Brazilian Journal of Information Studies: Research Trends**, São Paulo, v. 11, n.3, 2017.

RYE, D. **My life at X10**. 10 jan. 1999. Disponível em: <http://www.hometoys.com/content.php?url=/htinews/oct99/articles/rye/rye.htm>. Acesso em: 04 out. 2017.

SABA, D. *et al.* Development of an Ontology Based Solution for Energy Saving Through a Smart Home in the City of Adrar in Algeria. **The International Conference On Advanced Machine Learning Technologies And Applications (AMLT2018)**, [s. l.], p.531-541, 2018.

SANTOS, G. *et al.* House management system with real and virtual resources: Energy efficiency in residential microgrid. *In: Global Information Infrastructure And Networking Symposium (GIIS)*, 2016. **Symposium** [...] Porto, Portugal: IEEE out. 2016, p.1-6.

SANTOS, P. L. V. A. C. S.; VIDOTTI, S. A. B. G. Perspectivismo e tecnologias de informação e comunicação: acréscimos à Ciência da Informação? **DataGramaZero: Revista de Ciência da Informação**, v.10, n.3, jun. 2009.

SAPPAGH, S. E.; ELMOGY, M.; RIAD, A. M. A fuzzy-ontology-oriented case-based reasoning framework for semantic diabetes diagnosis. **Artificial Intelligence In Medicine**, [s. l.], v. 65, n. 3, p.179-208, nov. 2015.

SERRA, J. *et al.* Smart HVAC Control in IoT: Energy Consumption Minimization with User Comfort Constraints. **The Scientific World Journal**, [s.l.], p.1-11, jun. 2014.

SFAR, H. *et al.* AGACY Monitoring: A Hybrid Model for Activity Recognition and Uncertainty Handling. In: BLOMQUIST, E. The Semantic Web. 14th International Conference, ESWC 2017 – Part 1. 2017. **Proceedings** [...]. Portorož, Slovenia: Springer, maio 2017, p.254-269.

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27. p.379-423, 1948.

SILVA, L. C.; MORIKAWA, C.; PETRA, I. M. State of the art of smart homes. **Engineering Applications Of Artificial Intelligence**, [s. l.], v. 25, n. 7, p.1313-1321, out. 2012.

SINGH, K. J.; KAPOOR, D. S. Create Your Own Internet of Things: A survey of IoT platforms. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, [s. l.], v. 6, n. 2, p.57-68, abr. 2017.

SMITH, B.; WELTY, C. Ontology - Towards a New Synthesis. **Formal Ontology in Information Systems**. ACM Press: USA, v. 10, n. 3, p.3-9, out. 2001.

SPINK, A. *et al.* Information-seeking and mediated searching. Part 1. Theoretical framework and research design. **Journal Of The American Society For Information Science And Technology**, [s. l.], v. 53, n. 9, p.695-703, 2002.

SRI, S. T.; PRASAD, J. R.; VIJAYALAKSHMI, Y. A review on the state of art of Internet of Things. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, [s. l.], v. 5, n. 7, p.189-193, jul. 2016.

STRANG, T.; POPIEN, C. L. A Context Modeling Survey. *In: Workshop On Advanced Context Modelling, Reasoning And Management: UbiComp 2004*. Nottingham, set. 2004, p. 34-41.

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

TAO, M. *et al.* Multi-layer cloud architectural model and ontology-based security service framework for IoT-based smart homes. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 78, p.1040-1051, jan. 2016.

TAO, M.; OTA, K.; DONG, M. Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 76, p.528-539, nov. 2016.

TECHOPEDIA. **What is Software Framework?** – Software Framework. 2018. Disponível em: <https://www.techopedia.com/definition/14384/software-framework/>. Acesso em: 21 fev 2018.

TIAN, Z. *et al.* Multi-entity Bayesian network for the handling of uncertainties in SATCOM links. **Sensors And Systems For Space Applications VIII**, [s. l.], p.1-11, 22 maio 2015.

TRIBOAN, D. *et al.* Semantic segmentation of real-time sensor data stream for complex activity recognition. **Personal And Ubiquitous Computing**, [s. l.], v. 21, n. 3, p.411-425, 18 fev. 2017.

TSAI, C. *et al.* Data Mining for Internet of Things: A Survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [s. l.], v. 16, n. 1, p.77-97, 2014.

URW3-XG. **Uncertainty Reasoning for the World Wide Web**. 2008. Disponível em: <https://www.w3.org/2005/Incubator/urw3/XGR-urw3-20080331/>. Acesso em: 12 out. 2017.

URSW. **2016 URSW Workshop: Welcome**. 2016. Disponível em: <http://c4i.gmu.edu/ursw/2016/home/index.html>. Acesso em: 10 nov. 2017.

VARGA, P. *et al.* Making system of systems interoperable – The core components of the arrowhead framework. **Journal Of Network And Computer Applications**, [s. l.], v. 81, p.85-95, mar. 2017.

WANG, Y.; CAO, K. Context-aware Complex Event Processing for event cloud in Internet of Things. *In: International Conference On Wireless Communications And Signal Processing (WCSP), 2012. Proceedings [...]*. Huangshan, China, out. 2012, p.1-6.

WANG, Z., *et al.* Towards adaptive control in smart homes: Overall system design and initial evaluation of activity recognition. In: Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2017. **Proceedings [...]**. London: IEEE, set. 2017, p.129-136.

WANG, P.; LUO, H.; SUN, Y. Rule Generation Method in Smart Home Based on Habits. **Revista Tecnica de La Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia**, [s. l.], p.293-307, 5 jan. 2017.

WERRO, N. Fuzzy Set Theory. **Fuzzy Classification Of Online Customers**, [s. l.]: Springer International Publishing, p.7-26, 2015.

WHITMORE, A.; AGARWAL, A.; XU, L. The Internet of Things - A survey of topics and trends. **Information Systems Frontiers**, [s. l.], v. 17, n. 2, p.261-274, 12 mar. 2015.

WOODFORD, C. **Smart homes and the Internet of Things**. 30 out. 2016. Disponível em: <http://www.explainthatstuff.com/smart-home-automation.html>. Acesso em: 04 out. 2017.

W3C. **OWL Web Ontology Language: Overview**. 10 fev. 2004a. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/owl-features/>. Acesso em: 11 out. 2017.

W3C. **OWL 2 Web Ontology Language Profiles (Second Edition)**. 2012a. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/owl2-profiles/>. Acesso em: 11 out. 2017.

W3C. **OWL 2 Web Ontology Language: Document Overview (Second Edition)**. 2012b. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>. Acesso em: 11 out. 2017.

W3C. **RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax**. 2014a. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/>. Acesso em: 11 out. 2017.

W3C. **RDF Schema 1.1**. 2014b. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/>. Acesso em: 11 out. 2017.

W3C. **SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML.** 2004b. Disponível em: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>. Acesso em: 11 out. 2017.

XIAOJIANG, X.; JIANLI, W.; MINGDONG L. Services and key technologies of the Internet of Things. **ZTE Commun**, Shenzhen, China, v. 2, 2010.

YANG, Z. *et al.* Study and application on the architecture and key technologies for IOT. *In: International Conference On Multimedia Technology*, 2011. **Proceedings [...]**. [s. l.], jul. 2011, p.747-751.

YE, J.; STEVENSON, G.; DOBSON, S. Detecting abnormal events on binary sensors in smart home environments. **Pervasive And Mobile Computing**, [s. l.], v. 33, p.32-49, dez. 2016.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information And Control**, [s. l.], v. 8, n. 3, p.338-353, jun. 1965.

ZHAI, J.; CHEN, Y.; LI, J. Knowledge modeling and semantic retrieval for traffic information based on fuzzy ontology and SPARQL. **ICIC Express Letters**, [s. l.], v. 5, n. 4, p.1025-1029, abr. 2011.

ZHAI, J.; LI, M.; LI, J. Semantic Information Retrieval Based on RDF and Fuzzy Ontology for University Scientific Research Management. *In: LUO, J. (ed). Affective Computing and Intelligent Interaction* Berlin, Heidelberg: Springer2012, v. 137, p.661-668.

ZHOU, H.; WANG, Y.; CAO, K. Fuzzy D-S Theory Based Fuzzy Ontology Context Modeling and Similarity Based Reasoning. *In: Ninth International Conference On Computational Intelligence And Security, 2013. Proceedings [...]*. Leshan, China: IEEE, 2013, p.707-711.

APÊNDICE A - Estudos recuperados nas bases de dados durante a RSL

BASE	ID	TÍTULO	ANO	AUTOR
Scopus	1	Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living	2017	MACHADO, A. <i>et al.</i>
	2	Probabilistic ontology based activity recognition in smart homes using Markov Logic Network	2017	GAYATHRI, K. S.; EASWARAKUMAR, K. S.; ELIAS, S.
	3	2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference	2017	Autor indisponível
	4	A method of meta-context ontology modeling and uncertainty reasoning in SWoT	2017	LU Z. J., LI G. Y., PAN Y.
	5	Intelligent Resource Inquisition Framework on Internet-of-Things	2017	BHARTI, M.; SAXENA, S.; KUMAR, R.
	6	A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments	2017	RAMPARANY, F.; MONDI, R.; DEMAZEAU, Y.
	7	AGACY monitoring: A hybrid model for activity recognition and uncertainty handling	2017	SFAR, H. <i>et al.</i>
	8	Semantical Markov Logic Network for Distributed Reasoning in Cyber-Physical Systems	2017	MOHAMMED A. W. <i>et al.</i>
	9	Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning	2016	MOHAMMED A. W.; XU, Y.; LIU, M.
	10	WebMedia 2016 - Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web	2016	Autor indisponível
	11	Ontology based context aware situation tracking	2016	MALLIK, A. <i>et al.</i>
	12	FSCEP: A new model for context perception in smart homes	2016	JARRAYA, A. <i>et al.</i>
	13	Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach	2016	MOHAMMED A. W. <i>et al.</i>
	14	A fuzzy semantic CEP model for situation identification in smart homes	2016	JARRAYA, A. <i>et al.</i>
	15	A Method for Trust Quantification in Cloud Computing Environments	2016	LI, X. <i>et al.</i>

16	Towards a Scalable and Optimised Context Broker for Seamless Interoperability within IoT Systems	2016	OVENGALT, C. B. T. <i>et al.</i>
17	Toward next-generation Internet of Things: guest editorial	2016	ZHANG, D.; CHEN, M.; ZHOU, J.
18	10th International Symposium on Rule Technologies	2016	Autor indisponível
19	15th International Semantic Web Conference	2016	Autor indisponível
20	Ontology driven complex event pattern definition	2016	CALVIER, F. E. <i>et al.</i>
21	Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems	2016	Autor indisponível
22	CEUR Workshop Proceedings	2016	Autor indisponível
23	Confederated International Conference On the Move to Meaningful Internet Systems	2016	Autor indisponível
24	Towards semantic web of things: From manual to semi-automatic semantic annotation on web of things	2016	WU, Z. <i>et al.</i>
25	A Context-Aware Interactive Health Care System Based on Ontology and Fuzzy Inference	2015	CHIANG, T. C.; LIANG, W. H.
26	10th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications	2015	Autor indisponível
27	12th International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence	2015	Autor indisponível
28	Framework for NFC-based intelligent agents: A context-awareness enabler for social internet of things	2014	LIN, C. H.; HO, P. H.; LIN, H. C.
29	The Logic and ontology of assessment of conditions in older people	2014	EKLUND, P.
30	A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	2014	BENAZZOUZ, Y.; AKTOUF, O. E. K.; PARISSIS, I.
31	Case-based context ontology construction using fuzzy set theory for personalized service in a smart home environment	2014	SOHN, M.; JEONG, S.; LEE, H. J.
32	2013 International Conference of Information Science and Management Engineering	2014	Autor indisponível

