



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

KARINA DA SILVA CASTELO BRANCO

GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE PARA APLICAÇÕES DE INTERNET
DAS COISAS

FORTALEZA
2024

KARINA DA SILVA CASTELO BRANCO

GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE PARA APLICAÇÕES DE INTERNET DAS
COISAS

Dissertação apresentada ao Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Engenharia de Software.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Lelli
Leitão Dantas.

FORTALEZA

2024

KARINA DA SILVA CASTELO BRANCO

GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE PARA APLICAÇÕES DE INTERNET DAS
COISAS

Dissertação apresentada ao Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Engenharia de Software.

Aprovada em: 27/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Valéria Lelli Leitão Dantas (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Windson Viana de Carvalho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ismayle de Sousa Santos
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Profa. Dra. Kátia Marçal de Oliveira
Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me guiar em todos os momentos, me dando forças e iluminando meus caminhos mesmo nas horas mais desafiadoras. Sem Sua presença constante, eu não teria alcançado este marco. Gratidão eterna por todas as bênçãos e pela coragem de seguir em frente.

Aos meus pais, Francineide e Moacir, minha gratidão vai além das palavras. Vocês sonharam com este momento tanto quanto eu, senão mais. Sempre foram o pilar da minha educação, investindo tempo, amor e recursos para que eu pudesse chegar até aqui. Ver a sua filha se tornando mestre é um sonho que agora realizamos juntos. Obrigada por nunca desistirem de mim e por serem minha base sólida em todos os momentos da vida.

Às minhas irmãs, Shaya e Janaina, minha eterna gratidão por todo o apoio, incentivo e amor. Vocês foram minhas companheiras ao longo desta jornada, oferecendo suporte emocional e prático quando mais precisei. Obrigada por acreditarem em mim e por serem parte essencial da minha vida.

Ao meu namorado, Matheus de Paula, que esteve ao meu lado em todos os momentos, encorajando-me a seguir este sonho. Seu apoio constante tornou esta fase difícil muito mais leve e suportável. Sua presença foi um alívio nas horas mais tensas e um estímulo nos momentos de desânimo. Te amo e sou imensamente grata por tudo que faz por mim.

À minha orientadora, Profa. Dra. Valéria Lelli Leitão Dantas, que sempre segurou minha mão e me deixou trilhar este sonho. Sua fé e sabedoria em meu potencial, mesmo quando eu estava desmotivada, foi crucial. Sua orientação foi incrível e seu constante incentivo me ensinaram mais do que eu poderia imaginar. Sou profundamente grata por todo o apoio e ensinamento.

A todo o corpo docente e aos servidores do Centro de Ciências da UFC, que efetivamente contribuíram para a minha formação, especialmente aos professores do Laboratório do Grupo de Pesquisa Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat). Vocês foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos amigos que fiz durante esta jornada, minha sincera gratidão por estarem comigo nos momentos mais importantes deste ciclo. Suas companhias e apoio tornaram essa caminhada muito mais especial e significativa.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços
repetidos dia após dia.” (Robert Collier)

RESUMO

A tecnologia tem transformado significativamente as interações humanas com os objetos cotidianos, expandindo a sua forma de comunicação. Essa ampla conectividade com a Internet deu origem à “Internet das Coisas (IoT)”, que expandiu as fronteiras da Internet para abranger esses objetos, denominados inteligentes, que interconectados podem coletar e compartilhar informações para prover serviços de forma eficaz. Contudo, o intenso tráfego de dados e a diversidade de métodos de interação desses objetos trazem vários desafios relacionados à interoperabilidade. Os métodos de interação referem-se às diferentes maneiras pelas quais os dispositivos IoT se comunicam e compartilham dados, o que pode variar amplamente de acordo com os protocolos e padrões utilizados. Por sua vez, a interoperabilidade refere-se à habilidade de sistemas distintos comunicarem-se de maneira eficaz, assegurando a integridade dos dados. Nesse contexto, os testes de interoperabilidade avaliam a capacidade de sistemas e dispositivos cooperarem eficientemente. Dentre os desafios do teste de interoperabilidade, destacam-se: a complexidade da arquitetura, a comunicação entre dispositivos, a heterogeneidade dos dispositivos e a garantia de conectividade eficaz entre eles. Esta dissertação de mestrado tem por objetivo desenvolver um guia de teste de interoperabilidade para aplicações IoT com base na metodologia proposta por Carvalho et al., (2022). A construção do guia é fundamentada em revisão da literatura, extração e análise de dados, estruturação do guia e observações de ambientes reais de IoT. O guia abrange 12 tópicos, incluindo definição e correlação de características, desafios de teste de interoperabilidade, configuração de ambiente, subcaracterísticas, contextualização, casos de teste, medições, impacto de subcaracterísticas, custo-benefício, sugestões de ferramentas e exemplos de uso. A avaliação do guia consistiu em três etapas: (1) uma avaliação estrutural utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM); (2) um experimento controlado aplicando o guia para testar uma aplicação real de IoT; e (3) uma avaliação do guia com especialistas. A avaliação mostrou que o guia proporciona uma estrutura abrangente e prática para a realização de teste de interoperabilidade, auxiliando os especialistas na identificação de problemas e na melhoria da integração entre sistemas e dispositivos IoT.

Palavras-chave: Internet das coisas; Guias; Teste de interoperabilidade.

ABSTRACT

Technology has significantly transformed human interactions with everyday objects, expanding the way they communicate. This broad connectivity with the Internet gave rise to the “Internet of Things (IoT)”, which expanded the boundaries of the Internet to encompass these objects, called smart, which, when interconnected, can collect and share information to provide services effectively. However, the intense data traffic and the diversity of interaction methods of these objects bring several challenges related to interoperability. Interaction methods refer to the different ways in which IoT devices communicate and share data, which can vary widely according to the protocols and standards used. In turn, interoperability refers to the ability of different systems to communicate effectively, ensuring data integrity. In this context, interoperability tests assess the ability of systems and devices to cooperate efficiently. Among the challenges of interoperability testing, the following stand out: architectural complexity, communication between devices, device heterogeneity, and ensuring effective connectivity between them. This master’s dissertation aims to develop an interoperability testing guide for IoT applications based on the methodology proposed by Carvalho et al., (2022). The construction of the guide is based on a literature review, data extraction and analysis, structuring of the guide, and observations of real IoT environments. The guide covers 12 topics, including feature definition and correlation, interoperability testing challenges, environment configuration, subfeatures, contextualization, test cases, measurements, impact of subfeatures, cost-benefit, tool suggestions, and usage examples. The evaluation of the guide consisted of three stages: (1) a structural evaluation using the Technology Acceptance Model (TAM); (2) a controlled experiment applying the guide to test a real IoT application; and (3) an evaluation of the guide with experts. The evaluation showed that the guide provides a comprehensive and practical framework for conducting interoperability testing, assisting experts in identifying problems and improving the integration between IoT systems and devices.

