



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Rodrigo do Nascimento Siqueira

SysloTML: Uma técnica para modelagem de aplicações no contexto de IoT

**São Luís
2023**

Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

SysloTML: Uma técnica para modelagem de aplicações no contexto de IoT

Rodrigo do Nascimento Siqueira

**São Luís - MA
2023**

Rodrigo do Nascimento Siqueira

SysloTML: Uma técnica para modelagem de aplicações no contexto de IoT

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFMA, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Ciência da Computação.

Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - CCET

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - PPGCC

Orientador: Prof. Dr. Davi Viana dos Santos

São Luís - MA

2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

do Nascimento Siqueira, Rodrigo.

SysIoTML: Uma técnica para modelagem de aplicações no contexto de IoT / Rodrigo do Nascimento Siqueira. - 2023.
101 f.

Orientador(a): Davi Viana dos Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.

1. IoT. 2. Modelagem. 3. SysML. I. Viana dos Santos, Davi. II. Título.

À minha família e aos que contribuíram com essa jornada.

Agradecimentos

Agradeço ao meus pais, Antônio Roque Portela de Araújo, Rosângela de Fátima Medeiros de Araújo e Maria Lúcia Gama do Nascimento, por todo o apoio, paciência e amor dados. E aos meus irmãos Gabriel, Eduardo, Arícia, Ivo e Ricardo, por estarem do meu lado e me apoiarem sempre que possível.

À Rosilda Nogueira e Kamilla Nogueira Soares, por serem uma terceira mãe e uma irmã, respectivamente, e pelos anos de conselhos dados.

Sou muito grato ao meu orientador, professor Davi Viana, por todas as orientações dadas nos últimos anos, sem elas este trabalho não seria possível.

Ao professor Geraldo Braz Junior, pelos anos de tutoria no PETComp.

Ao PETComp, grupo do qual fiz parte e que possui um grande papel na minha vida acadêmica e pessoal. Graças a ele tive uma nova perspectiva do curso e os anos que passei lá mostraram o caminho profissional que queria seguir.

Ao Laboratório de Sistemas Distribuídos Inteligentes (LSDI) pelo espaço e oportunidades oferecidos. E aos professores e colegas do LSDI por todo o companheirismo desses últimos anos.

A todos os amigos que fiz no PET, mais conhecidos como petianos, vocês melhoraram muito minha vida na universidade.

Aos meus amigos e companheiros Anderson Silva, Carolina Lima, Celielma Baldez, Lucas Abreu, Victor Lemos, Marcos Vinícius, Nelia Reis, Eduardo Roger, Phillipe Mendonça, Marcos Vinicius, Paulo Fonseca por toda ajuda, amizade e carinho, e por me aguentarem todos esses anos.

E agradeço a todas as pessoas que passaram pela minha vida, o que sou hoje é graças a vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da InterSCity, do PROCAD/Amazonia, da Produtividade em Pesquisa - FAPEMA (BEPP-01608/21) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“It’s never too late to be
what you might have been.”
(George Eliot)*

*“Remember:
Your focus determines your reality.”
(Star Wars)*

Resumo

A Internet das Coisas (IoT) é um conceito que conecta objetos inteligentes equipados com sensores, redes e tecnologias de processamento que trabalham juntos para fornecer um ambiente no qual serviços inteligentes são levados aos usuários. A modelagem de sistemas deve ser realizada para criar sistemas IoT e garantir a implementação de um bom sistema. A IoT aumenta a complexidade da modelagem de sistemas devido a novos conceitos que precisam ser abordados. No entanto, não existem técnicas estabelecidas de modelagem de sistemas para este contexto específico. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma nova técnica para modelagem de sistemas IoT, o SysIoTML, uma extensão do SysML. Tal técnica considerou aspectos específicos de Sistemas IoT (comportamento e interatividade). Foi proposto o SysIoTML e realizamos uma prova de conceito para analisar a viabilidade técnica. A técnica desenvolvida mostrou-se útil, e os participantes conseguiram modelar o problema proposto. A principal contribuição é avançar na modelagem de sistemas inteligentes por meio de uma nova técnica.

Palavras-chave: Sistemas IoT, técnica de modelagem, SysML

Abstract

The Internet of Things (IoT) is a concept that connects smart objects equipped with sensors, networks, and processing technologies that work together to provide an environment in which smart services are brought to users. Systems modeling should be conducted to create IoT Systems and ensure the implementation of a good system. IoT increases the complexity of systems modeling due to novel concepts that need to be addressed. However, there are no established techniques for systems modeling for this specific context. This paper presents the development of a new technique for IoT systems modeling, the SysIoTML, an extension of SysML. Such techniques consider specific aspects of IoT Systems (behavior and interactivity). We proposed the SysIoTML and conducted a concept-proof to analyze the technical feasibility. The developed technique proved useful, and the participants were able to model the proposed problem. The main contribution is to advance IS modeling through a new technique. **Keywords:** IoT Systems, modeling technique, SysML

Lista de ilustrações

Figura 1 – Facetas IoT, via (MOTTA, 2021).	20
Figura 2 – Roadmap IoT, via (MOTTA, 2021).	24
Figura 3 – Diagrama de caso de uso, via (SYSML, 2003).	26
Figura 4 – Diagrama de sequência, via (SYSML, 2003).	27
Figura 5 – SysML, via (OMG, 2019).	29
Figura 6 – Diagrama de máquina de estado, via (SYSML, 2003).	30
Figura 7 – Diagrama de definição de bloco, via (SYSML, 2003).	31
Figura 8 – Diagrama de Prisma: Execução da MSL	37
Figura 9 – Facetas da IoT exploradas pelos trabalhos selecionados.	38
Figura 10 – Diagrama de Caso de Uso, de autoria própria.	44
Figura 11 – Diagrama de Sequência, de autoria própria.	45
Figura 12 – Diagrama de Máquina de Estado, de autoria própria.	46
Figura 13 – Diagrama de Definição de Bloco, de autoria própria.	47
Figura 14 – Gráfico questão 1, de autoria própria.	50
Figura 15 – Gráfico questão 2, de autoria própria.	51
Figura 16 – Gráfico questão 3, de autoria própria.	51
Figura 17 – Gráfico questão 4, de autoria própria.	52
Figura 18 – Gráfico questão 5, de autoria própria.	52
Figura 19 – Diagrama de caso de uso errado, de autoria própria.	54
Figura 20 – Diagrama de Caso de Uso, de autoria própria.	92
Figura 21 – Diagrama de Sequência, de autoria própria.	94
Figura 22 – Diagrama de Máquina de Estado, de autoria própria.	96
Figura 23 – Diagrama de Definição de Bloco, de autoria própria.	97

Lista de tabelas

Tabela 1 – Objetivo Estruturado	34
Tabela 2 – PICOC	34
Tabela 3 – Palavras-chave e seus sinônimos.	34
Tabela 4 – <i>String</i> de busca	35
Tabela 5 – Artigos com a base em IoT ou UML/SysML	36
Tabela 6 – Características da Faceta de Comportamento e Interação.	42
Tabela 7 – Especificações do Diagrama de Caso de Uso.	44
Tabela 8 – Especificações do Diagrama de Definição de Bloco.	47
Tabela 9 – Caracterização dos participantes.	49
Tabela 10 – Resumo dos estudos revisados.	81
Tabela 11 – Especificações do Diagrama de Caso de Uso.	92
Tabela 12 – Especificações do Diagrama de Definição de Bloco.	98

Lista de abreviaturas e siglas

UFMA - Universidade Federal do Maranhão

IoT - *Internet of Things*

UML - *Unified Modeling Language*

SysML - *Systems Modeling Language*

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

ONU - Organização das Nações Unidas

MSL - Mapeamento Sistemático da Literatura

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Problema	15
1.4	Metodologia	16
1.5	Objetivos	17
1.5.1	Objetivo Geral	17
1.5.2	Objetivos específicos	17
1.6	Organização da Dissertação	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	IoT	19
2.2	Facetas de IoT	20
2.2.1	Domínio do Problema	21
2.2.2	Conectividade	21
2.2.3	Coisas	21
2.2.4	Comportamento	21
2.2.5	Inteligencia	22
2.2.6	Data	22
2.2.7	Interatividade	22
2.2.8	Ambiente	22
2.3	Roadmap IoT	23
2.4	Modelagem de sistemas	24
2.4.1	UML	24
2.4.1.1	Perfil UML	27
2.4.2	SysML	28
3	TRABALHOS RELACIONADOS	33
3.1	Objetivo e perguntas de pesquisa do Mapeamento Sistemático da Literatura	33
3.2	Protocolo do Mapeamento Sistemático da Literatura	33
3.3	Resultado do Mapeamento Sistemático da Literatura	35
3.3.1	RQ1 — Quais métodos ou técnicas de modelagem de software são específicos para sistemas no contexto de cidades inteligentes?	37
3.3.2	RQ1.1 — Quais das abordagens RQ1 foram validadas e em que medida?	38

3.3.3	RQ1.2 — Até que ponto as abordagens permitem a comunicação e o entendimento entre os atores do projeto/equipe de desenvolvimento?	39
3.3.4	RQ2 — Quais métodos ou técnicas de modelagem de sistemas em geral foram utilizados, ou adaptados para modelagem de sistemas em cidades inteligentes?	39
4	SYSIOTML	41
4.1	Diagrama de Caso de Uso	43
4.2	Diagrama de Sequência	43
4.3	Diagrama de Máquina de Estado	45
4.4	Diagrama de Definição de Bloco	46
5	AVALIAÇÃO	48
5.1	Contexto: Sinais de trânsito	48
5.1.1	Experimento: Planejamento e Condução	49
5.1.2	Experimento: Resultados e discussão	50
5.1.3	Oráculo	53
5.1.4	Discussão	53
5.1.5	Ameaças à validade	54
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	56
6.1	Limitações	56
6.2	Ameaças à validade	57
6.3	Contribuições	57
6.4	Trabalhos futuros	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES	79
	APÊNDICE A – ARTIGOS SELECIONADOS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO	80
	APÊNDICE B – GUIA SYSIOTML: DIAGRAMA DE CASO DE USO	91
	APÊNDICE C – GUIA SYSIOTML: DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA	93
	APÊNDICE D – GUIA SYSIOTML: DIAGRAMA DE MÁQUINA DE ESTADO	95

APÊNDICE E – GUIA SYSIOTML: DIAGRAMA DE DEFINIÇÃO DE BLOCO	97
APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DO PARTICIPANTE	99
APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO	100

1 Introdução

A Internet das Coisas é um conceito para a interconexão digital de objetos do cotidiano com a internet. É um paradigma que permite compor sistemas a partir de objetos endereçáveis de maneira única (coisas) equipado com a identificação, sensação ou atuação de comportamentos e capacidades de processamento que podem se comunicar e cooperar para alcançar um objetivo (MOTTA; OLIVEIRA; TRAVASSOS, 2018). De dispositivos primários com soluções de sistemas simples a sistemas de grande escala e alto desempenho que produzem e analisam excesso de dados, a IoT alcançará todas as áreas de interesse (JACOBSON; SPENCE; NG, 2017), áreas estas que envolvem diretamente humanos. É um conceito de objetos físicos (sensores, veículos, edifícios e outros) capazes de coletar e transmitir dados, incorporando sensores, software e outras tecnologias, de modo a se conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas na Internet.

1.1 Contextualização

Os dispositivos e serviços inteligentes são usados através das diversas aplicações executadas no ambiente IoT (MIAO; LIU, 2016). Diversas capacidades, como produzir/consumir dados e serviços online, melhoram a vida diária e as atividades em todo o mundo através do contexto da IoT (TALAVERA et al., 2017).

Cenários de IoT são aplicações com dispositivos inteligentes que os usuários os aplicam em suas atividades diárias em diversos campos. Além disso, as aplicações IoT têm alguns benefícios para os usuários escolherem a melhor oportunidade em qualquer caso, tomada de decisão, gerenciamento e monitoramento (GHOBAEI-ARANI et al., 2018).

Nos últimos anos, a IoT tem se mostrado presente amplamente na maioria dos aspectos da vida humana em todos os lugares, como cidades, residências, universidades, fábricas industriais, organizações, ambientes agrícolas, hospitais e centros de saúde (MURALIDHARAN; ROY; SAXENA, 2018). Apesar das motivações dos diferentes domínios de aplicação, todos eles têm um objetivo comum e compartilhado: fornecer serviços inteligentes para aumentar a qualidade de vida humana (BELLO; ZEADALLY, 2019).

Um bom exemplo sobre essa crescente presença da IoT é as cidades inteligentes, uma cidade inteligente usa sensores da IoT em áreas urbanas para coletar dados e automatizar sistemas como tráfego, uso de energia e gerenciamento de resíduos. Ao fazer isso, as cidades inteligentes melhoram a eficiência dos serviços urbanos, reduzem custos e proporcionam um padrão de vida mais elevado. Ou seja, para as cidades inteligentes a IoT fornece maneiras de otimizar as operações da cidade e a eficiência dos serviços e fornece aos

cidadãos conectividade de rede por meio de seus dispositivos físicos. Desde dispositivos primários com soluções de software simples até sistemas de software de grande escala e alto desempenho que produzem e analisam abundância de dados, a IoT alcançará todas as áreas de interesse (JACOBSON; SPENCE; NG, 2017).

Esses serviços visam melhorar a qualidade de vida das pessoas, como, por exemplo, controle de tráfego urbano, atendimento médico emergencial e domiciliar, monitoramento de energia e rotas de evacuação em caso de desastres, monitoramento de saúde ou de atividade física. Atualmente, esses serviços têm acesso crítico sendo implantados perto dos usuários finais (ABREU et al., 2016), estes sendo pessoas.

Sistemas de Informação, incluindo Sistemas IoT, se beneficiam do uso de modelagem, pois a modelagem auxilia os desenvolvedores a visualizar melhor o planejamento e projeto do sistema, além de permitir que o desenvolvimento seja mais adequado. Ressalta-se que sistemas computacionais complexos requerem um alto nível de qualidade e a busca por tais sistemas tem motivado o desenvolvimento de métodos de modelagem (LIMA; FALCÃO; ANDRADE, 2021).

Diferentes funcionalidades de serviços precisam ser integradas para alcançar a comunicação entre sistemas, sensores, controladores, atuadores, outros softwares, serviços e pessoas como uma ferramenta para coletar e armazenar dados. Portanto, é necessário fornecer uma arquitetura de sistema que tenha alto nível de escalabilidade e interoperabilidade para garantir a continuidade desses serviços (DIACONITA; BOLOGA; BOLOGA, 2018), para tanto é interessante modelar esses sistemas previamente e de maneira adequada.

Com a evolução do conceito de IoT, sensores e atuadores passaram a fazer parte do paradigma de sistemas de software e possibilitaram os comportamentos de Sensoriamento e Atuação. Significa que um sistema de software IoT pode ter comportamentos de Identificação, Detecção, Atuação, ou uma combinação deles (MOTTA, 2021), além da possibilidade de saber a relação (interação) entre eles. Portanto, conhecer os sensores e atuadores de um dispositivo IoT pode ajudar a saber seu comportamento.

1.2 Justificativa

Softwares se beneficiam com o uso de modelagem, por auxiliarem os desenvolvedores a visualizar melhor o planejamento do sistema e permite que o desenvolvimento seja construído corretamente. A modelagem de sistemas usa algum tipo de linguagem de modelagem, como, por exemplo, a UML (*Unified Modeling Language*) e o SysML (*Systems Modeling Language*). Modelagem de sistemas é o processo de desenvolvimento de modelos abstratos de componentes de um sistema, apresentando uma visão ou perspectiva mais abrangente do que o sistema faz (JACOBSON; SPENCE; NG, 2017).

Em sistemas IoT, há diversos aspectos adicionais que precisam ser modelados. São aspectos inerentes a este tipo de engenharia de sistemas, e que no trabalho de (MOTTA; OLIVEIRA; TRAVASSOS, 2018) são divididos em facetas (as Facetas IoT e o Problema de Domínio), como o comportamento específico e interação. Em outro trabalho, é apresentado o Roadmap IoT (MOTTA, 2021) sendo um guia do que considerar ao especificar, projetar e implementar sistemas IoT, nele são coletadas evidências para cada uma das sete Facetas IoT e do Problema de Domínio, incluindo as de comportamento e interação.

As coisas nos sistemas de software IoT eram objetos anexados com etiquetas eletrônicas, então esses sistemas apresentam comportamento de identificação. O conceito evoluiu, fazendo que sensores e atuadores possibilitassem os comportamentos de Sensoriamento e Atuação. Isso significa que um sistema de software IoT pode ter comportamentos de identificação, detecção, atuação ou uma combinação deles.

O comportamento de um sistema IoT pode auxiliar nas tomadas de decisão a ações, pois tornando um sistema inteligente são os dispositivos utilizados e o processo de tomada de decisão e toda a arquitetura da solução (ATABEKOV et al., 2015). Além disso, muitos dispositivos na IoT são baseados no comportamento humano; portanto, as relações sociais (por exemplo, amizade e conflito) das pessoas são muito críticas, o que deve ser considerado na IoT com comunicações dispositivo a dispositivo (CHEN; TANG; COON, 2018). Um ponto do comportamento presente na IoT, é modelar o comportamento para melhor interagir com outros sistemas e pessoas ou para resolver problemas de forma mais eficaz, e variações no contexto, os artefatos e o ambiente.

A tecnologia tornou-se uma necessidade em nossa vida cotidiana e essencial para a conclusão (manutenção) de atividades que normalmente tomamos como certas; as tecnologias podem nos ajudar concluindo tarefas definidas ou alcançando os objetivos desejados, com efeito, ideal e da maneira mais eficiente, melhorando assim nossas experiências interativas (ROSALES et al., 2018). A interação pode ajudar a compreender a dinâmica de um sistema, sua organização estrutural e a interação entre objetos, principalmente com o aumento da complexidade e do número de dispositivos. Novos estilos arquitetônicos são necessários para lidar com suas necessidades de escalabilidade, isolamento de falhas e flexibilidade, por exemplo (HERRERA-QUINTERO et al., 2018).

1.3 Problema

Modelar as características de comportamento e interação de um sistema IoT, é uma tarefa importante, ao serem essas características que irão definir como o sistema reagirá com os usuários finais. A partir da definição de características podemos ter uma melhor visualização de como o software que irá ser produzido pode fazer e suas limitações. Um dos problemas da modelagem é a verificação de modelos, ou seja, investigar se um modelo

atende às especificações, propriedades e comportamentos para que o desenvolvimento do software seja baseado em modelos corretos, o que melhorará a segurança e a qualidade dos sistemas (BARESI et al., 2013) (ABDULKHALEQ; WAGNER; LEVESON, 2015), sistemas IoT não estão protegidos a este problema.

Após a realização do mapeamento sistemático da literatura entendemos que usar o SysML seria interessante, porque ele fornece modelagem em múltiplas visões arquitetônicas, por meio de diagramas que podem modelar a estrutura, o comportamento e a interação do sistema. Estender o SysML para incluir elementos das facetas de comportamento e interação como componentes SysML nativos e adaptar a linguagem para representar elementos relacionados a IoT são fatores importantes. Essa transformação permite uma melhor modelagem das infraestruturas que realizam operações inteligentes, por exemplo, modelar as infraestruturas de um sistema de controle semafórico desenvolvido por meio dessa transformação garante que a mobilidade ocorra em um ambiente seguro e saudável (SOUZA; MISRA; SOARES, 2020b).

1.4 Metodologia

A metodologia é dividida em três etapas principais: (1) mapeamento sistemático da literatura, (2) Proposta de tecnologia de software e (3) Estudos de avaliação.

- Mapeamento sistemático da literatura: realizada durante o ano de 2021, o objetivo desta etapa foi revisar a literatura técnica de forma mais sistemática, para levantar um entendimento sobre modelagem de sistemas de Cidades Inteligentes e seus desafios, identificando suas definições, características e áreas de uso atuais, pois o foco inicial eram Cidades Inteligentes. Esta revisão é detalhada no Capítulo 3 e visa principalmente trazer insumos para viabilizar a proposta tecnológica para a pesquisa, mas também contribuir para pesquisas futuras que necessitem de um conhecimento mais estruturado sobre modelagem para Cidades Inteligentes.
- Proposta de tecnologia de software: uma vez obtidos os resultados do mapeamento da literatura, foi idealizado uma técnica que não só modelasse Cidades Inteligentes, mas qualquer cenário que se utilize IoT. Primeiro ocorreu um processo de identificação de características da IoT e segundo a adaptação deles no SysML. Este processo e seus resultados são descritos no Capítulo 4.
- Estudos de avaliação: a técnica proposta foi examinada por meio de um estudo empírico relacionados à IoT. Foi realizada entre novembro e dezembro de 2022 visando observar a aplicação da técnica na modelagem de sistemas de sinais de trânsito inteligentes. O estudo de avaliação são detalhados no Capítulo 5.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é desenvolver uma técnica para modelagem de sistemas para IoT, a técnica SysIoTML e para tanto, foi realizado a definição da técnica de modelagem. Por fim, conduziu-se uma avaliação visando verificar uma viabilidade inicial da técnica de modelagem. A técnica é baseada nas evidências apontadas no Roadmap IoT das Facetas IoT de comportamento e interatividade, pois estes pontos demonstram o que é exatamente esperado de uma aplicação IoT.

1.5.2 Objetivos específicos

- Criar um corpo de conhecimento sobre modelagens específicas para aplicações no contexto de IoT;
- Desenvolvimento e avaliação experimental de uma técnica de modelagem específica para o contexto de IoT;
- Avaliar experimentalmente a técnica de modelagem;

1.6 Organização da Dissertação

Esta dissertação contribui para a pesquisa e prática em Engenharia de Software, especialmente para a Modelagem de Software. Uma extensão do perfil SysML para IoT, denominada SysIoTML, é descrita. Também é elaborado um experimento para o sistema de sinais de trânsito urbano utilizando a técnica. Esta dissertação está organizada em 6 capítulos, uma breve descrição do conteúdo de cada capítulo é apresentada a seguir.

- Fundamentação teórica: a ideia é apresentar os conceitos de IoT, as Facetas IoT, o Roadmap IoT, a UML e a SysML;
- Trabalhos relacionados: é apresentado o mapeamento sistemático da literatura sobre Cidades Inteligentes, que foi de onde a ideia da proposta surgiu;
- SysIoTML: é apresentado a técnica desenvolvida, incluindo o processo de criação, os diagramas, regras e condições;
- Avaliação: é detalhado os experimentos efetuados, incluindo o contexto e os requisitos. Também é detalhado o perfil dos participantes, a avaliação deles da técnica e a acertabilidade da modelagem;

- Conclusão: apresenta as conclusões desta dissertação, as limitações e desafios da pesquisa, as ameaças à validade e algumas possibilidades de trabalhos futuros que podem ser realizados para dar continuidade a esta pesquisa.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo é apresentado os conceitos fundamentais de IoT, as Facetas IoT, o Roadmap IoT e conceitos da UML e SysML. Na Seção 2.1 são apresentados definições de IoT. A Seção 2.2 apresenta as Facetas IoT. O Roadmap IoT é explicado na Seção 2.3. A UML é apresentado na Seção 2.4.1. E por fim, é apresentado a SysML na Seção 2.4.2

2.1 IoT

Na literatura existem diferentes definições para IoT, ou seja, não existe uma definição única aceita pela comunidade mundial de usuários. O que todas as definições têm em comum é a ideia de que a primeira versão da Internet era sobre dados criados por pessoas, enquanto a próxima versão é sobre dados criados por coisas (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015), além das soluções produzidas serem voltadas para o bem-estar humano.

A IoT também pode ser considerada uma rede global que permite a comunicação entre humano para humano, humano para coisas e coisas para coisas, sendo qualquer coisa no mundo, fornecendo identidade única para cada objeto (AGGARWAL; DAS, 2012). IoT descreve um mundo onde praticamente qualquer coisa pode ser conectada e se comunicar de uma forma inteligente como nunca. A maioria de nós pensa em “estar conectado” em termos de dispositivos eletrônicos como servidores, computadores, tablets, telefones e smartphones (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015) (AGGARWAL; DAS, 2012).

Uma vez que as coisas cotidianas podem sentir o ambiente, elas se tornam mais conscientes do que está ao seu redor, caracterizando a consciência de contexto. Além disso, no contexto da IoT são aqueles objetos equipados com recursos de identificação, detecção, rede e processamento (MOTTA, 2021). Com essa consciência de contexto, os sistemas de software IoT possuem características multidisciplinares e inovadoras nas mais diversas áreas (FIZZA et al., 2021).

Muitos aplicativos IoT estão disponíveis, incluindo automação, monitoramento e dispositivos vestíveis (DIAN; VAHIDNIA; RAHMATI, 2020), estes utilizando sensores e atuadores com base para funcionamento. A IoT está presente em várias áreas como fabricas, hospitais, fazendas e até cidades completas, além de começar a estar integrada em casas, apartamentos e até em cidades completas.

2.2 Facetas de IoT

A IoT é um paradigma de comunicação recente que vislumbra um futuro próximo, em que os objetos da vida cotidiana serão equipados com microcontroladores, transceptores para comunicação digital e pilhas de protocolos adequadas que os tornarão capazes de se comunicar entre si e com os usuários, tornando-se parte integrante da Internet (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). A visão de IoT pode se tornar o alicerce para realizar uma plataforma de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) de escala urbana unificada, liberando assim o potencial da visão de conceitos como as Cidades Inteligentes (HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2011), podendo assim ser um conceito que habilita e que dá sustentação principal para Cidades Inteligentes.

Em (MOTTA; OLIVEIRA; TRAVASSOS, 2018) são apresentadas as Facetas IoT, que representam a visão diferentes facetas que caracterizam a multidisciplinaridade da IoT. Neste trabalho os autores apresentam os desafios que envolvem a engenharia de software e a IoT. Foi realizada uma análise das definições de IoT identificadas por uma revisão da literatura, de um relatório de uma empresa estatal e de preocupações de profissionais, definindo assim as facetas necessárias para a materialização da IoT. Como resultado, foram obtidas o Domínio do Problema e sete facetas diferentes: Conectividade, Coisas, Comportamento, Smartness, Data (este sendo adicionado posteriormente em (MOTTA, 2021)), Interatividade e Ambiente. Na Figura 9 é mostrado a estrutura conceitual do framework.

A seguir são apresentados definições de cada faceta e o Domínio do Problema, retirados de (MOTTA, 2021).

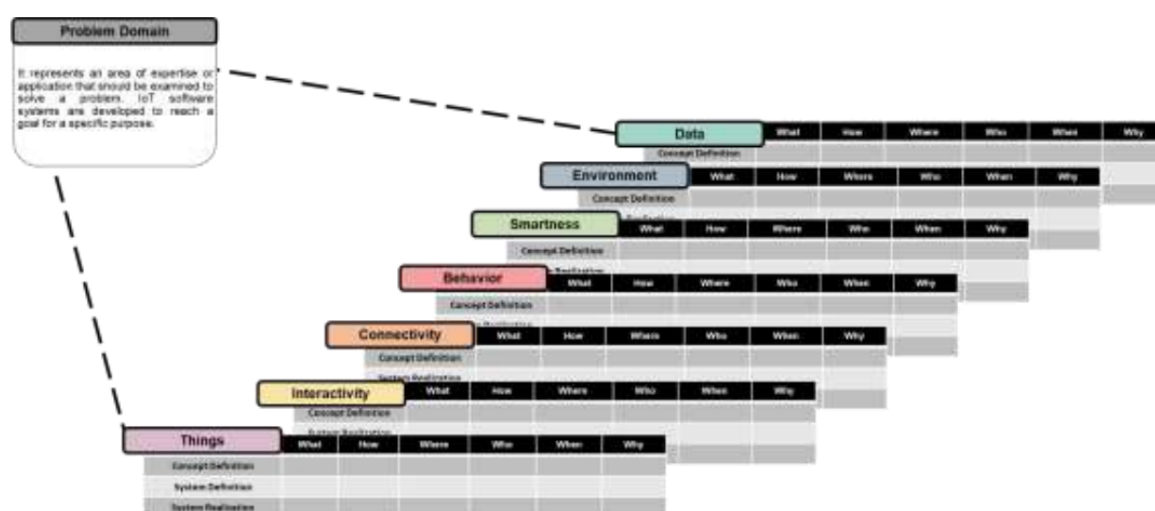


Figura 1 – Facetas IoT, via (MOTTA, 2021).