33	3rd International Conference on Measurement	2014	Autor indisponible
34	2013 International Conference of Information Science and Management Engineering	2014	Autor indisponible
35	3rd International Conference on Green Communications and Networks	2014	Autor indisponible
36	Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning	2013	ZHOU, H.; WANG, Y.; CAO, K.
37	14th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises	2013	Autor indisponible
38	2013 3rd International Conference on Frontiers of Manufacturing Science and Measuring Technology	2013	Autor indisponible
39	2013 2nd International Conference on Information Technology and Management Innovation	2013	Autor indisponible
40	9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications	2013	Autor indisponible
41	2013 International Conference on Vehicle and Mechanical Engineering and Information Technology	2013	Autor indisponible
42	2013 International Forum on Mechanical and Material Engineering	2013	Autor indisponible
43	2013 4th International Conference on Material and Manufacturing Technology	2013	Autor indisponible
44	Ontology alignment architecture for semantic sensor web integration	2013	FERNANDEZ, S. <i>et al.</i>
45	2013 2nd International Conference on Measurement	2013	Autor indisponible
46	2013 International Conference on Advanced Technologies and Solutions in Industry	2013	Autor indisponible
47	A distributed context-aware complex event processing method for Internet of things	2013	CAO, K. <i>et al.</i>
48	2012 International Conference on Sensors	2013	Autor indisponible
49	Informatics and Management Science VI	2013	Autor indisponible
50	2012 2nd International Conference on Management	2013	Autor indisponible

51	European Group for Intelligent Computing in Engineering	2013	Autor indisponível
52	Ontology alignment architecture for semantic sensor Web integration	2013	FERNANDEZ, S. <i>et al.</i>
53	13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO	2013	Autor indisponível
54	13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO	2013	Autor indisponível
55	2013 4th International Conference on the Network of the Future	2013	Autor indisponível
56	Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things	2012	WANG, Y.; CAO, K.
57	Service discovery for Internet of Things: A contextawareness perspective	2012	WEI, Q.; JIN, Z.
58	2012 International Conference on E-Business Technology and Strategy	2012	Autor indisponível
59	Context provenance to enhance the dependability of ambient intelligence systems	2012	RIBONI, D.; BETTINI, C.
60	Prometheus framework for fuzzy information retrieval in semantic spaces	2012	ANDRUSHEVICH, A. <i>et al.</i>
61	SAGAware'11 - Proceedings of the 2011 International Workshop on Situation Activity and Goal Awareness	2011	Autor indisponível
62	Implementing evidential activity recognition in sensorised homes	2011	HONG, X.; NUGENT, C.
63	11th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business	2011	Autor indisponível
64	Dealing with uncertainty in situation-aware computing system	2010	LIU, C.; LIU, D; WANG, S.
65	Prometheus - Fuzzy information retrieval for semantic homes and environments	2010	PORTMANN, E. <i>et al.</i>
66	Ontology-based activity recognition in intelligent pervasive environments	2009	CHEN, L.; NUGENT, C.
67	A layered approach to context-dependent user modelling	2007	VILDJIOUNAITE, E.; KALLIO, S.
68	Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications - First KES International Symposium	2007	Autor indisponível
69	Proceedings of the 10th IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing	2006	Autor indisponível

	70	An ontology-based context model in a smart home	2006	KIM, E.; CHOI, J.
	71	11th International Conference on Distributed Multimedia Systems	2005	Autor indisponível
	72	IFIP TC12 1st International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations	2004	Autor indisponível
IEEE Xplore	73	A Method of Meta-Context Ontology Modeling and Uncertainty Reasoning in SWoT	2016	LU Z. J., LI G. Y., PAN Y.
	74	Temporal Dependency Rule Learning Based Group Activity Recognition in Smart Spaces	2016	BOUBIA, A. L. <i>et al.</i>
	75	Personalized search in smart indoor environments: Combining a formal location model, user preferences and semantic similarity	2016	XU, W.; MARSALA, C.
	76	A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments	2016	RAMPARANY, F.; MONDI, R.; DEMAZEAY, Y.
	77	Employing Fuzzy Consensus for Assessing Reliability of Sensor Data in Situation Awareness Frameworks	2015	DANIELLO, G.; LOIA, V.; ORCIUOLI, F.
	78	Ontology based context aware situation tracking	2015	MALLIK, A. <i>et al.</i>
	79	[Copyright notice]	2015	Autor indisponível
	80	Ontology-Based Reasoning with Uncertain Context in a Smart Home: A Decision Network Approach	2015	MOHAMMED, A. W.; XU, Y.; LIU, M.
	81	Framework Using Bayesian Belief Networks for Utility Effective Management and Operations	2015	SIRYANI, J.; MAZZUCHI, T.; SARKANI, S.
	82	[Title page]	2015	Autor indisponível
	83	Research of QoC Based Management for Complex Sensor Networks Applications	2014	ZHENG, D.; WANG, J.; KERONG, B.
	84	Table of contents	2014	Autor indisponível
	85	Context-Aware User Modeling and Semantic Interoperability in Smart Home Environments	2013	SIOLAS, G. <i>et al.</i>
	86	Research of information processing for massive sensors in extended IOV applications	2013	ZHENG, D.; WANG, J.; BEN, K.
	87	Fuzzy D-S Theory Based Fuzzy	2013	ZHOU, H.; WANG, Y.;

		Ontology Context Modeling and Similarity Based Reasoning		CAO, K.
	88	Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things	2012	WANG, Y.; CAO, K.
	89	A Hybrid Semantic Matchmaker for IoT Services	2012	CASSAR, G. <i>et al.</i>
	90	Event Similarity Computation in Text	2011	ZHANG, X. <i>et al.</i>
	91	[Front cover],	2011	Autor indisponível
	92	[Title page i]	2010	Autor indisponível
	93	Prometheus - Fuzzy information retrieval for semantic homes and environments	2010	PORTMANN, E. <i>et al.</i>
Web of Science	94	Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living	2017	MACHADO, A. <i>et al.</i>
	95	Probabilistic ontology based activity recognition in smart homes using Markov Logic Network	2017	GAYATHRI, K. S.; EASWARAKUMAR, K. S.; ELIAS, S.
	96	Intelligent Resource Inquisition Framework on Internet-of-Things	2017	BHARTI, M.; SAXENA, S.; KUMAR, R.
	97	Semantical Markov Logic Network for Distributed Reasoning in Cyber-Physical Systems	2017	MOHAMMED A. W. <i>et al.</i>
	98	Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition	2016	NOOR, M. H.; ZORAN, S.; WANG, K. I-K.
	99	Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning	2016	MOHAMMED A. W.; XU, Y.; LIU, M.
	100	FSCEP: A New Model for Context Perception in Smart Homes	2016	JARRAYA, A. <i>et al.</i>
	101	Ontology Driven Complex Event Pattern Definition	2016	CALVIER, F. E. <i>et al.</i>
	102	Towards a Scalable and Optimised Context Broker for Seamless Interoperability within IoT Systems	2016	OVENGALT, C. B. T. <i>et al.</i>
	103	A Fuzzy Semantic CEP Model for Situation Identification in Smart Homes	2016	JARRAYA, A. <i>et al.</i>
	104	Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach	2016	MOHAMMED A. W. <i>et al.</i>
	105	A Method for Trust Quantification in Cloud Computing Environments	2016	LI, X. <i>et al.</i>

106	A Context-Aware Interactive Health Care System Based on Ontology and Fuzzy Inference	2015	CHIANG, T. C.; LIANG, W. H.
107	Ontology based context aware situation tracking	2015	MALLIK, A. <i>et al.</i>
108	Research on the Information Fusion of Agricultural Internet of Things Based on Ontology	2015	ZHOU, J.; XIONG, J.; DAI, X.
109	Ontology-Based Reasoning with Uncertain Context in a Smart Home: A Decision Network Approach	2015	MOHAMMED, A. W.; XU, Y.; LIU, M.
110	Handling Real-World Context Awareness, Uncertainty and Vagueness in Real-Time Human Activity Tracking and Recognition with a Fuzzy Ontology-Based Hybrid Method	2014	RODRIGUES, N. D. <i>et al.</i>
111	Case-based context ontology construction using fuzzy set theory for personalized service in a smart home environment	2014	SOHN, M.; JEONG, S.; LEE, H. J.
112	A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour	2014	RODRIGUES, N. D. <i>et al.</i>
113	Context-aware hybrid reasoning framework for pervasive healthcare	2014	YEAN, B.; HERBERT, J.
114	A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	2014	BENAZZOZ, Y.; AKTOUF, O. E. K.; PARISSIS, I.
115	Framework for NFC-Based Intelligent Agents: A Context-Awareness Enabler for Social Internet of Things	2014	LIN, C. H.; HO, P. H.; LIN, H. C.
116	Ontology alignment architecture for semantic sensor web integration	2013	FERNANDEZ, S. <i>et al.</i>
117	Context-Aware User Modeling and Semantic Interoperability in Smart Home Environments	2013	SIOLAS, G. <i>et al.</i>
118	Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning	2013	ZHOU, H.; WANG, Y.; CAO, K.
119	Context provenance to enhance the dependability of ambient intelligence systems	2012	RIBONI, D.; BETTINI, C.
120	Situation identification techniques in pervasive computing: A review	2012	YE, J.; DOBSON, S.; MCKEEVER, S.
121	Context-aware complex event	2012	WANG, Y.; CAO, K.

		processing for event cloud in internet of things		
	122	Prometheus Framework for Fuzzy Information Retrieval in Semantic Spaces	2012	ANDRUSHEVICH, A. <i>et al.</i>
	123	Implementing evidential activity recognition in sensorised homes	2011	HONG, X.; NUGENT, C.
	124	A layered approach to context-dependent user modelling	2007	VILDJIOUNAITE, E.; KALLIO, S.
	125	An ontology-based context model in a smart home	2006	KIM, E.; CHOI, J.
ACM	126	Fuzzy Ontology-driven Web-based Framework for Supporting Architectural Design: Student Research Abstract	2016	NOCERA, F.
	127	Service Discovery for Internet of Things: A Context-awareness Perspective	2012	WEI, Q.; JIN, Z.
	128	Context Provenance to Enhance the Dependability of Ambient Intelligence Systems	2012	RIBONI, D.; BETTINI, C.
	129	An Introduction to Ontology-based Activity Recognition	2009	CHEN, L. L.; BISWAS, J.
	130	La fusion multi-capteurs dans l'habitat communicant: une approche non-probabiliste	2008	RICQUEBOURG, V. <i>et al.</i>
Science Direct	131	Intelligent Resource Inquisition Framework on Internet-of-Things	2017	BHARTI, M.; SAXENA, S.; KUMAR, R.
	132	Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living	2017	MACHADO, A. <i>et al.</i>
	133	Probabilistic ontology based activity recognition in smart homes using Markov Logic Network	2017	GAYATHRI, K. S.; EASWARAKUMAR, K. S.; ELIAS, S.
	134	Towards a Scalable and Optimised Context Broker for Seamless Interoperability within IoT Systems	2016	OVENGALT, C. B. T.; DJOUANI, K.; KURIEN, A. M.
	135	A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	2014	BENAZZOUC, Y.; AKTOUF, O. E. K.; PARISSIS, I.