Keywords: Internet of things; Guides; Interoperability testing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas de arquitetura IoT. Fonte: Tomovic et al., (2017)	20
Figura 2 – Interoperabilidade e suas subcaracterísticas. Fonte: O Autor.	25
Figura 3 – Metodologia de pesquisa	36
Figura 4 – Metodologia para instanciação do guia	41
Figura 5 – Correlações das características da IoT com <i>Interoperabilidade</i>	49
Figura 6 – Principais desafios nos testes de interoperabilidade	51
Figura 7 – Subcaracterísticas da Interoperabilidade	56
Figura 8 – Relacionamento das propriedades de “Semântica dos Dados” com as demais propriedades das subcaracterística	64
Figura 9 – Relacionamento das propriedades de “Integração de sistema” com as demais propriedades das subcaracterística	65
Figura 10 – Relacionamento das propriedades de “Protocolo de rede” com as demais propriedades das subcaracterística	65
Figura 11 – Relacionamento das propriedades de “Protocolo de rede” com as demais propriedades das subcaracterística	66
Figura 12 – Relação Custo-Benefício (BRANCO <i>et al.</i> , 2024a)	68
Figura 13 – Utilidade do Guia para conduzir os testes em uma aplicação IoT	75
Figura 14 – Utilidade do Guia para conduzir os testes em uma aplicação IoT	76
Figura 15 – Eficácia global dos testes	77
Figura 16 – Eficácia global dos testes	78
Figura 17 – Aplicação <i>web</i> Rottas-UFC	83
Figura 18 – Avaliação da estrutura e conteúdo do guia	93
Figura 19 – Tempo gasto na etapa de leitura e compreensão do guia	95
Figura 20 – Tempo total gasto na avaliação	96
Figura 21 – Percepção geral da utilização do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados	34
Tabela 2 – String de busca	37
Tabela 3 – Seleção dos estudos	38
Tabela 4 – String de busca	41
Tabela 5 – Critérios de Inclusão e Exclusão para a seleção dos estudos	42
Tabela 6 – Quantidade de Estudos Seleccionados	42
Tabela 7 – Caso de Teste “Leitura de Dados” para Semântica de Dados	58
Tabela 8 – Medida “Capacidade de dispositivos” para semântica dos dados	58
Tabela 9 – Caso de teste “Padrões de comunicação” para Protocolo de comunicação	59
Tabela 10 – Medida “Taxa de sucesso para conexão” para protocolo de comunicação	60
Tabela 11 – Caso de teste abstrato “Interoperabilidade entre dispositivo” para integração de sistema	60
Tabela 12 – Medida “Taxa de sucesso” para protocolo de rede	61
Tabela 13 – Caso de teste abstrato “Teste de compatibilidade” para protocolo de rede	62
Tabela 14 – Medida “Taxa de transferência” para protocolo de Rede	62
Tabela 15 – Ferramentas de teste	69
Tabela 16 – Facilidade de Uso do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	74
Tabela 17 – Facilidade de Uso do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	76
Tabela 18 – Impacto na Eficiência do Teste do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	77
Tabela 19 – Satisfação geral do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	78
Tabela 20 – Características dos Participantes do Estudo	80
Tabela 21 – Relação entre Hipóteses e Questões de Pesquisa	81
Tabela 22 – Hipóteses do Experimento sobre Testes de <i>Interoperabilidade</i>	82
Tabela 23 – Métodos de Avaliação das Hipóteses	82
Tabela 24 – Categorias e Quantidade de Perguntas Relacionadas ao Experimento	84
Tabela 25 – Resultados do experimento controlado	86
Tabela 26 – Resultados da hipótese $H_{1,1}$	88
Tabela 27 – Resultados da hipótese $H_{1,1}$	89
Tabela 28 – Resultados da hipótese $H_{1,3}$	89
Tabela 29 – Especialistas e suas características	91
Tabela 30 – Avaliação da estrutura e conteúdo do guia pelos Especialistas	92

Tabela 31 – Avaliação do uso do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	94
Tabela 32 – Medidas coletadas pelos especialistas	97
Tabela 33 – Falhas identificadas pelos especialistas	97
Tabela 34 – Perguntas sobre o Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	98
Tabela 35 – Tópicos do guia mais relevantes para o teste de <i>Interoperabilidade</i>	100
Tabela 36 – Pontos Positivos do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> para IoT	101
Tabela 37 – Pontos de Melhoria do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> para IoT	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização e Motivação do trabalho	13
1.2	Objetivo e Questões de Pesquisa	15
1.3	Método da pesquisa e Contribuições	16
1.4	Organização da dissertação	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Internet das Coisas - IoT	19
2.2	Teste de software	21
2.3	Interoperabilidade	22
2.3.1	<i>Teste de Interoperabilidade</i>	24
2.3.2	<i>Teste de Interoperabilidade em IoT</i>	25
2.4	Considerações finais	27
3	TRABALHOS RELACIONADOS	28
3.1	Abordagens gerais de teste de Interoperabilidade em aplicações IoT	28
3.2	Diretrizes para avaliação de interoperabilidade em IoT: guias, normas técnicas e checklists	31
3.3	Resumo comparativo entre os trabalhos	33
3.4	Considerações Finais	35
4	METODOLOGIA	36
4.1	Definição dos objetivos e as questões de pesquisa	36
4.2	Identificação dos estudos	37
4.3	Análise dos estudos	37
4.4	Construção do guia	39
5	GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE	40
5.1	Procedimento para instanciação do guia	40
5.1.1	<i>Revisão da literatura</i>	41
5.1.2	<i>Análise dos estudos obtidos</i>	43
5.1.3	<i>Construção do guia</i>	43
5.1.4	<i>Observação do comportamento das aplicações IoT</i>	45
5.1.5	<i>Avaliação do guia de interoperabilidade</i>	45

5.1.6	<i>Refinamento do guia</i>	46
5.2	Visão Geral do Guia de Teste Interoperabilidade	47
5.2.1	<i>Definição de interoperabilidade</i>	47
5.2.2	<i>Correlação das Características</i>	48
5.2.3	<i>Desafios do Teste de Interoperabilidade</i>	51
5.2.4	<i>Configuração do ambiente</i>	55
5.2.5	<i>Subcaracterísticas</i>	56
5.2.6	<i>Impacto das subcaracterísticas</i>	63
5.2.7	<i>Custo-benefício</i>	66
5.2.8	<i>Sugestões de ferramentas</i>	68
5.2.9	<i>Exemplo de uso do guia</i>	69
5.3	Considerações Finais	71
6	AVALIAÇÃO DO GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE	72
6.1	Avaliação modelo TAM	72
6.2	Resultados e Discussão	74
6.2.1	<i>Avaliação da Percepção de Utilidade (PU)</i>	74
6.2.2	<i>Avaliação da Facilidade de Uso (PEOU - Perceived Ease of Use)</i>	75
6.2.3	<i>Impacto na Eficiência do Teste</i>	77
6.2.4	<i>Satisfação Geral</i>	78
6.3	Experimento controlado	79
6.3.1	<i>Análise e resultado do experimento controlado</i>	86
6.3.2	<i>Análise e resultado das questões de pesquisa</i>	87
6.4	Avaliação com os especialistas	90
6.4.1	Resultados e Discussão	92
6.4.1.1	<i>Avaliação da Estrutura e conteúdo do Guia de Teste de Interoperabilidade</i>	92
6.4.1.2	<i>Avaliação do uso do Guia de Teste de Interoperabilidade</i>	93
6.4.2	<i>Percepção geral sobre a utilização do Guia de Teste de Interoperabilidade</i>	98
6.5	Ameaças à validade	101
6.5.1	<i>Validade de Construção</i>	102
6.5.2	<i>Validade Interna</i>	102
6.5.3	<i>Validade Externa</i>	103
6.5.4	<i>Validade de Conclusão</i>	103