2.2.1 Domínio do Problema

Um domínio de problema é a área de especialização ou aplicação que precisa ser examinada para resolver um problema. Os sistemas de software IoT são desenvolvidos para atingir uma meta para uma finalidade específica, de um objetivo (domínio do problema) para obter uma solução (sistema de software). Concentrar-se em um domínio de problema é apenas olhar apenas para os tópicos de interesse e excluir o resto. Ele, em geral, direciona o objetivo dessa solução. Este conceito não é visto como uma faceta uma vez que se apresenta em qualquer solução de software.

2.2.2 Conectividade

É essencial alguma forma de conexão, uma rede para o desenvolvimento de soluções, por ser necessário ter um meio pelo qual as coisas possam se conectar para materializar o paradigma IoT. Percebe-se que requisitos específicos estão mais relacionados à natureza dos dispositivos ou às necessidades da aplicação, que influenciam diretamente na comunicação — como baixa latência, largura de banda e robustez, segurança, protocolos e padrões (KUMAR; NASEERA, 2017). Ainda que alguns dos requisitos não estejam diretamente relacionados à conectividade, eles apresentam aspectos que influenciam profundamente a comunicação.

2.2.3 Coisas

São essencialmente as coisas por si mesmas em IoT: sensores, atuadores e todo o hardware podem tradicionalmente substituir o computador, expandindo a conectividade. Coisas existem no reino físico, como sensores, atuadores ou qualquer objeto equipado com comportamentos de identificação, detecção ou atuação e recursos de processamento que podem se comunicar e cooperar para atingir um objetivo, variando conforme os requisitos do sistema (WHITMORE; AGARWAL; XU, 2014).

2.2.4 Comportamento

Essa faceta compreende a realização do comportamento, portanto, pode ser necessário usar soluções de software, tecnologias semânticas, análise de dados e outras áreas para melhorar o comportamento das coisas. Usando dispositivos para coletar uma abundante de dados comportamentais humanos e transformá-los em informações valiosas para melhorar a experiência do usuário, alterando o comportamento, os interesses e as preferências do usuário (ELAYAN et al., 2022). Nesse sentido, toda a manipulação, análise e processamento dos dados foram encapsulados nesta faceta, tratando do comportamento implementado e dos resultados gerados. A ideia do comportamento do sistema resulta de suas partes constituintes. O comportamento é gerado pela interação e colaboração de

dois ou mais dispositivos, e a combinação de comportamentos mais diretos pode gerar um comportamento mais complexo.

2.2.5 Inteligencia

A inteligência está relacionada com o comportamento, mas também com a sua gestão ou organização. Portanto, refere-se à orquestração associada às coisas e a que nível de tecnologia de inteligência pode evoluir seu comportamento inicial. A inteligência artificial e as técnicas de aprendizado de máquina podem aprimorar a inteligência e as interações eficazes entre as coisas para gerenciar a inteligência. Agora, as empresas de tecnologia têm soluções baseadas em IoT, algoritmos de inteligência artificial que extraem informações e preveem padrões (MISRA et al., 2022). É fundamental destacar que apenas sensores que coletam dados não tornam inteligente o desenvolvimento de aplicativos inteligentes. Para um sistema ser inteligente, ele precisa de um conjunto de ações, por exemplo, tratar dados, tomar decisões e agir.

2.2.6 Data

Dados são definidos como as atividades e tecnologias necessárias para tratar os dados capturados do ambiente e outros dispositivos, como análise e processamento de dados, para dar significado e atingir o objetivo do sistema. A arquitetura IoT deve se comunicar internamente com milhões e talvez bilhões de objetos não homogêneos via internet (SHADROO; RAHMANI, 2018), ou seja, uma enorme produção de dados. Já o Comportamento foi redefinido como o mecanismo de aprimoramentos nas coisas, estendendo seus comportamentos originais envolvendo funções que possibilitam comportamentos de Identificação, Sensação e Atuação, por exemplo.

2.2.7 Interatividade

São os atores na interação para troca de informações com as coisas e o grau em que isso acontece. Os atores envolvidos com aplicativos IoT não se limitam aos humanos. Portanto, além dos desafios sociotécnicos que envolvem a interação homem-coisa, também temos preocupações com outros atores, como animais e interações coisa-coisa (ANDRADE et al., 2017).

2.2.8 Ambiente

O problema e a solução estão inseridos em um domínio, um ambiente ou um contexto. Essa faceta busca representar tal ambiente e como as informações do contexto podem influenciar no seu uso. O ambiente é o lugar onde as coisas estão, as ações acontecem, os eventos ocorrem e as pessoas estão. Ambientes Inteligentes ou Espaços Inteligentes

fornece serviços inteligentes adquirindo conhecimento sobre si e seus habitantes para se adaptar às necessidades e comportamento dos usuários (AZIZ; SHEIKH; FELEMBAN, 2016). Esses sistemas possuem um conjunto de coisas capazes de sentir, raciocinar, colaborar e agir sobre o ambiente. Uma característica essencial deste ambiente é a abordagem de pensamento centrado no usuário em que todos os sistemas devem ser desenvolvidos para atender os usuários em primeiro lugar.

2.3 Roadmap IoT

Em (MOTTA, 2021), é apresentado instrumento chamado de Roadmap IoT, para apoiar o desenvolvimento da IoT. Nele são coletados evidências para cada uma das sete Facetas, visando abordar alguns dos desafios existentes da IoT e sua multidisciplinaridade. As facetas representam diferentes disciplinas e áreas de conhecimento envolvidas em IoT. Ajudando a ir do domínio do problema para uma solução de software, considerando todas as facetas como parte de uma mesma solução, uma relacionada à outra visando à finalização.

No Roadmap IoT é fornecido itens de recomendação específicos para cada faceta. Estes itens foram convertidos em características para cada faceta e estas características foram utilizadas para adaptar diagramas de modelagem. Essa adaptação foi feita por estereótipos, a qual é um mecanismo de extensibilidade que permite adaptar ou personalizar modelos com construções específicas para um domínio, plataforma ou método de desenvolvimento particular. A Figura 2 apresenta o processo do Roadmap IoT.

O Roadmap de IoT apoia a engenharia de sistemas de software de IoT, através de 4 etapas:

1. Coletar evidências de um corpo de conhecimento IoT para responder às questões 5W1H (5W1H — what, how, where, who, when, and why) propostas
2. Peer Coding, a análise qualitativa de todas as evidências extraídas da literatura técnica
3. Propor Itens do Roadmap, com base nos códigos que surgiram na etapa anterior, propõe diretrizes, atividades e recomendações
4. Itens do Roadmap de Revisão, os revisores podem concordar ou discordar dos itens propostos em reuniões de revisão

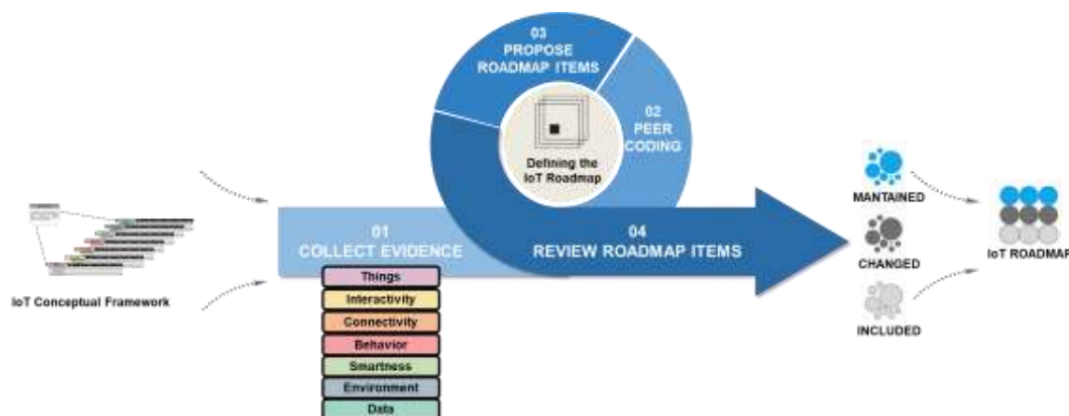


Figura 2 – Roadmap IoT, via (MOTTA, 2021).

2.4 Modelagem de sistemas

2.4.1 UML

A UML é definida da seguinte maneira no manual oficial da linguagem: “A UML, Linguagem Unificada de Modelagem, é uma linguagem gráfica para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de sistemas complexos de software. A UML proporciona uma forma-padrão para a preparação de planos de arquitetura de projetos de sistemas, incluindo aspectos conceituais, tais como processos de negócios e funções do sistema, além de itens concretos como as classes escritas em determinada linguagem de programação, esquemas de bancos de dados e componentes de software reutilizáveis.” (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 1999).

O desenvolvimento da UML, iniciado oficialmente em 1994, teve como motivação a união dos métodos de modelagem de software existentes, para, desta forma, constituir a linguagem padrão para tal atividade (FURLAN, 1998). Portanto, a UML foi desenvolvida para auxiliar o desenvolvimento de softwares através de seus diagramas. A UML tem como propósito, através de uma combinação da vasta gama de diagramas presentes na sua literatura, modelar o sistema em múltiplas perspectivas (BENTO; SOUZA, 2020). A UML tem 14 diagramas divididos em: Diagramas estruturais, Diagramas comportamentais e Diagramas de interação (UML, 2015).

Os diagramas estruturais são o aspecto estrutural do ponto de vista do sistema e das classes, ou seja, a representação de seu esqueleto e estruturas “relativamente estáveis”. Os aspectos estáticos de um sistema de software abrangem a existência e a colocação de itens como classes, interfaces, colaborações, componentes. E é representado em 7 diagramas:

- Diagrama de classes: é utilizado para fazer a representação de estruturas de classes de negócio, interfaces e outros sistemas e classes de controle;

- Diagrama de objetos: representa os objetos de um diagrama de classes em um determinado instante de tempo, representando suas instâncias e seus relacionamentos, conforme definidos no diagrama de classes;
- Diagrama de componentes: mostra os artefatos de que os componentes são feitos, como arquivos de código-fonte, bibliotecas de programação ou tabelas de bancos de dados;
- Diagrama de instalação ou de implantação: consiste na organização do conjunto de elementos de um sistema para a sua execução;
- Diagrama de pacotes: tem o objetivo de transformar as classes em pacotes;
- Diagrama de estrutura composta: utilizado para modelar Colaborações. Uma colaboração descreve uma visão de um conjunto de entidades cooperativas interpretadas por instâncias que cooperam entre si para executar uma função específica;
- Diagrama de perfil: destina-se a criar uma visão do relacionamento entre classes para atender determinado domínio.

Os Diagramas comportamentais são basicamente utilizados para visualizar, especificar, construir e documentar aspectos dinâmicos de um devido sistema. É representado por 3 diagramas:

- Diagrama de atividade: representam fluxos de trabalho de uma forma gráfica. Podem ser utilizados para descrever o fluxo de trabalho empresarial ou o fluxo de trabalho operacional de qualquer componente de um sistema;
- Diagrama de caso de uso: como o tipo de diagrama mais conhecido dos tipos de UML comportamentais, diagramas de caso de uso dão uma visão gráfica dos atores envolvidos em um sistema, diferentes funções necessárias para esses atores e como essas diferentes funções interagem. É um ótimo ponto de partida para qualquer discussão de projeto porque você pode identificar facilmente os principais atores envolvidos e os principais processos do sistema. Na Figura 3 apresenta um exemplo desse diagrama;
- Diagrama de máquina de estado: são semelhantes aos diagramas de atividade, embora as notações e o uso mudem um pouco. Estes são muito úteis para descrever o comportamento de objetos que agem de forma diferente conforme o estado em que se encontram no momento.

Os Diagramas de interação descrevem o fluxo de mensagens e fornecem contexto para uma ou mais linhas da vida em um sistema. É representado por 4 diagramas:

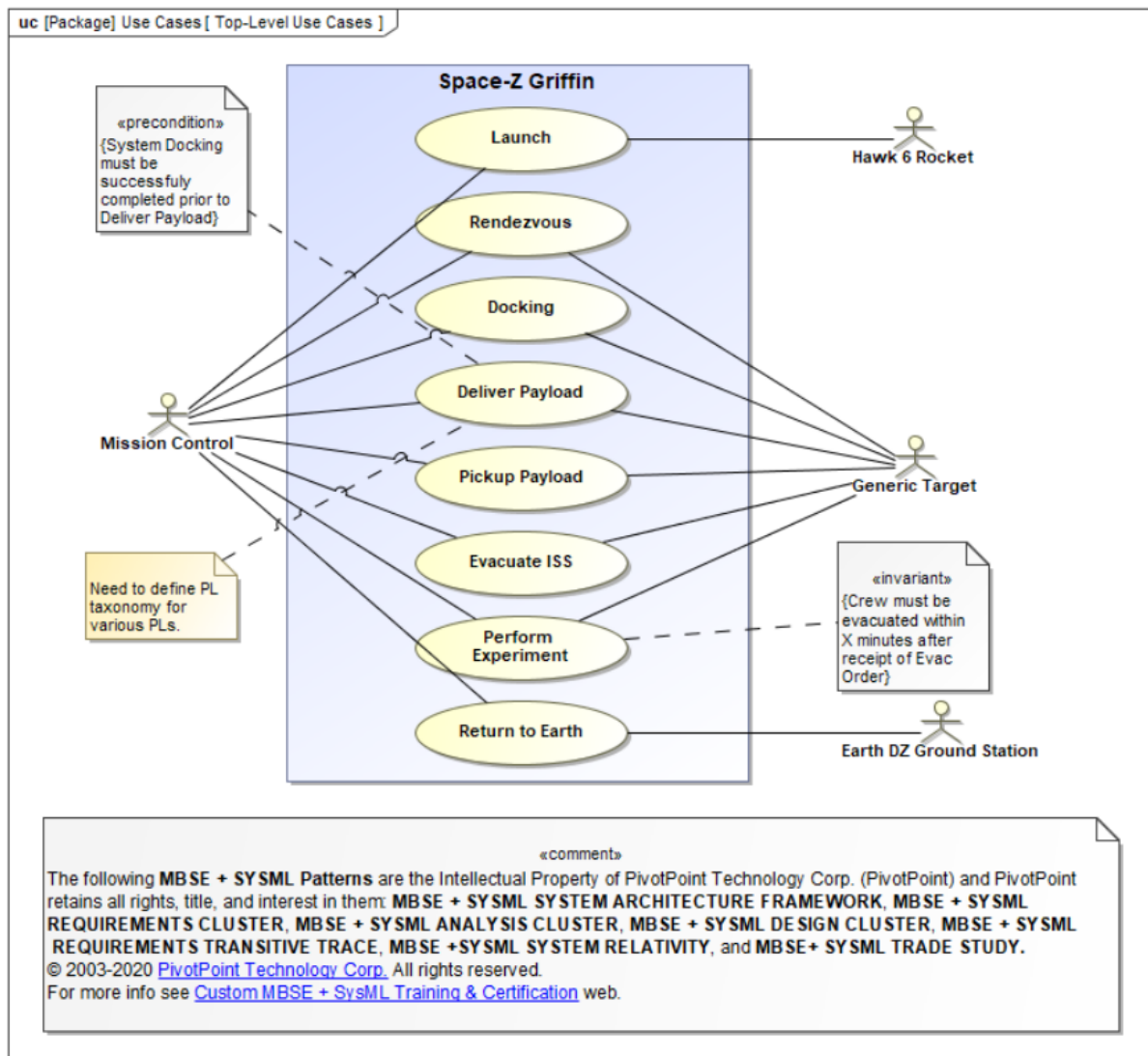


Figura 3 – Diagrama de caso de uso, via (SYSML, 2003).

- Diagrama de sequência: mostram como os objetos interagem entre si e a ordem em que essas interações ocorrem. É importante notar que eles mostram as interações para um determinado cenário. Na Figura 4 apresenta um exemplo desse diagrama;
- Diagrama Visão Geral de Interação ou de interação: mostram uma sequência de diagramas de interação. São um conjunto de diagramas de interação e a ordem em que acontecem;
- Diagrama de colaboração ou comunicação: são semelhantes aos diagramas de sequência, mas o foco está nas mensagens passadas entre objetos. A mesma informação pode ser representada usando um diagrama de sequência e diferentes objetos;
- Diagrama de tempo ou temporal: representam o comportamento dos objetos em um determinado período. Se for apenas um objeto, o diagrama é simples.

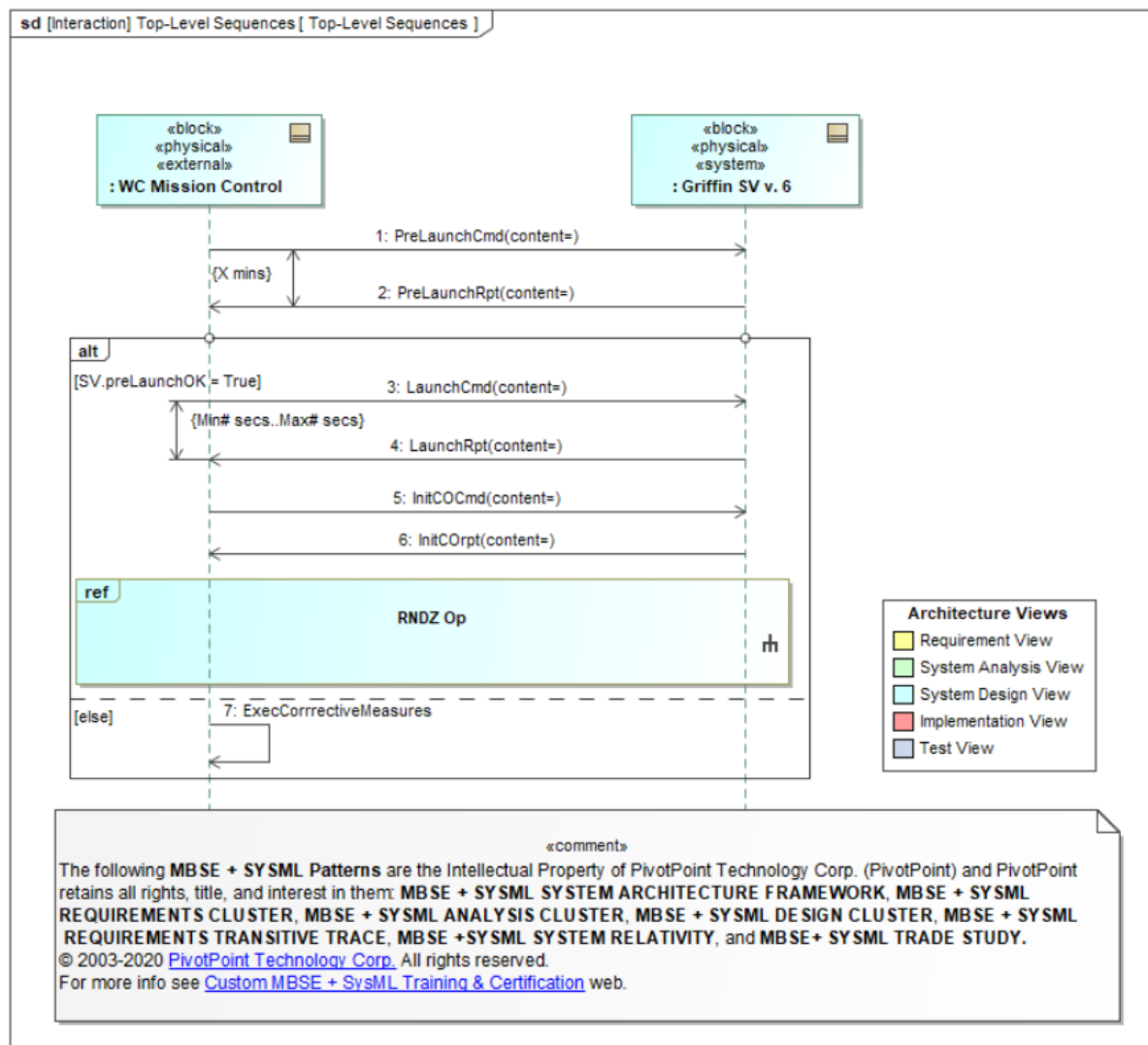


Figura 4 – Diagrama de sequência, via (SYSML, 2003).

2.4.1.1 Perfil UML

Um perfil UML define os mecanismos usados para adaptar o metamodelo da UML a novas plataformas ou a um domínio específico. A responsabilidade do metamodelo é definir uma linguagem que será utilizada para elaborar um modelo. SysML é um perfil UML aplicado a sistemas que incluem hardware, software, informações, processos, pessoas e procedimentos (SOUZA; MISRA; SOARES, 2020b).

Basicamente, um perfil é uma extensão da linguagem UML contendo um conjunto de elementos de modelo da UML que foram customizados para um propósito. A UML possui 3 mecanismos de extensão, criados para desenvolvimentos de novos conceitos que não exista na UML (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 1999). Os mecanismos são:

- Esteriótipos: permitem que se classifique um elemento de modelo estendido de acordo com um elemento de modelo base já existente na UML, definindo novas

restrições e atributos, além de poder possuir uma nova representação gráfica. Assim, os estereótipos de um perfil UML serão instanciados a partir de um determinado elemento do metamodelo UML. O metamodelo UML é composto pelos conceitos de classes, atributos, associação, etc.

- Restrições: ampliam as semânticas dos novos estereótipos, permitindo acrescentar novas regras ou modificar regras já existentes. Elas são definidas em linguagens para construção de restrições e regras. Uma restrição é adicionada diretamente ao estereótipo, sendo também, aplicada a todos os elementos estendidos por esse estereótipo.
- Valor Atribuído: estende as propriedades de um elemento UML, permitindo a criação de novas informações na especificação desse elemento. Todo valor atribuído conta com um nome e um tipo e se associa ao determinado estereótipo.

2.4.2 SysML

Os sistemas IoT necessitam de uma modelagem para serem desenvolvidos com qualidade. A tomada de decisão deve buscar uma opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou o melhor acordo entre as expectativas do decisor, considerando a relação entre os elementos.

Na SysML, os diagramas de requisitos e definição de bloco são frequentemente usados para descrever a hierarquia de um sistema, como uma árvore de partes (por exemplo, árvore de equipamentos). O diagrama de requisitos apresenta uma hierarquia simples de requisitos baseados em texto e o diagrama de definição de bloco é usado para definir um sistema ou componente em qualquer nível da hierarquia do sistema (OMG, 2019).

A SysML é uma linguagem de modelagem de arquitetura de propósito geral para aplicações de Engenharia de Sistemas. Possibilita a especificação, análise, projeto, verificação e validação de uma ampla gama de sistemas e sistemas de sistemas. Esses sistemas podem incluir hardware, software, informações, processos, pessoal e instalações (OMG, 2019).

Os diagramas de Sequência, Máquina de Estado, Casos de Uso e Pacotes não foram alterados da UML. Os diagramas de definição de bloco, atividade e bloco interno foram modificados da UML e os diagramas de requisitos e paramétricos são novos (OMG, 2019). A taxonomia dos diagramas SysML é mostrada na Figura 5.

A modelagem de atividades enfatiza as entradas, saídas, sequências e condições para coordenar outros comportamentos. Ele fornece um link flexível para os blocos que possuem esses comportamentos (OMG, 2019). O objetivo dos diagramas de atividades é especificar comportamentos dinâmicos do sistema que satisfazem os requisitos funcionais do sistema usando fluxos de controle e de objeto (dados).

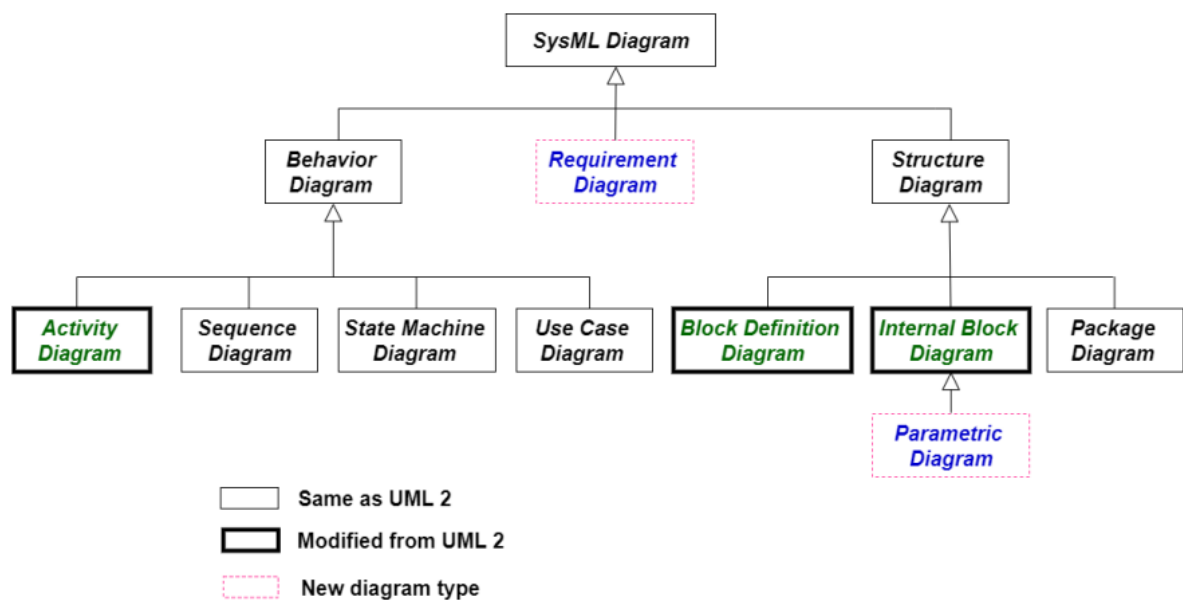


Figura 5 – SysML, via (OMG, 2019).

O diagrama de Sequência descreve o fluxo de controle entre atores e sistemas ou entre partes de um sistema. Os diagramas de sequência podem representar interações altamente complexas com construções especiais para representar vários tipos de lógica de controle, interações de referência em outros diagramas de sequência e decomposição de linhas de vida em suas partes constituintes (OMG, 2019). O propósito dos diagramas de sequência é especificar comportamentos dinâmicos do sistema como colaborações de passagem de mensagens entre blocos prototípicos.

Define um conjunto de conceitos que podem ser usados para modelar comportamento discreto por meio de sistemas de transição de estado finito. A máquina de estado representa o comportamento como o histórico de estado de um objeto em termos de suas transições e estados. As atividades invocadas durante a transição, entrada e saída dos estados são especificadas juntamente com o evento associado e as condições de guarda (OMG, 2019). A finalidade dos diagramas de máquina de estado é especificar comportamentos dinâmicos do sistema para objetos críticos em tempo, de missão crítica, de segurança crítica ou financeiramente críticos. Na Figura 6 apresenta um exemplo desse diagrama.