APÊNDICE B - Trabalhos excluídos devidos aos critérios CE 1, CE 2 e CE 3

ID	CE 1	CE 2	CE 3
3		x	
10		x	
17		x	
18		x	
19		x	
21		x	
22		x	
23		x	
26		x	
27		x	
32		x	
33		x	
34		x	
35		x	
37		x	
38		x	
39		x	
40		x	
41		x	
42		x	
43		x	
45		x	
46		x	
47			x
48		x	
49		x	
50		x	
51		x	
52	x		

53		x	
54		x	
55		x	
58		x	
61		x	
63		x	
68		x	
69		x	
71		x	
72		x	
73	x		
76	x		
78	x		
79		x	
82		x	
84		x	
87	x		
88	x		
91		x	
92		x	
93	x		
94	x		
95	x		
96	x		
97	x		
99	x		
100	x		
101	x		
102	x		
103	x		
104	x		

105	x		
106	x		
107	x		
109	x		
111	x		
114	x		
115	x		
116	x		
117	x		
118	x		
119	x		
121	x		
122	x		
123	x		
124	x		
125	x		
126		x	
127	x		
128	x		
129		x	
130			x
131	x		
132	x		
133	x		
134	x		
135	x		
	40	44	2
Total = 86			

APÊNDICE C - Trabalhos excluídos devidos aos critérios CE4 e CE 5

ID	CE 4	CE 5
5		x
14	x	
15		x
16		x
24		x
28		x
29		x
44		x
59		x
62		x
65	x	
66		x
80	x	
86	x	
90		x
110		x
113		x
120		x
	4	14
	Total = 18	

APÊNDICE D - Aplicação dos critérios CI 1, CI 2, CE 5, CE 6, CE 7 e CE 8

ID	CI 1	CI 2	CE 5	CE 6	CE 7	CE 8
1	x	x				
2		x	x			
4	x	x				
6	x	x				
7	x	x				
8		x	x			
9	x	x				
11	x	x				
12	x	x				
13	x	x				
20	x			x	x	
25		x	x			
30	x	x				
31		x	x			
36	x	x				
56	x	x				
57	x	x			x	
60		x			x	
64		x	x			
67			x	x	x	
70	x	x				
74			x	x		

75		x	x			
77		x	x			
81			x		x	
83			x			
85			x		x	
89			x			
98	x	x				
108						x
112	x	x				
	16	23	13	3	6	1

APÊNDICE E - Informações extraídas dos estudos selecionados na RSL

ID	OBJETIVOS	INCERTEZA	MODELOS	JUSTIFICATIVA	USO DA ONTOLOGIA	CENÁRIO/ TAREFA
1	<p>Busca prover um framework para o desenvolvimento de aplicações pervasivas e context-aware em AAL.</p> <p>Por meio desse framework será possível que sistemas possam identificar e prever situações que possam colocar em perigo os habitantes de uma moradia. Outro aspecto relevante na proposta é a capacidade de lidar com situações não antecipadas, selecionando a forma (ou aplicação) mais adequada para tratar da situação.</p>	<p>Informação incompleta*</p> <p>*Não é especificado um tipo de incerteza neste trabalho, apenas a necessidade de prever situações. Julgo que o tipo de incerteza associado é a incompletude da informação, pois caso houvessem todas as informações necessárias, seria possível identificar ao invés de prever a situação futura. (obs.: neste estudo não aborda-se a veracidade/precisão da informação, por isso menciono apenas a presença/falta da informação, ou seja, informação</p>	MEBN	<p>Explica que há duas formas de lidar com ontologias probabilísticas: pela representação da incerteza utilizando anotações dentro do OWL; e utilizando linguagens probabilísticas de primeira ordem, que combinam representação probabilística com lógica de primeira ordem.</p> <p>Justifica que o MEBN (segunda abordagem) é mais expressivo do que as anotações (primeira abordagem).</p>	<p>O framework é composto por uma rede ontologias utilizadas na descrição do ambiente físico e situações, eventos e ações relacionadas; um middleware que realiza a gestão e monitoramento dos recursos do ambiente (ex.: sensores e aplicações) e detecta situações de interesse; e as aplicações pervasivas que são plugadas no sistema para tratar de situações específicas.</p> <p>O framework busca prever situações futuras, porém estas situações evoluem de forma incerta., sendo necessário a modelagem de situações utilizando aspectos de incerteza. Ontologias probabilísticas são utilizadas para prever situações futuras. Além disso, são utilizadas como integrador semântico de aplicações independentes em um AAL (ou seja, facilitam que aplicações utilizem o framework).</p> <p>Utiliza OWL-DL. Utiliza SWRL para detectar por meio de</p>	Ambient Assisted Living (Situation Tracking/Decision Making)

		incompleta). Além disso, os autores da abordagem empregada no trabalho (PR-OWL) mencionam a incompletude como um dos tipos de incerteza tratados pela abordagem.			inferência a situação atual (reativo). Utiliza o PR-OWL para prever/identificar a probabilidade de situações futuras (proativo). O PR-OWL é utilizado para definir um modelo de referência para sistemas situation-aware preditivos em AAL (parece que esse modelo se refere ao framework proposto). Esse modelo fornece recursos para o MEBN (ele forma um MEBN Theory). p.9	
4	<p>Propõe um modelo de ontologia de meta-contexto (MCont)</p> <p>Para raciocínio sobre a incerteza, também propõe um algoritmo para realizar inferência sobre a combinação de DBN e contexto.</p>	<p>Informação Incompleta*</p> <p>*Não especifica o tipo de incerteza, mas é uma abordagem similar ao estudo anterior que utiliza informações (contexto) para derivar a probabilidade de determinadas situações.</p>	DBN	<p>Menciona que para o raciocínio probabilístico podem ser utilizados os modelos de Dempster-shafer e redes bayesianas. Também menciona as ontologias Fuzzy para o raciocínio baseado em lógica difusa. Porém seleciona as DBNs como mecanismo de inferência.</p> <p>Justifica a escolha (DBNs) afirmando que não lida apenas com a incerteza, mas também com a dinamicidade. Além disso, menciona que a</p>	<p>A ontologia em si é o objetivo do estudo e pode ser estendida por outras abordagens para ser utilizada na representação de contexto na SWoT.</p> <p>A ontologia fornece conceitos e relações de contexto gerais que podem ser estendidas para descrever contexto em situações específicas. As dimensões da ontologia são: usuário; atuator de informática (agente); serviço; e ambiente.</p> <p>Em relação ao algoritmo de inferência proposto, a ontologia é utilizada para recuperação de</p>	<p>Ambientes Inteligentes em geral (uncertain context-modeling)</p>

				<p>complexidade de aquisição e raciocínio sobre o conhecimento neste método de inferência é "obviamente" menor do que nos outros métodos. p.2</p> <p>Também menciona a vantagem da dinamicidade da DBN em relação à BN (o mundo real é dinâmico). Menciona a capacidade de lidar com o tempo da DBN. p.5</p>	informação utilizada no processamento da DBN.	
6	<p>Criar uma extensão para um gestor de contexto (context-broker) para prover a capacidade de lidar com a confiabilidade e incerteza da/na informação.</p> <p>Criar um framework para a gestão da confiança e incerteza em aplicações distribuídas (FLOD-TUM).</p>	Informação Incompleta. p.3	<p>Baseado no conceito de Mundos Possíveis de Kripke</p> <p>combinado com</p> <p>teoria de probabilidade</p>	Não justifica	<p>A extensão baseia-se na criação de uma ontologia para modelar a incerteza e outra ontologia para modelar a confiabilidade como extensão de uma ontologia para IoT (IoTA) que já é utilizada pelo gestor de contexto.</p> <p>Utilizou um modelo de ontologia incerta (UNCERT) fornecido como base pelo URW3-XG. p.3</p> <p>Registra propriedades da incerteza na ontologia. Utiliza um software para calcular a incerteza na informação (Assumption Based Truth Maintenance System - ATMS). A incerteza é calculada a</p>	<p>Ambientes Inteligentes em geral (confiabilidade)</p>

					partir do nível de confiança na fonte da informação (o ATMS é responsável por isso).	
7	<p>Propõe um modelo híbrido de técnicas baseadas em dados e baseadas em conhecimento para o reconhecimento de atividades e manipulação de informação incerta</p>	<p>Informação Incompleta*</p> <p>No estudo não é descrito o processo de definição dos graus de incerteza das informações. Há uma etapa de fusão de dados que processa as amostras coletadas pelos sensores e deriva as informações e graus de incerteza associados. Julgo que a incerteza seja derivada a partir da confiabilidade nos sensores, relacionada a flutuabilidade nas leituras, falhas, etc., o que poderia levar a uma informação "imprecisa", porém este termo está associado à teoria</p>	<p>Lógica com possibilidades combinada com (p.6)</p> <p>Regras Lógicas Semânticas modificadas</p>	Não justifica	<p>A ontologia é utilizada para representar as informações e valores de incerteza associados e para inferir ações e eventos destas informações bem como seus valores de incerteza.</p> <p>Utiliza propriedade de dados para associar um valor de incerteza à uma tripla RDF. Este valor de incerteza também é associado à fonte da incerteza (um sensor ou um conjunto de sensores) da qual os valores de incerteza são derivados. p.5</p> <p>Utiliza a combinação de dois modelos para propagar o grau de incerteza das premissas (informações) para as conclusões (no caso, eventos que são inferidos) das regras de inferência. Depois, de forma similar, deriva ações (com grau de incerteza associada) a partir dos eventos que são passadas para uma segunda camada baseada em dados.</p>	<p>Ambientes Inteligentes em geral (AR)</p>

		de conjuntos difusos e remete a outro tipo de incerteza (informação imprecisa ou vaga).				
9	Propõe uma abordagem híbrida para o tratamento da incerteza capaz de tratar de medidas contínuas e discretas (HyProb-Onto). Híbrido, pois, utiliza probabilidade de medidas contínuas.	Informação Incompleta Informação Vaga/Imprecisa	Modelos Relacionais Probabilísticos (PRM) combinado com Abordagem Bayesiana Difusa (Fuzzy Bayesian)	De acordo com experimentos realizados, o modelo proposto consegue obter inferências exatas com melhor performance do que o modelo de Redes Bayesianas. p.3	Estende o OWL padrão (p.11) para codificar aspectos de incerteza sobre a propriedade de classes e instâncias e sobre propriedades de relações de instâncias na ontologia. Permite especificar a dependência probabilística de uma propriedade com outras propriedades da mesma classe ou de outras classes. Subclasses podem herdar as características probabilidades das classes mais gerais, bem como alterar essas características. p.2 As informações na ontologia (HyProb-Onto $O = \{O, Prd, Prc\}$) são utilizadas para construir um Ground Hybrid Probabilistic Model (GHPM) e os autores propõe/fornecem um algoritmo para esta tarefa.	Ambientes Inteligentes em geral
11	Propõe um framework context-aware para rastreamento/identificação	Informação Incompleta	DBN (utilizado pelo MOWL) p.2	Justifica o a escolha da MOWL. Segundo o estudo, a MOWL (p.2)	O framework possui como base a ontologia probabilística Multimedia Web Ontology	Ambientes Inteligentes em Geral (Situation

	<p>de situação baseado no uso de ontologia.</p> <p>Por meio do framework é possível identificar situações futuras baseado na situação atual e informações coletadas no momento. Para cada situação identificada o framework deverá sugerir um serviço adequado.</p>			<p>a) permite a modelagem perceptual de conceitos por meio de sua associação com padrões de mídia;</p> <p>b) prove construtos para a modelagem espaço-temporal entre conceitos que podem representar objetos ou eventos;</p> <p>c) atende à especificações de incerteza em relações conceituais por meio de Conditional Probability Tables (CPTs) codificadas na ontologia;</p> <p>d) prove um mecanismo de inferência robusto para prover raciocínio probabilístico para reconhecimento de conceito e recomendação baseado em Redes Bayesianas.</p> <p>Menciona que as DBNs possuem uma limitação para cenários nos quais o número de nodos na rede é muito grande. p.2</p>	<p>Language (MOWL). O MOWL permite codificar aspectos de incerteza na ontologia.</p> <p>Em um estudo de caso, modela diferentes ontologias em MOWL que representam diferentes contextos relacionados em um <i>smart home</i>. O MOWL então é capaz de fundir as informações nas ontologias por meio da geração de um Modelo de Observação que contém uma BN que representa esta fusão.</p>	Tracking/Decision Support)
12	Propõe um modelo para Processamento de Eventos Complexos	Informação Vaga Atualidade	Fuzzy Logic	Uma das principais vantagens destacadas no uso do modelo Fuzzy é a	A ontologia modela o domínio da aplicação para que as medidas "simples" obtidas por meio dos	Smart Home (CEP)