6.5.5	<i>Considerações finais</i>	104
7	DISCUSSÃO	105
7.1	QP1. Como avaliar a característica de Interoperabilidade para aplicações IoT?	105
7.2	QP2. Quais são as abordagens de teste usadas para avaliar Interoperabilidade em aplicações IoT?	106
7.3	QP3. Quais são os principais desafios relacionados ao teste de Interoperabilidade em aplicações IoT?	107
7.4	<i>Considerações finais</i>	108
8	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	110
8.1	Resultados Alcançados	111
8.2	Trabalhos futuros	112
	REFERÊNCIAS	114
	Apêndice A – Artigos selecionados	122
	Apêndice B – Avaliação com os especialistas	123
	Apêndice C – Formulário Geral de Extração	144
	Apêndice D – FORMULÁRIO DE EXTRAÇÃO PARA O GUIA	145
	Apêndice E – Questionário Pré-Teste	146
	Apêndice F – Questionário Modelo TAM	149
	Apêndice G – Template para Relatório de Falhas	156
	Apêndice H – Roteiro para Avaliação do Guia	158
	Apêndice I – Relacionamento medidas X Casos de Teste Abstratos X Ferramentas	162
	Apêndice J – Termo de autorização para o uso da aplicação Rottas-UFC	164

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação desenvolveu um guia de teste para avaliar a característica de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Na Seção 1.1 é introduzido um contexto no qual este trabalho está inserido, enquanto a Seção 1.2 apresenta as lacunas detectadas nos testes de *Interoperabilidade* em IoT que motivaram esta dissertação. A Seção 1.3 delinea o objetivo desta pesquisa e apresenta as questões de pesquisa. A metodologia utilizada para o desenvolvimento da dissertação e as contribuições deste trabalho são detalhadas na Seção 1.4 Por fim, a Seção 1.5 apresenta a estrutura organizacional desta dissertação.

1.1 Contextualização e Motivação do trabalho

A tecnologia transformou significativamente as interações humanas com objetos do cotidiano (por exemplo, geladeiras, relógios, ar-condicionado e carros) (MATTERN; FLOERKEMEIER, 2010), expandindo suas capacidades de comunicação. Essa ampla conectividade com a Internet levou ao surgimento da “Internet das Coisas (IoT)”, que expandiu os limites da Internet para incluir esses objetos, comumente chamados de “inteligentes”. Tais objetos, quando interconectados, podem coletar e compartilhar informações para fornecer serviços de forma eficaz (RAZZAQUE *et al.*, 2015).

Conforme abordado por Giusto *et al.*, (2010) (GIUSTO *et al.*, 2010), a IoT representa um paradigma de comunicação entre objetos inteligentes e define a maneira como esses objetos compartilham informações entre si e com outras entidades, tanto físicas quanto virtuais, na rede, com o objetivo de fornecer serviços. A IoT permite uma ampla gama de interações, tanto entre seres humanos e objetos quanto entre os próprios objetos, criando um ecossistema interconectado. Segundo Rose *et al.*, (2015) (ROSE *et al.*, 2015), essa tecnologia tem desempenhado um papel fundamental na transformação dessas interações, facilitando a comunicação entre humano-coisa (do inglês *human-thing*) e coisa-coisa (do inglês *thing-thing*)

As perspectivas futuras em relação à expansão dos dispositivos conectados apresentam diversos desafios nas fases típicas do ciclo de desenvolvimento de software, especialmente na etapa de teste. O teste de software é crucial nesse ciclo, pois busca validar e verificar a funcionalidade, desempenho, segurança e conformidade do produto, assegurando que ele entregue valor e atenda às necessidades dos usuários finais (MYERS *et al.*, 2011; COUTINHO

et al., 2016).

Os desafios na etapa de teste tornam-se ainda mais complexos no contexto da IoT, onde a heterogeneidade dos dispositivos e as características de comunicação e interação variam significativamente. De acordo com Zaidi et al., (2009) (ZAIDI *et al.*, 2009), as soluções IoT são compostas por dispositivos heterogêneos, que exibem distintas características de comunicação e interação, resultando na criação de novos protocolos e serviços para tais sistemas. Esses sistemas são sustentados por infraestruturas que consistem em redes heterogêneas, as quais requerem interconexão, *Interoperabilidade, desempenho e segurança* para manter a qualidade de serviço desejada (SANTOS, 2016).

De acordo com o estudo de Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022), os principais desafios nos testes de aplicações IoT incluem as características de *segurança, Interoperabilidade e desempenho*. Estas características se destacam como centrais para garantir o funcionamento eficiente e seguro das aplicações IoT.

Entre os desafios enfrentados no cenário da IoT, a *Interoperabilidade* é particularmente significativa devido ao intenso tráfego de dados e à diversidade de métodos de interação entre os dispositivos IoT (GULLA *et al.*, 2006). Esses métodos de interação variam amplamente de acordo com os protocolos e padrões utilizados, o que pode criar barreiras na comunicação e no compartilhamento de dados entre dispositivos. A *Interoperabilidade* refere-se à capacidade de dois ou mais sistemas se comunicarem de forma eficaz, garantindo a integridade dos dados e a eficiência das operações. A importância de resolver esses problemas de *Interoperabilidade* é amplamente discutida na literatura (SOARES, 2010; GULLA *et al.*, 2006).

Portanto, o teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT verificam a capacidade dos sistemas de interagir de forma consistente e coesa. Esses testes também envolvem a avaliação de sua eficiência na comunicação e compartilhamento de informações, garantindo que os recursos possam ser acessados e usados adequadamente em diferentes sistemas e organizações (ISO/IEC 30141, 2018; MATTIELLO-FRANCISCO, 2009)

Neste contexto, o intenso tráfego de dados e os diversos métodos de interação entre objetos inteligentes, que variam conforme os protocolos de comunicação (por exemplo, MQTT, HTTP e CoAP) e padrões (por exemplo, Bluetooth e Zigbee), representam desafios consideráveis nos testes de *Interoperabilidade*. Por exemplo, em um cenário de casa inteligente IoT com diversos dispositivos, como assistentes de voz, câmeras de segurança, termostatos, lâmpadas inteligentes e

fechaduras, promover a comunicação e integração entre diferentes tecnologias para uma operação adequada envolve desafios relacionados à complexidade da arquitetura, à heterogeneidade dos dispositivos, à conectividade eficaz, e ao gerenciamento da largura de banda e das limitações de recursos dos dispositivos para o processamento de dados em tempo real Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022).

Na perspectiva desta pesquisa de mestrado, as complexidades inerentes à interação de dispositivos, manifestadas por diferentes modos de funcionamento, revelam novos desafios cruciais no teste de *Interoperabilidade*. No contexto da avaliação da *Interoperabilidade* em aplicações IoT, identificam-se lacunas significativas na literatura, como a ausência de metodologias específicas para testar a *Interoperabilidade*, falta de ferramentas especializadas que ofereçam cobertura abrangente, além de desafios relacionados à diversidade de dispositivos, protocolos, segurança, privacidade e escalabilidade.