O diagrama de caso de uso descreve o uso de um sistema por seus atores para atingir um objetivo, realizado pelo sujeito que fornece um conjunto de serviços para atores selecionados. O caso de uso também seja funcionalidade e/ou capacidades realizadas por meio da interação entre o sujeito e seus atores. Os diagramas de caso de uso incluem o caso de uso e os atores e as comunicações associadas entre eles. Os atores representam papéis do classificador externos ao sistema que podem corresponder a usuários, sistemas e/ou outras entidades ambientais (OMG, 2019). A finalidade dos diagramas de caso de

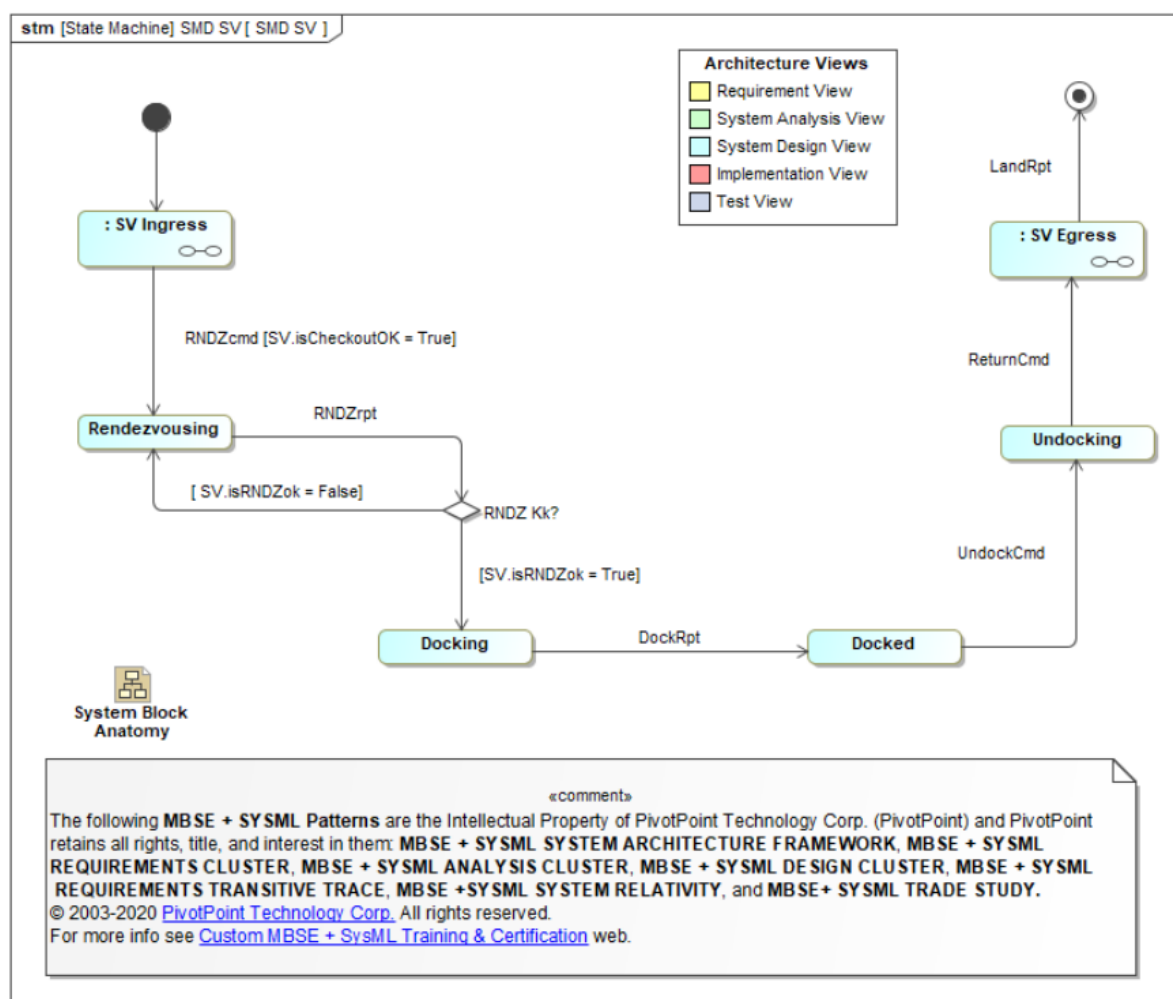


Figura 6 – Diagrama de máquina de estado, via (SYSML, 2003).

uso é fornecer uma visão de alto nível do sistema em questão e transmitir os requisitos de sistema para todas as partes interessadas, incluindo clientes e gerentes de projeto, bem como arquitetos e engenheiros.

Define recursos de blocos e relacionamentos entre blocos, como associações, generalizações e dependências. Ele captura a definição de blocos em termos de propriedades e operações e relacionamentos como uma hierarquia do sistema ou uma árvore de classificação do sistema (OMG, 2019). O objetivo dos diagramas de definição de bloco é especificar estruturas estáticas do sistema que serão usadas para objetos de controle, objetos de dados e objetos de interface. Na Figura 7 apresenta um exemplo desse diagrama.

O Diagrama de Bloco Interno em SysML captura a estrutura interna de um bloco em termos de propriedades e conectores entre propriedades. Um bloco pode incluir propriedades para especificar seus valores, partes e referências a outros blocos (OMG, 2019). O objetivo dos diagramas de blocos internos é mostrar o conteúdo estrutural encapsulado (Peças, Propriedades, Conectores, Portas, Interfaces) de blocos para eles poderem ser decompostos recursivamente e "conectados".

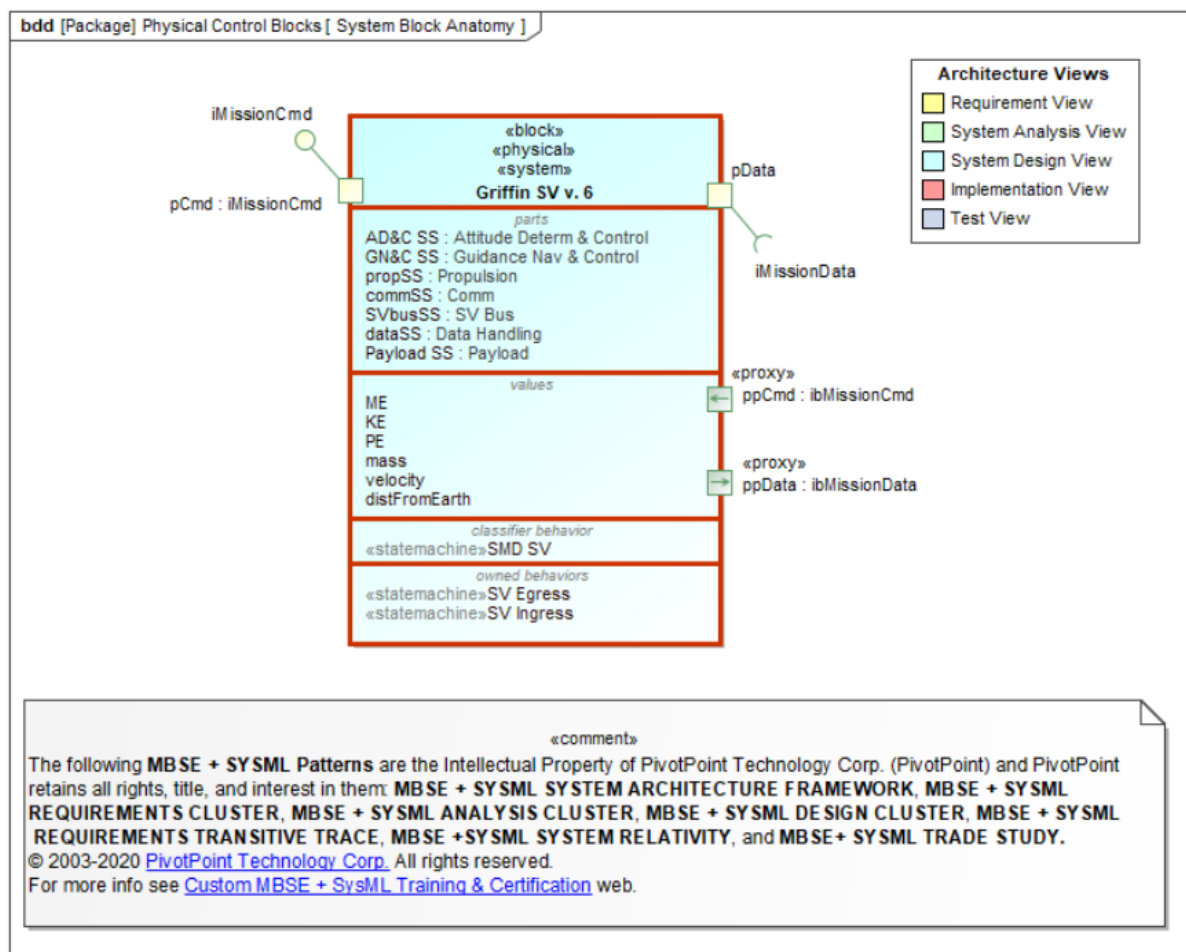


Figura 7 – Diagrama de definição de bloco, via (SYSML, 2003).

O pacote define um nome para os elementos que podem ser empacotados. Elementos de modelo de um pacote podem ser importados e/ou acessados por outro pacote. Esse princípio organizacional destina-se a ajudar a estabelecer nomenclatura exclusiva dos elementos do modelo e evitar sobrecarregar um nome de elemento de modelo específico (OMG, 2019). O diagrama de pacote é usado para organizar o modelo agrupando-o em elementos de modelo, frequentemente representado no navegador de ferramentas, suportando gerenciamento de configuração do modelo.

Diagramas paramétricos incluem usos de blocos de restrição para restringir as propriedades de outro bloco. As propriedades restritas, como massa ou tempo de resposta, geralmente têm tipos de valor simples que também podem conter unidades, tipos de quantidade ou distribuições de probabilidade. Uma notação de ponto de nome de caminho pode ser usada para se referir a propriedades aninhadas em uma hierarquia de bloco (OMG, 2019). A finalidade dos diagramas paramétricos é impor regras matemáticas nas propriedades de valor de bloco.

Um requisito específica uma capacidade ou condição que deve (ou deveria) ser satisfeita. Um requisito pode especificar uma função que um sistema deve executar ou

uma condição de desempenho que um sistema deve atingir. SysML fornece construções de modelagem para representar requisitos baseados em texto e relacioná-los a outros elementos de modelagem (OMG, 2019). O propósito dos diagramas de requisitos é especificar requisitos funcionais e não funcionais no modelo para poderem ser rastreados para outros elementos do modelo que os satisfaçam e casos de teste que os verifiquem.

3 Trabalhos relacionados

Na literatura, há muitos trabalhos envolvendo modelagem de sistemas para Cidades Inteligentes, então para se fazer uma melhor análise e avaliação do que está sendo feito, um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) foi feito, para relacionar as pesquisas e resultados que já foram publicados, categorizando-os (PETERSEN et al., 2008). É importante mencionar que um MSL também ajuda a identificar lacunas de pesquisa em uma área temática (PETERSEN et al., 2008). Os MSL são uma forma de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão de pesquisa particular.

3.1 Objetivo e perguntas de pesquisa do Mapeamento Sistemático da Literatura

Como um estudo de mapeamento sistemático focado na análise exploratória dos estudos, e como afirma (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) precisávamos estabelecer nosso objetivo: buscar soluções de modelagem de software de cidades inteligentes, a fim de verificar sua aplicabilidade em diversas áreas de cidades inteligentes, com foco em aspectos de modelagem de processos, tecnologias e metodologias utilizadas. Para tanto, apresentamos nosso objetivo de forma estruturada na Tabela 1 e definimos as questões de pesquisa (RQ):

- RQ1 — Quais métodos ou técnicas de modelagem de software são específicos para sistemas no contexto de cidades inteligentes?
- RQ1.1 — Quais das abordagens RQ1 foram validadas e em que medida?
- RQ1.2 — Até que ponto as abordagens permitem a comunicação e o entendimento entre os atores do projeto/equipe de desenvolvimento?
- RQ2 — Quais métodos ou técnicas de modelagem de sistemas em geral foram utilizados, ou adaptados para modelagem de sistemas em cidades inteligentes?

3.2 Protocolo do Mapeamento Sistemático da Literatura

Fizemos uma busca nas bibliotecas selecionadas, que foram: ACM Digital Library, EI Compendex, IEEE Digital Library, ScienceDirect e Scopus. Estas bibliotecas foram

Tabela 1 – Objetivo Estruturado

Analisar	a existência de modelagem de software técnicas para cidades inteligentes
Para	verificar a aplicabilidade dessas técnicas nos mais diversos tipos de sistemas para cidades inteligentes
Em relação a	os processos, tecnologias e metodologias utilizadas na modelagem desses sistemas
Do ponto de vista	desenvolvedores de software e engenheiros
No contexto	acadêmico e industrial

selecionadas por conterem publicações em computação e estão disponíveis no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Para nos ajudar a construir a *string* de busca, para ser utilizada nos bancos de dados, usamos os critérios PICOC (*population, intervention, comparison, outcomes and context*) sugeridos por (WOHLIN et al., 2012) apresentados na Tabela 2. PICOC é um método usado para descrever os cinco elementos de uma pergunta pesquisáveis: População, Intervenção, Comparação, Resultado e Contexto, PICOC é um acrônimo para isso. Não limitamos nossa busca definindo um critério de comparação, pois nosso objetivo é uma visão ampla do contexto.

Tabela 2 – PICOC

Population	Systems for Smart Cities
Intervention	Modeling, Process
Comparison	
Outcome	Reference Architecture, Software Modeling
Context	Academic and industrial

Definimos uma cadeia de pesquisa básica a partir de cinco palavras-chave, cada uma consistindo em um conjunto de palavras-chave e seus sinônimos. As palavras-chave e seus sinônimos são fornecidos na Tabela 3. O primeiro termo (A) refere-se ao processo utilizado, como uma abordagem utilizada; o segundo termo (B), o terceiro termo (C) e o quarto termo (D) especificam o escopo da modelagem; e o quinto termo (E) define palavras-chave relacionadas a cidades inteligentes.

Tabela 3 – Palavras-chave e seus sinônimos.

Termo	Palavras-chave	Sinônimos
A	"Process"	"approach", "method", "methodology", "technique"
B	"Software Modeling"	"system modeling"
C	"Modeling"	"design", "development", "model"
D	"Reference architecture"	"modeling approach", "modeling process"
E	"Smart cities"	"smart city"

Aplicando a *string* de pesquisa aos bancos de dados selecionados, o seguinte resultado foi obtido: ACM Digital Library retornou 248 artigos, EI Compendex retornou 137 artigos, IEEE Digital Library retornou 690 artigos, ScienceDirect retornou 446 artigos e Scopus retornou 1221 artigos; no total, a busca retornou 2.742 artigos. Após a retirada das duplicatas identificadas, o resultado foi 2.252. Destas, após a leitura do título e resumo, 1.810 foram excluídas, restando 442. Devido ao grande número de artigos selecionados mesmo após o filtro de leitura de título e resumo, optou-se por inserir outro filtro: a leitura da introdução e da conclusão ao poderem definir e esclarecer mais detalhadamente do que trata o artigo. Após a aplicação desse filtro, foram excluídos 181 artigos, resultando em 261 artigos selecionados para leitura na íntegra. Finalizando a leitura completa dos artigos, chegou ao resultado de 174 artigos que atenderam a todos os critérios de aceitação.

Foi construída uma *string*, Tabela 4 para fazer a busca nas bibliotecas selecionadas. Na Figura 8, é apresentado os resultados da pesquisa e seleção, por um Diagrama de Prisma, o objetivo do Prisma é ajudar os autores a melhorarem o relato de revisões sistemáticas e meta-análises, sendo um fluxograma que descreve o fluxo de informações nas diferentes fases.

Tabela 4 – *String* de busca

```
("smart cities" OR "smart city") AND ("modeling" OR "design" OR
"development" OR "model" OR "Process" OR "approach" OR
"method" OR "methodology" OR "technique") AND ("reference
architecture" OR "modeling approach" OR "modeling process" OR
"Software Modeling" OR "system modeling")
```

3.3 Resultado do Mapeamento Sistemático da Literatura

A Tabela 5, mostra as soluções com suas bases teórica/tecnológica que envolvam IoT ou UML/SysML. Com isso podemos entender melhor o que está sendo utilizado na literatura. No Apêndice A são apresentados todos os artigos selecionados.

Base	Artigos
IoT	(YONEZAWA et al., 2015) (KHALYLY et al., 2020) (BADII et al., 2017) (KUMARI; GUPTA; TANWAR, 2021) (SAID; KAMAL; AFIFI, 2021) (GONÇALVES; SOARES; LIMA, 2020) (ROCHA et al., 2020) (NEPOMUCENO et al., 2020)

Base	Artigos
IoT	(MENDILI; IDRISSEI; HMINA, 2018) (JAVED et al., 2020) (SHAABAN et al., 2018) (POP; PUŞCOCI, 2020) (NAKAMURA; BOUSQUET, 2015) (LYU; BIENNIER; GHODOUS, 2019) (FATEHAH; MEZHUYEV, 2018) (MATHUPRIYA et al., 2020) (HIRWE et al., 2020) (Le Vinh et al., 2015) (CASADEI et al., 2019) (GHEISARI et al., 2021) (TOLCHA et al., 2018) (MUKUDU et al., 2016) (MERLINO et al., 2015) (ŽARKO et al., 2019) (AN et al., 2019) (BOUZIDI et al., 2020) (FIGUEIREDO; ESTEVES; CABRITA, 2021)
UML/SysML	(ANADIOTIS et al., 2015) (ZIAEI; ZAMANI; BOHLOOLI, 2020) (KHALYLY et al., 2020) (AGUIDA; OUCHANI; BENMALEK, 2020) (SHAABAN et al., 2018) (FATEHAH; MEZHUYEV, 2018) (UDOKWU; ANYANKA; NORTA, 2020) (TEKINERDOGAN; ÇELIK; KöKSAL, 2018) (ZHANG, 2018a) (LATIF; REHMAN; ZAFAR, 2018a) (LATIF; REHMAN; ZAFAR, 2018b) (ZHANG, 2018b) (LATIF; REHMAN; ZAFAR, 2019)

Tabela 5 – Artigos com a base em IoT ou UML/SysML

Nos trabalhos selecionados também foi feita uma análise sobre o qual(is) faceta(s) aquele trabalho específico estava relacionado. Na Figura 9, é apresentado o resultado da relação entre os trabalhos e as facetas IoT. Dentre os trabalhos selecionados, ao menos

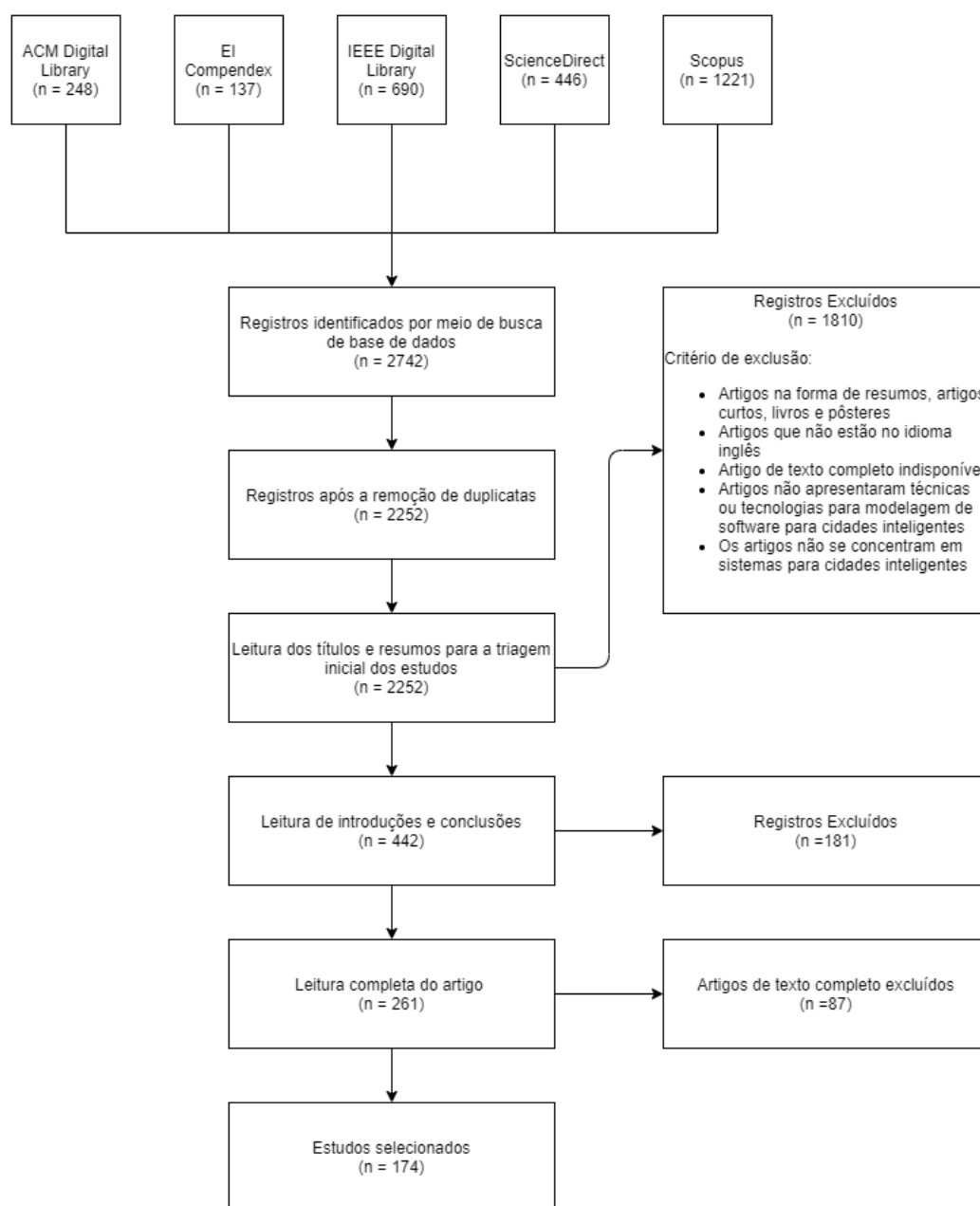


Figura 8 – Diagrama de Prisma: Execução da MSL

uma das facetas era abordada. As facetas comportamento e inteligência foram as duas mais encontradas nos trabalhos. Percebeu-se que em poucos trabalhos a faceta de interatividade era trabalhada.

3.3.1 RQ1 — Quais métodos ou técnicas de modelagem de software são específicos para sistemas no contexto de cidades inteligentes?

Nossa motivação com esta questão de pesquisa é conhecer o estado da arte da modelagem de software para cidades inteligentes e quais técnicas ou ferramentas específicas foram construídas. Expandimos a questão em mais duas, apresentadas na Seção ?? e na

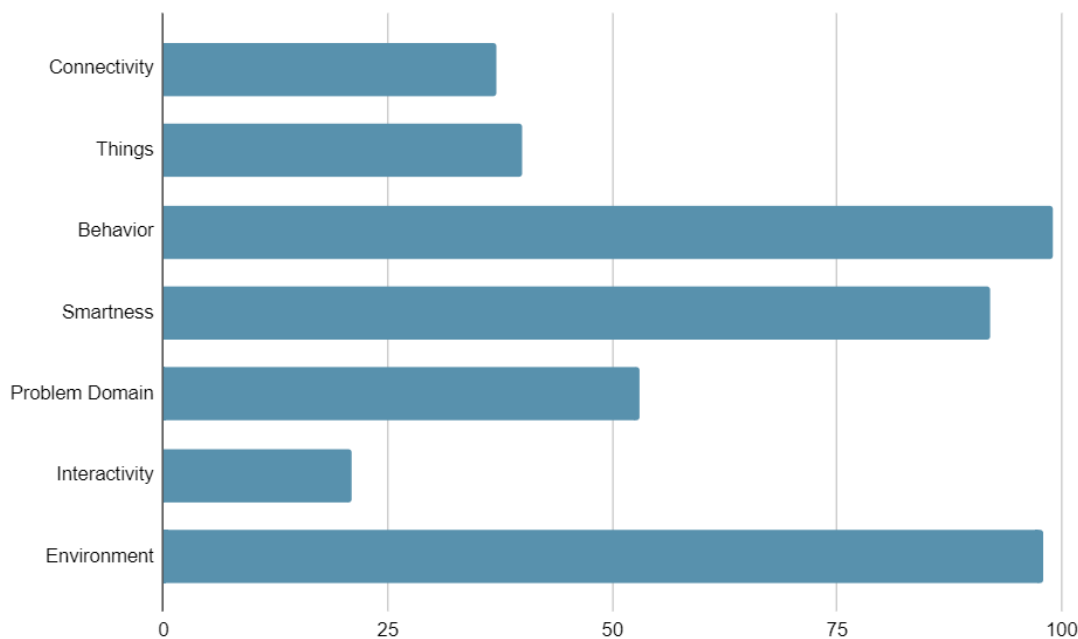


Figura 9 – Facetas da IoT exploradas pelos trabalhos selecionados.

Seção ?? apresentando outros aspectos desta questão.

Algumas das soluções foram feitas de forma específica como, (FIGUEIREDO; ESTEVES; CABRITA, 2021) sendo uma solução de gestão de água para cidades inteligentes, (AL-SHAMMARI et al., 2018) sendo um controle de energia para cidades inteligentes, etc. Outras são mais gerais, como (SCHOONENBERG; FARID, 2017) que no trabalho apresentado mostra o exemplo de construção de um grafo heterofuncional para um modelo de cidade inteligente que consiste em um sistema integrado de eletricidade, água e transporte. É importante ressaltar que no total foram 69 trabalhos específicos para modelagem de cidades inteligentes.

3.3.2 RQ1.1 — Quais das abordagens RQ1 foram validadas e em que medida?

A avaliação do software comprova que o sistema cumpre as funções para as quais foi projetado, conforme as especificações dos requisitos. Em nossa análise, verificamos que 69% dos artigos foram avaliados de alguma forma, como, por exemplo, por meio de: casos de uso, simulações e cenários reais.

Dos artigos por nós analisados, 64 optaram por utilizar estudos de caso para avaliação, o estudo de caso ilustra uma situação e exemplifica a aplicação de uma técnica de estimativa de software, esses estudos de caso ocorreram em um ambiente controlado.

Outros 16 trabalhos optaram por usar simulações para avaliação. Para isso, os autores utilizaram ferramentas de simulação como (BOTTACCIOLI et al., 2018) que utilizou OPAL-RT, que permite aos usuários desenvolver rapidamente modelos adequados para simulação em tempo real, em sua camada de simulação para bairros urbanos. Em

(BIRDSEY; SZABO; FALKNER, 2016) usei o Repast, sendo um kit de ferramentas de modelagem e simulação de código para executar o código. Em (BUGA; NEMES, 2017) eles usaram o ASMETA para testar o código desenvolvido.

Dos trabalhos selecionados, 40 deles utilizaram cenários reais para avaliar a solução proposta, esses cenários podem ser divididos em dois: envolvendo apenas um domínio do problema e os panoramas que envolvem toda a cidade. Cenários envolvendo apenas um problema de domínio envolverão apenas um aspecto da cidade, com, por exemplo, sinais de trânsito, estacionamentos, etc. Nas obras (HAMDI et al., 2019) (LATIF; AFZAAL; ZAFAR, 2018) eles usaram estacionamento como exemplo. As obras de (BAGNATO et al., 2017)(ABU-MATAR, 2016), envolvem uma imagem maior de uma cidade inteira, no caso de (AGBALI et al., 2018) envolveram três cidades diferentes.

3.3.3 RQ1.2 — Até que ponto as abordagens permitem a comunicação e o entendimento entre os atores do projeto/equipe de desenvolvimento?

Em nossa análise de comunicação, participação e público-alvo das soluções, percebemos que, não surpreendentemente, a grande maioria das soluções era voltada para o uso de engenheiros de software, desenvolvedores e pessoal de TI em geral.