	<p>Difusos (FSCEP) capaz de representar e raciocinar com eventos incluindo conhecimento de domínio e lógica difusa.</p>	<p>(medidas antigas podem não corresponder a realidade) - este aspecto não é solucionado por intermédio da ontologia</p> <p>Exatidão (correspondência da medida com a realidade)</p> <p>Precisão (relacionado à flutuação nas mensurações)</p> <p>Contradição (medidas de diferentes sensores podem ser contraditórias)</p> <p>p.1 e p.2</p>		<p>capacidade de tratar da imprecisão na informação e a capacidade de múltiplas interpretações das informações.</p> <p>Os autores ainda mencionam um trabalho relacionado que emprega a teoria das probabilidades e BN, capaz de tratar da exatidão na informação, e que este seria um modelo complementar do modelo proposto, sugerindo a combinação de ambas em abordagens futuras. p.5-6</p> <p>Os autores destacam que a abordagem de empregar lógica fuzzy em CEP para tratar da imprecisão é inédita, ainda mais quando combinada com dados semânticos (ontologia). p,6</p>	<p>sensores sejam "semantizadas". Nesse processo, as medidas são associadas com conceitos na ontologia, ou seja, são criadas triplas RDF na ontologia que representam as medidas. Além disso, para cada tripla é associado um grau de confiança por meio de uma propriedade específica (hasTrust). Ao final, temos um evento semântico. p.10</p> <p>Utiliza o formalismo de Fuzzy OWL 2 para aplicar fuzificação nos eventos semânticos. Neste formalismo, os aspectos fuzzy são modelados por meio de anotações na ontologia.</p>	
13	<p>Propõe uma extensão baseada em Decision Networks para o OWL capaz de modelagem probabilística</p>	<p>Informação Incompleta</p>	<p>Redes de Decisão combinado com</p>	<p>Menciona que BN são utilizadas em diferentes trabalhos como abordagem probabilística pra tratar da incerteza, mas aponta que BN não são adequadas à</p>	<p>A DN é "anotada" na ontologia utilizando-se o conjunto mínimo de conceitos. Com isto, os autores mencionam que sua proposta é o modelo baseado em ontologia para tomada de decisão sob</p>	<p>Smart Home (Decision Making)</p>

			<p>Markov Boundary</p>	<p>tomada de decisão para ontologias em larga escala em cenários de incerteza pois: sua estrutura na forma clássica não fornece os requerimentos para decisões válidas de situações; e a codificação de informações sobre o mundo pode representar uma tarefa impossível ou levar a modelos altamente complexos com variáveis redundantes.</p> <p>*Em outra proposta baseada em DN mencionou-se que essa abordagem está limitada à "domínios" pequenos. Na abordagem proposta neste estudo, utiliza-se o Markov Boundary para superar este problema. Os autores propõem um algoritmo que recebe uma ontologia e uma classe e calcula o Markov Boundary da classe como "conjunto mínimo relevante". p.2</p> <p>Em trabalho anterior</p>	<p>incerteza mais simples e eficiente.</p> <p>A ontologia representa a DN, classes são nodos e propriedades são arcos (ligações). Codifica aspectos de probabilidades (CPT) na ontologia por meio de propriedades para serem posteriormente traduzidos na DN. p.4</p>	
--	--	--	------------------------	--	---	--

				(Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning), o autor menciona que essa combinação (DN + MB) é adequada à sistemas em larga-escala.		
30	Propor uma ontologia fuzzy de falhas a ser utilizada em conjunto com um Web Service para tolerância à falhas em WSN de larga escala (LS-WSN)	Informação Vaga	Fuzzy Logic	Menciona um estudo que demonstra que lógica fuzzy é adequada para o diagnóstico de falhas. Também menciona que o uso de "raciocínio aproximado" parece mais adequado para observações na presença de falhas. o.3	Utiliza a representação proposta por Bobillo e Straccia (2011) + plugin Fuzzy OWL 2 para o protegé (também desenvolvido pelo Bobillo e Straccia). Utiliza a ontologia para descrever as áreas de falhas. Utiliza tipos de dados fuzzy para codificar a incerteza na ontologia. Também utiliza regras em FuzzyDL para realizar o diagnóstico de falhas das WSNs. p.7	Large Scale WSN (LS-WSN)
36	Propõe um modelo de contexto fuzzy baseado na Teoria de Dempster-Shafer e ontologia Fuzzy	Informação Vaga	Fuzzy Dempster-Shafer Combinado com Fuzzy Logic	Não justifica a escolha dos modelos, porém, em comparação com determinada referência demonstra que o modelo proposto possui maior exatidão.	Utiliza a ontologia difusa para representar aspectos de incerteza e o modelo/teoria de Dempster-Shafer para raciocínio (similarity based reasoning) sobre a incerteza. Fornece algumas classes e propriedades para a modelagem e inferência de eventos complexos.	Ambientes Inteligentes em geral (focado em CEP)

					Utiliza a representação proposta por Bobillo e Straccia (2010) Fuzzy OWL 2. Modela aspectos de incerteza na ontologia.	
56	Propor uma arquitetura e método context-aware de alta performance para o processamento de eventos complexos (CACEP)	Informação Vaga	Fuzzy Logic	Utiliza o modelo fuzzy para permitir que as consultas (queries) sejam modeladas utilizando-se variáveis linguísticas.	Utiliza uma ontologia fuzzy para a representação de contexto (informação). Utiliza a representação proposta por Bobillo e Straccia (2010) Fuzzy OWL 2. Utiliza o FuzzyDL para raciocínio da incerteza.	Ambientes Inteligentes em geral (focado em CEP)
70	Propõe um modelo de contexto baseado em ontologias para o domínio das smart homes	Informação Vaga Informação Incompleta	Não se aplica	Não se aplica	Os autores são motivados pela premissa de que todos os sensores possuem uma taxa de erro. Consequentemente, as informações coletadas possuem um determinado grau de incerteza. Sendo assim, o modelo de contexto deve possuir elementos adicionais capazes de descrever a confiabilidade, exatidão e precisão das informações. p.5 A incerteza é modelada como metadados de contexto. Estes metadados são codificados como anotações na ontologia (owl:annotationProperties) e assim não afetam o processo de raciocínio ou a compatibilidade	Smart Homes (Uncertain context-modeling)

					<p>com o padrão OWL. Dessa forma, as propriedades de incerteza ficam disponíveis para consumo de algoritmos ou ferramentas externas.</p> <p>As propriedades definidas pelos autores para modelar a incerteza são: hasAccuracy, hasPrecision e hasConfidence</p>	
98	<p>Propõe um algoritmo de raciocínio para reconhecimento de atividades em ambientes inteligentes baseado na integração da capacidade de raciocínio das ontologias com a Teoria de Dempster-Shafer (para tratamento da incerteza)</p>	<p>Informação Incompleta p.2</p>	<p>Teoria de Dempster-Shafer</p>	<p>Por meio de evidências, a teoria D-S possui meios de lidar com a ignorância total (falta da informação) e também com informações conflituosas.</p> <p>Menciona que diversas abordagens para a representação da incerteza utilizam redes bayesianas, porém, este modelo não é capaz de lidar com informações perdidas/faltantes de sensores de forma satisfatória, o que é o foco do trabalho e pode ser tratado pela teoria D-S. p.3</p>	<p>Utiliza propriedades para anotar parâmetros evidenciais utilizados no D-S. Propõe uma propriedade de dados hasMass para definir a "força" de uma evidência para sustentar uma proposição (entre 0 e 1). p.6</p> <p>Também propõe uma propriedade de anotação para registrar os mapeamentos de evidência na ontologia (que está relacionado com a propagação de evidência da teoria de D-S). p.6</p>	<p>Ambientes Inteligentes (AR)</p>
112	<p>Propõe uma ontologia difusa para a</p>	<p>Informação Vaga</p>	<p>Fuzzy Logic</p>	<p>De acordo com determinada referência,</p>	<p>Utiliza a representação proposta por Bobillo e Straccia (2010)</p>	<p>Escritório e construções</p>

	<p>representação e reconhecimento de atividades humanas</p>	<p>Informação Incompleta*</p> <p>*Neste trabalho a informação "incompleta" tem a mesma conotação da informação vaga. p.15</p>		<p>predicados fuzzy são mais plausíveis e fornecem um mundo mais coeso do que modelos crisp. Sendo assim, ontologias clássicas não são adequadas para lidar com imprecisão ou vagueza. p.3</p>	<p>Fuzzy OWL 2. p.6 Utiliza o FuzzyDL para raciocínio da incerteza. p.9</p>	<p>públicas (focado em AR) p.15</p>
--	---	---	--	--	---	-------------------------------------

APÊNDICE F – Quantidade de referências fornecidas por trabalho selecionado na RSL

ID	TÍTULO	QUANTIADE DE REFERÊNCIAS
1	Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living	41
4	A method of meta-context ontology modeling and uncertainty reasoning in SWoT	19
6	A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments	17
7	AGACY monitoring: A hybrid model for activity recognition and uncertainty handling	17
9	Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning	41
11	Ontology based context aware situation tracking	10
12	FSCEP: A new model for context perception in smart homes	17
13	Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach	33
30	A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	28
36	Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning	14
56	Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things	16
70	An ontology-based context model in a smart home	11
98	Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition	70
112	A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour	57

APÊNDICE G – Quantidade de referências fornecidas por anal do URSW

ANO	EVENTO	LINK DOS ANAIS	QUANTIADE DE REFERÊNCIAS
2005	URSW I	http://ceur-ws.org/Vol-173	15
2006	URSW II	http://ceur-ws.org/Vol-218	11
2007	URSW III	http://ceur-ws.org/Vol-327	15
2008	URSW IV	http://ceur-ws.org/Vol-423	16
2009	URSW V	http://ceur-ws.org/Vol-527	9
2010	URSW VI	http://ceur-ws.org/Vol-654	12
2011	URSW VII	http://ceur-ws.org/Vol-778	11
2012	URSW VIII	http://ceur-ws.org/Vol-900	9
2013	URSW IX	http://ceur-ws.org/Vol-1073	6
2014	URSW X	http://ceur-ws.org/Vol-1259	9
2015	URSW XI	http://ceur-ws.org/Vol-1479	6
2016	URSW XII	http://ceur-ws.org/Vol-1665	6

APÊNDICE H – Informações extraídas dos estudos selecionados a partir das referências dos estudos selecionados na RSL e anais do URSW