Nesse contexto, os desafios previamente identificados na literatura especialmente aqueles relacionados à diversidade de dispositivos, protocolos, segurança, privacidade e escalabilidade, manifestam-se de forma concreta nos modos de interação entre os dispositivos IoT. Tais modos envolvem, principalmente, a comunicação entre dispositivos, por meio de diferentes protocolos e padrões, e o processamento das informações, que diz respeito à correta interpretação dos dados trocados. A heterogeneidade dos dispositivos, abrangendo múltiplas combinações de hardware e software, intensifica a complexidade na definição de testes que assegurem a compatibilidade entre os sistemas. Além disso, a garantia da semântica dos dados torna-se um aspecto essencial, uma vez que inconsistências na interpretação podem comprometer a *interoperabilidade*. A conectividade de rede também se apresenta como um fator crítico, exigindo que os testes considerem diferentes condições operacionais para validar a robustez da comunicação. Dessa forma, a análise desses aspectos detalha, de maneira aplicada, os desafios anteriormente apontados, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos obstáculos e para o aprimoramento contínuo do guia de *interoperabilidade*.

1.2 Objetivo e Questões de Pesquisa

Considerando os desafios e lacunas identificadas, esta pesquisa tem por objetivo a criação de um guia de teste centrado na característica de *Interoperabilidade* para aplicações IoT, fundamentado na abordagem de teste proposta por Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022). A

fim de atingir esse objetivo, foram investigadas as seguintes questões de pesquisa (QP):

QP1. Como avaliar a característica de *Interoperabilidade* em aplicações IoT?

QP2. Quais são as abordagens usadas para avaliar a *Interoperabilidade* em aplicações IoT?

QP3. Quais são os principais desafios relacionados ao teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT?

1.3 Método da pesquisa e Contribuições

O desenvolvimento do guia é baseado em uma abordagem de teste para avaliar características de aplicações IoT (CARVALHO *et al.*, 2022). Essa abordagem define uma estrutura para o guia que contempla 11 tópicos. Inicialmente foi realizada uma revisão da literatura, baseada nas diretrizes proposta por Kitchenham *et al.*, (2009) (KITCHENHAM *et al.*, 2009). Esta revisão também teve como objetivo investigar os teste de *Interoperabilidade* em diferentes domínios de aplicação. Em seguida, foram identificadas as subcaracterística de interoperabilidade, bem como os padrões e abordagens usadas parateste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. A versão final do guia proposto nesta dissertação está estruturada em 12 tópicos, incluindo um tópico adicional denominado “Desafios de Teste de Interoperabilidade”.

As principais contribuições do guia de teste de *Interoperabilidade* incluem a identificação e categorização de subcaracterísticas para essa característica e abordagens aplicáveis em diferentes contextos de IoT. A versão final do guia proposto nesta dissertação está estruturada em 12 tópicos, incluindo um tópico adicional denominado “Desafios de Teste de Interoperabilidade”.

Para avaliar o guia foram realizadas três avaliações: (i) avaliação do guia utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (DAVIS, 1989) (TAM); (ii) experimento controlado (WOHLIN *et al.*, 2012) para avaliar o uso do guia para testar a *Interoperabilidade* de uma aplicação IoT; e (iii) avaliação com especialistas.

Os resultados da avaliação baseada no TAM indicaram uma alta aceitação do guia pelos participantes, com destaque para a percepção positiva quanto à sua utilidade e facilidade de uso. O experimento controlado revelou que o guia facilitou significativamente a identificação de problemas de *Interoperabilidade* e aprimorou a eficácia dos testes realizados, demonstrando sua eficácia na prática e sua aplicabilidade para diferentes cenários de teste de IoT. A avaliação com os especialistas, apresentou resultados positivos para o planejamento e execução dos teste de

Interoperabilidade para pesquisadores e profissionais do mercado. A moda das respostas foi 5 (significando “Concordo totalmente”), indicando que essa foi a resposta mais frequentemente escolhida pelos participantes. Esse resultado destaca a alta satisfação com o guia, evidenciando sua clareza, praticidade e abrangência. Assim, o guia se estabelece como uma ferramenta valiosa e eficaz para a realização de testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT.

Essas contribuições visam fornecer uma base sólida e abrangente para pesquisadores e profissionais que atuam na área de teste para IoT, facilitando a realização de testes de *Interoperabilidade* de maneira estruturada e eficiente.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

O Capítulo 2, “Fundamentação Teórica”, apresenta os termos e conceitos principais necessários para a compreensão deste trabalho. Nele, detalha-se o funcionamento da IoT, as comunicações envolvidas, os desafios e peculiaridades do teste dessas aplicações, com um foco especial no teste de *Interoperabilidade*, que é o cerne desta pesquisa.

No Capítulo 3, “Trabalhos Relacionados” são abordados os métodos gerais de teste de *Interoperabilidade*. Os estudos analisados apresentam técnicas, *frameworks* ou processos de teste de *Interoperabilidade*, bem como aqueles que não abordam guias de teste. A análise inclui um resumo comparativo que sintetiza e discute as principais características e diferenças entre os trabalhos revisados, facilitada por uma tabela comparativa que destaca as semelhanças e distinções entre as abordagens apresentadas.

O Capítulo 4, “Metodologia” descreve a metodologia adotada nesta pesquisa e os passos seguidos para a construção do guia. Detalha-se o procedimento metodológico para a concepção e estruturação do guia de teste.

No Capítulo 5, “Guia de Teste de Interoperabilidade”, são apresentadas a organização dos tópicos, as subcaracterísticas abordadas e as metodologias empregadas para a aplicação do guia em diferentes cenários de teste.

O Capítulo 6, intitulado “Avaliação”, descreve as avaliações do guia de teste de interoperabilidade e os resultados obtidos. Esse capítulo detalha a metodologia empregada nas avaliações, a análise dos dados coletados, discutindo os resultados e apresenta as ameaças à validade dos

estudos.

No Capítulo 7, “Discussão”, as questões de pesquisa são abordadas e discutidas de forma integrada. Este capítulo apresenta uma análise que responde às três questões de pesquisa, fornecendo uma visão abrangente das implicações e *insights* obtidos.

O Capítulo 8, “Conclusões e Trabalhos Futuros”, apresenta as conclusões finais e resume as contribuições desta dissertação, além de delinear os trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os pilares teóricos que embasam o escopo e os conceitos centrais desta pesquisa. Inicialmente, será abordada a Internet das Coisas (IoT) de maneira geral (Seção 2.1). Em seguida, será feita uma explanação sobre Teste de Software (Seção 2.2) e a apresentação dos conceitos gerais dos requisitos não-funcionais. Serão abordados temas como *Interoperabilidade* (Seção 2.3), teste de *Interoperabilidade* (Seção 2.3.1) e, então, será apresentada uma visão dos testes de *Interoperabilidade* em IoT (Seção 2.3.2), considerando que o objetivo desse trabalho é a construção de um guia de teste de *Interoperabilidade* para aplicações IoT, por fim é apresentada as considerações finais do capítulo na (Seção 2.4)

2.1 Internet das Coisas - IoT

A Internet das Coisas (*do inglês, Internet of Things, ou IoT*) é considerada uma rede de dispositivos físicos e virtuais interconectados, capazes de coletar, trocar e processar dados. Estes dispositivos, que variam de simples sensores a complexos sistemas computacionais, comunicam-se através da Internet para oferecer serviços inteligentes e automatizados (SANTOS *et al.*, 2016).