É importante ressaltar que, ao analisar os dados de extração, percebemos que existem soluções que envolvem outros públicos. Esses públicos são exclusivamente das partes envolvidas na administração de uma cidade ou cidade inteligente, como tomadores de decisão, autoridades municipais, planejadores urbanos, etc. das cidades. No entanto, mesmo esses trabalhos envolviam pessoal de TI.

Alguns dos trabalhos não deixam claro quais são seus públicos-alvo, mas como são trabalhos científicos que envolvem diretamente TI e modelagem de software, além de terem seu escopo voltado diretamente para esse público, não é errado pensar que esses trabalhos são para o Comunidade de TI e engenharia de software.

3.3.4 RQ2 — Quais métodos ou técnicas de modelagem de sistemas em geral foram utilizados, ou adaptados para modelagem de sistemas em cidades inteligentes?

Nossa motivação com esta questão de pesquisa é conhecer o estado da arte da modelagem de software para cidades inteligentes e quais técnicas ou ferramentas gerais são usadas, ou adaptadas para modelagem.

Das soluções encontradas por nós especificamente para modelagem de software para cidades inteligentes, 36 soluções não tinham um nome oficial para uma técnica, pois nessas soluções havia mais de uma técnica envolvida. Isso não foi surpreendente,

pois esperávamos que muitas soluções isoladas, que não eram específicas para cidades inteligentes, precisassem funcionar em conjunto com outra técnica.

Também notamos que essas soluções não abrangeram toda a cidade, ou seja, resolveram problemas específicos para um determinado problema de domínio, demonstrando que apesar das adaptações, nenhuma das soluções adicionou todos os elementos de uma cidade.

Analisando os trabalhos constatamos o uso frequente da SysML. Percebemos que o uso do SysML, como de outras soluções em geral, nunca esteve sozinho, no trabalho de (ZHANG, 2018b) que utilizou o SysML com o Modelica, a qual é uma linguagem de modelagem orientada a objetos que permite a modelagem de sistemas complexos, para especificar e modelar sistemas físicos cibernéticos inteligentes com base em uma abordagem definida por software, criando o Modelicaml. No trabalho de (AMYOT et al., 2016) eles usaram a Notação de Requisitos do Usuário (URN), o qual é um padrão de engenharia de requisitos publicado pela União Internacional de Telecomunicações que combina modelagem de objetivo e cenário para apoiar a elicitação, especificação, análise e validação de requisitos, para melhoria das atividades de engenharia de requisitos com SysML através da integração da modelagem de metas.

Após o mapeamento sistemático decidiu-se fazer uma técnica para modelagem não apenas para Cidades Inteligentes, mas para cenários IoT, em geral. Além de desenvolver uma extensão do SysML para abordar as facetas IoT. A diferença da técnica desenvolvida par ao que foi visto na literatura é que usamos como base items de recomendação do Roadmap IoT, ou seja, a técnica foi construída com base em elementos específicos de IoT.

4 SysloTML

Nos últimos anos, IoT entrou amplamente na maioria dos aspectos da vida humana em sistemas voltados para o bem-estar humano. Estes sistemas precisam ser modelados de maneira adequada, principalmente em relação ao seu comportamento e interação, já que são esses pontos, entre as facetas IoT, estão mais diretamente ligados ao usuário. Uma técnica de modelagem para modelar o comportamento e a interação de sistemas IoT é necessária.

O desenvolvimento de aplicativos IoT é um processo multidisciplinar em que o conhecimento de várias preocupações se cruza. O desenvolvimento tradicional de aplicativos IoT pressupõe que os indivíduos envolvidos no desenvolvimento de aplicativos tenham habilidades semelhantes. Assim, está em aparente conflito com as diversas habilidades exigidas durante todo o processo envolvendo esta engenharia (PATEL; CASSOU, 2015).

Para a arquitetura a modelagem previa do comportamento, em muitos casos, tornando um sistema inteligente são os dispositivos utilizados e o processo de tomada de decisão e toda a arquitetura da solução (ATABEKOV et al., 2015). Com o aumento da complexidade e do número de dispositivos, novos estilos arquitetônicos são necessários para lidar com suas necessidades de escalabilidade, isolamento de falhas e flexibilidade (HERRERA-QUINTERO et al., 2018). Este cenário envolve sistemas distribuídos constituídos por centenas a milhares de dispositivos, envolvendo a coordenação de suas atividades, exigindo uma capacidade de raciocínio de alto nível (PATEL; CASSOU, 2015).

É um desafio considerável para os desenvolvedores projetar aplicativos de consumo como um ecossistema multidisciplinar sem diretrizes amplamente seguidas (PATEL; CASSOU, 2015). É necessário gerenciar a personalização de funcionalidades e interpretar as necessidades complexas do usuário em ambientes inteligentes (PONS; CATALA; JAEN, 2015).

Uma solução crescente para o problema é a modelagem de objetivos e intenções do usuário e, em seguida, interagir com os respectivos ambientes inteligentes usando os objetivos definidos pelo usuário. Geralmente, a solução defende que o(s) objetivo(s) do usuário pode(m) ser representado(s) pela combinação de dispositivos (aparelhos inteligentes e sensores/atuadores) em estados particulares (CORNO; RAZZAK, 2015).

O comportamento e a interação de sistemas IoT precisam ser modelados adequadamente, para que esses sistemas na fase desenvolvimento sejam feitos de maneira apropriada, isto desencadeou a necessidade de uma modelagem com uma notação simples, mas forte, no contexto de IoT. A identificação precoce e precisa de comportamentos contribui para a redução do risco de cronograma de custos. Já a interatividade é uma das principais carac-

terísticas dos projetos de IoT, possibilitando novos tipos de aplicações (como ambientes inteligentes), facilitando o dia a dia.

Para o regulamento de tais desenvolvimentos introduzem preocupações éticas para aqueles cujas informações estão sendo coletadas. Portanto, ao projetar um sistema háptico eficaz, todas essas preocupações devem ser consideradas (EID; OSMAN, 2016). No entanto, apenas alguns sistemas de controle baseados em gestos existentes alcançaram os usuários finais devido à falta de soluções escaláveis e práticas que se encaixem na vida cotidiana (ALANWAR et al., 2017).

No Roadmap IoT (MOTTA, 2021) é fornecido itens de recomendação específicos para cada faceta. Estes itens foram convertidos em características para cada faceta e estas características foram utilizadas para adaptar diagramas de modelagem. Essa adaptação foi feita por estereótipos, sendo um mecanismo de extensibilidade que permite adaptar ou personalizar modelos com construções específicas para um domínio, plataforma ou método de desenvolvimento particular.

A Tabela 6 apresenta as características apontadas no Roteiro IoT para a Faceta Comportamento, onde são definidas três propriedades: objeto IoT, sensor e atuador com suas respectivas características. A mesma tabela também apresenta as características apontadas no IoT Roadmap para a faceta Interatividade.

Tabela 6 – Características da Faceta de Comportamento e Interação.

Faceta	Define	Características
Comportamento	Objeto IoT	O meta data do objeto IoT Identificar a tecnologia de identificação Descrever o evento Descrever tipo de identificação
Comportamento	Sensor	Definir dados relacionados ao sensor Descrever uma condição anormal Indicar o limite e os valores desejados Definir dispositivo sensor Estabelecer regras para o sensor
Comportamento	Atuador	Descreva o modo manual ou automático Localize a ação Identifique quem aciona a ação Indique as circunstâncias para acionar a ação — entrada Estabeleça as consequências de uma ação — saída Identifique quem executa a ação
Interação		Definir usuários, papéis e responsabilidades Definir dados para usuários e papéis Definir a interação humano-coisa ou coisa-coisa Definir o método de interação(gesto, toque, etc) Identificar objeto IoT de interação Identificar a sequência de uma interação e resultado esperado

Para tanto, foi feita uma técnica de modelagem para sistemas no contexto IoT, onde foram desenvolvidos 4 diagramas, extensões dos diagramas encontrados na SysML: Diagrama de Caso de Uso, Diagrama de Sequência, Diagrama de Definição de Bloco e Diagrama de Máquina de Estado. Para o desenvolvimento dos diagramas da técnica, foi utilizado o conceito de estereótipos da UML, sendo um mecanismo de extensibilidade (UML, 2015). Essa extensibilidade fizemos a partir do que foi fornecido nos itens de recomendação específicos para as facetas de comportamento e interação resultante do Roadmap IoT.

4.1 Diagrama de Caso de Uso

O Diagrama de Casos de Uso apresenta uma linguagem simples e de fácil compreensão para os usuários poderem ter uma ideia geral de como o sistema irá se comportar. Ele identificará os atores (usuários, outros softwares que interajam com o sistema ou até mesmo algum hardware especial), que utilizarão de alguma forma o software, bem como os serviços, ou seja, as opções que o sistema disponibilizará aos atores, conhecidas neste diagrama como Casos de Uso.

No SysIoTML, os atores serão representados através do «stereotype» Stakeholder e seu relacionamento com um objeto se dará via um caso de uso, que comunicará com um objeto através da «interaction». Os objetos serão representados através do «stereotype» Objeto IoT, com dois «extend», «stereotype» Sensor e o «stereotype» Atuador, pois sensores coletam informações sobre o contexto onde os objetos se encontram e atuadores podem manipular o ambiente ou reagir segundo os dados lidos (SANTOS et al., 2016). Pode-se ter mais de um «stereotype» Objeto IoT, com mais de um «stereotype» Sensor ou «stereotype» Atuador. A Figura 10 apresenta esse diagrama e a Tabela 7 detalha os «stereotype» adicionados, as figuras que representam os «stereotype» Objeto IoT, «stereotype» Sensor e o «stereotype» Atuador foram encontradas na aba de pesquisa do Draw.io, buscando por “IoT”, na aba de pesquisa. Similares podem ser facilmente encontradas na internet.

Algumas regras importantes para este diagrama: o «stereotype» Sensor e o «stereotype» Atuador não podem ter casos de uso ligados diretamente a eles. «stereotype» Stakeholder e «stereotype» Objeto IoT podem ter casos de uso ligados diretamente a eles.

4.2 Diagrama de Sequência

O Diagrama de Sequência preocupa-se com a ordem temporal onde as mensagens são trocadas entre os objetos envolvidos em um determinado processo. Um Diagrama de Sequência costuma identificar o evento gerador do processo modelado, bem como o ator

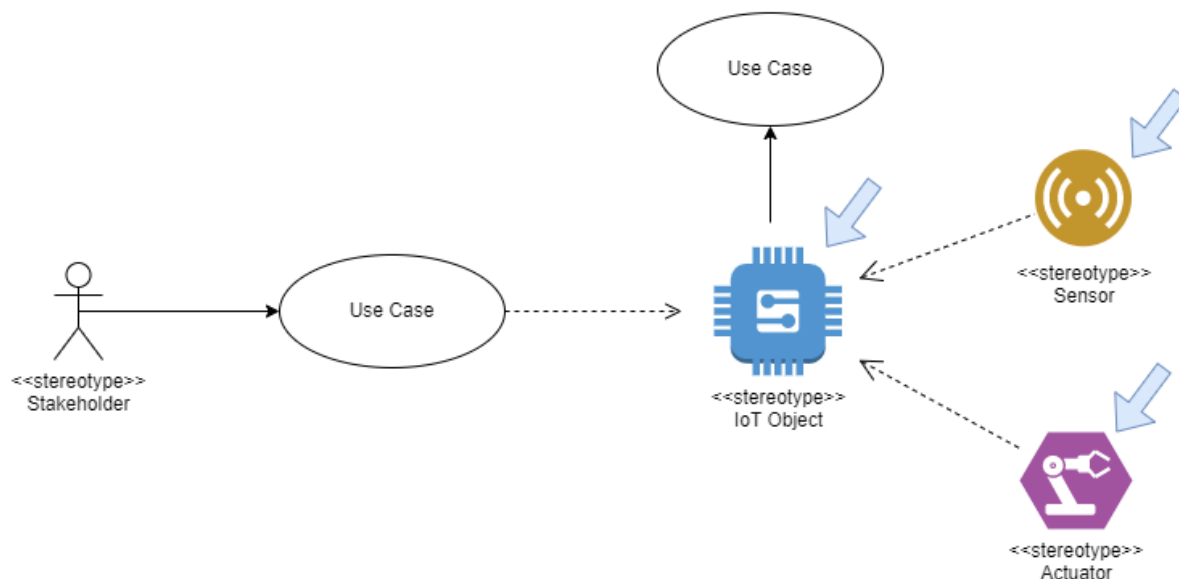





Figura 10 – Diagrama de Caso de Uso, de autoria própria.

Tabela 7 – Especificações do Diagrama de Caso de Uso.

«stereotype»	Representação
	Representa Objetos IoT que podem ser adicionados no Caso de Uso.
	Representa Sensores que podem ser adicionados no Caso de Uso.
	Representa Atuadores que podem ser adicionados no Caso de Uso.

responsável por este evento, e determina como o processo deve se desenrolar e ser concluído por meio do envio de mensagens, que, em geral, disparam métodos entre os objetos.

No SysIoTML, os atores serão representados através do «stereotype» Stakeholder. Por uma Interação inicial entre o «stereotype» Stakeholder e o objeto «stereotype» Objeto, a partir daí pode se desenrolar o processo, em conjunto com os outros 3 objetos: «stereotype» Sensor, «stereotype» Controlador e «stereotype» Atuador. A Figura 11 apresenta esse diagrama.

Não é permitido criar linhas de vidas diferentes das já estabelecidas, pode-se criar mais de uma das já estabelecidas. O diagrama de sequência representa a troca de mensagens, com Stakeholders que iniciam o comportamento enviando uma mensagem o objeto IoT.

Após isso, ocorre trocas de mensagens entre Objeto IoT, sensor(es) e atuador(es), essas mensagens são do tipo dados, comandos, etc.

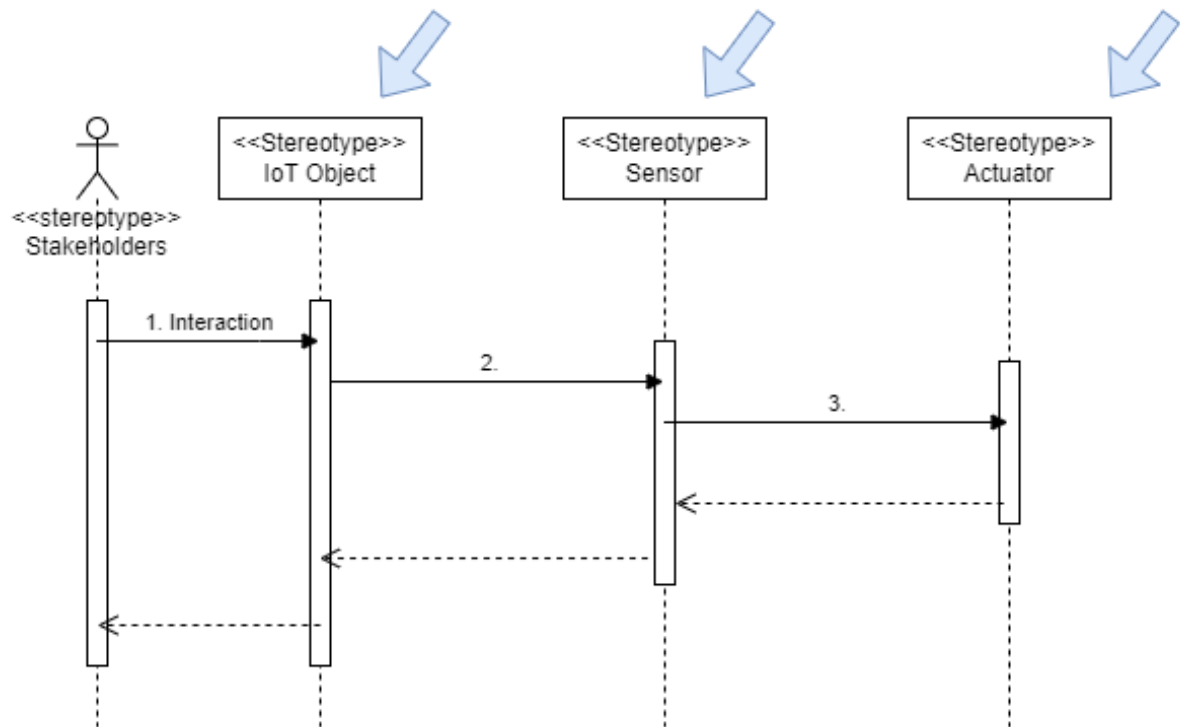


Figura 11 – Diagrama de Sequência, de autoria própria.

4.3 Diagrama de Máquina de Estado

Esse diagrama acompanhará as mudanças sofridas nos estados de uma instância. É um tipo de diagrama comportamental que mostra transições entre vários objetos, descrevendo ações, condições e consequências.

No SysIoTML, as classes «stereotype» Sensor e «stereotype» Atuador, representarão as mudanças nos estados sofridas devido a uma Interação. A Figura 12 apresenta esse diagrama. O «stereotype» Objetos IoT ativa/desativa o «stereotype» Sensor e «stereotype» Atuador.

O diagrama de máquina de estado representa os estados de um sistema. Foram pré-definidas três classes representando um objeto IoT com seus sensores e atuadores. A classe que representa o objeto IoT aqui serve para ativar as classes de sensores e atuadores. As classes de sensores e atuadores possibilitam demonstrar os estados de cada sensor e de cada atuador durante um processo, suas interações, troca de dados, transições e condições.

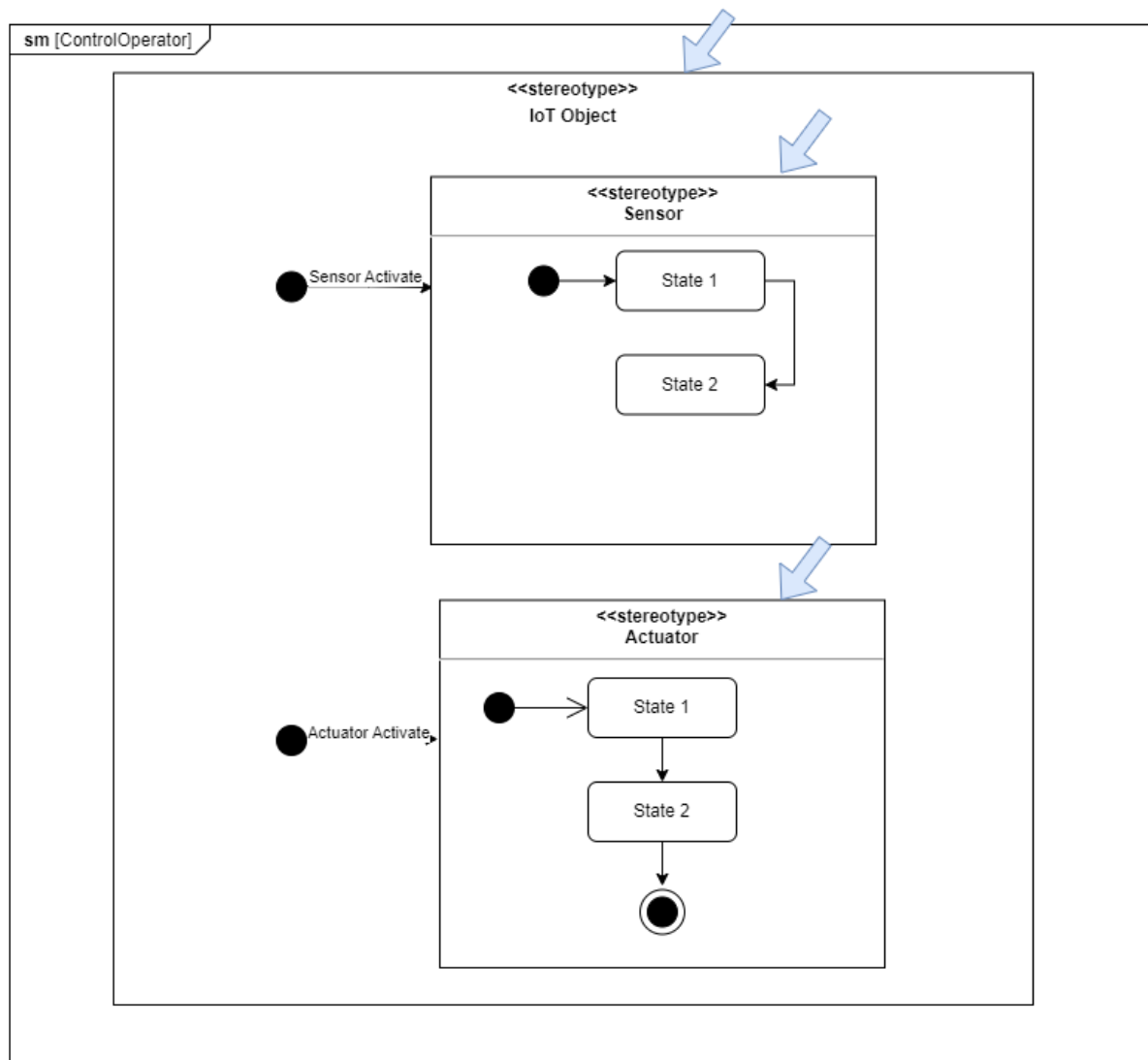


Figura 12 – Diagrama de Máquina de Estado, de autoria própria.

4.4 Diagrama de Definição de Bloco

O Diagrama de Definição de Bloco define os recursos de um bloco e quaisquer relacionamentos entre blocos sendo usado para definir as características de cada Bloco em termos de suas características estruturais e comportamentais.

No SysIoTML, um bloco terá três «stereotype»: «stereotype» Objeto, «stereotype» Sensor e «stereotype» Atuador, cada um com valores e propriedades já pré-definidos que devem ser preenchidos. A Figura 13 apresenta esse diagrama e a Tabela 8 detalha elementos das properties, foi utilizado as propriedades, por atribuírem propriedades adicionais a um bloco.

As propriedades adicionadas vieram diretamente das características apontadas no resultado do Roadmap IoT da faceta de Comportamento. Para o modelador utilizá-lo, basta ele adicionar as propriedades necessárias para a situação que estar sendo modelada

e preenchê-las adequadamente conforme o apontado na Tabela 8.

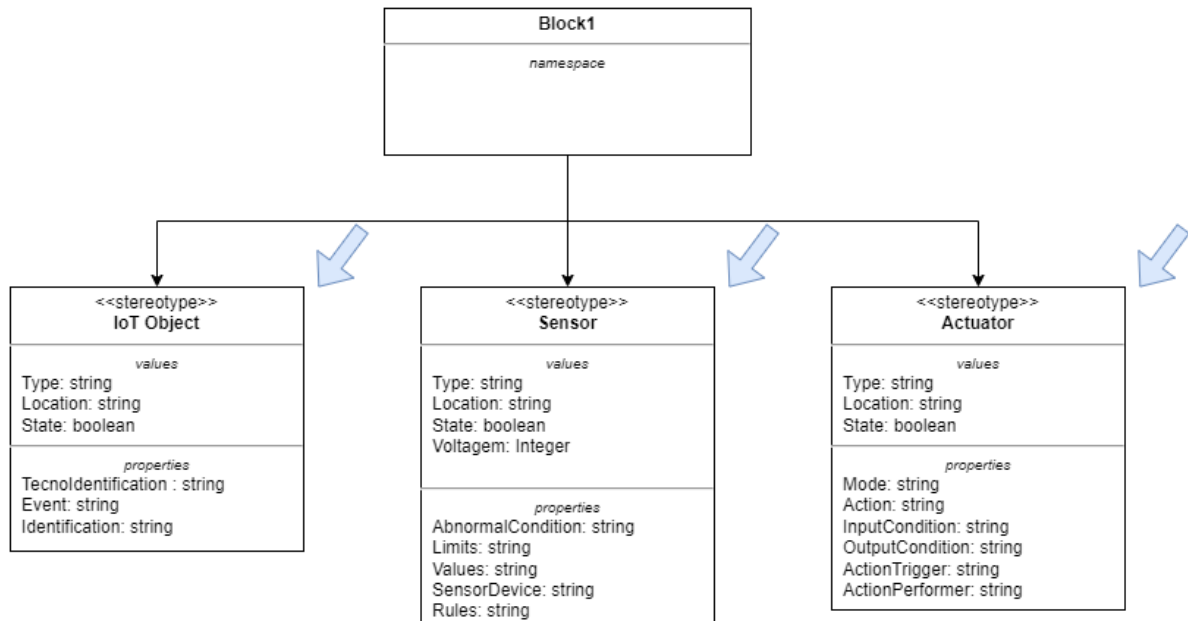


Figura 13 – Diagrama de Definição de Bloco, de autoria própria.

Tabela 8 – Especificações do Diagrama de Definição de Bloco.

«stereotype»	Properties	Definição
Objeto IoT	TecnoIdentification	Identificar a tecnologia de identificação(Ex: QR code)
	Event	Descrever o evento(Manual ou automático)
	Identification	Descrever tipo de identificação(Ex: Estático ou móvel)
Sensor	AbnormalCondition	Descrever uma condição anormal
	Limits	Indicar o limite
	Values	Indicar os valores desejados
	SensorDevice	Definir dispositivo sensor (pressão, temperatura)
	Rules	Estabelecer regras para o sensor
Atuador	Mode	Descreva o modo manual ou automático (o uso de regras, limite ou o tempo de resposta)
	Action	Descreva a ação
	InputCondition	Indique as circunstâncias para acionar a ação — entrada
	OutputCondition	Estabeleça as consequências de uma ação — saída
	ActionTrigger	Identifique quem aciona a ação (dispositivo ou usuário humano)
	ActionPerformer	Identifique quem executa a ação (dispositivo ou usuário humano)

5 Avaliação

Este capítulo detalha a aplicação de SysIoTML para modelar um sistema de controle de semáforos urbanos. Será apresentado a contextualização do experimento, a condução do experimento, a caracterização dos participantes e os resultados obtidos.

5.1 Contexto: Sinais de trânsito

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), mais da metade da população mundial vive em cidades e as áreas urbanas devem continuar crescendo (UN, 2018). Isso acaba criando congestionamentos, acidentes e poluições, além de aumentar o estresse de motoristas e passageiros. Com isso em mente, vemos que sistemas de controle de sinais de trânsito são importantes para áreas urbanas.

Sinais de trânsito são comumente considerados o método de controle de tráfego mais importante e eficaz para viagens seguras e rápidas. Desde a introdução de controladores de sinais de trânsito automáticos simples nos Estados Unidos no início do século passado, os sistemas passaram por melhorias contínuas (ZHAO; DAI; ZHANG, 2012).

Os sinais de trânsito são o instrumento mais básico para a coleta de dados de tráfego rodoviário de uma cidade, ou seja, permitem o gerenciamento do fluxo de tráfego de veículos e pedestres, bem como o ponto de partida para aquisição de dados. Por exemplo, contagem de veículos e pedestres, velocidade do tráfego e congestionamento. O controle de semáforos é um problema importante e desafiador no mundo real, pois os sinais de trânsito podem fornecer soluções potenciais para garantir transporte e consumo aprimorados e eficientes, consumo de energia, proteção ambiental, aumento da produtividade e satisfação do cidadão (AN et al., 2017) (WEI et al., 2019) (GUO; LI; BAN, 2019).

No trabalho de (SOUZA; MISRA; SOARES, 2020b) são apresentados requisitos para um experimento de sinais de trânsito, destes foram filtrados 7 para serem utilizados no experimento, ao estarem relacionados ao comportamento e a interação do sistema:

1. O sistema deve controlar o padrão de tráfego de veículos na interseção;
2. O sistema deve controlar o padrão de tráfego de pedestres na interseção;
3. O sistema deve armazenar o fluxo de veículos nas estradas;
4. O sistema deve armazenar o fluxo de pedestres nas vias;
5. O sistema deve controlar o padrão de tráfego relacionado a cada estrada;

6. O sistema deve permitir a sincronização dos sinais de trânsito;
7. O sistema deve permitir a detecção da presença de pedestres.