TÍTULO	OBJETIVOS	INCERTEZA	MODELOS	JUSTIFICATIVA	USO DA ONTOLOGIA	CENÁRIO/TAREFA
A probabilistic ontological framework for the recognition of multilevel human activities	Explorar um framework baseado em Log-linear DL proposto em trabalho anterior. Esse framework está focado na modelagem/reconhecimento de atividades cotidianas utilizando-se um método de reconhecimento multinível (reconhece atividades mais simples para depois reconhecer atividades mais complexas)	Informação Incompleta (p.2)	Log-linear DL (baseada em distribuições de probabilidade; p.3)	Justifica que a abordagem log-linear permite integrar funcionalidades heterogêneas que facilitam a parametrização do modelo. Menciona que, diferentemente das probabilidades, os valores dos pesos associados com as restrições de incerteza não afetam a satisfatibilidade da ontologia. (p.2). O Log-linear DL também suporta os mesmos operadores do OWL 2 (p.3) Também justifica a escolha devido ao sucesso em sua aplicação em trabalho anterior.	Nessa abordagem, uma ontologia é composta com um conjunto de axiomas determinísticos (C ^{^D}) e outro conjunto de axiomas incertos (C ^{^U}); C = (C ^{^D} , C ^{^U}). O conjunto C ^{^D} modelo os axiomas tradicionais da ontologia e permite especificar restrições que sempre serão verdade (e.g.: um encontro sempre possui duas ou mais pessoas). O conjunto C ^{^U} permite especificar restrições com pesos que definem o quão possível é aquele axioma. Utiliza o ELOG reasoner (log-linear DLs) para computar a ontologia consistente mais provável entre as ontologias possíveis. Axiomas de peso são adicionados por meio de anotações utilizando a	Ambientes Inteligentes (Activity Recognition)

					propriedade "confiabilidade" (p.6)	
Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments	Prover uma ontologia capaz de modelar a ambiguidade e propor um processo de fusão e inferência de dados que utilize as informações incertas modeladas	Ambiguidade (Informação vaga/imprecisa) Informação incompleta (confiabilidade das medidas)	Fuzzy Sets para modelar termos vagos de usuários p.2 Certainty Factor (CF) para representar a confiabilidade das medidas (utiliza as estratégias tourney and combination para fundir ou selecionar a medida do sensor de acordo com o CF)	Não justifica	A ontologia é utilizada para modelar/armazenar as informações coletadas pelos sensores, para modelar o Certainty Factor dos sensores e para armazenar o resultado as inferências realizadas sobre estas informações. Por exemplo, um sensor com confiabilidade 0,7 em uma sala obtém um valor de temperatura de 32°C. Então essas informações são processadas e como resultado obtém-se uma classificação fuzzy daquela medida de temperatura: a temperatura da sala possui o nível 0 de pertencimento ao grupo frio; nível 0,2 de pertencimento ao grupo moderado; e 0,9 de pertencimento ao grupo quente. Obs*.: de acordo com os autores, o valor de confiabilidade do sensor é variável e por isso não é armazenado na ontologia (pois pode variar de acordo	Ambientes Inteligentes (Data Fusion)

					com as condições do ambiente), mas provido pelo sensor quando uma medida é gerada. (p.4)	
--	--	--	--	--	--	--

APÊNDICE I – Informações extraídas das ontologias incertas na etapa de criação do framework (parte 1/2)

Trabalho	Tipo de Incerteza	Modelo de Incerteza	Codificação da Incerteza	Ontologia-Base	Raciocínio Incerto	Situação de Uso
Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living	Informação Incompleta	MEBN	Por meio de classes e propriedades Sua abordagem envolve um conjunto de ontologias pré-modeladas.	OWL-DL (PR-OWL)	Sim. SWRL PR-OWL	Situation Tracking Decision Making Complex Event Processing
A method of meta-context ontology modeling and uncertainty reasoning in SWoT	Informação Incompleta	DBN	Por meio da extensão de classes na ontologia Sua abordagem envolve um conjunto de ontologias pré-modeladas.	OWL	Sim. Algoritmo externo	Uncertain Context Modelling
A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments	Informação Incompleta	Teoria da Probabilidade Mundos Possíveis	Por meio de classes e propriedades codificadas na ontologia Sua abordagem prove ontologias para modelar a informação incerta que podem ser associadas a ontologias pré-existentes	OWL (UNCERT)	Sim. Sistema: Assumption Based Truth Maintenance System (ATMS)	Reliability Complex Event Processing
AGACY monitoring: A hybrid model for activity recognition and uncertainty handling	Informação Incompleta	Lógica com Possibilidades Regras Lógicas Semânticas Customizadas Teoria de Dempster-Shafer	Por meio de propriedades de dados codificadas na ontologia	OWL	Sim. Algoritmo proposto no trabalho e baseado nos modelos de incerteza	Activity Recognition

Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning	Informação Incompleta Informação Imprecisa	Modelos Relacionais Probabilísticos (PRM) Abordagem Bayesiana Difusa	Por meio de propriedades de dados e de objeto codificadas na ontologia Por meio de classes específicas que são associadas as classes da ontologia por meio de propriedades de objeto	OWL	Sim. Algoritmo externo proposto no trabalho	Uncertain Context Modelling
Ontology based context aware situation tracking	Informação Incompleta	Dynamic Bayesian Networks (DBN)	É uma ontologia-base sobre a qual o domínio de interesse deve ser modelado. Atende às especificações de incerteza em relações conceituais por meio de Conditional Probability Tables (CPTs) codificadas na ontologia; As CPTs fazem parte das relações entre conceitos na ontologia	RDF/RDFS (MOWL)	Sim. Fornece um mecanismo de inferência para prover raciocínio probabilístico	Situation Tracking Decision Support
FSCEP: A new model for context perception in smart homes	Informação Imprecisa	Lógica Difusa	Por meio de propriedades codificadas na ontologia	OWL2 (Fuzzy OWL 2)	Sim. Por meio de uma função que executa a fuzzificação dos dados coletados pelos sensores utilizando diferentes funções de pertencimento	Complex Event Processing Situation Tracking Confiabilidade (Sensors Trustness)

Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach	Informação Incompleta	Redes de Decisão Markov Boundary	Por meio de classes e propriedades. (p.4)	OWL	Sim. Por meio de algoritmo proposto no trabalho	Decision Making
A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	Informação Imprecisa	Lógica Difusa	Por meio de propriedades codificadas na ontologia. Na verdade, a proposta incrementa uma ontologia-base genérica com conceitos específicos para produzir uma ontologia de tolerância a falhas para LS-WSN.	OWL2 (Fuzzy OWL 2)	Sim. FuzzyDL	Failure Diagnosis
Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning	Informação Imprecisa	Fuzzy Dempster-Shafer Fuzzy Logic	Por meio de classes e propriedades. Incrementa a ontologia-base com diferentes classes.	OWL2 (Fuzzy OWL 2)	Sim. Propõe um algoritmo para raciocínio sobre contexto baseado em similaridade	Complex Event Processing
Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things	Informação Imprecisa	Fuzzy Logic	Por meio de classes e propriedades (pois utiliza o Fuzzy OWL 2)	OWL2 (Fuzzy OWL 2)	Sim. FuzzyDL	Complex Event Processing Query Rewriting
An ontology-based context model in a smart home	Informação Incompleta Informação Imprecisa	Nenhum.	Por meio de propriedades de anotação na ontologia (metadados)	OWL	Não	Uncertain Context Modelling

Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition	Informação Incompleta	Teoria de Dempster-Shafer	Por meio de propriedades e propriedades de anotação Propõe uma ontologia própria para reconhecimento de atividades. Também utiliza propriedades de dados para representar a incerteza	OWL	Sim. Algoritmo proposto no trabalho	Activity Recognition
A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour	Informação Imprecisa	Fuzzy Logic	Por meio de classes e propriedades.	OWL2 (Fuzzy OWL 2)	Sim. FuzzyDL	Activity Recognition
A probabilistic ontological framework for the recognition of multilevel human activities	Informação Incompleta	Log-Linear DL	Por meio de pesos numéricos associados aos axiomas da ontologia probabilística. Esses pesos são modelados por meio de propriedades de dados	OWL 2	Sim. ELog Reasoner	Activity Recognition
Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments	Informação Incompleta Informação Imprecisa	Fuzzy Logic Certainty Factor	Por meio de classes e propriedades	OWL	Sim. JFuzzyLogic modificado, ou seja, algoritmo proposto no trabalho.	Data Fusion

APÊNDICE J – Informações extraídas das ontologias incertas na etapa de criação do framework (parte 2/2)

Trabalho	Vantagens	Desvantagens	Exemplos de Aplicação
<p>Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living</p>	<p>Segundo os autores, linguagens probabilísticas de primeira ordem (especificamente o MEBN) são mais expressivas que apenas anotações dentro da ontologia.</p> <p>Em relação a outros trabalhos, os autores mencionam que sua abordagem é capaz de prever o comportamento do usuário e agir pró-ativamente (antes de determinada situação ocorrer).</p> <p>Busca prover extensibilidade da abordagem para tratar novas situações ao longo do tempo (relacionado a facilidade de adicionar novos dispositivos no sistema).</p> <p>Reúne diferentes ontologias relacionadas voltadas para o Ambient Assisted Living capazes de modelar diferentes situações.</p> <p>Fornecer um guia para a modelagem de situações de interesse utilizando a abordagem proposta.</p> <p>Permite atuar tanto reativamente quanto proativamente.</p>	-	<p>Prove um exemplo de implementação do sistema proposto incluindo a especificação das tecnologias empregadas. No exemplo, focado em um cenário de ambiente de vida assistida, modela-se a atividade de automedicação e a situação indesejável de não-medicação.</p> <p>Nesse cenário, o sistema acompanha um idoso que deve tomar medicações em determinados períodos o dia. Porém a capacidade cognitiva do idoso degrada-se de forma não-perceptível para sua família e/ou acompanhantes. O objetivo do sistema nesse cenário é identificar quando o idoso não é mais capaz de tomar sua medicação nos momentos necessários e lembrá-lo de tomar a medicação quando necessário.</p>
<p>A method of meta-context ontology modeling and uncertainty reasoning in SWoT</p>	<p>Capaz de lidar com a dinamicidade no mundo (em contraste com a DN). De forma prática, uma BN deve ser gerada para cada amostra/unidade de tempo no sistema.</p> <p>Os autores mencionam que a complexidade do modelo (DBN) é relativamente baixa.</p>	<p>Nesta versão da proposta, não há mecanismo previsto para relacionar uma situação detectada com uma reação (serviço) correspondente.</p>	-

<p>A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments</p>	<p>Os autores provaram que o sistema é preciso no cenário de exemplo (detecção de presença e quantidade de pessoas em um cômodo).</p> <p>O sistema que raciocina sobre a informação incerta é desacoplado do sistema que produz as informações e representa a confiabilidade das fontes de informação.</p>	-	<p>Prove um exemplo de implementação do sistema proposto incluindo a especificação das tecnológicas empregadas. Os autores utilizam como exemplo um cenário no qual a smart home infere eventos de alto nível (de abstração) a partir de informações coletadas pelos sensores. Mais especificamente, a smart home fornece informações sobre a presença e quantidade de pessoas na casa (o sistema responsável por esse comportamento é nomeado FLODD-TUM).</p> <p>Ainda relativo ao cenário anterior, os autores descrevem uma extensão capaz de lidar com a confiabilidade das fontes de informação e o grau de certeza das informações geradas pelos sensores.</p>
<p>AGACY monitoring: A hybrid model for activity recognition and uncertainty handling</p>	<p>Fornecer representações de conceitos relacionados a sensores, ações, eventos, atividades, pessoas, objetos e tempo.</p> <p>Utiliza ontologias para derivar eventos e ações a partir de medidas incertas de sensores e utiliza uma abordagem baseada em dados para identificar atividades a partir dos eventos e ações incertos.</p> <p>O código da implementação exemplo da abordagem está disponível na Internet.</p> <p>De acordo com testes comparativos dos autores, o algoritmo proposto para o reconhecimento de atividades é rápido e eficiente.</p>	-	<p>Os autores implementaram e testaram a abordagem utilizando um dataset com informações reais sobre a rotina de pessoas coletadas a partir de ambientes inteligentes.</p>