Essa rede de objetos do cotidiano conectados à Internet busca prover interações entre diferentes dispositivos (MIRANDA *et al.*, 2015). As interações podem ocorrer com o usuário (*human-thing interactions*) ou entre os próprios dispositivos (*thing-thing interactions*), visando a prestação de serviços (ANDRADE; LUQUE, 2022).

Conforme apresentado pela norma ISO/IEC 30141:2018 (ISO/IEC 30141, 2018), a IoT tem o poder de criar novas formas de interação entre objetos físicos e sistemas digitais, impulsionando a inovação e promovendo a eficiência em diversos setores.

Dessa forma, o propósito da IoT é possibilitar a conexão dos dispositivos com pessoas e objetos a qualquer momento, em qualquer local, com qualquer “coisa” utilizando qualquer método ou rede (SUNDMAEKER *et al.*, 2010).

Neste contexto, os dispositivos abrangem uma variedade de itens inteligentes, como *smartphones*, relógios, geladeiras e TVs, além de ambientes e veículos, todos dotados da capacidade de acumular informações e estabelecer conexões para facilitar comunicações e trocas de dados, tanto entre si quanto com outros dispositivos conectados à Internet (REVELL, 2013).

O objetivo é estabelecer conexões e trocar informações entre os domínios físico e virtual, proporcionando comunicação contínua com objetos do mundo real, de forma segura e em tempo real, em qualquer lugar (KATASONOV *et al.*, 2008).

Essa tecnologia representa uma revolução com o potencial de transformar radicalmente diversos aspectos da sociedade (MONTORI *et al.*, 2018). A conectividade entre dispositivos físicos e virtuais, aliada à capacidade de coleta, processamento e análise de dados em tempo real, oferece oportunidades sem precedentes para aprimorar processos, otimizar recursos e melhorar a qualidade de vida das pessoas (DIAS; PERIN, 2016).

A IoT é composta por diversas características inter-relacionadas. Segundo Carvalho *et al.*, (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022), é possível identificar pelo menos 35 características que integram essa tecnologia, incluindo *Interoperabilidade*, disponibilidade, manutenibilidade, segurança e desempenho. Essas características interagem de maneira positiva e/ou negativa (CARVALHO *et al.*, 2022). Por exemplo, a *Interoperabilidade*, ao exigir a criptografia dos dados trocados entre dispositivos, pode influenciar a segurança de forma negativa. Por outro lado, a portabilidade afeta positivamente a facilidade com que um sistema pode ser transferido ou adaptado para diferentes ambientes ou plataformas. Assim, é imprescindível considerar o papel singular que cada característica pode desempenhar, sendo um fator de possíveis interferências na aplicação.

Com a diversidade de dispositivos existentes na IoT, é necessário compreender a arquitetura dessas aplicações. Segundo Tomovic *et al.*, (2017) (TOMOVIC *et al.*, 2017), é proposta uma arquitetura composta por quatro camadas. Essas camadas são apresentadas na Figura 1 e descritas a seguir:

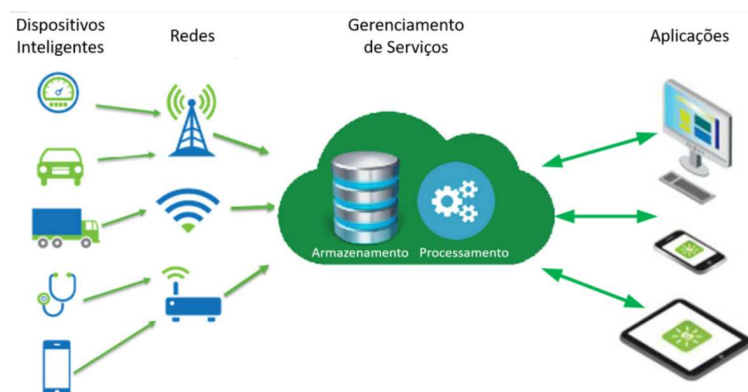


Figura 1 – Camadas de arquitetura IoT. Fonte: Tomovic *et al.*, (2017)

Camada dos Dispositivos Inteligentes: esta camada serve como a base, consistindo de objetos conectados à rede equipados com sensores e atuadores.

Camada de Rede: responsável por assegurar um alto desempenho, uma vez que o sistema deve estar preparado para adaptações rápidas no contexto.

Camada de Gerenciamento de Serviço: responsável pelo processamento e armazenamento de todos os dados transportados.

Camada de Aplicações: aqui reside o domínio da aplicação, abrangendo exemplos como mobilidade e residências inteligentes.

A Figura 1 ilustra a estrutura dessas quatro camadas, destacando como cada uma delas contribui para o funcionamento integral da IoT. A camada dos Dispositivos Inteligentes é a base, suportando a coleta de dados. A Camada de Rede garante a transmissão eficiente desses dados. A Camada de Gerenciamento de Serviço lida com o processamento e armazenamento, enquanto a Camada de Aplicações apresenta as diversas possibilidades de uso final da IoT, como em cenários de mobilidade e casas inteligentes

2.2 Teste de software

O teste de software desempenha um papel crucial no ciclo de vida do desenvolvimento de software, sendo responsável por identificar erros, melhorando a qualidade do produto final. Além disso, os resultados dos testes são verificados para identificar possíveis anomalias ou avaliar atributos não funcionais do sistema (SOMMERVILLE, 2003). No entanto, a execução desta atividade pode se tornar complexa e dispendiosa, especialmente em sistemas IoT.

Os objetivos do teste de software em ambientes IoT incluem não apenas a detecção de defeitos funcionais, mas também a avaliação de requisitos não funcionais, como desempenho, segurança, disponibilidade e interoperabilidade, os quais são cruciais nesse ambiente. Com essa compreensão, os engenheiros de teste podem selecionar e aplicar as técnicas mais adequadas para garantir a qualidade e a confiabilidade dos sistemas IoT (FERREIRA *et al.*, 2023).

Os diferentes tipos de teste que podem ser aplicados em sistemas IoT, assim como nos sistemas tradicionais. O teste de unidade foca na verificação individual de unidades de código, enquanto o teste de integração avalia a interoperabilidade entre diferentes componentes do sistema. O teste de sistema verifica se o sistema como um todo atende aos requisitos especificados, enquanto o

teste de aceitação avalia se o sistema atende às expectativas do cliente e aos critérios de aceitação definidos (LEITE, 2019; MASCARENHAS *et al.*, 2021).

Na IoT, o teste de software enfrenta desafios, tais como à complexidade da arquitetura, à comunicação entre dispositivos, à heterogeneidade dos dispositivos e à garantia de conectividade eficaz entre eles (COUTINHO *et al.*, 2016). Dada essa complexidade, é essencial compreender os objetivos específicos do teste de software para sistemas IoT, bem como os diferentes tipos de testes que podem ser aplicados.