5.1.1 Experimento: Planejamento e Condução

O experimento feito contou com 9 participantes: 2 com Graduação e 7 com Mestrado, todos possuem conhecimento em modelagem e algum conhecimento acadêmico ou profissional em IoT. A Tabela 9 apresenta o perfil dos participantes do experimento, seu grau acadêmico e seu conhecimento em modelagem e IoT, onde, Acadêmico representa só conhecimento acadêmico, Acadêmico/projeto representa conhecimento acadêmico e um projeto, Projeto/profissional representa mais de um projeto ou até seis meses de trabalho profissional e Profissional representa mais de uma ano de trabalho profissional.

Tabela 9 – Caracterização dos participantes.

ID	Grau acadêmico	Experiência com modelagem	Conhecimento sobre IoT
1	Mestrado	Acadêmico/projeto	Acadêmico/projeto
2	Graduado	Projeto/profissional	Acadêmico/projeto
3	Graduado	Acadêmico	Acadêmico/projeto
4	Mestrado	Acadêmico/projeto	Acadêmico
5	Mestrado	Profissional	Profissional
6	Mestrado	Profissional	Acadêmico
7	Mestrado	Acadêmico/projeto	Projeto/profissional
8	Mestrado	Profissional	Acadêmico
9	Mestrado	Profissional	Acadêmico/projeto

Como experimento foi utilizado o contexto de sinais de trânsito inteligente, para cada participante foi entregue a descrição do problema, guias de uso de cada diagrama da técnica SysIoTML (Apêndice B, Apêndice C, Apêndice D e Apêndice E) e questionários de caracterização do participante (Apêndice F) e avaliativo da técnica (Apêndice G). Esses guias apresentam a ideia da técnica SysIoTML e explicam detalhadamente o uso e as restrições de cada diagrama. Todos os instrumentos elaborados para esta avaliação foi avaliado por outro pesquisador.

No questionário de caracterização, foram feitas perguntas sobre o grau acadêmico e experiências com modelagem, profissional e com IoT. No questionário de avaliação da técnica os participantes responderam questões sobre a facilidade e a utilidade da técnica, também foi solicitado que avaliassem cada diagrama isolado e discorressem opiniões sobre eles. As questões foram definidas após discussões do grupo de pesquisa da UFMA sobre a utilidade e viabilidade da técnica, e problemas encontrados durante o uso da técnica.

5.1.2 Experimento: Resultados e discussão

Para o experimento com SysIoTML, sugerimos aos participantes o uso do Draw.io, por ser uma ferramenta gratuita e possui todos os elementos utilizados pela técnica. Cada participante precisou em média 30 minutos para modelar cada diagrama da SysIoTML. No questionário avaliativo foram feitas 5 perguntas principais de múltipla escolha e para cada uma foi solicitado que o participante dissertasse sobre a resposta sobre sua resposta.

A primeira pergunta foi sobre a facilidade de entender os diagramas, na Figura 14 é mostrado o gráfico das respostas. O participante 1 informou que *"Os componentes dos diagramas são facilmente entendidos, facilitando sua utilização."*. Adicionalmente, o participante 3 apontou que *"Os diagramas são fáceis de se entender, o guia apresenta informações claras e objetivas do funcionamento"*. Similarmente, tivemos resultados positivos para a facilidade de uso dos diagramas, segundo o participante 1 *"Foi possível utilizar facilmente a solução proposta para modelar a aplicação de teste"*.

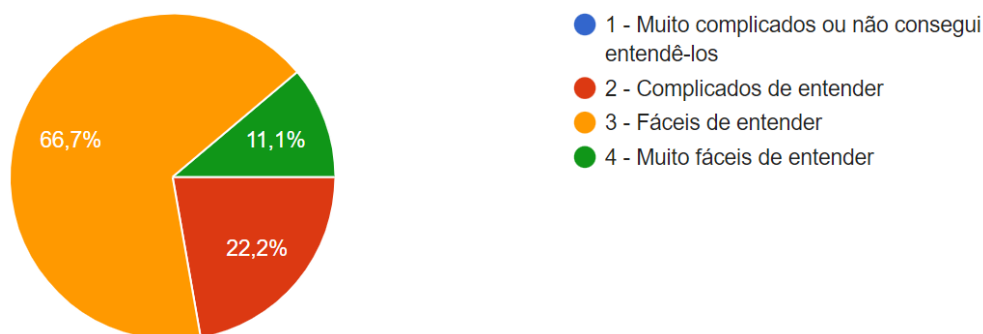


Figura 14 – Gráfico questão 1, de autoria própria.

A segunda pergunta foi sobre a facilidade de uso dos diagramas, na Figura 15 é mostrado o gráfico das respostas. O participante 8 informou que *"a facilidade de uso foi devido à simplicidade para utilizar os diagramas"*, já o participante 1 comentou que *"foi possível utilizar facilmente a solução proposta para modelar a aplicação de teste"*. Porém, alguns participantes tiveram dificuldades com ferramentas, o participante 5 apontou que *"a não clareza sobre onde encontrar os componentes estendidos exigidos pela modelagem. Isso torna o preenchimento duro / demorado desnecessariamente"*, já o participante 9 falou que *"ao utilizar os diagramas em uma ferramenta geral de modelagem tive dificuldade para encontrar os elementos e organizá-los"*, assim percebe-se a necessidade de uma ferramenta para auxílio da técnica.

A terceira pergunta foi sobre a utilidade para modelagem de sistemas IoT com os diagramas, na Figura 16 é mostrado o gráfico das respostas. Sobre a técnica para modelagem de sistemas IoT, os comentários efetuados também foram favoráveis para a técnica, o participante 1 comentou que *"a adição de novos elementos adequados a aplicações"*

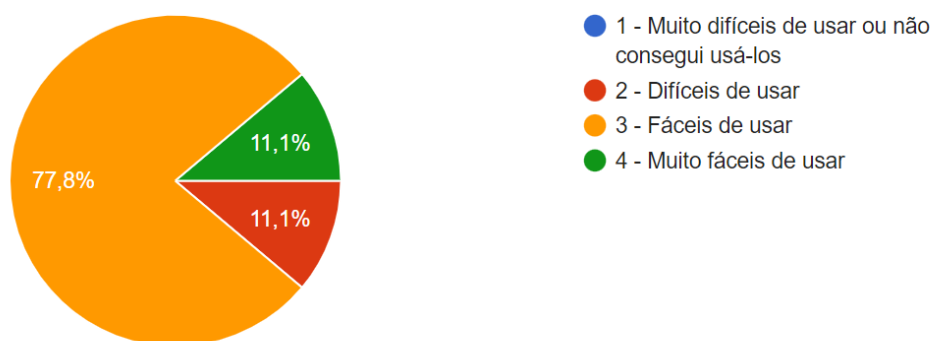


Figura 15 – Gráfico questão 2, de autoria própria.

de IoT nos diagramas propostos facilitam a modelagem de aplicações neste domínio. Assim, considero que a extensão realizada é adequada", já o participante 2 falou que "permite descrever os sensores que compõe um cenário de IoT e a interação com eles", o participante 8 apontou que "foi interessante modelar utilizando os três domínios: Stakeholder, Objeto e Sensor, isso ajudou para organizar cada área e sua responsabilidade."

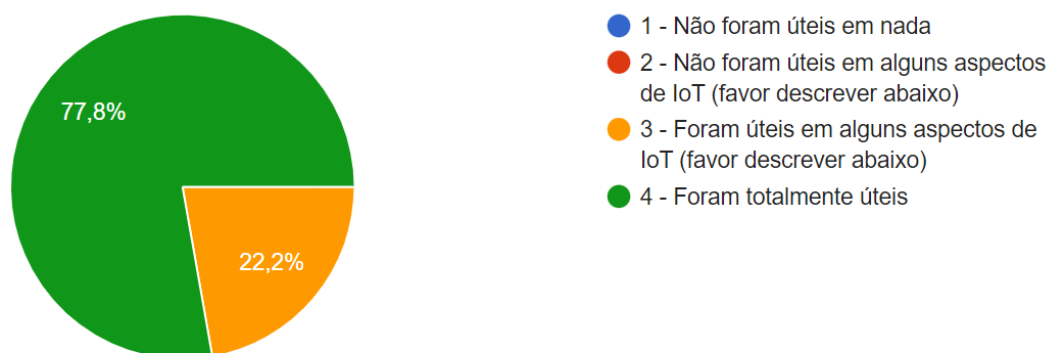


Figura 16 – Gráfico questão 3, de autoria própria.

A quarta pergunta foi especificamente de sobre utilidade de cada diagrama, na Figura 17 é mostrado o gráfico das respostas. Segundo o participante 1 "os diagramas estendidos são uteis. A adição de elementos como objetos inteligentes, sensores e atuadores em diagramas UMLs parecer ser interessante e útil", porém houve comentários sobre dificuldades com o diagrama de definição de bloco, o participante 5 comentou que "descrever melhor o diagrama de blocos, dar meios de dar relacionamentos internos mais claros entre atuadores / sensores / objetos", já o participante 8 apontou que "fiquei em dúvida sobre o diagrama de bloco(...), os outros diagramas fiquei satisfeito ao utilizar", podemos concluir disso que o diagrama de definição de bloco precisa de melhorias.

A quinta pergunta foi sobre a se com os diagramas fornecidos, foi possível modelar a aplicação, na Figura 18 é mostrado o gráfico das respostas. O participante 1 comentou

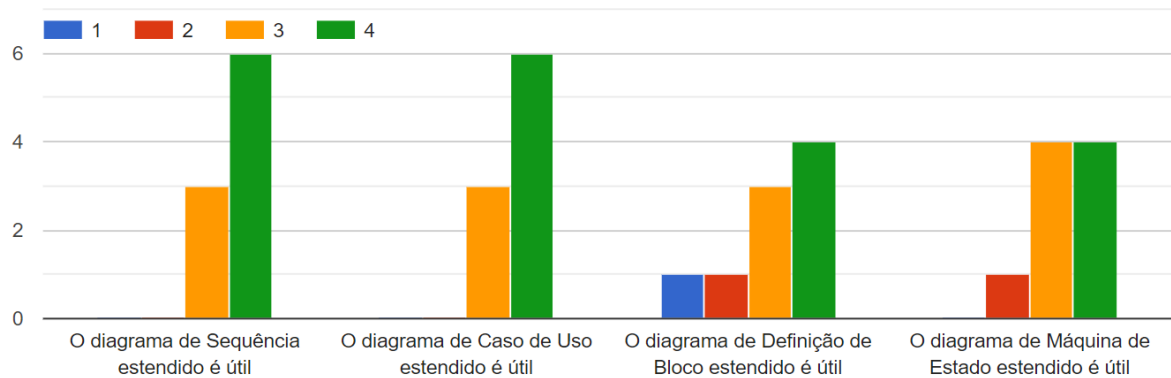


Figura 17 – Gráfico questão 4, de autoria própria.

que "Todos os elementos propostos foram modelados.", já o participante 2 que "Foram modelados os sensores de identificação de carros, pedestres e o envio do status do semáforo.". O participante 4 apontou que "Os diagramas podem modelar a aplicação, assim como representar o comportamento de um dispositivo IoT.", já o participante 8 que "...foi possível modelar os elementos necessários para o cenário da aplicação proposta."

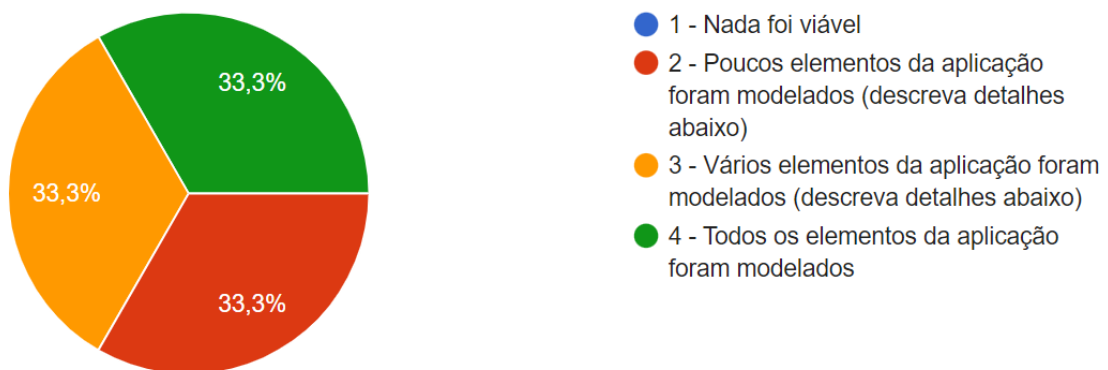


Figura 18 – Gráfico questão 5, de autoria própria.

Os participantes 5 e 9 comentaram que nossa técnica seria melhor aproveitada e mais fácil de "desenhar" os diagramas, se houvesse alguma ferramenta de modelagem com os formatos dos nossos diagramas pré-construído.

Outro ponto abordado foi que a técnica foi útil para modelagem do cenário proposto, mas que seria interessante testá-la em outros cenários, pois segundo o participante 6 "não sei se em outros casos mais complexos que possam ter que representar outros aspectos pode haver alguma necessidade adicional".

5.1.3 Oráculo

Em relação à adequação das modelagens criadas pelos participantes, fez-se um oráculo, para saber o que era esperado de diagrama resultante. Com o oráculo podemos gerar o resultado esperado, produzido pela técnica, e confrontar com o resultado real obtido pela execução da técnica em teste.

O oráculo foi feito em duas etapas:

1. Na primeira, dois participantes do grupo de pesquisa da UFMA fizeram o experimento com sinais de trânsito separadamente.
2. Na segunda, foram feitas reuniões com todo o grupo de pesquisadores para a exposição das modelagens feitas e um debate sobre cada ponto apresentado.

5.1.4 Discussão

Sobre a modelagem da aplicação de sinais de trânsito, os participantes conseguiram modelar o problema e os elementos pedidos, como os sensores de identificação e atuadores. Isso demonstra que a técnica desenvolvida consegue representar elementos da IoT.

Com o oráculo, fez-se uma análise de cada diagrama resultante do experimento, como resultado viu-se que as modelagens realizadas chegaram próximo ao que foi idealizado. Todavia, percebeu-se também que alguns participantes tiveram dificuldades em dois pontos: dois participantes ao montar o Diagrama de Definição de Bloco não preencheram com informações as propriedades apontadas por ele, algo apontado no guia para ser feito. Já outro ligou casos de uso a atuadores, algo apontado no guia para não ser feito.

Em relação ao diagrama de caso de uso, um participante representou um elo entre o caso de uso e o atuador. No SysIoTML tal link não é permitido porque o caso de uso interage apenas com o Objeto IoT. A Figura 19 apresenta os links errado criado pelo participante.

Isso demonstra que apesar da SysIoTML conseguir representar elementos da IoT, a técnica precisa ser melhorada. Melhorias essas relacionadas a conexão de elementos e definição de regras.

Em relação ao resultado frente a literatura, o trabalho de (SOUZA; MISRA; SOARES, 2020b), que desenvolveu uma extensão da SysML para Cidades Inteligentes e também realizou um experimento envolvendo sinais de trânsito. As duas técnicas criadas conseguiram modelar o contexto dado, porém o trabalho de (SOUZA; MISRA; SOARES, 2020b) conta com mais requisitos. Esses outros requisitos envolvendo características inerentes a outras facetas IoT, que não foram colocadas na técnica atualmente.

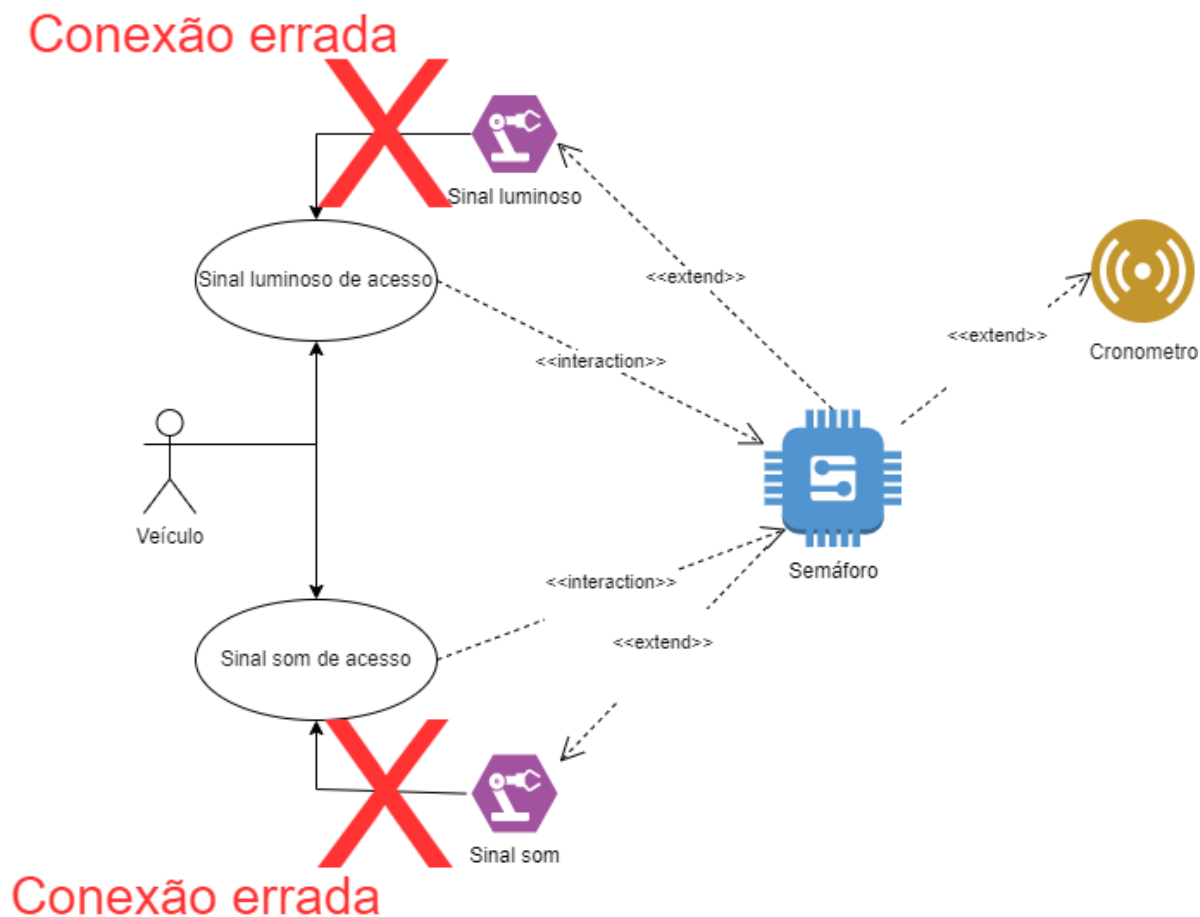


Figura 19 – Diagrama de caso de uso errado, de autoria própria.

Outro diferencial é que o experimento realizado por eles não contou com um grupo de participantes, sendo uma execução própria dos envolvidos na pesquisa. No experimento realizado com o SysIoTML, envolveu participantes com diferentes graus de experiência profissional com IoT. O feedback dos participantes é importante para validação da técnica pela comunidade e para melhorias.

5.1.5 Ameaças à validade

O experimento possui algumas ameaças à validade, como os requisitos selecionados para o experimento talvez não sejam o suficiente para a representação de um sistema de trânsito. Não consideramos que requisitos mais complexos, como que o sistema deve permitir uma política de gerenciamento de tráfego ou sistema deve permitir a escolha de uma rota prioritária. Esses tipos de requisitos não foram abordados, pois não foram considerados inerentes as facetas de comportamento e nem de interatividade.

Outro ponto, é que a análise das modelagens criadas pelos participantes foram efetuadas pelos do grupo de pesquisa da UFMA. Para que não houvesse uma tendência, foi feito um Oráculo, a ideia era chegar a um consenso do que era esperado como resultado das modelagens realizadas pelos participantes. Além de ter um meio para que se pudesse avaliar o resultado das modelagens conduzidas pelos participantes.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Desde cidades a fazendas a IoT vem entrando cada vez mais na no dia a dia da população, por dispositivos e sistemas inteligentes. Modelar aplicações IoT é de suma importância para o desenvolvimento de um bom software IoT.

No trabalho de (MOTTA; OLIVEIRA; TRAVASSOS, 2018) são apresentadas sete Facetas IoT, que representam diferentes disciplinas e áreas de conhecimento envolvidas em IoT. Já em (MOTTA, 2021), é apresentado um instrumento chamado de Roadmap IoT, para apoiar o desenvolvimento da IoT. Nele são coletados evidências para cada uma das sete Facetas, visando abordar alguns dos desafios existentes da IoT e sua multidisciplinaridade.

Nesta dissertação foi apresentado uma técnica, a SysIoTML, para modelar aplicações no cenário IoT. O foco da técnica é a modelagem de comportamento e interação de um sistema IoT. A técnica é uma extensão da SysML, sendo uma extensão da UML, efetuando modificações no Diagrama de Caso de Uso, Diagrama de Sequência, Diagrama de Definição de Bloco e Diagrama de Máquina de Estado.

Para avaliar a técnica foi feito um experimento envolvendo sinais de trânsito com nove participantes. Para cada participante foi entregue a descrição do problema, guias de uso de cada diagrama da técnica SysIoTML e questionários de caracterização do participante e avaliativo da técnica. Com os experimentos realizados a técnica desenvolvida se mostrou bastante promissora.

No experimento realizado, para cada participante foi entregue um questionário avaliativo sobre a técnica, o resultado do questionário respondido pelos participantes mostrou que a técnica foi bem aceita por eles e foi de fácil utilização, apesar do apontamento de alguns participantes para melhorias. Já com o "oráculo" que fizemos, para a confiabilidade das medidas, notamos que os diagramas feitos pelos participantes chegaram próximo ao que era esperado. Também percebemos que alguns participantes tiveram dificuldades em alguns pontos, os mesmos apontados como melhorias no questionário, como, por exemplo, um dos participantes ao montar o Diagrama de Definição de Bloco não preencheu com informações as propriedades apontadas por ele.

6.1 Limitações

A principal limitação da nossa técnica é o englobamento apenas das Facetas IoT de Comportamento e de Interatividade. A falta da modelagem de outras facetas deixa outros aspectos inerentes à IoT vazios, aspectos como a conexão, o ambiente, etc, ou seja, elementos muitas vezes essenciais para um sistema IoT.

Outra limitação é à falta de ferramentas de software que possam implementar totalmente todas as características do SysML, e assim, portanto, do SysIoTML. Além disso, não foi encontrada uma ferramenta gratuita, e que permitisse modificações, para efetuar simulações dos diagramas resultantes.

6.2 Ameaças à validade

Ameaças à validade podem limitar a capacidade de analisar os resultados dos dados obtidos. Portanto, não há como desconsiderar as seguintes ameaças encontradas nesta dissertação.

- **Validade do MSL:** a string de pesquisa usada para encontrar trabalhos relacionados (Tabela 4) não é voltada especificamente para modelagem de sistemas para IoT. Para mitigar essa ameaça, foi feita uma análise dos trabalhos em relação às facetas IoT. Além disso, a SysIoTML foi feita baseada em elementos específicos à IoT.
- **Experimento:** além do que foi reportado no capítulo anterior, é importante destacar que apenas um único experimento pode não ser suficiente para determinar, se uma técnica é adequada ou não para modelagem de sistemas IoT. Para este ponto, os participantes selecionados para participar do experimento, tem algum grau de conhecimento em modelagem de sistemas ou com IoT, muitos com experiência profissional. Com isto, foi garantido que a técnica foi testada e avaliada por pessoas não leigas.
- **Avaliação:** À avaliação do resultado dos diagramas feitos pelos participantes, foi realizada por membros do grupo de pesquisa, isto pode gerar uma inclinação por parte dos avaliadores. Para evitar isto, foi construído o "oraculo", explicado na Seção 5.1.3, que foi criado sob vários pontos de vista. Com o "oraculo", os avaliadores tiveram um elemento único e não tendencioso para avaliar os diagramas criados pelos participantes.

6.3 Contribuições

Contribuições relacionadas a pesquisa:

- **Artigo:** Silva, Bruno Carvalho da ; Alves, Rodolfo ; Santos, Vinícius ; Siqueira, Rodrigo ; Correia, Jone ; Rivero, Luis ; Coutinho, Luciano ; Teles, Ariel Soares ; Viana, Davi . ReqSCity: uma ferramenta de análise de requisitos de aplicações para cidades inteligentes. In: Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí,

2022, Brasil. Anais da X Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI 2022). Porto Alegre: SBC, 2022. v. 1. p. 129-138.

- Registro de Software: ReqSCity; Autor(es): Ariel Soares Teles; Francisco José da Silva e Silva; Alex Oliveira Barradas Filho; Davi Viana dos Santos; Bruno Carvalho da Silva; Rodrigo do Nascimento Siqueira; Jone dos Santos Sodré Correia; Luis Jorge Enrique Rivero Cabrejos; Luciano Reis Coutinho; Processo N^o: BR512023000336-0.
- Artigo: Nascimento, R.; Santos, V.; Carvalho, B.; Correia, J.; Rivero, L.; Santos, R.; Silva, F.; Teles, A. and Viana, D. (2023). SysIoTML: A Technique for Modeling Applications in the Context of IoT. In Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 2, ISBN 978-989-758-648-4, ISSN 2184-4992, pages 187-194.

6.4 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuro, primeiramente temos a melhoria no relacionamento entre objeto, sensor e atuador no diagrama de definição do bloco, já que este foi um ponto abordado por alguns dos participantes. Além disso, temos a necessidade da realização de experimentos em outros cenários inteligentes, para verificar melhor o desempenho da técnica e o desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie nossa técnica. Planejamos utilizar a técnica em um cenário de monitoramento da saúde de trabalhadores da indústria, onde se pode capturar batimentos cardíacos de trabalhador, por um dispositivo com sensor. E por fim, a expansão da técnica para englobar todas as 7 Facetas IoT e o Problema de Domínio, de maneira que a técnica englobe todos os aspectos da IoT.

Referências

- AARAB, Z.; SAIDI, R.; RAHMANI, M. D. Towards a framework for context-aware information systems: A metamodel-driven definition and implementation. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 13, p. 2888–2989, 04 2018. Citado na página 90.
- ABDULKHALEQ, A.; WAGNER, S.; LEVESON, N. A comprehensive safety engineering approach for software-intensive systems based on stpa. *Procedia Engineering*, v. 128, p. 2–11, 2015. ISSN 1877-7058. Proceedings of the 3rd European STAMP Workshop 5-6 October 2015, Amsterdam. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815038588>>. Citado na página 16.
- ABREU, D. P. et al. A resilient internet of things architecture for smart cities. *Annals of Telecommunications*, v. 72, 06 2016. Citado na página 14.
- ABU-MATAR, M. Towards a software defined reference architecture for smart city ecosystems. In: *2016 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 90.
- ABU-MATAR, M.; MIZOUNI, R. Variability modeling for smart city reference architectures. In: *2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–8. Citado na página 90.
- AGBALI, M. et al. Conceptual smart city kpi model: A system dynamics modelling approach. In: *2018 Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 163–171. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 83.
- AGGARWAL, R.; DAS, M. L. Rfid security in the context of "internet of things". In: *Proceedings of the First International Conference on Security of Internet of Things*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2012. (SecurIT '12), p. 51–56. ISBN 9781450318228. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2490428.2490435>>. Citado na página 19.
- AGUIDA, M. A.; OUCHANI, S.; BENMALEK, M. A review on cyber-physical systems: Models and architectures. In: *2020 IEEE 29th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 275–278. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 82.
- AHMAD, A. et al. Chapter one - model-based testing for internet of things systems. In: MEMON, A. M. (Ed.). Elsevier, 2018, (Advances in Computers, v. 108). p. 1–58. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065245817300517>>. Citado na página 87.
- AHN, J.-y. et al. A composite structure of ict for smart city: Integration infrastructure and collaboration platform. In: *2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 984–989. Citado na página 81.