<p>Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning</p>	<p>Permite representar tanto medidas discretas quanto medidas contínuas.</p> <p>De acordo com experimentos realizados, o modelo proposto consegue obter inferências exatas com melhor performance do que o modelo de Redes Bayesianas.</p> <p>Exige muito menos parâmetros do que as BNs tradicionais, devido a capacidade de representar medidas contínuas.</p> <p>Adequado para grandes bases de dados.</p>	<p>A abordagem utiliza DAG que são inadequados para representar dependências cíclicas no conhecimento. As relações de incerteza entre as classes precisam ser conhecidas a priori e modeladas na ontologia.</p>	<p>Provém um cenário de exemplo no qual busca-se minimizar o consumo de energia dos dispositivos na smart home levando em consideração o conforto dos habitantes.</p>
<p>Ontology based context aware situation tracking</p>	<p>Permite prever possíveis situações futuras com base na situação atual.</p> <p>Prove ontologias baseadas na proposta que codificam diferentes contextos: usuário; eventos; dispositivos; e ações.</p> <p>Segundo o estudo, a MOWL, sob a qual a proposta está baseada, a) permite a modelagem perceptual de conceitos por meio de sua associação com padrões de mídia (ex.: vídeo, áudio e texto); b) prove construtos para a modelagem espaço-temporal entre conceitos que podem representar objetos ou eventos; ou seja, permite a evolução do grafo da ontologia, mantendo um histórico de estados passados para ser utilizado na identificação da situação corrente e predição de situações futuras; c) atende à especificações de incerteza em relações conceituais por meio de Conditional Probability Tables (CPTs) codificadas na ontologia; d) prove um mecanismo de inferência robusto para prover raciocínio probabilístico para reconhecimento de conceito e recomendação baseado em Redes Bayesianas.</p>	<p>Menciona que as DBNs possuem uma limitação para cenários nos quais o número de nodos na rede é muito grande.</p>	<p>Descreve a composição (ontologias e dispositivos) da abordagem proposta em vista de um cenário de smart mirror nas smart homes.</p>
<p>FSCEP: A new model for context perception in smart homes</p>	<p>Uma das principais vantagens destacadas no uso do modelo Fuzzy é a capacidade de tratar da imprecisão na informação e a capacidade de múltiplas interpretações das informações.</p> <p>É capaz de garantir as seguintes características nas informações trabalhadas pelo sistema.</p>	<p>Menciona que a abordagem possui limitações de performance e escalabilidade.</p> <p>Não é flexível, ou seja, o</p>	<p>Descreve a inferência de eventos complexos em um cenário de smart homes com diferentes sensores alocados em dois cômodos. A partir deste cenário, explica a composição e operação do sistema de CEP</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Atualidade: o CEP atua em informações geradas dentro de um intervalo de tempo especificado, garantido a atualidade das informações - Precisão refinada: devido a semantização dos eventos e fuzificação dos eventos; - Confiabilidade - cada sensor possui um determinado grau de confiança; - Capaz de lidar com a contradição nas informações. 	cenário deve ser conhecido e modelado previamente. Não é possível adicionar novos dispositivos no sistema de forma dinâmica (em tempo de execução).	proposto. Descreve o desenvolvimento de um protótipo baseado na proposta e as tecnologias utilizadas. Avalia o protótipo em um cenário de identificação de localização de um habitante na smart home.
Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach	A abordagem é escalável em relação a quantidade de informações de entrada.	-	Os autores realizam a implementação da abordagem proposta (descrito vagamente) em um cenário de smart homes e avaliam o desempenho da mesma.
A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks	<p>Menciona um estudo que demonstra que lógica fuzzy é adequada para o diagnóstico de falhas. Também menciona que o uso de "raciocínio aproximado" parece mais adequado para observações na presença de falhas.</p> <p>Facilita o teste e diagnóstico de falhas em LS-WSN. Suporta o autoteste e diagnóstico para tolerância a falhas.</p>	Não se sabe o impacto em aplicações reais devido a falta de desenvolvimento da abordagem.	-
Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based	Capaz de lidar com informações conflituosas obtendo novas informações	O algoritmo utilizado na inferência possui baixa escalabilidade.	Descreve um cenário de exemplo de identificação de destino do motorista explicando as variáveis e processo de inferência, mas não fornece detalhes de implementação.

reasoning			
Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things	<p>Provê uma ontologia de exemplo da proposta para o domínio automotivo.</p> <p>Possui performance e escalabilidade aceitável.</p> <p>Suporta variáveis linguísticas no mecanismo de consultas.</p>	<p>A performance da abordagem precisa ser melhorada para grandes conjuntos de instâncias na ontologia.</p> <p>A proposta não foi avaliada em um cenário real.</p>	<p>Fornecer um exemplo baseado em uma simulação de tráfego, detalhando os componentes utilizados.</p>
An ontology-based context model in a smart home	<p>A codificação da incerteza em propriedades de anotação não afeta o processo de inferência do raciocinador OWL DL.</p>	<p>A abordagem estende as propriedades de anotações (cria novos tipos de propriedades), reduzindo assim sua compatibilidade com outras linguagens OWL.</p>	-
Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition	<p>Por meio de evidências, a teoria D-S possui meios de lidar com a ignorância total (falta da informação) e também com informações conflituosas.</p> <p>Menciona que diversas abordagens para a representação da incerteza utilizam redes bayesianas (BN), porém, este modelo (BN) não é capaz de lidar com informações perdidas/faltantes de sensores de forma satisfatória, o que é o foco do trabalho e pode ser tratado pela teoria D-S.</p> <p>De acordo com testes, a abordagem apresenta boa precisão em relação a outras abordagens para o reconhecimento de atividades.</p>	-	<p>Realiza um teste da abordagem sobre um dataset interno e um dataset público.</p> <p>Menciona as ferramentas utilizadas no protótipo de testes.</p> <p>Compara a solução proposta com abordagens baseadas em dados e abordagens baseadas em conhecimento</p>

	<p>Propõe uma estrutura de ontologia para modelar atividades nas smart homes contendo 5 categorias principais de conceitos: sensor, localização, objeto, ação e atividade.</p> <p>Permite representar lacunas na informação (ignorância sobre uma informação)</p>		
<p>A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour</p>	<p>Propõe uma ontologia Fuzzy voltada para o reconhecimento de atividades com os seguintes conceitos principais: usuários, ambiente e atividades.</p> <p>Possui performance similar a abordagens tradicionais no tempo de raciocínio quando testado em grandes datasets. Para algumas consultas, a abordagem proposta possui melhor desempenho do que a abordagem tradicional.</p> <p>A abordagem é escalável para grandes bases de conhecimento. A abordagem possui maior precisão na tarefa de reconhecimento de atividades do que abordagens tradicionais.</p>	<p>O raciocinador utilizado não permite utilizar papéis/propriedades irreflexivas ou assimétricas (no caso, a abordagem não utiliza estes recursos).</p> <p>O raciocinador utilizado não implementa restrições de cardinalidade</p> <p>A abordagem poderia ser melhorada utilizando-se um raciocinador que possuísse a capacidade de fornecer notificações em tempo real.</p>	<p>Exemplifica a aplicação da abordagem proposta em diferentes situações de um cenário de escritório mencionando as tecnologias utilizadas. Além disso, compara a abordagem com uma abordagem tradicional (sem habilidade de representar a informação incerta)</p>
<p>A probabilistic ontological framework for the recognition of multilevel human activities</p>	<p>Desenvolveram uma ontologia de atividades modelando por volta de 150 atividades baseadas em um dataset real (parte do projeto Activity and Context Recognition with Opportunistic Sensor Configuration; http://www.opportunity-project.eu)</p>	<p>Não lida com informações faltantes.</p> <p>Possui limitações no relacionamento de atividades complexas em relação ao tempo.</p>	<p>Explica a implementação do sistema mencionando as tecnologias utilizadas. Testa o sistema com base no dataset utilizado para modelar a ontologia.</p>

Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments	Permite anotar o nível de confiabilidade nos sensores que será associado as suas informações geradas (p.4), o que implica em um processo de fusão de dados mais robusto. Prove uma ontologia com os seguintes elementos principais: "coisa localizável" (dispositivos, usuário e informação); capacidades; localização; e termos linguísticos.	-	-
--	---	---	---

APÊNDICE K – Trabalhos que aplicam ontologias não-incertas na linguagem OWL nas *smart homes*

ANO	TÍTULO	SITUAÇÕES DE USO	CITAÇÕES
2018	Detection of attacks in IoT based on ontology using SPARQL	Knowledge Representation	0
2018	Ontology-driven semantic unified modelling for concurrent activity recognition (OSCAR)	Activity Recognition	0
2018	Supporting IoT semantic interoperability with autonomic computing	Interoperability	0
2018	Ontology-based automation of security guidelines for smart homes	Interoperability	0
2017	Towards adaptive control in smart homes: Overall system design and initial evaluation of activity recognition	Service Discovery	0
2018	Implementation of semantic system in the smart home lights device based on agent	Decision Making	0
2018	Human-Centric Automation and Optimization for Smart Homes	Decision Support	0
2018	Context-aware personalized activity modeling in concurrent environment	Activity Recognition	0
2018	Ontology-based sensor fusion activity recognition	Data Fusion	0
2016	Multi-layer cloud architectural model and ontology-based security service framework for IoT-based smart homes	Interoperability	12
2018	Ontology-based personalized resource efficiency management for residential users of smart homes: Short paper	Decision Support	0
2018	Development of an Ontology Based Solution for Energy Saving Through a Smart Home in the City of Adrar in Algeria	Decision Making	0
2018	Access rights management based on user profile ontology for IoT resources authorization in smart home	Decision Support	0
2018	GrOWTH: Goal-oriented end user development for web of things devices	Knowledge Representation	0
2018	MSSN-Onto: An ontology-based approach for flexible event processing in Multimedia Sensor Networks	Knowledge Representation	0
2016	Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes	Knowledge Representation	9
2017	Customization of domestic environment and physical training supported by virtual reality and semantic technologies: A use-case	Knowledge Representation	0
2017	Automatically enabled analytics in buildings and smart homes	Knowledge Representation	0

2017	Integrating building and urban semantics to empower smart water solutions	Interoperability	4
2017	Thing relation modeling in the internet of things	Domain Modeling	2
2017	An approach to user interactions with IoT-enabled spaces	Knowledge Representation	1
2017	Web objects based energy efficiency for smart home IoT service provisioning	Interoperability	1
2017	Resource provisioning for cloud-assisted body area network in a smart home environment	Knowledge Representation	3
2017	An ontology-based context-aware system for smart homes: E-care@home	Activity Recognition	5
2017	Semantic segmentation of real-time sensor data stream for complex activity recognition	Activity Recognition	5
2017	Refining visual activity recognition with semantic reasoning	Activity Recognition	
2017	House management system with real and virtual resources: Energy efficiency in residential microgrid	Interoperability	3
2016	Towards a service-oriented architecture for a mobile assistive system with real-time environmental sensing	Activity Recognition	4
2016	A decoupled three-layered architecture for service robotics in intelligent environments	Interoperability	0
2016	Automatic setup of fault detection algorithms in building and home automation	Knowledge Representation	3
2016	Knowledge creation model in WoO enabled smart ageing IoT service platform	Interoperability	3
2016	A semantic approach with decision support for safety service in smart home management	Decision Support	5
2016	Hybrid approach for selective delivery of information streams in data-intensive monitoring systems	Knowledge Representation	4
2016	Semantic registration and discovery system of subsystems and services within an interoperable coordination platform in smart cities	Knowledge Representation	1
2016	ONDAR: An ontology for home automation	Domain Modeling	0
2016	Development of middleware architecture to realize context-aware service in smart home environment	Knowledge Representation	1
2016	Mining sequential patterns to efficiently manage Energy Storage Systems within smart home buildings	Knowledge Representation	1
2016	Enabling Semantics in an M2M/IoT Service Delivery Platform	Interoperability	4
2016	Ontology-based context aware for ubiquitous home care for elderly people	Decision Support	1
2016	A smart home control system based on context and	Knowledge	4

	human speech	Representation	
2016	Ontology development based on generic object oriented smart home model	Knowledge Representation	0
2016	Environment for telehealth applications on top of BDI4JADE	Interoperability	1
2016	A habit-based SWRL generation and reasoning approach in smart home	Knowledge Representation	2
2016	Using Ontology Reasoning in Building a Simple and Effective Dialog System for a Smart Home System	Knowledge Representation	2
2016	A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes	Domain Modeling	9
2016	A Framework for Anomaly Diagnosis in Smart Homes Based on Ontology	Knowledge Representation	1
2016	A Context-Aware System Infrastructure for Monitoring Activities of Daily Living in Smart Home	Domain Modeling	5
2016	Ecological gestures for HRI: The GEE corpus	Domain Modeling	0
2016	Semantic interoperability for holonic energy optimization of connected smart homes and distributed energy resources	Interoperability	0
2016	Interoperable and efficient: Linked data for the internet of things	Interoperability	1
2016	An ontology model for a context-aware preventive assistance system: Reducing exposition of individuals with Traumatic Brain Injury to dangerous situations during meal preparation	Domain Modeling	0
2016	Autonomic semantic-based context-aware platform for mobile applications in pervasive environments	Interoperability	3
2016	Autonomy through knowledge: How IoT-O supports the management of a connected apartment	Domain Modeling	1
2018	Estimating the Operation of Unknown Appliances for Service Robots Using CNN and Ontology	Knowledge Representation	0
2017	Ontology-based model for trusted critical site supervision in FUSE-IT	Interoperability	0
2016	Ontology-based intelligent home assistance system	Decision Support	0
2016	The introduction of ontology model based on SSO design pattern to the intelligent space for home service robots	Interoperability	0
2016	A semantic approach to IoT data aggregation and interpretation applied to home automation	Interoperability	2
2018	The Exchange of Knowledge Using Cloud Robotics	Domain Modeling	0