Durante a fase de planejamento dos testes, é necessário definir ambientes de teste adequados e gerar casos de teste que possam se adaptar a diferentes contextos. Esses casos de teste podem ser inicialmente abstratos, carecendo de valores concretos, como entradas de dados ou resultados esperados, até serem preenchidos e concretizados com base na análise de cada contexto específico (SILVA, 2023; PACHECO *et al.*, 2020).

A realização de testes em ambientes reais é frequentemente requisitada para garantir a eficácia e a segurança das aplicações de IoT. No entanto, essa prática pode demandar testes controlados prévios para evitar riscos, aumentando a complexidade e os custos (MENEZES, 2018). Um exemplo relevante é a necessidade de garantir a comunicação eficaz entre dispositivos, o que frequentemente requer o processamento de grandes volumes de dados em tempo real, dependendo do hardware e do tipo de rede utilizados (MUNIZ *et al.*, 2019). Esses desafios ressaltam a importância da *Interoperabilidade*, pois a capacidade de diferentes dispositivos trabalharem juntos de forma eficiente é crucial para otimizar o desempenho e garantir a troca rápida de informações, permitindo a criação de soluções IoT robustas e escaláveis (COLOMBO; FILHO, 2018).

2.3 Interoperabilidade

A *Interoperabilidade* é uma peça fundamental no contexto de sistemas de informação, dispositivos e aplicações. De acordo com a norma ISO/IEC 15926 (ISO 15926, 2011), que é voltada para a integração e interoperabilidade na indústria de processos, *Interoperabilidade* refere-se à capacidade de diferentes sistemas, dispositivos ou aplicações trabalharem conjuntamente de forma eficaz, permitindo comunicação, execução de programas e transferência de dados de maneira precisa e eficiente. Essa capacidade visa integrar e permitir que entidades independentes trabalhem juntas, mesmo quando planejadas e implementadas separadamente

(MOTTA *et al.*, 2017). A interoperabilidade é definida como a capacidade do usuário de acessar recursos informacionais heterogêneos, armazenados em diversos nós de uma rede, através de uma única interface, sem a necessidade de conhecimento sobre os métodos de armazenamento desses recursos (WEISS *et al.*, 2019; GULLA *et al.*, 2006).

A *Interoperabilidade* é um estado em que duas aplicações podem aceitar e compreender os dados uma da outra, realizando uma determinada tarefa de forma satisfatória sem a necessidade de intervenção humana (SAYÃO; MARCONDES, 2008).

Embora relacionados, *Interoperabilidade* e integração são conceitos distintos. Enquanto a *Interoperabilidade* ocorre quando dois ou mais sistemas conseguem trabalhar juntos sem depender da tecnologia um do outro, a integração envolve a conexão de sistemas com uma relação de dependência mútua (PANTSAR-SYVÄNIEMI *et al.*, 2012; BLAIR; URSACHE, 2011).

A *Interoperabilidade* está associada aos requisitos de agilidade e adaptabilidade (FERREIRA, 2014). Para uma compreensão mais aprofundada, é frequentemente categorizada em três camadas: sintática, estrutural e semântica. A *Interoperabilidade* sintática refere-se à capacidade dos sistemas de trocarem informações utilizando formatos semelhantes, enquanto a estrutural implica que os sistemas compartilhem esquemas semânticos comuns, permitindo a troca de informações e estruturas. Por outro lado, a semântica envolve a capacidade dos sistemas de compartilhar e compreender informações em um nível formalmente definido e mutuamente aceito, possibilitando a interpretação e o raciocínio por máquinas de processamento (VERMESAN; FRIESS, 2022).

De acordo com Emygdio (EMYGDIO; ALMEIDA,), a *Interoperabilidade* pode ser dividida em diferentes camadas: conexão, comunicação, ontológica e de serviços do agente, cada uma desempenhando um papel específico na facilitação da *Interoperabilidade* entre sistemas e entidades diversas. Estas camadas são descritas a seguir:

1. **Camada de conexão.** Fornece comunicação sobre os recursos de baixo nível, como protocolos TCP/IP e HTTP.
2. **Camada de comunicação.** Relaciona-se à estrutura de uma mensagem ou um método usado para compartilhar informações de alto nível, estabelecendo tipos específicos de comunicação entre entidades.
3. **Camada ontológica.** Permite a interpretação semântica da informação ou serviço que está sendo compartilhado.

4. **Camada de serviços do agente.** Refere-se ao uso de agentes (pessoas físicas ou não) entre plataformas para formar uma equipe que fornece um serviço avançado específico.

2.3.1 *Teste de Interoperabilidade*

O teste de interoperabilidade avalia a capacidade de diferentes sistemas, componentes ou dispositivos de comunicação trabalharem conjuntamente de maneira eficaz e integrada em um ambiente específico (ANDRADE; LUQUE, 2022). Esse processo abrange a avaliação da capacidade dos sistemas em trocar e processar informações de forma consistente e eficiente, assegurando que os diversos elementos de um sistema possam se comunicar e cooperar para desempenhar suas funções designadas conforme necessário.

Os testes de *Interoperabilidade* visam analisar se as informações contidas em uma estrutura de dados de um determinado fabricante podem ser compartilhadas com as de outros fabricantes (BRÁS, 2011). Segundo Salum et al., (2013) (SALUM *et al.*, 2013), a *Interoperabilidade* é uma medida crucial para garantir a compatibilidade e a eficácia dos sistemas de comunicação, especialmente em ambientes onde diferentes componentes precisam interagir de forma coesa. Esses testes são essenciais para identificar possíveis lacunas ou inconsistências na troca de informações entre sistemas heterogêneos, contribuindo para aprimorar a integração e a funcionalidade do ambiente de comunicação como um todo.

A medição da *Interoperabilidade* permite que as organizações identifiquem e resolvam problemas no sistema, sendo mensurada por sua potencialidade, compatibilidade e desempenho (FONSECA *et al.*, 2000).

Os principais desafios encontrados no teste de *Interoperabilidade* incluem a heterogeneidade dos dados, a presença de diversos protocolos de comunicação, transporte de dados e métodos de acesso, que podem tornar a comunicação inoperável (NUNES, 2011). Esses fatores dificultam a conversão de diferentes tipos de dados em um formato compatível, destacando a necessidade de padronização dos sistemas e protocolos (ANDRADE; LUQUE, 2022).

A padronização dos testes desempenha um papel crucial na superação desses desafios. A falta de padrões uniformes pode levar a incompatibilidades entre sistemas, dificultando a comunicação e a troca de dados (WELLER *et al.*, 2015). A padronização de protocolos de comunicação e transporte de dados é vital para garantir que diferentes sistemas possam interoperar de maneira eficiente. A adoção de padrões comuns facilita a integração de sistemas heterogêneos, redu-

zindo a complexidade e os custos associados ao desenvolvimento e manutenção de soluções interoperáveis (SALES *et al.*, 2019; SILVA; LUCENA, 2000; LEITE, 2021; PIAZZA *et al.*, 2007).

Nesse contexto, os testes de interoperabilidade são conduzidos por meio da definição de cenários controlados de comunicação entre sistemas distintos, nos quais são avaliados aspectos como compatibilidade de protocolos, integridade e consistência dos dados trocados, conformidade com padrões estabelecidos e a capacidade de interação entre componentes heterogêneos em diferentes condições de operação (WELLER *et al.*, 2015).