- AHRAM, T. Z.; KARWOWSKI, W.; AMABA, B. A. User-centered systems engineering & knowledge management framework for design & modeling of future smart cities. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, v. 54, p. 1752–1756, 2010. Citado na página 90.
- AL-SHAMMARI, H. Q. et al. Energy efficient service embedding in iot networks. In: *2018 27th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–5. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 85.
- ALANWAR, A. et al. Selecon: Scalable iot device selection and control using hand gestures. In: *Proceedings of the Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (IoTDI '17), p. 47–58. ISBN 9781450349666. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3054977.3054981>>. Citado na página 42.
- AMYOT, D. et al. Towards improved requirements engineering with sysml and the user requirements notation. In: *2016 IEEE 24th International Requirements Engineering Conference (RE)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 329–334. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 90.
- AN, J. et al. Toward global iot-enabled smart cities interworking using adaptive semantic adapter. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 6, n. 3, p. 5753–5765, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 90.
- AN, Y. et al. Modeling and analysis of transit signal priority control systems based on colored petri nets. In: *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 2701–2706. Citado na página 48.
- ANADIOTIS, G. et al. A data model for energy decision support systems for smart cities: The case of besos common information model. In: *2015 International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–9. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 81.
- ANAND, S.; RAMESH, M. V. Multi-layer architecture and routing for internet of everything (ioe) in smart cities. In: *2021 Sixth International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 411–416. Citado na página 88.
- ANDRADE, R. M. C. et al. What changes from ubiquitous computing to internet of things in interaction evaluation? In: *Distributed, Ambient and Pervasive Interactions: 5th International Conference, DAPI 2017, Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9–14, 2017, Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2017. p. 3–21. ISBN 978-3-319-58696-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58697-7_1>. Citado na página 22.
- ARTAMONOV, G. E. et al. Modeling the environmental situation in a smart city. In: *2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–4. Citado na página 87.
- ATABEKOV, A. et al. Internet of things-based temperature tracking system. In: *2015 IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 3, p. 493–498. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 41.

- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. ISSN 1389-1286. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>>. Citado na página 20.
- AZIZ, M. W.; SHEIKH, A. A.; FELEMBAN, E. A. Requirement engineering technique for smart spaces. In: *Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Cloud Computing*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (ICC '16). ISBN 9781450340632. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2896387.2896439>>. Citado na página 23.
- BADII, C. et al. A smart city development kit for designing web and mobile apps. In: *2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computed, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–8. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 82.
- BAGNATO, A. et al. Designing swarms of cyber-physical systems: The h2020 cpswarm project: Invited paper. In: *Proceedings of the Computing Frontiers Conference*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (CF'17), p. 305–312. ISBN 9781450344876. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3075564.3077628>>. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 84.
- BARDOUTSOS, A. et al. A multidimensional human-centric framework for environmental intelligence: Air pollution and noise in smart cities. In: *2020 16th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 155–164. Citado na página 81.
- BARESI, L. et al. Formal verification and validation of embedded systems: the uml-based mades approach. *Software Systems Modeling*, v. 14, 02 2013. Citado na página 16.
- BELLO, O.; ZEADALLY, S. Toward efficient smartification of the internet of things (iot) services. *Future Generation Computer Systems*, v. 92, p. 663–673, 2019. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17317326>>. Citado na página 13.
- BENARBIA, T. et al. Electric cars-sharing systems modeling and analysis. In: *2017 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 030–035. Citado na página 85.
- BENITES, A. J.; SIMÕES, A. F. Assessing the urban sustainable development strategy: An application of a smart city services sustainability taxonomy. *Ecological Indicators*, v. 127, p. 107734, 2021. ISSN 1470-160X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X2100399X>>. Citado na página 83.
- BENTO, L. H. T. C.; SOUZA, S. do Rocio Senger de. *UML: Um estudo sobre o uso em empresas de desenvolvimento de software em São Carlos - SP e região*. 2020. Citado na página 24.
- BHATT, S.; SANDHU, R. Convergent access control to enable secure smart communities. In: *2020 Second IEEE International Conference on Trust, Privacy and Security in*

Intelligent Systems and Applications (TPS-ISA). [S.l.: s.n.], 2020. p. 148–156. Citado na página 84.

BIRDSEY, L.; SZABO, C.; FALKNER, K. Casl: A declarative domain specific language for modeling complex adaptive systems. In: *2016 Winter Simulation Conference (WSC)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1241–1252. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 83.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. Unified modeling language user guide, the (2nd edition) (addison-wesley object technology series). *J. Database Manag.*, v. 10, 01 1999. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 27.

BOTTACCIOLI, L. et al. Distributed infrastructure for multi-energy-systems modelling and co-simulation in urban districts. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems*. Setubal, PRT: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, Lda, 2018. (SMARTGREENS 2018), p. 262–269. ISBN 9789897582929. Disponível em: <<https://doi.org/10.5220/0006764502620269>>. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 85.

BOUDAA, B.; HAMMOUDI, S.; BENSLIMANE, S. M. Towards an extensible context model for mobile user in smart cities. In: _____. [S.l.: s.n.], 2018. p. 498–508. ISBN 978-3-319-89742-4. Citado na página 90.

BOUZIDI, M. et al. Use of the iqrf technology in internet-of-things-based smart cities. *IEEE Access*, v. 8, p. 56615–56629, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 90.

BRUTTI, A. et al. Smart city platform specification: A modular approach to achieve interoperability in smart cities: Technology, communications and computing. In: _____. [S.l.: s.n.], 2019. p. 25–50. ISBN 978-3-319-96549-9. Citado na página 89.

BUCCHIARONE, A. et al. Incremental composition for adaptive by-design service based systems. In: *2016 IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 236–243. Citado na página 86.

BUGA, A.; NEMES, S. T. Towards modeling monitoring of smart traffic services in a large-scale distributed system. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Cloud Computing and Services Science*. Setubal, PRT: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, Lda, 2017. (CLOSER 2017), p. 483–490. ISBN 9789897582431. Disponível em: <<https://doi.org/10.5220/0006303704830490>>. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 90.

CABRINI, F. H. et al. Helix sandbox: An open platform to fast prototype smart environments applications. In: *2019 IEEE 1st Sustainable Cities Latin America Conference (SCLA)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6. Citado na página 86.

CAMPOLO, C. et al. Digital twins at the edge to track mobility for maas applications. In: *Proceedings of the IEEE/ACM 24th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications*. [S.l.]: IEEE Press, 2020. (DS-RT '20), p. 1–6. Citado na página 85.

CASADEI, R. et al. Modelling and simulation of opportunistic iot services with aggregate computing. *Future Generation Computer Systems*, v. 91, p. 252–262, 2019. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X18307246>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 87.

- CHAABANE, M. et al. A modeling approach for systems-of-systems by adapting iso/iec/ieee 42010 standard evaluated by goal-question-metric. *Science of Computer Programming*, v. 184, p. 102305, 2019. ISSN 0167-6423. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167642319301030>>. Citado na página 81.
- CHEN, G.; TANG, J.; COON, J. P. Optimal routing for multihop social-based d2d communications in the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 3, p. 1880–1889, 2018. Citado na página 15.
- CHEN, J. et al. Dynamic planning of bicycle stations in dockless public bicycle-sharing system using gated graph neural network. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 12, n. 2, mar. 2021. ISSN 2157-6904. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3446342>>. Citado na página 85.
- CHILIPIREA, C. et al. An integrated architecture for future studies in data processing for smart cities. *Microprocessors and Microsystems*, v. 52, p. 335–342, 2017. ISSN 0141-9331. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141933117301515>>. Citado na página 82.
- CIRILLO, F. et al. Smart city iot services creation through large-scale collaboration. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 7, n. 6, p. 5267–5275, 2020. Citado na página 89.
- CLEDOU, G. A virtual factory for smart city service integration. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2014. (ICEGOV '14), p. 536–539. ISBN 9781605586113. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2691195.2691288>>. Citado na página 82.
- COGNINI, R. et al. Modelling Process Intensive Scenarios for the Smart City. In: JANSSEN, M. et al. (Ed.). *13th International Conference on Electronic Government (EGOV)*. Dublin, Ireland: Springer, 2014. (Electronic Government, LNCS-8653), p. 147–158. Part 2: Services and Interoperability. Disponível em: <<https://hal.inria.fr/hal-01401735>>. Citado na página 87.
- CORNO, F.; RAZZAK, F. Real-time monitoring of high-level states in smart environments. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, v. 7, p. 133–153, 04 2015. Citado na página 41.
- COSTA, C.; SANTOS, M. Y. The suscity big data warehousing approach for smart cities. In: *Proceedings of the 21st International Database Engineering amp; Applications Symposium*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (IDEAS 2017), p. 264–273. ISBN 9781450352208. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3105831.3105841>>. Citado na página 90.
- COSTA, F. M. et al. Model-driven domain-specific middleware. In: *2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1961–1971. Citado na página 87.
- CRIADO, J.; IRIBARNE, L.; PADILLA, N. Heuristics-based mediation for building smart architectures at run-time. *Computer Standards Interfaces*, v. 75, p. 103501, 2021. ISSN 0920-5489. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548920303883>>. Citado na página 86.

CUNHA, M.; ROSSETTI, R.; CAMPOS, P. Modelling smart cities through socio-technical systems. In: . [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–8. Citado na página 88.

de Freitas Bezerra, D.; de Medeiros, V. W. C.; GONÇALVES, G. E. Towards a control-as-a-service architecture for smart environments. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 107, p. 102194, 2021. ISSN 1569-190X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X20301337>>. Citado na página 90.

DIACONITA, V.; BOLOGA, A.-R.; BOLOGA, R. Hadoop oriented smart cities architecture. *Sensors*, v. 18, p. 1181, 04 2018. Citado na página 14.

DIAN, F. J.; VAHIDNIA, R.; RAHMATI, A. Wearables and the internet of things (iot), applications, opportunities, and challenges: A survey. *IEEE Access*, v. 8, p. 69200–69211, 2020. Citado na página 19.

DÍAZ, J. et al. Conceptualizing a framework for cyber-physical systems of systems development and deployment. In: *Proceedings of the 10th European Conference on Software Architecture Workshops*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (ECSAW '16). ISBN 9781450347815. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2993412.3004852>>. Citado na página 83.

DIEZ, L. et al. Fostering iot service replicability in interoperable urban ecosystems. *IEEE Access*, v. 8, p. 228480–228495, 2020. Citado na página 85.

DRĂGOICEA, M. et al. Service design for resilience: A multi-contextual modeling perspective. *IEEE Access*, v. 8, p. 185526–185543, 2020. Citado na página 89.

D'ANIELLO, G. et al. Knowledge-based smart city service system. *Electronics*, v. 9, n. 6, 2020. ISSN 2079-9292. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2079-9292/9/6/965>>. Citado na página 86.

EICKER, U. et al. On the design of an urban data and modeling platform and its application to urban district analyses. *Energy and Buildings*, v. 217, p. 109954, 2020. ISSN 0378-7788. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819322005>>. Citado na página 88.

EID, M. A.; OSMAN, H. A. Affective haptics: Current research and future directions. *IEEE Access*, v. 4, p. 26–40, 2016. Citado na página 42.

ELAYAN, H. et al. Internet of behavior (iob) and explainable ai systems for influencing iot behavior. *IEEE Network*, p. 1–8, 2022. Citado na página 21.

ESTRADA-ESQUIVEL, H. et al. Applying tropos modeling for smart mobility applications based on the fiware platform. In: *iStar*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado na página 83.

FABER, A. et al. An agile framework for modeling smart city business ecosystems. In: . [S.l.: s.n.], 2018. p. 39–50. Citado na página 82.

FASCHANG, M.; JUDEX, F.; SCHUSTER, A. Functional view of a smart city architecture: the scda greenfield approach. In: *2016 Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems (MSCPES)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6. Citado na página 86.

FATEHAH, M.; MEZHUYEV, V. Design and process metamodels for modelling and verification of safety-related software applications in smart building systems. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (ICIT 2018), p. 60–64. ISBN 9781450366298. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3301551.3301577>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 84.

FAZIO, M. et al. A proximity-based indoor navigation system tackling the covid-19 social distancing measures. In: *2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–6. Citado na página 81.

FEMMINELLA, M.; PERGOLESI, M.; REALI, G. 5g experiment design through blueprint. *Computer Networks*, v. 190, p. 107948, 2021. ISSN 1389-1286. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128621000864>>. Citado na página 81.

FERNANDEZ, F. et al. The augmented space of a smart city. In: *2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 465–470. Citado na página 89.

FIGUEIREDO, I.; ESTEVES, P.; CABRITA, P. Water wise – a digital water solution for smart cities and water management entities. *Procedia Computer Science*, v. 181, p. 897–904, 2021. ISSN 1877-0509. CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705092100288X>>. Citado 3 vezes nas páginas 36, 38 e 90.

FIZZA, K. et al. Qoe in iot: a vision, survey and future directions. *Discover Internet of Things*, v. 1, 02 2021. Citado na página 19.

FURLAN, J. *Modelagem de objetos através da UML - the Unified Modeling Language*. Makron Books, 1998. ISBN 9788534609241. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=zyjkZwEACAAJ>>. Citado na página 24.

GAUTAM, K. et al. Internet of things (iot) and deep neural network-based intelligent and conceptual model for smart city. In: _____. [S.l.: s.n.], 2020. p. 287–300. ISBN 978-981-32-9185-0. Citado na página 86.

GAVRILOVIC, N.; MISHRA, A. Software architecture of the internet of things (iot) for smart city, healthcare and agriculture: Analysis and improvement directions. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 01 2021. Citado na página 89.

GHANNEM, A. et al. A context model development process for smart city operations. In: *2015 IEEE International Conference on Service Operations And Logistics, And Informatics (SOLI)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 122–127. Citado na página 81.

GHEISARI, M. et al. Obpp: An ontology-based framework for privacy-preserving in iot-based smart city. *Future Generation Computer Systems*, v. 123, p. 1–13, 2021. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X21000388>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 88.

- GHOBAEI-ARANI, M. et al. A moth-flame optimization algorithm for web service composition in cloud computing: Simulation and verification. *Software: Practice and Experience*, v. 48, n. 10, p. 1865–1892, 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/spe.2598>>. Citado na página 13.
- GIALLONARDO, E. et al. Making smart buildings and personal systems cooperate via knowledge base overlays. In: *Proceedings of the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (GoodTechs '20), p. 181–186. ISBN 9781450375597. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3411170.3411261>>. Citado na página 86.
- GIALLONARDO, E. et al. Semantics-driven programming of self-adaptive reactive systems. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, v. 30, p. 805–834, 06 2020. Citado na página 88.
- GONÇALVES, R.; SOARES, J. J. M.; LIMA, R. M. F. An iot-based framework for smart water supply systems management. *Future Internet*, v. 12, n. 7, 2020. ISSN 1999-5903. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1999-5903/12/7/114>>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 82.
- GRILO, E. S.; LOPES, B. Formalization and certification of software for smart cities. In: *2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–8. Citado na página 85.
- GUO, H. et al. Embracing modern technologies and urban development trends: Initial evaluation of a smart city enterprise architecture frameworks. *Lecture Notes in Business Information Processing*, v. 381, p. 247–257, 04 2020. Citado na página 85.
- GUO, Q.; LI, L.; BAN, X. Urban traffic signal control with connected and automated vehicles: A survey. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 101, 02 2019. Citado na página 48.
- HACHEM, J. E. et al. Model driven software security architecture of systems-of-systems. In: *2016 23rd Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 89–96. Citado na página 87.
- HAMDI, M. et al. Intelligent parking management by means of capability oriented requirements engineering. In: _____. [S.l.: s.n.], 2019. p. 158–172. ISBN 978-3-030-22998-6. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 86.
- HEFNAWY, A.; BOURAS, A.; CHERIFI, C. Iot for smart city services: Lifecycle approach. In: *Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Cloud Computing*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (ICC '16). ISBN 9781450340632. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2896387.2896440>>. Citado na página 86.
- HERNÁNDEZ, J. L. et al. Interoperable open specifications framework for the implementation of standardized urban platforms. *Sensors*, v. 20, n. 8, 2020. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/8/2402>>. Citado na página 86.

- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. et al. Smart cities at the forefront of the future internet. In: *The Future Internet*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 447–462. ISBN 978-3-642-20897-3. Citado na página 20.
- HERRERA-QUINTERO, L. F. et al. Smart its sensor for the transportation planning based on iot approaches using serverless and microservices architecture. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, v. 10, n. 2, p. 17–27, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 41.
- HIDAYAT, T.; SUHARDI; KURNIAWAN, N. B. Smart city service system engineering based on microservices architecture: Case study: Government of tangerang city. In: *2017 International Conference on ICT For Smart Society (ICISS)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–7. Citado na página 89.
- IASIO, A. D. et al. A microservices platform for monitoring and analysis of iot traffic data in smart cities. In: *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 5223–5232. Citado na página 81.
- IHIRWE, F. et al. Low-code engineering for internet of things: A state of research. In: *Proceedings of the 23rd ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems: Companion Proceedings*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (MODELS '20). ISBN 9781450381352. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3417990.3420208>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 87.
- JACOBSON, I.; SPENCE, I.; NG, P.-W. Is there a single method for the internet of things? *Commun. ACM*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 60, n. 11, p. 46–53, oct 2017. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3106637>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- JAISWAL, R.; DAVIDRAJUH, R.; RONG, C. Fog computing for realizing smart neighborhoods in smart grids. *Computers*, v. 9, n. 3, 2020. ISSN 2073-431X. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-431X/9/3/76>>. Citado na página 85.
- JANSSEN, M.; CHATTOPADHYAY, S.; REHENA, Z. A reference architecture for context-aware intelligent traffic management platforms. *Int. J. Electron. Gov. Res.*, IGI Global, USA, v. 14, n. 4, p. 65–79, out. 2018. ISSN 1548-3886. Disponível em: <<https://doi.org/10.4018/IJEGR.2018100105>>. Citado na página 81.
- JAOUHARI, S. E.; BOUABDALLAH, A.; CORICI, A. Sdn-based security management of multiple wot smart spaces. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, v. 12, 10 2021. Citado na página 88.
- JAVED, A. et al. biotope: Building an iot open innovation ecosystem for smart cities. *IEEE Access*, v. 8, p. 224318–224342, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 83.
- JNR, B. A. Smart city data architecture for energy prosumption in municipalities: concepts, requirements, and future directions. *International Journal of Green Energy*, Taylor Francis, v. 17, n. 13, p. 827–845, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1791878>>. Citado na página 89.

- JNR, B. A. et al. Big data driven multi-tier architecture for electric mobility as a service in smart cities: A design science approach. *International Journal of Energy Sector Management*, v. 14, p. 1023–1047, 03 2020. Citado na página 83.
- JNR, B. A.; PETERSEN, S.; HELFERT, M. Digital transformation of virtual enterprises for providing collaborative services in smart cities. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 598, p. 249–260, 11 2020. Citado na página 84.
- KHALYLY, B. E. et al. A new metamodel approach of ci/cd applied to internet of things ecosystem. In: *2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–6. Citado 3 vezes nas páginas 35, 36 e 81.
- KHLIF, I. et al. Model consistency for multi-scale architectures applied to smart systems. *Procedia Computer Science*, v. 109, p. 400–407, 2017. ISSN 1877-0509. 8th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, ANT-2017 and the 7th International Conference on Sustainable Energy Information Technology, SEIT 2017, 16-19 May 2017, Madeira, Portugal. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917310840>>. Citado na página 87.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. v. 2, 01 2007. Citado na página 33.
- KLIMEK, R. Sensor-enabled context-aware and pro-active queue management systems in intelligent environments. *Sensors*, v. 20, n. 20, 2020. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/20/5837>>. Citado na página 88.
- KRÄMER, M.; FRESE, S.; KUIJPER, A. Implementing secure applications in smart city clouds using microservices. *Future Generation Computer Systems*, v. 99, p. 308–320, 2019. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X18304539>>. Citado na página 86.
- KUMAR, R.; NASEERA, S. A literature review on routing strategy in the internet of things. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, v. 10, p. 50–60, 01 2017. Citado na página 21.
- KUMARI, A.; GUPTA, R.; TANWAR, S. Amalgamation of blockchain and iot for smart cities underlying 6g communication: A comprehensive review. *Computer Communications*, v. 172, p. 102–118, 2021. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366421001006>>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 82.
- KURYAZOV, D.; KHUJAMURATOV, B.; SHERKHANOV, K. Sustainable service-oriented architecture for smart city development. In: *2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–5. Citado na página 89.
- LAM, K.-Y. et al. Ant-centric iot security reference architecture – security-by-design for satellite-enabled smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, p. 1–1, 2021. Citado na página 82.

- LATIF, S. et al. Deterministic formal modeling of smart lightening system using internet of things. In: *2018 12th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. Citado na página 84.
- LATIF, S.; AFZAAL, H.; ZAFAR, N. A. Modelling of graph-based smart parking system using internet of things. In: *2018 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 7–12. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 87.
- LATIF, S.; REHMAN, A.; ZAFAR, N. A. Modeling of energy efficient smart lightening system linking uml, automata and tla+. In: *2018 IEEE 21st International Multi-Topic Conference (INMIC)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 87.
- LATIF, S.; REHMAN, A.; ZAFAR, N. A. Modeling of sewerage system linking uml, automata and tla+. In: *2018 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering (ICE Cube)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 87.
- LATIF, S.; REHMAN, A.; ZAFAR, N. A. Nfa based formal modeling of smart parking system using tla +. In: *2019 International Conference on Information Science and Communication Technology (ICISCT)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 88.
- Le Vinh, T. et al. Middleware to integrate mobile devices, sensors and cloud computing. *Procedia Computer Science*, v. 52, p. 234–243, 2015. ISSN 1877-0509. The 6th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT-2015), the 5th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2015). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915008613>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 87.
- LEE, J. H.; HANCOCK, M. G.; HU, M.-C. Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from seoul and san francisco. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 89, p. 80–99, 2014. ISSN 0040-1625. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162513002187>>. Citado na página 90.
- LEI, Y. et al. Bim based cyber-physical systems for intelligent disaster prevention. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 20, p. 100171, 2020. ISSN 2452-414X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452414X20300467>>. Citado na página 83.
- LI, F.; WANG, J. Citizen fusion service platform for smart cities: Architecture, technologies and practice. In: *2014 IEEE International Conference on Global Software Engineering Workshops*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 51–56. Citado na página 83.
- LI, J.; CHEN, N. Geospatial sensor web resource management system for smart city: Design and implementation. In: *2014 14th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 819–827. Citado na página 86.
- LIMA, J. W. S. d.; FALCÃO, T. P.; ANDRADE, E. Desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta interativa baseada em exemplos para o aprendizado de modelagem de sistemas usando redes de petri. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 29, p. 1232–1261, out. 2021. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/journals/index.php/rbie/article/view/2072>>. Citado na página 14.

- LOM, M.; PŘIBYL, O. Modeling of smart city building blocks using multi-agent systems. *Neural Network World*, v. 27, p. 317–331, 01 2017. Citado na página 87.
- LONGO, A.; MATTEIS, A. D.; ZAPPATORE, M. Urban pollution monitoring based on mobile crowd sensing: An osmotic computing approach. In: *2018 IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 380–387. Citado na página 90.
- LYTRA, I. et al. Reusable architectural decision models for quality-driven decision support: A case study from a smart cities software ecosystem. In: *2015 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 37–43. Citado na página 88.
- LYU, M.; BIENNIER, F.; GHODOUS, P. Control as a service architecture to support cloud-based and event-driven control application development. In: *2019 IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 41–49. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 84.
- MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of things (iot): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, v. 3, p. 164–173, 04 2015. Citado na página 19.
- MAESTRE-GONGORA, G. P.; BERNAL, W. N. Conceptual model of information technology management for smart cities: Smarticity. *J. Glob. Inf. Manage.*, IGI Global, USA, v. 27, n. 2, p. 159–175, abr. 2019. ISSN 1062-7375. Disponível em: <<https://doi.org/10.4018/JGIM.2019040109>>. Citado na página 83.
- MAITI, P. et al. Sensors data collection architecture in the internet of mobile things as a service (iomtaas) platform. In: *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 578–582. Citado na página 88.
- MASIP-BRUIN, X. et al. Managing resources continuity from the edge to the cloud: Architecture and performance. *Future Generation Computer Systems*, v. 79, p. 777–785, 2018. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17302686>>. Citado na página 87.
- MATHUPRIYA, S. et al. Digital twin technology on iot, industries other smart environments: A survey. *Materials Today: Proceedings*, 2020. ISSN 2214-7853. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320389768>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 85.
- MENDILI, S. E.; IDRISI, Y. E. B. E.; HMINA, N. Big data processing platform for smart city. In: *2018 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–7. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 83.
- MERLINO, G. et al. Software defined cities: A novel paradigm for smart cities through iot clouds. In: *2015 IEEE 12th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2015 IEEE 12th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2015 IEEE 15th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 909–916. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 89.

- MGBERE, C.; KNYSHENKO, V.; BAKIROVA, A. Building information modeling. a management tool for smart city. In: *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. [S.l.: s.n.], 2018. v. 2, p. 177–182. Citado na página 83.
- MIAO, L.; LIU, K. Towards a heterogeneous internet-of-things testbed via mesh inside a mesh: Poster abstract. In: *Proceedings of the 14th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems CD-ROM*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (SenSys '16), p. 368–369. ISBN 9781450342636. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2994551.2996710>>. Citado na página 13.
- MISRA, N. N. et al. Iot, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 9, n. 9, p. 6305–6324, 2022. Citado na página 22.
- MOOS, P.; SVÍTEK, M.; VOTRUBA, Z. Smart cities, multi-system approach to system modelling. In: *2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6. Citado na página 89.
- MOTTA, R. *An Evidence-Based Roadmap to Support the Internet of Things Software Systems Engineering*. 182 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 11 2021. Citado 9 vezes nas páginas 7, 14, 15, 19, 20, 23, 24, 42 e 56.
- MOTTA, R. C.; OLIVEIRA, K. M. de; TRAVASSOS, G. H. On challenges in engineering iot software systems. In: *Proceedings of the XXXII Brazilian Symposium on Software Engineering*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (SBES '18), p. 42–51. ISBN 9781450365031. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3266237.3266263>>. Citado 4 vezes nas páginas 13, 15, 20 e 56.
- MUHAMMED, T. et al. Ubehealth: A personalized ubiquitous cloud and edge-enabled networked healthcare system for smart cities. *IEEE Access*, v. 6, p. 32258–32285, 2018. Citado na página 90.
- MUKUDU, N. et al. Prototyping smart city applications over large scale m2m testbed. In: *2016 IST-Africa Week Conference*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–11. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 88.
- MUNOZ-ARCENALES, A. et al. Data usage and access control in industrial data spaces: Implementation using fiware. *Sustainability*, v. 12, n. 9, 2020. ISSN 2071-1050. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3885>>. Citado na página 84.
- MURALIDHARAN, S.; ROY, A.; SAXENA, N. Mdp-iot: Mdp based interest forwarding for heterogeneous traffic in iot-ndn environment. *Future Generation Computer Systems*, v. 79, p. 892–908, 2018. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X1731035X>>. Citado na página 13.
- MUVUNA, J. et al. Systems engineering approach to design and modelling of smart cities. In: *2016 International Conference for Students on Applied Engineering (ICSAE)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 437–440. Citado na página 89.