2016	Knowledge-Based Fault Propagation in Building Automation Systems	Fault Detection	5
2017	Autonomous control strategy creation for building energy management	Domain Modeling	0
2016	Intelligent mailbox with centralized parallel processing	Domain Modeling	0
2017	A Semantic-Enabled Social Network of Devices for Building Automation	Domain Modeling	0
2018	A semantic mechanism for Internet-of-Things (IoT) to implement intelligent interactions	Decision Support	0
2018	Ontology-based feature generation to improve accuracy of activity recognition in smart environments	Activity Recognition	0
2018	Using Ontologies for the Online Recognition of Activities of Daily Living	Knowledge Representation	0
2018	Real-time activity recognition for energy efficiency in buildings	Activity Recognition	3
2017	mICAF: Multi-Level Cross-Domain Semantic Context Fusioning for Behavior Identification	Data Fusion	0
2017	iKnow: Ontology-driven situational awareness for the recognition of activities of daily living	Activity Recognition	1

APÊNDICE L – Respostas obtidas e ontologias incertas identificadas a partir das respostas obtidas para cada trabalho (parte 1/2)

Trabalho	Resumo	Quais tipos de informação incerta devem ser representados?	Qual é o modelo de representação da informação incerta de preferência utilizado?
Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes (TAO; OTA; DONG, 2016)	No trabalho de Tao, Ota e Dong (2016), os autores inicialmente propõem uma ontologia genérica para o domínio das <i>smart homes</i> . A partir desta ontologia, os autores propõem um modelo de fusão de dados semânticos e abordam o problema da representação das informações anotadas pela ontologia em uma base de dados relacional.	<p style="text-align: center;">Informação Imprecisa</p> <p>A ontologia é modelada para representar entidades e relações em uma <i>smart home</i>. Além disso, também há a preocupação da fusão semântica de dados provenientes de fontes heterogêneas. A representação da informação imprecisa poderia ser utilizada para representar a correlação entre informações provenientes de diferentes fontes para serem fundidas ou utilizadas durante o raciocínio.</p>	Não identificado.
Semantic segmentation of real-time sensor data stream for complex activity recognition (TRIBOAN <i>et al.</i> , 2017)	<p>Neste trabalho de Triboan <i>et al.</i>, (2017), tendo por base o desenvolvimento de ambientes de vida assistida por meio do reconhecimento de atividades, os autores propõe uma abordagem para a segmentação semântica de fluxo de dados de sensores em tempo real.</p> <p>A ontologia é utilizada fundamentalmente para detectar o início de atividades (que podem ser concorrentes) e disparar seus tratadores correspondentes (threads para tratar as atividades). Quando os tratadores de atividades já existem, o sistema realiza a distribuição dos eventos de sensores (informações) para seus tratadores correspondentes.</p>	<p style="text-align: center;">Informação Incompleta</p> <p>O trabalho utiliza a ontologia para associar eventos de sensores com atividades que estão ocorrendo em determinado momento. Como as atividades não são necessariamente compostas pelos mesmos eventos (ex.: o habitante pode beber água de uma garrafa na geladeira ou do filtro de água), é necessário identificar o quanto um evento está relacionado com determinada atividade. Desta forma, pode-se representar a informação imprecisa nesta abordagem. Além disso, na etapa inicial do processo realizado pela abordagem utiliza-se raciocínio terminológico (TBox) para identificar quais atividades estão sendo iniciadas pelos habitantes. Neste caso, pode-se</p>	Não identificado.

		representar a informação incompleta para identificar o quanto as ações realizadas pelos habitantes remetem a determinadas atividades conhecidas pelo sistema.	
Multi-layer cloud architectural model and ontology-based security service framework for IoT-based smart homes (TAO <i>et al.</i> , 2016)	<p>No trabalho de Tao <i>et al.</i> (2016), os autores propõem uma arquitetura multicamadas baseadas em computação na nuvem e ontologias para prover a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes em uma <i>smart home</i>. A interoperabilidade é endereçada efetivamente na forma de regras semânticas, que compõe informações referentes a diferentes dispositivos.</p> <p>Por exemplo (TAO <i>et al.</i>, 2016), poder-se-ia definir uma regra que ativa o alarme de incêndio e aspersor de água contra incêndios a partir de informações coletadas por detectores de fumaça e temperatura em determinado cômodo da <i>smart home</i>. Neste exemplo há quatro dispositivos que podem ter sido produzidos por diferentes fabricantes: i) alarme de incêndio; ii) aspersor de água contra incêndios; iii) detector de fumaça; iv) detector de temperatura (termômetro). A interoperabilidade ocorre por meio da reunião de informações destes quatro dispositivos em uma única regra para prover um serviço na <i>smart home</i>.</p>	<p>Informação Incompleta</p> <p>Na proposta do trabalho, poder-se-ia representar a informação incompleta nas regras que permitem a interoperabilidade entre dispositivos heterogêneos, permitindo assim a geração de regras mais complexas e que podem indicar um ou outro serviço, dependendo das informações disponíveis. (por exemplo, caso o detector de temperatura detecte uma alta temperatura, mas o detector de fumaça não detectou gases tóxicos, a probabilidade de haver um incêndio é baixa, e assim apenas o ar condicionado será ativado).</p>	Não identificado.
Towards adaptive control in smart homes: Overall	Neste trabalho, Wang <i>et al.</i> (2017) propõe um sistema de controle adaptativo para <i>smart homes</i> . O objetivo básico deste sistema é	Informação imprecisa, para permitir associar sensores a uma atividade com diferentes graus de pertencimento.	Não identificado.

<p>system design and initial evaluation of activity recognition (WANG <i>et al.</i>, 2017)</p>	<p>realizar o reconhecimento das atividades dos habitantes das <i>smart homes</i>, identificar os serviços relacionados a estas atividades e executar ações (disparar serviços) relevantes automaticamente para estas atividades. Por exemplo, o sistema detecta que o usuário está assistindo televisão e automaticamente reduz a iluminação no cômodo em questão e aumenta o volume da televisão.</p> <p>Nesta proposta, a ontologia é utilizada para realizar o relacionamento entre as atividades, serviços (ex.: controle de iluminação e controle de volume da televisão) e dispositivos (sensores e atuadores). Uma vez que estas informações estão mapeadas, consulta-se a ontologia para descobrir os serviços e dispositivos associados a determinada atividade detectada pelo sistema.</p> <p>As informações recuperadas a partir da ontologia são então utilizadas por outra parte do sistema para executar ações automaticamente.</p>		
<p>Development of an Ontology Based Solution for Energy Saving Through a Smart Home in the City of Adrar in Algeria (SABA <i>et al.</i>, 2018)</p>	<p>No trabalho de SABA <i>et al.</i> (2018), os autores buscam reduzir o consumo desnecessário de energia por meio de um sistema inteligente para o controle dos objetos consumidores de energia na <i>smart home</i>. Para isto, os autores modelam em uma ontologia as principais entidades em uma <i>smart home</i> (ex.: fontes de energia, habitantes, atividades e eletrodomésticos) e suas relações. A partir disso, são geradas regras em SWRL que representam situações nas quais pode-se desligar equipamentos elétricos por não estarem sendo utilizados ou por haver</p>	<p>Informação Incompleta</p> <p>No trabalho são descritas regras baseadas em SWRL. Estas regras permitem a realização da tarefa de tomada de decisão pelo sistema de economia de energia. Cada regra é baseada em um conjunto de variáveis que, se forem verdade, disparam uma ação correspondente. Por exemplo, caso os sensores de movimento permitem detectar que não há pessoas na casa, caso não sejam estimulados. Nesse caso, uma regra baseada nestas informações pode apagar todas as luzes da habitação para economizar energia.</p>	<p>A representação da informação incompleta e uso de modelos de probabilidade poderia beneficiar o sistema.</p>

	<p>alternativas a estes equipamentos que não consome energia elétrica.</p> <p>Os autores (SABA <i>et al.</i>, 2018) criam regras para economia de energia em situações como desligar as luzes em um cômodo se não houverem pessoas neste cômodo, desativar os equipamentos elétricos na <i>smart home</i> quando não houver pessoas na habitação e abrir as cortinas e desligar as luzes caso a iluminação natural exterior seja suficiente. O sistema proposto foi aplicado em um cenário real e validou-se que atinge seu objetivo de reduzir o consumo de energia em uma <i>smart home</i>.</p>	<p>As regras utilizadas estão baseadas em informações específicas. Caso alguma das informações na qual a regra está baseada não possa ser coletada, a regra jamais será ativada. Neste caso, a representação da informação incompleta e uso de modelos de probabilidade poderia beneficiar o sistema.</p>	
<p>A semantic approach with decision support for safety service in smart home management (HUANG <i>et al.</i>, 2016)</p>	<p>Neste trabalho, Huang <i>et al.</i> (2016) propõem um sistema para suporte a decisão em um conjunto de <i>smart homes</i>. O sistema proposto é composto por uma rede de sensores sem fio que transmitem seus dados para uma base central na qual uma ontologia é utilizada para descrever e relacionar diferentes informações.</p> <p>No sistema, a ontologia descreve conceitos relacionados a atividades, risco, serviços e a <i>smart home</i> em si (ex.: seus cômodos, habitantes e dispositivos), facilitando assim a integração das diferentes entidades. O SWRL é utilizado para realizar inferência sobre as informações e prover a funcionalidade de suporte a decisão.</p>	<p>Informação Incompleta</p> <p>A proposta neste trabalho utiliza regras para identificar os serviços preferíveis de acordo com os eventos de risco. Nesse caso, pode-se utilizar a representação da informação incompleta para identificar a probabilidade de um ou outro serviço ser adequado a determinada situação baseado nos eventos de risco.</p>	<p>Os autores identificaram a necessidade de representação do tempo na abordagem, de modo que possam identificar situações a partir de eventos gerados dentro de um determinado intervalo de tempo.</p>
<p>Ontology-based</p>	<p>No trabalho de Noor, Salcic e Wang (2018), os</p>	<p>Informação imprecisa</p>	<p>Não identificado.</p>