2.3.2 *Teste de Interoperabilidade em IoT*

De acordo com as diretrizes da norma ISO/IEC 21823:2022 (ISO/IEC 21823, 2022), a *Interoperabilidade* pode ser definida como a capacidade dos dispositivos e sistemas IoT de se comunicarem e cooperarem de maneira eficaz e integrada dentro de um ambiente IoT. Essa capacidade permite que diferentes dispositivos, mesmo desenvolvidos por diferentes fabricantes e utilizando diversos protocolos de comunicação, possam interagir entre si de forma adequada, facilitando a troca de dados e a execução de processos automatizados.

De acordo com as diretrizes da norma ISO/IEC 30141:2018 (ISO/IEC 30141, 2018) a *Interoperabilidade* em IoT se divide em quatro subcaracterísticas principais: Semântica dos Dados, Protocolos de Comunicação, Integração de Sistema e Protocolo de Rede. Estas são ilustradas na Figura 2 e descritas a seguir:

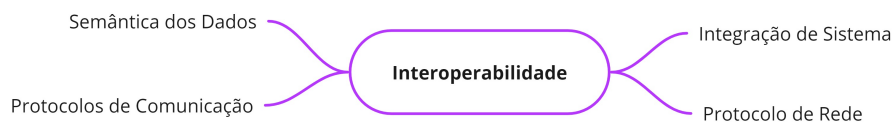


Figura 2 – Interoperabilidade e suas subcaracterísticas. Fonte: O Autor.

A subcaracterística “*Semântica dos Dados*” avalia se os dados trocados entre os sistemas IoT são compreendidos de maneira consistente e precisa, garantindo a interpretação correta das informações transmitidas. Os “*Protocolos de Comunicação*” verifica se os protocolos utilizados pelos dispositivos IoT permitem uma comunicação eficaz e sem falhas, facilitando a troca de dados entre diferentes sistemas. A “*Integração de Sistema*” valida se os diferentes componentes do sistema IoT são capazes de trabalhar juntos de forma harmoniosa, garantindo a interopera-

bilidade entre eles. Adicionalmente, o “*Protocolo de Rede*” avalia se a infraestrutura de rede suporta as necessidades de comunicação dos dispositivos IoT, assegurando uma conectividade confiável e eficiente (ISO/IEC 30141, 2018).

O teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT é fundamental para garantir que diferentes dispositivos e sistemas sejam capazes de se comunicar de forma eficaz e integrada dentro de um ambiente IoT (MACHADO *et al.*, 2020; MAZIERO *et al.*, 2018).

Para avaliar a *Interoperabilidade* em ambientes IoT, é essencial compreender o contexto operacional de cada dispositivo e sistema envolvido na rede, bem como suas interações e funcionalidades específicas. Isso requer uma análise detalhada da infraestrutura de comunicação e das interfaces de cada aplicação IoT para garantir que a troca de dados e a coordenação de ações entre os dispositivos ocorram de maneira eficiente e integrada (ROWLAND *et al.*, 2015).

No contexto do teste de *Interoperabilidade* para IoT, é observado que, apesar da abundância de plataformas habilitadas para IoT, há uma ausência de diretrizes cientificamente embasadas para a utilização desses padrões de desenvolvimento e sua validação. Com frequência, são necessárias validações em ambientes reais, as quais podem demandar testes envolvendo cenários densamente povoados por seres humanos, como, por exemplo, centros de transporte (BETANCUR; SÁNCHEZ, 2019).

Têm sido adotados métodos para avaliar aplicações IoT, tais como a técnica de inspeção baseada em listas de verificação. Essa técnica é empregada para avaliar a experiência do usuário e está estruturada em cinco categorias: contexto, conteúdo, estrutura, imagens e usabilidade (MAIA *et al.*, 2012; CALDAS, 2023; ALMEIDA, 2018).

Por outro lado, existem abordagens de teste voltadas para avaliar as características críticas da IoT. O trabalho de Carvalho *et al.*, (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022) propõe um guia de teste voltado para a característica de desempenho baseado em 11 tópicos. Esses tópicos são preenchidos com base nas subcaracterísticas de desempenho estabelecidas na (ISO/IEC 25010, 2011) podendo ser instanciado para outras características IoT.

Diferentes estudos (PATEL *et al.*, 2005; MILLER, 2000; GURIJALA, 2018) apresentaram os seis principais tipos de teste que podem ser utilizados para avaliar a *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Esses incluem:

1. **Teste de compatibilidade:** é a técnica para verificar se as funcionalidades dos sistemas estão funcionando corretamente em diferentes plataformas, sistemas operacionais e

navegadores.

2. **Teste de conectividade:** é a técnica para verificar se todos os objetos inteligentes IoT estão conectados corretamente uns aos outros e à computação em nuvem.
3. **Teste de rede e protocolos:** é a técnica para verificar se todos os objetos e componentes inteligentes da IoT estão funcionando perfeitamente bem através de diferentes tipos de rede e Internet também usando diferentes protocolos.
4. **Teste de desempenho:** é a técnica para verificar se o sistema IoT pode se comportar conforme o esperado sob carga de trabalho e também fazer testes de desempenho na nuvem.
5. **Teste de usabilidade e experiência do usuário:** é a técnica para verificar se a solução IoT é usada no design de interação centrado no usuário.
6. **Teste de segurança:** é a técnica para verificar se toda a solução IoT não possui vulnerabilidades e ninguém pode atacá-la.

O teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT enfrenta desafios únicos devido à diversidade de protocolos de comunicação, formatos de dados e requisitos de segurança presentes nesse ambiente altamente heterogêneo (SOUZA, 2020). Esses testes devem abordar especificamente questões como a integração de dispositivos IoT com a infraestrutura de rede existente, a compatibilidade entre diferentes protocolos de comunicação IoT e a garantia de que os dispositivos IoT podem interagir de maneira confiável em diferentes cenários e ambientes (MOTTA *et al.*, 2017).

2.4 Considerações finais

Neste capítulo, foram apresentados os fundamentos teóricos essenciais para a compreensão deste trabalho. Inicialmente, foi explorado o conceito de IoT. No capítulo também foi explicado sobre teste de software, abordando tanto a *Interoperabilidade* de forma geral quanto especificamente o teste de interoperabilidade. Apresentado os principais desafios do teste de interoperabilidade. Por fim, foi apresentado conceitos relacionados aos teste de interoperabilidade em aplicações IoT bem como a exploração da característica de Interoperabilidade e suas subcaracterísticas, visto que a instanciação deste trabalho foi para a característica *Interoperabilidade*. No próximo capítulo são apresentados os trabalhos relacionados a esta pesquisa.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, são discutidas as abordagens existentes e as contribuições relevantes para o teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Diante as lacunas identificadas, foi conduzida uma revisão da literatura com o propósito de examinar abordagens que tratam das lacunas nos testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. A pesquisa abrangeu uma análise de estudos, diretrizes, técnicas, metodologias, e estruturas conceituais, bem como processos de teste específicos para aplicações IoT desenvolvidos nos últimos anos. O objetivo foi compreender as abordagens atuais e identificar potenciais áreas para avanço e aprimoramento no campo da *Interoperabilidade*.