- NAKAMURA, M.; BOUSQUET, L. D. Constructing execution and life-cycle models for smart city services with self-aware iot. In: *2015 IEEE International Conference on Autonomic Computing*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 289–294. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 84.
- NEEMA, H. et al. Simulation testbed for railway infrastructure security and resilience evaluation. In: *Proceedings of the 7th Symposium on Hot Topics in the Science of Security*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (HotSoS '20). ISBN 9781450375610. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3384217.3385623>>. Citado na página 89.
- NELSON, A. et al. Towards a foundation for a collaborative replicable smart cities iot architecture. In: *Proceedings of the 2nd International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (SCOPE '17), p. 63–68. ISBN 9781450349895. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3063386.3063763>>. Citado na página 90.
- NEPOMUCENO, T. et al. Autoiot: A framework based on user-driven mde for generating iot applications. In: *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (SAC '20), p. 719–728. ISBN 9781450368667. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3341105.3373873>>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 83.
- NICOLA, A. D.; MELCHIORI, M.; VILLANI, M. L. A lateral thinking framework for semantic modelling of emergencies in smart cities. In: . [S.l.: s.n.], 2014. ISBN 978-3-319-10084-5. Citado na página 81.
- NIE, Y.; ZHANG, Y. Technological innovation management for sustainable energy development associated with industrial development and legal duties. *Journal of Urban Planning and Development*, v. 147, n. 1, p. 04020059, 2021. Citado na página 89.
- NOORI, N. et al. Input-output modeling for smart city development. *Journal of Urban Technology*, Routledge, v. 28, n. 1-2, p. 71–92, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10630732.2020.1794728>>. Citado na página 86.
- NUKAVARAPU, N.; DURBHA, S. Healthcare critical infrastructure stochastic interdependencies simulation model for smart cities: Flood disaster scenario. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-4-2020, p. 123–129, 08 2020. Citado na página 86.
- OGUNDOYIN, S. O.; KAMIL, I. A. Paash: A privacy-preserving authentication and fine-grained access control of outsourced data for secure smart health in smart cities. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, v. 155, p. 101–119, 2021. ISSN 0743-7315. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074373152100099X>>. Citado na página 88.
- OLSZEWSKI, R. et al. Developing a serious game that supports the resolution of social and ecological problems in the toolset environment of cities: Skylines. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 9, n. 2, 2020. ISSN 2220-9964. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2220-9964/9/2/118>>. Citado na página 84.
- OMG. *Systems Modeling Language (OMG SysML) Version 1.6*. [S.l.]: OMG, 2019. [S.l.: s.n.], 2019. Citado 6 vezes nas páginas 7, 28, 29, 30, 31 e 32.

ORTNER, E. et al. Design of interactional decision support applications for e-participation in smart cities. *Int. J. Electron. Gov. Res.*, IGI Global, USA, v. 12, n. 2, p. 18–38, abr. 2016. ISSN 1548-3886. Disponível em: <<https://doi.org/10.4018/IJEGR.2016040102>>. Citado na página 84.

PAGANELLI, F.; TURCHI, S.; GIULI, D. A web of things framework for restful applications and its experimentation in a smart city. *IEEE Systems Journal*, v. 10, n. 4, p. 1412–1423, 2016. Citado na página 82.

PALOMAR, E. et al. Component-based modelling for scalable smart city systems interoperability: A case study on integrating energy demand response systems. *Sensors*, v. 16, n. 11, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/16/11/1810>>. Citado na página 83.

PATEL, P.; CASSOU, D. Enabling high-level application development for the internet of things. *Journal of Systems and Software*, v. 103, p. 62–84, 01 2015. Citado na página 41.

PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, v. 17, 06 2008. Citado na página 33.

PETROLO, R. et al. Adaptive filtering as a service for smart city applications. In: *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 525–530. Citado na página 82.

PETROVA-ANTONOVA, D. et al. Conceptual architecture of gate big data platform. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. (CompSysTech '19), p. 261–268. ISBN 9781450371490. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3345252.3345282>>. Citado na página 83.

PONS, P.; CATALA, A.; JAEN, J. Customizing smart environments: A tabletop approach. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, v. 7, p. 511–533, 08 2015. Citado na página 41.

POP, E.; PUȘCOCI, S. Considerations regarding e-services development platforms for smart cities. In: *2020 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 83.

PRASETYO, Y. A. et al. Implementation of service platform for smart city as a service. In: *2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 416–422. Citado na página 86.

PRASETYO, Y. A.; LUBIS, M. Smart city architecture development methodology (scadm): A meta-analysis using soa-ea and sos approach. *SAGE Open*, v. 10, 2020. Citado na página 89.

PREDUT, S.-N. et al. Formal modelling of cruise control system using event-b and rodin platform. In: *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1541–1546. Citado na página 85.

- PÉREZ, L. J.; SALVACHÚA, J. Simulation of scalability in cloud-based iot reactive systems leveraged on a wsan simulator and cloud computing technologies. *Applied Sciences*, v. 11, n. 4, 2021. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1804>>. Citado na página 89.
- RABII, A.; ASSOUL, S.; ROUDIES, O. Security requirements elicitation: A smart health case. In: *2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 776–781. Citado na página 88.
- RADENKOVIĆ, B. et al. A distributed iot system for modelling dynamics in smart environments. In: *2020 International Conference Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 47–53. Citado na página 81.
- RAMALHO, M. S. et al. Smartgc: a software architecture for garbage collection in smart cities. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, v. 16, n. 2, p. 79–93, 2020. Disponível em: <<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJBIC.2020.109675>>. Citado na página 89.
- ROCHA, B. D. et al. An ontology-based information model for multi-domain semantic modeling and analysis of smart city data. In: *Proceedings of the Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (WebMedia '20), p. 73–80. ISBN 9781450381963. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3428658.3430973>>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 82.
- RODRÍGUEZ, J. C. et al. Deepint.net: A rapid deployment platform for smart territories. *Sensors*, v. 21, p. 236, 01 2021. Citado na página 84.
- ROSALES, R. et al. Modelling the interaction levels in hci using an intelligent hybrid system with interactive agents: A case study of an interactive museum exhibition module in mexico. *Applied Sciences*, v. 8, p. 446, 2018. Citado na página 15.
- ROULAND, Q.; HAMID, B.; JASKOLKA, J. Formal specification and verification of reusable communication models for distributed systems architecture. *Future Generation Computer Systems*, v. 108, p. 178–197, 2020. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X19311926>>. Citado na página 85.
- SAID, A. M.; KAMAL, A. E.; AFIFI, H. An intelligent parking sharing system for green and smart cities based iot. *Computer Communications*, v. 172, p. 10–18, 2021. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366421000864>>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 82.
- SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoriaa prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 2016. Citado na página 43.
- SANTOS, L. et al. Data processing on edge and cloud: A performability evaluation and sensitivity analysis. *Journal of Network and Systems Management*, v. 29, 07 2021. Citado na página 84.
- SCAFFIDI, C. et al. Continuous green2 waves for surfin smart cities. In: *2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 404–409. Citado na página 84.

- SCHOONENBERG, W. C.; FARID, A. M. Modeling smart cities with hetero-functional graph theory. In: *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1627–1632. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 87.
- SHAABAN, A. M. et al. Cloudwot - a reference model for knowledge-based iot solutions. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Information Integration and Web-Based Applications amp; Services*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (iiWAS2018), p. 272–281. ISBN 9781450364799. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3282373.3282400>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 83.
- SHADROO, S.; RAHMANI, A. M. Systematic survey of big data and data mining in internet of things. *Computer Networks*, v. 139, p. 19–47, 2018. ISSN 1389-1286. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128618301579>>. Citado na página 22.
- SILVA, A. C. Franco da et al. Tdliot: A topic description language for the internet of things. In: _____. [S.l.: s.n.], 2018. p. 333–348. ISBN 978-3-319-91661-3. Citado na página 89.
- SIMMHAN, Y. et al. Towards a data-driven iot software architecture for smart city utilities. *Software: Practice and Experience*, v. 48, n. 7, p. 1390–1416, 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/spe.2580>>. Citado na página 90.
- SIVRIKAYA, F. et al. Internet of smart city objects: A distributed framework for service discovery and composition. *IEEE Access*, v. 7, p. 14434–14454, 2019. Citado na página 86.
- SMIARI, P.; BIBI, S. A smart city application modeling framework: A case study on re-engineering a smart retail platform. In: *2018 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 111–118. Citado na página 82.
- SOUZA, L.; MISRA, S.; SOARES, M. Smartcitysysml: A sysml profile for smart cities applications. In: _____. [S.l.: s.n.], 2020. p. 383–397. ISBN 978-3-030-58816-8. Citado na página 89.
- SOUZA, L. S.; MISRA, S.; SOARES, M. S. Smartcitysysml: A sysml profile for smart cities applications. In: *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020: 20th International Conference, Cagliari, Italy, July 1–4, 2020, Proceedings, Part VI*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2020. p. 383–397. ISBN 978-3-030-58816-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58817-5_29>. Citado 4 vezes nas páginas 16, 27, 48 e 53.
- SPATHARAKIS, D. et al. A scalable edge computing architecture enabling smart offloading for location based services. *Pervasive and Mobile Computing*, v. 67, p. 101217, 2020. ISSN 1574-1192. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574119220300778>>. Citado na página 82.
- STOYANOV, S. et al. Ambinet modeling of spatial aspects of things. In: *2020 International Conference on Information Technologies (InfoTech)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5. Citado na página 82.

- SYSML. *SysML Open Source Project - What is SysML? Who created SysML?* 2003. Disponível em: <<https://sysml.org/>>. Citado 5 vezes nas páginas 7, 26, 27, 30 e 31.
- TAHERKORDI, A. et al. Context-driven and real-time provisioning of data-centric iot services in the cloud. *ACM Trans. Internet Technol.*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 19, n. 1, nov. 2018. ISSN 1533-5399. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3151006>>. Citado na página 84.
- TALAVERA, J. M. et al. Review of iot applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 142, p. 283–297, 2017. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169917304155>>. Citado na página 13.
- TEIXEIRA, P. G. et al. Constituent system design: A software architecture approach. In: *2020 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 218–225. Citado na página 84.
- TEKINERDOGAN, B.; ERATA, F. Automated reasoning framework for traceability management of system of systems. *Science of Computer Programming*, Elsevier BV, v. 191, jun. 2020. ISSN 0167-6423. Citado na página 83.
- TEKINERDOGAN, B.; ÇELIK, T.; KÖKSAL Ömer. Generation of feasible deployment configuration alternatives for data distribution service based systems. *Computer Standards Interfaces*, v. 58, p. 126–145, 2018. ISSN 0920-5489. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548917302994>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 86.
- TICHY, M. et al. Experiences with an internal dsl in the iot domain. In: *STAF Workshops*. [S.l.: s.n.], 2020. Citado na página 85.
- TOLCHA, Y. k. et al. OIOT-OPENCITY: Open standard interoperable smart city platform. In: *2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–8. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 88.
- TSIGKANOS, C. et al. Scalable multiple-view analysis of reactive systems via bidirectional model transformations. In: *Proceedings of the 35th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (ASE '20), p. 993–1003. ISBN 9781450367684. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3324884.3416579>>. Citado na página 88.
- UDOKWU, C.; ANYANKA, H.; NORTA, A. Evaluation of approaches for designing and developing decentralized applications on blockchain. In: *Proceedings of the 2020 4th International Conference on Algorithms, Computing and Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (ICACS'20), p. 55–62. ISBN 9781450377324. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3423390.3426724>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 85.
- UML. *Unified Modeling Language*. 2015. Disponível em: <<https://www.omg.org/spec/UML/2.5>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 43.
- UN. *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN*. 2018. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>>. Citado na página 48.

- VISCONTI, E. et al. Model-driven design of city spaces via bidirectional transformations. In: *2019 ACM/IEEE 22nd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 45–55. Citado na página 87.
- VÖGLER, M. et al. A scalable framework for provisioning large-scale iot deployments. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 16, n. 2, mar. 2016. ISSN 1533-5399. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2850416>>. Citado na página 82.
- WALLETZKÝ, L.; CARUBBO, L.; GE, M. Modelling service design and complexity for multi-contextual applications in smart cities. In: *2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 101–106. Citado na página 87.
- WEI, H. et al. *A Survey on Traffic Signal Control Methods*. 2019. Citado na página 48.
- WHITMORE, A.; AGARWAL, A.; XU, L. The internet of things—a survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, v. 17, 04 2014. Citado na página 21.
- WOHLIN, C. et al. *Experimentation in software engineering*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. Citado na página 34.
- WU, C. et al. Concinnity: A generic platform for big sensor data applications. *IEEE Cloud Computing*, v. 1, n. 2, p. 42–50, 2014. Citado na página 83.
- WU, D.; WANG, H.; SEIDU, R. Toward a sustainable cyber-physical system architecture for urban water supply system**this work was supported by klimaforsk programme(no. 244147/e10) from research council of norway. In: *2020 International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 482–489. Citado na página 90.
- WU, Y.; ZHANG, K.; ZHANG, Y. Digital twin networks: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 8, n. 18, p. 13789–13804, 2021. Citado na página 84.
- XANTHOPOULOS, T. et al. A smartphone-enabled crowdsensing and crowdsourcing system for predicting municipality resource allocation stochastic requirements. In: *24th Pan-Hellenic Conference on Informatics*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (PCI 2020), p. 305–310. ISBN 9781450388979. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3437120.3437330>>. Citado na página 82.
- XU, X. et al. A new paradigm of software service engineering in big data and big service era. *Computing*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, v. 100, n. 4, p. 353–368, abr. 2018. ISSN 0010-485X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00607-018-0602-0>>. Citado na página 81.
- YONEZAWA, T. et al. A citizen-centric approach towards global-scale smart city platform. In: *2015 International Conference on Recent Advances in Internet of Things (RIoT)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 81.
- ZHANG, L. Modeling methods for cloud based cyber physical systems. In: *2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computing, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart*

- City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1271–1276. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 87.
- ZHANG, L. Modeling smart cyber-physical systems based on modelicaml. In: *2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computing, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–8. Citado 3 vezes nas páginas 36, 40 e 87.
- ZHANG, X.; ZHANG, H.; YUAN, D. A platform base on rpeccf: Raspberry pi edge-cloud collaboration framework. In: *2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–5. Citado na página 81.
- ZHAO, D.; DAI, Y.; ZHANG, Z. Computational intelligence in urban traffic signal control: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, v. 42, n. 4, p. 485–494, 2012. Citado na página 48.
- ZHAO, S. et al. Graphical programming language design for decentralized building intelligent system. In: _____. [S.l.: s.n.], 2019. p. 447–455. ISBN 978-981-13-6732-8. Citado na página 86.
- ZIAEI, M.; ZAMANI, B.; BOHLOOLI, A. A model-driven approach for iot-based monitoring systems in industry 4.0. In: *2020 4th International Conference on Smart City, Internet of Things and Applications (SCIOT)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 99–105. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 81.
- ZOGRAFOPOULOS, I. et al. Cyber-physical energy systems security: Threat modeling, risk assessment, resources, metrics, and case studies. *IEEE Access*, v. 9, p. 29775–29818, 2021. Citado na página 84.
- ZOTANO, M. A. G.; BERSINI, H. A data-driven approach to assess the potential of smart cities: The case of open data for brussels capital region. *Energy Procedia*, v. 111, p. 750–758, 2017. ISSN 1876-6102. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, Italy. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217302679>>. Citado na página 81.
- ZOU, J. et al. Integrated management of internet of things in nanhai district and its application to smart city. In: *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 2814–2819. Citado na página 86.
- ŽARKO, I. P. et al. The symbiote solution for semantic and syntactic interoperability of cloud-based iot platforms. In: *2019 Global IoT Summit (GIoTS)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 90.

Apêndices

APÊNDICE A – Artigos selecionados do Mapeamento Sistemático

Tabela 10 – Resumo dos estudos revisados.

ID	Referência	Base teórica/tecnológica
1	(FEMMINELLA; PERGOLESI; REALI, 2021)	blueprints,5G
2	(YONEZAWA et al., 2015)	Cloud, IoT, Internet of Services, Internet of People
3	(AHN et al., 2017)	ICT,human centric service,city operation centric
4	(GHANNEM et al., 2015)	Context-aware System, RECAWAR methodology, Ontological patterns
5	(ANADIOTIS et al., 2015)	UML, Middleware, IEC CIM
6	(ZOTANO; BERSINI, 2017)	Smart City Ontology, 5-start Open Data method
7	(RADENKOVIĆ et al., 2020)	dynamics modelling, digital twin,machine learning
8	(NICOLA; MELCHIORI; VILLANI, 2014)	Lateral thinking,Emergency Management (EM)
9	(IASIO et al., 2019)	Microservices,DevOps,cloud
10	(ZIAEI; ZAMANI; BOHLOOLI, 2020)	Model Driven Engineering MDE, Domain Specific Modeling Language (DSML), UML
11	(CHAABANE et al., 2019)	Systems-of-Systems (SoS),ISO/ IEC/IEEE 42010: Systems and software engineering-Architecture Description
12	(BARDOUTSOS et al., 2020)	AI, Deep Learning algorithms,Wireless Sensor Networks (WSN)
13	(KHALYLY et al., 2020)	UML, MDE, MDA, Iot system
14	(XU et al., 2018)	Software service engineering, Big service
15	(ZHANG; ZHANG; YUAN, 2020)	Raspberry Pi, Edge-Cloud
16	(FAZIO et al., 2020)	Trilateration method, Received Signal Strength Indicator (RSSI), Mean Opinion Score (MOS)
17	(JANSSEN; CHATTOPADHYAY; REHENA, 2018)	Intelligent Traffic Management Systems (ITMS),a reference architecture (RA),context-aware

18	(AGUIDA; OUCHANI; BENMALEK, 2020)	cloud-based architecture, SOA-based architecture, multi-tier architectures, Maximum Reward Algorithm, N-ary formal concept, STEP-NC, MT-Connect ,UML, Fuzzy Multi-Objective Optimization
19	(SPATHARAKIS et al., 2020)	Location Based Services, Edge Computing
20	(VöGLER et al., 2016)	Building Management and Operations (BMO),
21	(SMIARI; BIBI, 2018)	Feature Models (FM)
22	(BADII et al., 2017)	mobile devices, web, iot
23	(XANTHOPOULOS et al., 2020)	Long Short-Term Memory LSTM Neural Network, Artificial Intelligence, Supervised Machine Learning Algorithms, Classification Model
24	(CLEDOU, 2014)	electronic public services (EPS),
25	(PAGANELLI; TURCHI; GIULI, 2016)	Representational State Transfer (REST) Architectural Style, Web of Things (WoT), Middleware, Apache Solr
26	(PETROLO et al., 2017)	semantic, Filtering
27	(KUMARI; GUPTA; TANWAR, 2021)	blockchain, security issues in IoT
28	(STOYANOV et al., 2020)	Virtual-Physical Space (ViPS), artificial intelligence
29	(FABER et al., 2018)	VAS
30	(CHILIPIREA et al., 2017)	Data processing
31	(SAID; KAMAL; AFIFI, 2021)	game theory mathematical model, iot
32	(GONÇALVES; SOARES; LIMA, 2020)	Complex Event Processing (CEP), declarative processes, IoT
33	(ROCHA et al., 2020)	Ontologies, Multi-Domain Semantic, Linked Data
34	(LAM et al., 2021)	IoT Security Reference Architectures, INTERNET OF VEHICLES (IoV), CYBERSECURITY CHALLENGE

35	(ESTRADA-ESQUIVEL et al., 2016)	mobility
36	(BENITES; SIMÕES, 2021)	Dashboard of Sustainability (DS),
37	(NEPOMUCENO et al., 2020)	Iot, MDE
38	(TEKINERDOGAN; ERATA, 2020)	Metamodel, SoS, DSL (domain specific language)
39	(JNR et al., 2020)	Electric mobility as a service (eMaaS), electric vehicles (EVs), e-mobility, CityxChange
40	(MENDILI; IDRISSE; HMINA, 2018)	bigdata, IoT
41	(LEI et al., 2020)	cyberphysical systems (CPS), BIM
42	(JAVED et al., 2020)	IoT standards (O-MI and O-DF), OAuth 2.0-based, Elasticsearch database
43	(MGBERE; KNYSHENKO; BAKIROVA, 2018)	No
44	(BIRDSEY; SZABO; FALKNER, 2016)	Complex adaptive systems (CAS), domain specific language (DSL)
45	(LI; WANG, 2014)	Crowdsourcing model
46	(SHAABAN et al., 2018)	IoT, Cloud computing, Edge computing, Semantic Web, UML, SysML
47	(PALOMAR et al., 2016)	scalable component, demand response (DR), component and object systems (rCOS)
48	(PETROVA-ANTONOVA et al., 2019)	Big Data
49	(MAESTRE-GONGORA; BERNAL, 2019)	Public Innovation, Data Management, IT Services
50	(AGBALI et al., 2018)	Key Performance Indicators (KPI), System Dynamics
51	(DÍAZ et al., 2016)	AutoNomic Computing, Cloud Computing, Microservices, Model-driven Development
52	(WU et al., 2014)	WikiModeling application, WikiModeling workflow engine, WikiSensing data store
53	(POP; PUŞCOCI, 2020)	Services Oriented Architectures (SOA), CiDAP, Open IoT, Gambas platform

54	(TEIXEIRA et al., 2020)	systems-of-systems, constituent systems
55	(NAKAMURA; BOUSQUET, 2015)	IoT, self-aware autoNomic systems
56	(TAHERKORDI et al., 2018)	Service Access Tree (SAT)
57	(SCAFFIDI et al., 2020)	mobility issues in urban context
58	(LYU; BIENNIER; GHODOUS, 2019)	Cloud of Things (CoT), Cyber-Physical System (CPS), Cloud, IoT
59	(BHATT; SANDHU, 2020)	Implementation (PEI) framework, Discretionary Access Control (DAC), Mandatory(or Lattice-Based) Access Control (MAC), Role-Based Access Control (RBAC) and Attribute-Based Access Control (ABAC)
60	(ZOGRAFOPOULOS et al., 2021)	Cyber Physical Systems, cyber-physical energy systems, Attacks exploiting CPES vulnerabilities
61	(SANTOS et al., 2021)	Stochastic Petri nets (SPNs), Edge computing, Cloud computing
62	(MUNOZ-ARCENTALES et al., 2020)	Usage Control model (UCON), IDS Reference Architecture Model, extended XACML (eXtensible Access Control Markup Language)
63	(RODRÍGUEZ et al., 2021)	Artificial Intelligence,
64	(FATEHAH; MEZHUYEV, 2018)	IoT, Model-Driven Engineering, meta object facility (MOF), UML
65	(ORTNER et al., 2016)	Dialogical Logic, Business Process Model and Noation (BPMN), Decision Modeling Noation (DMN)
66	(BAGNATO et al., 2017)	Cyber-Physical Systems (CPS), Cyber-Physical Systems of Systems (CPSoS)
67	(LATIF et al., 2018)	Deterministic Formal Modeling
68	(OLSZEWSKI et al., 2020)	Serious Game, 3D CityGML
69	(JNR; PETERSEN; HELFERT, 2020)	Virtual Enterprises (VE), Digital Transformation (DT)
70	(WU; ZHANG; ZHANG, 2021)	DT five-dimensional model

71	(MATHUPRIYA et al., 2020)	Virtualization, IoT
72	(CAMPOLO et al., 2020)	MEC, Digital Twins, MQTT, CoAP, OMA LwM2M, HTTP, APIs, OMA LightweightM2M (LwM2M) Object and Resource Registry
73	(BOTTACCIOLI et al., 2018)	Renewable Energy Source (RES), Non-Intrusive Load Monitoring (NILM)
74	(CHEN et al., 2021)	Location prediction, Graph Neural Network, Deep Learning Model, GPS, Clustering, Graph Modeling, Domain Adaptive Density Clustering Algorithm (DADC)
75	(BENARBIA et al., 2017)	stochastic Petri Net, electric car sharing system (ECS)
76	(GUO et al., 2020)	Enterprise Architecture (EA), DSR
77	(AL-SHAMMARI et al., 2018)	mixed integer linear programming (MILP), Service Oriented Architecture (SOA)
78	(UDOKWU; ANYANKA; NORTA, 2020)	blockchain, MDE, distributed application, smart contracts, UML, Agent-Oriented Modelling
79	(TICHY et al., 2020)	Domain Specific Languages (DSL)
80	(JAISWAL; DAVIDRAJUH; RONG, 2020)	Fog Computing, cloud, Advanced metering infrastructure (AMI)
81	(PREDUT et al., 2018)	Cruise Control (CC), Event-B, Rodin platform
82	(ROULAND; HAMID; JASKOLKA, 2020)	distributed systems,
83	(GRILO; LOPES, 2018)	Finite State machines, Cyber-Physical Systems,
84	(DIEZ et al., 2020)	smart city architectures and interoperability, System of Systems (SoS) middleware, reference architecture for smart cities, APIs and data, MQTT, Hypercat

85	(FASCHANG; JUDEX; SCHUSTER, 2016)	cyber-physical engineering
86	(TEKINERDOGAN; ÇELIK; KöKSAL, 2018)	Data Distribution Service (DDS), DDS UML profile
87	(LI; CHEN, 2014)	SensorML
88	(ZHAO et al., 2019)	Requirements: Friendliness, Openness, Event Driven, Network parallelism
89	(NUKAVARAPU; DURBHA, 2020)	Critical Infrastructure (CI), Healthcare Critical Infrastructure (HCI), sensor observation services (SOS), Stochastic Coloured Petri Net (SCPN)
90	(CABRINI et al., 2019)	Docker, Generic Enablers (GEs), microservice
91	(CRIADO; IRIBARNE; PADILLA, 2021)	heuristics , Component-Based Software Engineering (CBSE)
92	(PRASETYO et al., 2020)	Zhu and Zuo's smart city architecture
93	(KRÄMER; FRESE; KUIJPER, 2019)	cloud, microservices
94	(BUCCHIARONE et al., 2016)	Internet of Services (IoS) , service-based
95	(NOORI et al., 2021)	Input-Output
96	(ZOU et al., 2017)	System of information security, System of technological and management specification
97	(HAMDI et al., 2019)	Capability Oriented Requirements Engineering (CORE), Intelligent Parking Systems (IPSS)
98	(SIVRIKAYA et al., 2019)	digital layer, Smart City Objects (SCO)
99	(GAUTAM et al., 2020)	deep neural network, artificial intelligence, machine/deep learning
100	(HERNÁNDEZ et al., 2020)	Open Standardized Urban Platform (OSUP),
101	(HEFNAWY; BOURAS; CHERIFI, 2016)	Service Lifecycle
102	(D'ANIELLO et al., 2020)	ontology, service science theory, Service-Dominant Logic (SDL)
103	(GIALLONARDO et al., 2020a)	Reactive systems , RDF , semantic knowledge