<p>sensor fusion activity recognition (NOOR; SALCIC; WANG, 2018)</p>	<p>autores propõem um método para fusão de dados provenientes de sensores vestíveis e sensores no ambiente com base em uma ontologia. A ontologia é utilizada para modelar conceitos sobre sensores, localização, interação com objetos, atividades e ações. Além disso, a ontologia é utilizada para realizar o reconhecimento de atividades. A fusão de dados ocorre por meio da ontologia utilizando-se diferentes informações que para inferir ações.</p>	<p>Para permitir a criação de regras mais complexas, os autores poderiam utilizar a informação imprecisa para atribuir graus de incerteza as informações inferidas a partir da fusão de dados de sensores.</p> <p>Como em alguns casos algumas informações necessárias podem não estar disponíveis, poder-se-ia utilizar informações alternativas para realizar estas inferências. Como essas informações são alternativas e, possivelmente, menos precisas, pode-se atribuir um grau de incerteza a informação inferida a partir da fusão destes dados alternativos.</p>	
<p>A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes (NI; DE LA CRUZ; HERNANDO, 2016)</p>	<p>No trabalho de Ni, De La Cruz e Hernando (2016), os autores propuseram uma ontologia para a modelagem de atividades do dia-a-dia (do inglês, Activities of Daily Living - ADL) nas <i>smart homes</i>. A ontologia fornece conceitos sobre usuários, atividades, informações de contexto e suas relações, sendo seu principal objetivo fornecer uma base para a modelagem de ADL nas <i>smart homes</i> para aplicações específicas. Os principais beneficiários desta proposta, de acordo com os autores, são os idosos e os cuidadores (ex.: parentes ou profissionais da saúde) que prestam auxílio aos idosos, por meio da obtenção de informações coletadas pelos sistemas ADL e disponibilizadas para monitoramento remoto da saúde dos idosos.</p> <p>Para criar a ontologia proposta, os autores (NI; DE LA CRUZ; HERNANDO, 2016) seguiram a</p>	<p>Informação Imprecisa</p> <p>A abordagem tem um foco na modelagem das preferências dos usuários, inclusive é um diferencial. O trabalho poderia se beneficiar da representação da informação imprecisa nesse caso, para modelar estas preferências.</p>	<p>Possui requisitos temporais</p>

	<p>metodologia NeOn (REF). Por meio desta metodologia, os autores listaram determinados requisitos que deveriam ser atendidos e buscaram reutilizar e interligar diversas ontologias já existentes que atendessem a suas necessidades. Entre estas ontologias estão a DUL (REF), SSN (REF), FOAF (REF), SIOC (REF), etc.</p>		
<p>Knowledge-Based Fault Propagation in Building Automation Systems (DIBOWSKI; HOLUB; ROJÍCEK, 2016)</p>	<p>Os autores deste trabalho (DIBOWSKI, HOLUB; ROJÍCEK, 2016) propõem uma abordagem para a propagação de falhas em sistemas de automação de construções. De acordo com os autores, falhas em determinados componentes das construções inteligentes podem afetar outros componentes relacionados. Por meio da propagação de falhas, pode-se identificar quais são os possíveis outros componentes que serão afetados. Para isso, os autores utilizaram uma ontologia para modelagem de conceitos e entidades em construções e SWRL para realização de inferências (e propagação de falhas) com base nas informações representadas na ontologia.</p>	<p style="text-align: center;">Informação Incompleta</p> <p>Os autores modelam diferentes regras para determinar as possíveis causas de falhas nas construções e modelam regras para determinar a propagação das falhas no sistema. Nesse caso, a abordagem poderia beneficiar-se da representação da informação incompleta, que permite realizar inferências a partir de informações faltantes e associar diferentes valores de probabilidade a consequências inferidas por meio das regras. Por exemplo, uma determinada falha pode ser propagada pelo sistema, porém, em algumas partes do sistema a falha poderá se espalhar com uma maior probabilidade do que em outras partes do sistema. A representação da informação incompleta permite obter estes tipos de inferência (raciocínio sobre informação incompleta e probabilidade de eventos)</p>	<p style="text-align: center;">Não identificado.</p>

APÊNDICE M – Respostas obtidas e ontologias incertas identificadas a partir das respostas obtidas para cada trabalho (parte 2/2)

Trabalho	Como as propriedades de incerteza estão codificadas na ontologia?	Qual é o nível de expressividade necessário na abordagem?	A abordagem provê meios para o raciocínio sobre a informação incerta?	Qual é a situação de uso da ontologia?	Ontologias Selecionadas
Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes (TAO; OTA; DONG, 2016)	Podem ser codificadas diretamente na ontologia, de forma que a ontologia e suas regras possam ser representadas na base de dados relacional e a ontologia facilmente reaproveitada (classes e propriedades)	Os autores buscam tratar do problema da rápida expansão do <i>dataset</i> em uma <i>smart home</i> , dessa forma, a abordagem deve se eficiente em relação a um grande <i>dataset</i> . Expressividade da abordagem OWL 2.	Sim.	Representação do Conhecimento e Fusão de Dados	FSCEP: A new model for context perception in smart homes Fuzzy D-S theory based fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things
Semantic segmentation of real-time sensor data stream for complex activity recognition (TRIBOAN <i>et al.</i> , 2017)	Não foi identificado preferência.	A proposta conta com raciocínio terminológico (TBox) e assertivo (Abox). Expressividade da abordagem OWL.	Sim. É necessário identificar o quanto um evento de sensor estar ou não associado a determinadas atividades.	Reconhecimento de atividades	Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments
Multi-layer cloud architectural model and	Por meio de anotações, preferencialmente. Se houver necessidade de combinação de diferentes ontologias, a	A ontologia deve modelar conceitos, propriedades e relações relativos a dispositivos, segurança,	Sim. Utiliza-se o raciocínio (SWRL) para realizar o mapeamento entre	Interoperabilidade	Enhancing ontological reasoning with uncertainty handling for activity recognition

ontology-based security service framework for IoT-based smart homes (TAO <i>et al.</i> , 2016)	codificação da informação incerta por meio de propriedades de anotação é uma abordagem pouco intrusiva e evitaria a geração de maiores diferentes entre uma ontologia e outra (caso a codificação ocorra por meio de classes e propriedades, a ontologia possuirá mais elementos que devem ser considerados no momento de combinação de suas informações com outras ontologias, ao passo que as propriedades de anotação podem ser ignoradas, já que são metadados).	comunicação de dados, ambiente e entretenimento. Expressividade da abordagem OWL.	diferentes protocolos de comunicação.		
Towards adaptive control in smart homes: Overall system design and initial evaluation of activity recognition (WANG <i>et al.</i> , 2017)	Independente, pois uma nova ontologia é criada para este cenário.	Objective: To develop an ontology framework that can be used to associate devices, multimedia service and user's activity. (p.3) Focado principalmente no relacionamento entre entidades, de forma que permita a recuperação de entidades relacionadas a uma atividade. Poderia utilizar OWL ou Fuzzy OWL 2.	O trabalho menciona o problema de mapeamento múltiplo, no qual um sensor pode estar associado a mais de uma atividade, o que pode prejudicar a classificação de atividades. Nesse caso, o raciocínio sobre a informação imprecisa pode identificar a força da relação de um sensor	Descoberta de Serviços	Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning FSCEP: A new model for context perception in smart homes A fault fuzzy-ontology for large scale fault-tolerant wireless sensor networks Fuzzy D-S theory based

			com uma atividade (o quando o sensor está de fato relacionado àquela atividade).		<p>fuzzy ontology context modeling and similarity based reasoning</p> <p>Context-aware complex event processing for event cloud in internet of things</p> <p>A fuzzy ontology for semantic modelling and recognition of human behaviour</p> <p>Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments</p>
Development of an Ontology Based Solution for Energy Saving Through a Smart Home in the City of Adrar in Algeria (SABA <i>et al.</i> , 2018)	Podem ser codificadas diretamente na ontologia, de forma que a ontologia e suas regras possam ser facilmente reaproveitadas (classes e propriedades).	O trabalho propõe uma ontologia que modela as entidades em uma <i>smart home</i> (ex.: fontes de energia, habitantes, atividades e eletrodomésticos) e suas relações. A partir disso, cria regras para a tomada de decisões. A expressividade da ontologia deve atender a estes requisitos, então pode-se utilizar o OWL ou OWL 2.	Sim. É uma característica relevante pois o sistema se baseia no raciocínio realizado pela ontologia para realizar a tomada de decisões.	Tomada de Decisão	Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach
A semantic approach with	Não foi identificado preferência.	No trabalho, os autores mencionam que o sistema	Sim. É necessário realizar o raciocínio	Suporte a Decisão e	Ontology based context aware situation tracking

<p>decision support for safety service in smart home management (HUANG <i>et al.</i>, 2016)</p>		<p>deve suportar uma grande quantidade de dados provenientes das diversas <i>smart homes</i> monitoradas. Nesse caso, necessita-se de uma abordagem capaz de lidar com um grande volume de dados. Expressividade da abordagem OWL 2</p>	<p>para prover os serviços de segurança e identificação de riscos</p> <p>Neste caso, os autores utilizam o Java Expert System Shell (Jess) para o raciocínio.</p>	<p>Reconhecimento de Atividades</p>	
<p>Ontology-based sensor fusion activity recognition (NOOR; SALCIC; WANG, 2018)</p>	<p>Não foi identificado preferência.</p>	<p>Os autores utilizaram o OWL DL para o desenvolvimento da ontologia. Expressividade da abordagem OWL.</p>	<p>Sim. É necessário realizar o reconhecimento de atividades a partir das informações disponíveis.</p>	<p>Fusão de Dados e Reconhecimento de atividades</p>	<p>Modelling and Managing Ambiguous Context in Intelligent Environments</p>
<p>A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes (NI; DE LA CRUZ; HERNANDO, 2016)</p>	<p>Por meio de propriedades de anotação</p> <p>Como o propósito da ontologia é servir como base para a modelagem de ADL em cenários específicos, uma abordagem menos intrusiva estaria de acordo com esta ideia.</p> <p>Uma abordagem menos intrusiva pode evitar restrições futuras, pois não afeta diretamente o modelo que será utilizado para modelagem e inferência. Além disso, a abordagem menos intrusiva</p>	<p>Os autores buscam representar informações sobre usuários, contexto, atividades e as relações entre estas informações. Os autores escolheram especificamente a linguagem OWL 2.</p>	<p>Sim</p>	<p>Modelagem de Domínio e Reconhecimento de Atividades</p>	<p>Nenhuma das abordagens atende a todos os requisitos</p>

	facilita para que a ontologia seja utilizada sem os conceitos de incerteza, caso seja necessário. Sendo assim, pode-se utilizar a modelagem da informação incerta por meio de anotações.				
Knowledge-Based Fault Propagation in Building Automation Systems (DIBOWSKI; HOLUB; ROJÍCEK, 2016)	Por meio de classes e propriedades. As propriedades de incerteza podem ser utilizadas durante o raciocínio incerto para realizar a propagação de falhas com diferentes valores de probabilidade	Pode-se utilizar o OWL para realizar a modelagem das entidades e suas relações.	Sim. Os autores utilizam o SWRL para escrever regras de propagação de falhas.	Diagnóstico de Falhas	<p>Reactive, proactive, and extensible situation-awareness in ambient assisted living</p> <p>A method of meta-context ontology modeling and uncertainty reasoning in SWoT</p> <p>A Semantic Approach for Managing Trust and Uncertainty in Distributed Systems Environments</p> <p>Knowledge-oriented semantics modelling towards uncertainty reasoning</p> <p>Uncertainty reasoning for smart homes: An ontological decision network based approach</p> <p>Modelling and Managing</p>

					Ambiguous Context in Intelligent Environments
--	--	--	--	--	--