104	(HIRWE et al., 2020)	Model Driven Engineering, IoT System, IoT Development, Gartner report, Low Code Development Platforms
105	(MASIP-BRUIN et al., 2018)	flog,cloud,edge
106	(Le Vinh et al., 2015)	IoT ,MCC
107	(KHLIF et al., 2017)	rule-driven interactive modeling process
108	(HACHEM et al., 2016)	domain specific modeling language (DSML) ,SoS security, Driven Engineering (MDE)
109	(AHMAD et al., 2018)	model-based testing (MBT)
110	(VISCONTI et al., 2019)	model-driven principles,bidirectional model transformations, CityGML
111	(COSTA et al., 2017)	middleware, domain-specific modeling language (DSML)
112	(ZHANG, 2018a)	unified modeling language (UML), cloud, cyber physical systems, Modelica, UML profile, ModelicaML
113	(LATIF; REHMAN; ZAFAR, 2018a)	Unified Modelling Language (UML), Automata Theory
114	(LATIF; REHMAN; ZAFAR, 2018b)	UML, automata-based model ,formal methods
115	(LOM; PŘIBYL, 2017)	Multi-agent systems
116	(SCHOONENBERG; FARID, 2017)	Hetero-functional Graph Theory
117	(ZHANG, 2018b)	Modelica, UML, UML profile, ModelicaML, SysML, Software Defined Systems, Software Defined Networking
118	(ARTAMONOV et al., 2020)	Statistics, Mathematical modeling, Thermal Pollution, Artificial Intelligence
119	(CASADEI et al., 2019)	Aggregate Computing, Opportunistic IoT Service
120	(LATIF; AFZAAL; ZAFAR, 2018)	Formal Methods ,graph theory
121	(COGNINI et al., 2014)	Business Process (BP)
122	(WALLETZKÝ; CARUBBO; GE, 2019)	complex service design

123	(CUNHA; ROSSETTI; CAMPOS, 2020)	Socio technical systems (STS), Agent-based Modelling and Simulation, Social Simulation, Methodologies for Social Simulations, Agent-based Models for STS
124	(ANAND; RAMESH, 2021)	mobile crowd-sourcing (MCS) in smart cities, Crowd management, Software Defined Networks (SDN)
125	(LATIF; REHMAN; ZAFAR, 2019)	UML, automata-based model ,formal methods
126	(GHEISARI et al., 2021)	IOT, privacy prevention
127	(TOLCHA et al., 2018)	Oliot,EPC Information System (EPCIS), Object Name Service (ONS), Discovery Service (DS)
128	(EICKER et al., 2020)	Open Geospatial Consortium (OGC)
129	(OGUNDOYIN; KAMIL, 2021)	signature scheme ,ABE cryptographic technique
130	(MUKUDU et al., 2016)	IoT, Middleware, Machine-to-Machine (M2M) communication, TRESCIMO reference architecture, OpenStack
131	(LYTRA et al., 2015)	Architectural design decisions, System of systems, Extract Transform Load (ETL), RESTful
132	(TSIGKANOS et al., 2020)	bigraphs, bigraphical Sistemas Reativos (BRS)
133	(JAOUHARI; BOUABDALLAH; CORICI, 2021)	Software Defned Net working (SDN), WoT-SDN
134	(RABII; ASSOUL; ROUDIES, 2020)	ISO 21827, ISO 27000,Digitalization
135	(GIALLONARDO et al., 2020b)	Ontology, Semantic Models: (Semantic Sensor Network (SSN), SOUPA, Smart Sensor Network (S3N)), Models@runtime : (ContQuest, DYNAMICO, MAPE-K feedback), WoT
136	(KLIMEK, 2020)	multi-agent architecture,
137	(MAITI et al., 2017)	IoMT

138	(DRĂGOICEA et al., 2020)	resilience in a system perspective, multi-contextual service model
139	(PÉREZ; SALVACHÚA, 2021)	wireless sensor and actuator network (WSAN),
140	(NEEMA et al., 2020)	CPS, V2I ,
141	(MOOS; SVÍTEK; VO-TRUBA, 2016)	multi-system
142	(PRASETYO; LUBIS, 2020)	Enterprise Architecture (EA) ,Service-Oriented Architecture (SOA),System of System(SoS)
143	(JNR, 2020)	Electric Vehicles (EV),Enterprise Architecture (EA),bigdata,TOGAF
144	(CIRILLO et al., 2020)	open and agile smart cities (OASC) ,minimum interoperability mechanisms (MIMs), atomic services
145	(BRUTTI et al., 2019)	ICT,SGAM Model
146	(HIDAYAT; SUHARDI; KURNIAWAN, 2017)	holistic approach, Microservice
147	(SOUZA; MISRA; SOARES, 2020a)	SysML
148	(RAMALHO et al., 2020)	multi-agent systems (MAS),artificial transportation systems (ATS)
149	(GAVRILOVIC; MISHRA, 2021)	cloud computing
150	(MERLINO et al., 2015)	IoT, Cloud, Software Defined paradigms, Open Stack, WebSocket libraries, IaaS
151	(KURYAZOV; KHUJAMURATOV; SHERKHANOV, 2019)	software paradigm services (SOA), component-based development (CBD), Model-Driven Engineering (MDE)
152	(MUVUNA et al., 2016)	systems engineering approach
153	(SILVA et al., 2018)	Service Oriented Architecture (SOA) Triangle ,
154	(NIE; ZHANG, 2021)	Cyber physical systems (CPSs),energy management systems (EMSs)
155	(FERNANDEZ et al., 2020)	geographic information system (GIS) ,associated graph-database (GDB), augmented reality (AR) ,augmented space (AS)

156	(COSTA; SANTOS, 2017)	Big Data Warehouse (BDW), Relational Database Management Systems (RDBMSs)
157	(ŽARKO et al., 2019)	cloud, IoT
158	(WU; WANG; SEIDU, 2020)	urban water supply system (UWSS), Cyber-Physical System (CPS)
159	(AN et al., 2019)	IOT
160	(de Freitas Bezerra; de Medeiros; GONÇALVES, 2021)	Rules Engine (RE), Complex Event Processor (CEP), Discrete Control Synthesis (DCS)
161	(SIMMHAN et al., 2018)	Service-Oriented Architectures (SOA)
162	(NELSON et al., 2017)	Batch, Foundational Interaction Patterns
163	(AARAB; SAIDI; RAHMANI, 2018)	context-aware systems,
164	(ABU-MATAR, 2016)	Reference Architecture, ISO / IEC / IEEE 42010, Multiple-View Modeling
165	(LEE; HANCOCK; HU, 2014)	smart city development
166	(BOUDAA; HAMMOUDI; BENSLIMANE, 2018)	Context-Aware Recommender System, ontologies
167	(AMYOT et al., 2016)	SysML, URN, requirements management, Socio-Cyber-Physical Systems
168	(BUGA; NEMES, 2017)	large-scale distributed systems (LDSs), Abstract State Machine (ASM)
169	(MUHAMMED et al., 2018)	Mobile Cloud Computing (MCC),
170	(LONGO; MATTEIS; ZAPPATORE, 2018)	Osmotic computing
171	(BOUZIDI et al., 2020)	WIRELESS TECHNOLOGIES, IoT, IQRF
172	(AHRAM; KARWOWSKI; AMABA, 2010)	Systems engineering (SE), human engineering
173	(ABU-MATAR; MIZOUNI, 2018)	reference architecture, variability modeling, model-oriented architecture techniques, SmartCityRA, DSML
174	(FIGUEIREDO; ESTEVES; CABRITA, 2021)	Machine Learning, Deep Learning, IoT, Big Data, Artificial Intelligence,

APÊNDICE B – Guia SysIoTML: Diagrama de Caso de Uso

*«stereotype»: permitem adaptar ou personalizar modelos com construções específicas para um domínio, plataforma ou método de desenvolvimento particular. É um mecanismo de extensão que dá mais poder e flexibilidade.

*No Roadmap, há a definição e caracterização de 3 itens: Objeto, Sensor e Atuador, estes serão utilizados para a construção dos «stereotype».

*As imagens dos exemplos foram feitas no Draw.io (<https://app.diagrams.net/>).

Como usar:

Diagrama de Caso de Uso - O Diagrama de Casos de Uso apresenta uma linguagem simples e de fácil compreensão para que os usuários possam ter uma idéia geral de como o sistema irá se comportar. Ele procura identificar os atores (usuários, outros softwares que interajam com o sistema ou até mesmo algum hardware especial), que utilizarão de alguma forma o software, bem como os serviços, ou seja, as opções que o sistema disponibilizará aos atores, conhecidas neste diagrama como Casos de Uso.

No SysIoTML, os atores serão representados através do «stereotype» Stakeholder e seu relacionamento com um objeto se dará através de uma caso de uso, que comunicará com um objeto através da «interaction». Os objetos serão representados através do «stereotype» Objeto IoT, com dois «extend», «stereotype» Sensor e o «stereotype» Atuador. Pode-se ter mais de um «stereotype» Objeto IoT, com mais de um «stereotype» Sensor/Atuador. A Figura 20 apresenta esse diagrama e a Tabela 11 detalha os «stereotype» adicionados (as figuras que representam os «stereotype» Objeto IoT, com dois «extend», «stereotype» Sensor e o «stereotype» Atuador podem ser encontradas na aba de pesquisa do Draw.io).

«stereotype» Sensor e o «stereotype» Atuador não podem ter casos de uso ligados diretamente a eles.

«stereotype» Stakeholder e «stereotype» Objeto IoT podem ter casos de uso ligados diretamente a eles.

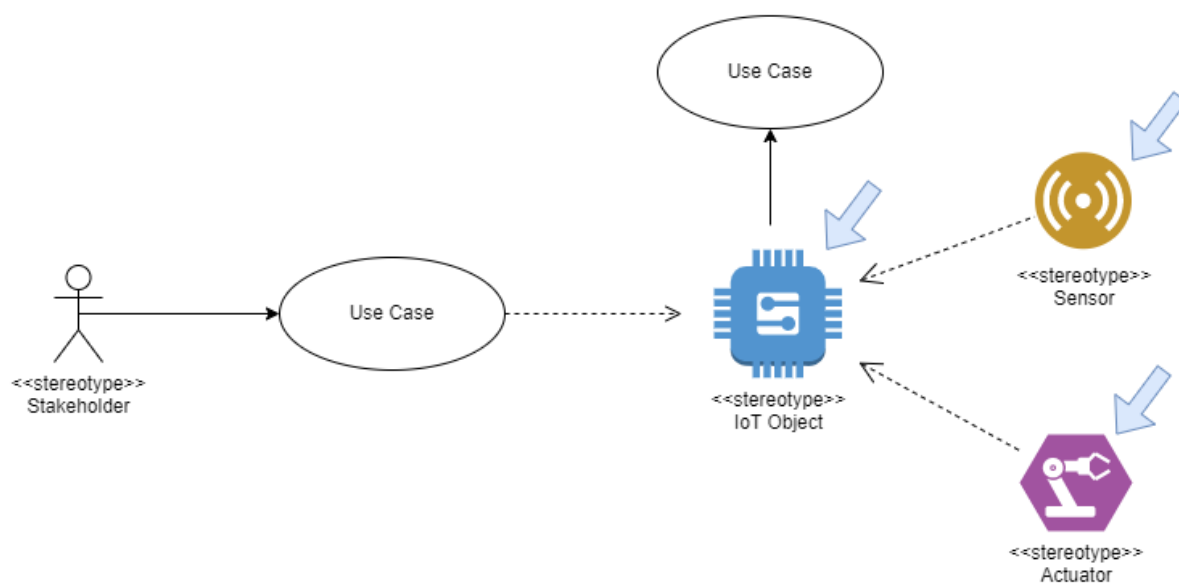





Figura 20 – Diagrama de Caso de Uso, de autoria própria.

Tabela 11 – Especificações do Diagrama de Caso de Uso.

«stereotype»	Representação
	Representa Objetos IoT que podem ser adicionados no Caso de Uso.
	Representa Sensores que podem ser adicionados no Caso de Uso.
	Representa Atuadores que podem ser adicionados no Caso de Uso.

Fonte: De autoria própria.

APÊNDICE C – Guia SysIoTML: Diagrama de Sequência

*«stereotype»: permitem adaptar ou personalizar modelos com construções específicas para um domínio, plataforma ou método de desenvolvimento particular. É um mecanismo de extensão que dá mais poder e flexibilidade.

*No Roadmap, há a definição e caracterização de 3 itens: Objeto, Sensor e Atuador, estes serão utilizados para a construção dos «stereotype».

*As imagens dos exemplos foram feitas no Draw.io (<https://app.diagrams.net/>).

Como usar

Diagrama de Sequência - O Diagrama de Sequência preocupa-se com a ordem temporal em que as mensagens são trocadas entre os objetos envolvidos em um determinado processo. Um Diagrama de Sequência costuma identificar o evento gerador do processo modelado, bem como o ator responsável por este evento, e determina como o processo deve se desenrolar e ser concluído por meio do envio de mensagens, que em geral disparam métodos entre os objetos.

No SysIoTML, os atores serão representados através do «stereotype» Stakeholder. Através de uma Interação inicial entre o «stereotype» Stakeholder e o objeto «stereotype» Objeto, a partir daí pode se desenrolar o processo, em conjunto com os outros 3 objetos: «stereotype» Sensor, «stereotype» Controlador e «stereotype» Atuador . A Figura 21 apresenta esse diagrama.

Não é permitido criar linhas de vidas diferentes das já estabelecidas, pode-se criar mais de uma das já estabelecidas.

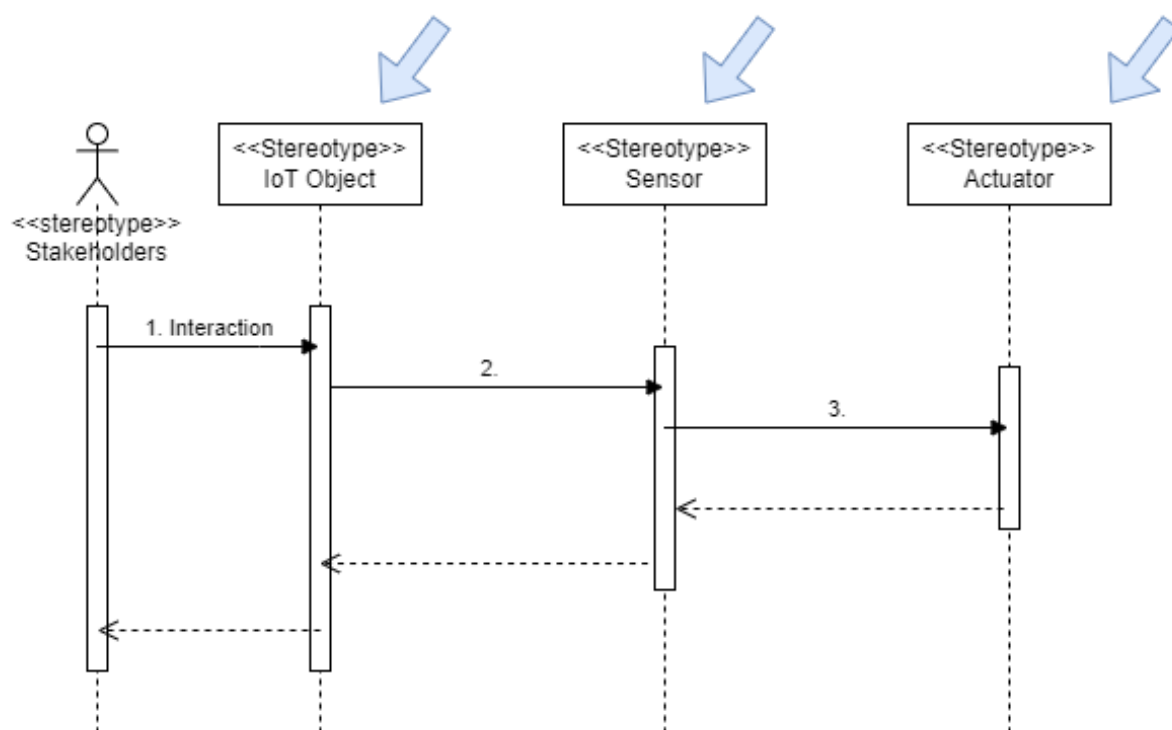


Figura 21 – Diagrama de Sequência, de autoria própria.

APÊNDICE D – Guia SysIoTML: Diagrama de Máquina de Estado

*«stereotype»: permitem adaptar ou personalizar modelos com construções específicas para um domínio, plataforma ou método de desenvolvimento particular. É um mecanismo de extensão que dá mais poder e flexibilidade.

*No Roadmap, há a definição e caracterização de 3 itens: Objeto, Sensor e Atuador, estes serão utilizados para a construção dos «stereotype».

*As imagens dos exemplos foram feitas no Draw.io (<https://app.diagrams.net/>).

Como usar

Diagrama de Máquina de Estado - Esse diagrama procura acompanhar as mudanças sofridas nos estados de uma instância. É um tipo de diagrama comportamental que mostra transições entre vários objetos, descrevendo ações, condições e consequências.

No SysIoTML, as classes «stereotype» Sensor e «stereotype» Atuador, representarão as mudanças nos estados sofridas devido a uma Interação. A Figura 22 apresenta esse diagrama.

O «stereotype» Objetos IoT ativa/desativa o «stereotype» Sensor e «stereotype» Atuador.

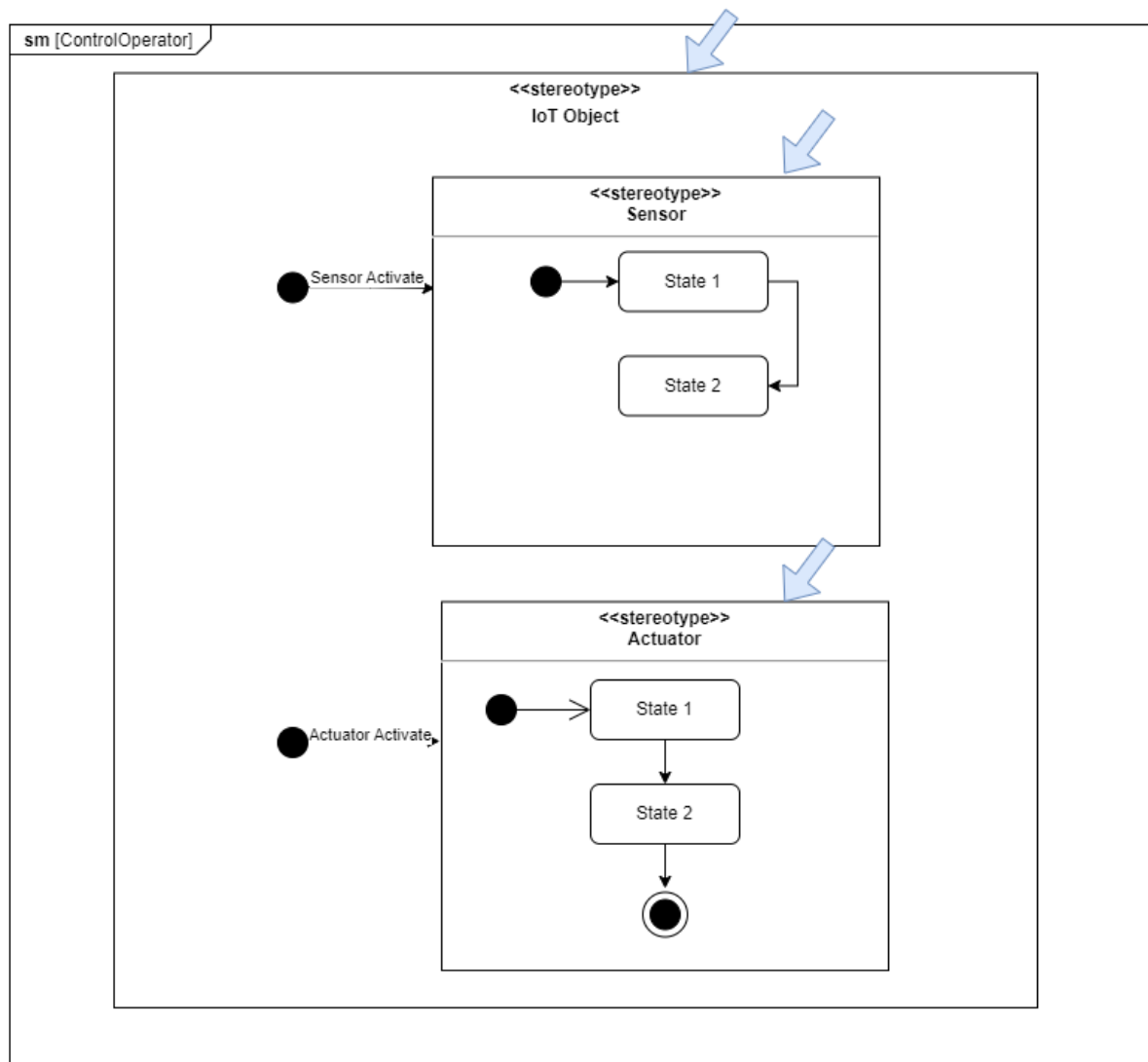


Figura 22 – Diagrama de Máquina de Estado, de autoria própria.

APÊNDICE E – Guia SysIoTML: Diagrama de Definição de Bloco

*«stereotype»: permitem adaptar ou personalizar modelos com construções específicas para um domínio, plataforma ou método de desenvolvimento particular. É um mecanismo de extensão que dá mais poder e flexibilidade.

*No Roadmap, há a definição e caracterização de 3 itens: Objeto, Sensor e Atuador, estes serão utilizados para a construção dos «stereotype».

*As imagens dos exemplos foram feitas no Draw.io (<https://app.diagrams.net/>).

Como usar

Diagrama de Definição de Bloco - O Diagrama de Definição de Bloco define os recursos de um bloco e quaisquer relacionamentos entre blocos, como associações, generalizações e dependências, em termos de propriedades, operações e relacionamentos. É usado para definir as características de cada Bloco em termos de suas características estruturais e comportamentais.

No SysIoTML, um bloco terá três «stereotype»: «stereotype» Objeto, «stereotype» Sensor e «stereotype» Atuador, cada um com valores e propriedades já pré definidos que devem ser preenchidos. A Figura 23 apresenta esse diagrama e a Tabela 12 detalha elementos das properties.

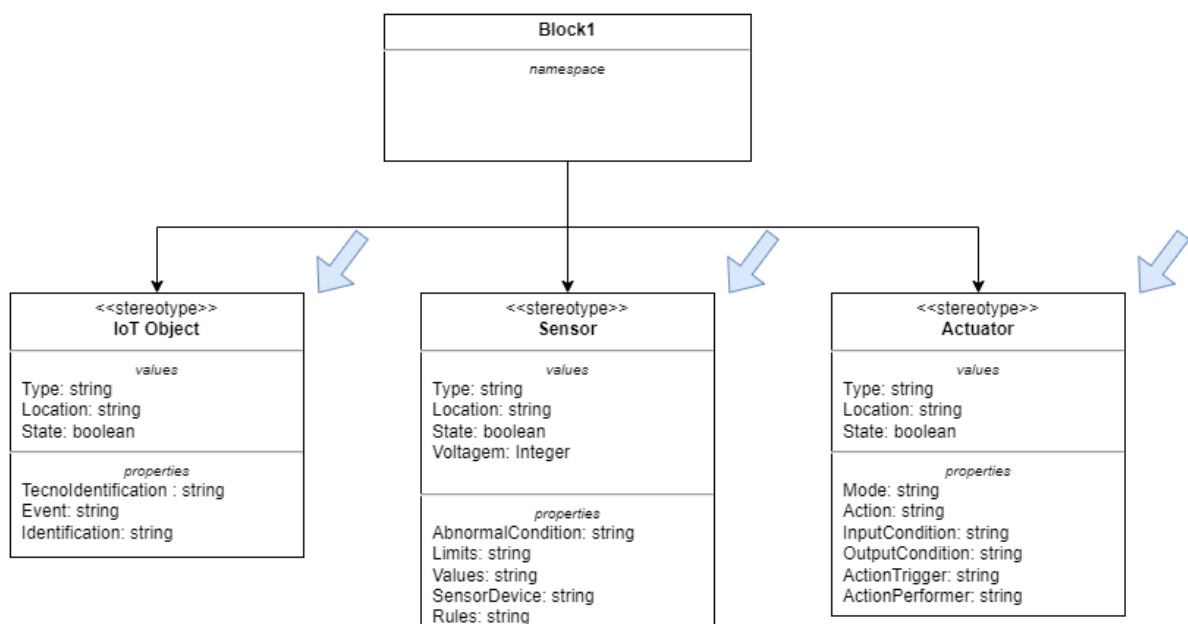


Figura 23 – Diagrama de Definição de Bloco, de autoria própria.

Tabela 12 – Especificações do Diagrama de Definição de Bloco.

«stereotype»	Properties	Definição
Objeto IoT	TecnoIdentification	Identificar a tecnologia de identificação(Ex: QR code)
	Event	Descrever o evento(Manual ou automático)
	Identification	Descrever tipo de identificação(Ex: Estático ou móvel)
Sensor	AbnormalCondition	Descrever uma condição anormal
	Limits	Indicar o limite
	Values	Indicar os valores desejados
	SensorDevice	Definir dispositivo sensor (pressão, temperatura)
	Rules	Estabelecer regras para o sensor
Atuador	Mode	Descreva o modo manual ou automático (o uso de regras, limite ou o tempo de resposta)
	Action	Descreva a ação
	InputCondition	Indique as circunstâncias para acionar a ação - entrada
	OutputCondition	Estabeleça as consequências de uma ação - saída
	ActionTrigger	Identifique quem aciona a ação (dispositivo ou usuário humano)
	ActionPerformer	Identifique quem executa a ação (dispositivo ou usuário humano)

Fonte: De autoria própria.

APÊNDICE F – Questionário de Caracterização do Participante

- 1 - Nome:
- 2 - Grau acadêmico:
 - Ensino Médio
 - Graduado
 - Mestrado
 - Doutorado
- 3 - Você possui experiência com modelagem de software?
 - 1 - apenas conhecimento acadêmico
 - 2 - conhecimento acadêmico e um projeto
 - 3 - em mais de um projeto ou até seis meses de trabalho profissional
 - 4 - mais de uma ano de trabalho profissional
- 4 - Possui experiência profissional em desenvolvimento de software?
 - 1 - apenas conhecimento acadêmico
 - 2 - conhecimento acadêmico e um projeto
 - 3 - em mais de um projeto ou até seis meses de trabalho profissional
 - 4 - mais de uma ano de trabalho profissional
- 5 - Possui conhecimento sobre IoT?
 - 1 - apenas conhecimento acadêmico
 - 2 - conhecimento acadêmico e um projeto
 - 3 - em mais de um projeto ou até seis meses de trabalho profissional
 - 4 - mais de uma ano de trabalho profissional

APÊNDICE G – Questionário de avaliação

- Sobre facilidade de entendimento, os diagramas são:
 - 1 - Muito complicados ou não consegui entendê-los
 - 2 - Complicados de entender
 - 3 - Fáceis de entender
 - 4 - Muito fáceis de entender

- Sobre facilidade de uso, os diagramas são:
 - 1 - Muito difíceis de usar ou não consegui usá-los
 - 2 - Difíceis de usar
 - 3 - Fáceis de usar
 - 4 - Muito fáceis de usar

- Sobre utilidade para modelagem de sistemas IoT, os diagramas:
 - 1 - Não foram úteis em nada
 - 2 - Não foram úteis em alguns aspectos de IoT (favor descrever abaixo)
 - 3 - Foram úteis em alguns aspectos de IoT (favor descrever abaixo)
 - 4 - Foram totalmente úteis

- Especificamente de sobre utilidade de cada diagrama. (Onde 1 é não é útil, 2 é pouco útil, 3 é útil e 4 é muito útil.)
 - O diagrama de Sequência estendido é útil
 - * 1
 - * 2
 - * 3
 - * 4

 - O diagrama de Caso de Uso estendido é útil
 - * 1
 - * 2
 - * 3

- * 4
- O diagrama de Definição de Bloco estendido é útil
 - * 1
 - * 2
 - * 3
 - * 4
- O diagrama de Máquina de Estado estendido é útil
 - * 1
 - * 2
 - * 3
 - * 4
- Com os diagramas fornecidos, foi viável modelar a aplicação:
 - 1 - Nada foi viável
 - 2 - Poucos elementos da aplicação foram modelados (descreva detalhes abaixo)
 - 3 - Vários elementos da aplicação foram modelados (descreva detalhes abaixo)
 - 4 - Todos os elementos da aplicação foram modelados