Este capítulo apresenta, inicialmente, as abordagens gerais para o teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT (Seção 3.1). Em seguida, aborda-se um panorama das diretrizes para a avaliação de interoperabilidade em IoT, incluindo guias, normas técnicas e checklists (Seção 3.2). Posteriormente, realiza-se um resumo comparativo entre os trabalhos analisados, destacando suas metodologias e contribuições (Seção 3.3). As considerações finais do capítulo discutem as lacunas e oportunidades identificadas (Seção 3.4).

3.1 Abordagens gerais de teste de Interoperabilidade em aplicações IoT

No trabalho de Zaid et al., (2009) (ZAIDI *et al.*, 2009), é apresentada uma metodologia para testes de *Interoperabilidade* baseada em assinaturas contextuais e testes passivos com invariantes, que são condições ou propriedades que devem sempre permanecer verdadeiras durante a execução de um sistema. A metodologia se destaca pelo uso do conceito de assinatura contextual, que adiciona informações sobre os estados e valores dos parâmetros, além de conectores lógicos que aumentam o poder expressivo dos invariantes. Isso permite a expressão de propriedades de *Interoperabilidade* tanto horizontais, entre camadas de uma pilha de protocolos, quanto verticais, na comunicação de ponta a ponta entre entidades distantes. O método inclui a definição de um algoritmo de correlação entre eventos coletados de diferentes visões de rede (lado do cliente ou da rede). Após a correlação dos eventos, as assinaturas contextuais são aplicadas para verificar a validade das propriedades de interoperabilidade. A abordagem proposta é ilustrada por um estudo de caso real utilizando o protocolo *Wireless Application (WAP)*. Essa metodologia robusta se concentra principalmente na fase de execução dos testes, oferecendo uma solução para garantir a interação entre dos dispositivos IoT em ambientes complexos. No entanto, ela não fornece orientações detalhadas para as fases de planejamento e especificação dos casos de teste, ao

contrário da presente pesquisa, que busca oferecer uma abordagem mais abrangente e sistemática para os testes de interoperabilidade em aplicações IoT.

No estudo de Gunathilaka et al., (2016) (GUNATHILAKA *et al.*, 2016), é proposto o *SoftGrid*, um sistema de teste de rede inteligente baseado em software, projetado para avaliar a *Interoperabilidade* e a segurança de soluções em subestações de aplicações IoT. O *SoftGrid* foi desenvolvido para testar a tradução correta de mensagens recebidas e enviadas através de *gateways*, garantir o roteamento preciso dessas mensagens e assegurar a comunicação adequada com Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs). Além disso, o *SoftGrid* verifica a transmissão e recepção de mensagens entre os IEDs e o centro de controle, garantindo que todas as mensagens sejam corretamente processadas e entregues. Este sistema oferece uma abordagem detalhada para avaliar a *Interoperabilidade* em ambientes de subestações (*e.g.*, *unidades de transformação e distribuição de energia elétrica*), focando na eficácia, desempenho e segurança das soluções implementadas. No entanto, sua aplicação é específica para o contexto de subestações e não aborda a *Interoperabilidade* em um espectro mais amplo de aplicações IoT.

No estudo conduzido por Rath et al., (2018) (RATH *et al.*, 2018), são exploradas técnicas avançadas de teste de software, incluindo a Execução Simbólica (SymEx), com o objetivo de verificar a *Interoperabilidade* em implementações do protocolo de rede QUIC (*Quick UDP Internet Connections*) em aplicações IoT. O QUIC é um protocolo de transporte de dados desenvolvido pelo Google para melhorar o desempenho e a segurança das comunicações pela Internet. A Execução Simbólica (*SymEx*) é uma técnica de teste que permite explorar múltiplos caminhos de execução de um programa utilizando símbolos em vez de valores concretos como entrada, possibilitando a detecção de bugs difíceis de identificar. No estudo, são realizados testes em cenários predefinidos com entradas simbólicas adicionais para identificar possíveis problemas de *Interoperabilidade*, como falhas na troca de dados ou inconsistências no comportamento do protocolo entre diferentes implementações. No entanto, a aplicação do estudo é específica para verificações de *Interoperabilidade* em implementações do protocolo QUIC em aplicações IoT e não aborda ferramentas e métricas para auxiliar nos testes, nem menciona as correlações de *Interoperabilidade* com outras características IoT. Além disso, não se trata de uma abordagem flexível que possa ser aplicada a uma variedade de contextos dentro das aplicações IoT.

No estudo de Kuzniar et al., (2012) (KUZNIAR *et al.*, 2012), apresentam uma técnica destinada a testar a *Interoperabilidade* de *switches OpenFlow*, dispositivos centrais em redes definidas. O objetivo principal do estudo é identificar automaticamente as entradas de teste que

resultam em comportamentos inconsistentes entre diferentes implementações desses *switches*. O método proposto começa com a condução de testes individualizados para cada *switch*, onde são aplicadas diversas entradas para observar e registrar o comportamento de cada implementação. Em seguida, os pesquisadores analisam todos os comportamentos distintos observados entre as diferentes implementações. Esta análise busca identificar se um conjunto específico de entradas comuns pode desencadear comportamentos inconsistentes entre os *switches* testados. A metodologia envolve a comparação minuciosa das respostas dos *switches* a entradas idênticas, permitindo a detecção de discrepâncias que podem comprometer a *Interoperabilidade* em um ambiente com redes definidas. Embora o método forneça uma abordagem técnica robusta para testar a *Interoperabilidade* de *switches OpenFlow*, ele é focado especificamente neste tipo de dispositivo e não abordagem para testes de *Interoperabilidade* em outras aplicações IoT, que é o foco do nosso trabalho.

No trabalho de Mujjiga e Sukumaran (2007) (MUJJIGA; SUKUMARAN, 2007), é proposto um processo de estrutura para a geração automática de testes de *Interoperabilidade*, utilizando como base a técnica de “Teste baseado em modelos”. Nesse processo, são criados modelos para cada tipo de dispositivo, alinhados com as especificações dos padrões estabelecidos pelos fabricantes. Esses modelos são desenvolvidos na linguagem SAL (*System Annotation Language*), que é utilizada para descrever o comportamento dos dispositivos baseados no modelo de Controle de Eletrônicos de Consumo (CEC), um protocolo que visa aprimorar a funcionalidade e *Interoperabilidade* dos dispositivos em um sistema. O processo envolve a construção manual de modelos para dispositivos individuais conforme os padrões, e a utilização da ferramenta *sal-atg* para gerar automaticamente testes a partir do modelo composto do sistema. Este método permite a criação de testes de *Interoperabilidade* que verificam se os dispositivos funcionam corretamente dentro dos padrões definidos. No entanto, o estudo não detalha todos os modelos de teste gerados, o que limita sua flexibilidade e adaptabilidade para diferentes contextos de aplicações IoT. Além disso, os autores apontam que a variabilidade dos dispositivos devido a recursos opcionais e específicos do fornecedor pode representar um problema, sugerindo uma extensão para a linguagem SAL para abordar essa questão. Em contrapartida, a pesquisa deste trabalho propõe um guia de teste de *Interoperabilidade* que foca especificamente na validação, em vez de apenas na geração de modelos. O guia é estruturado em 12 tópicos que incluem subcaracterísticas, propriedades e métricas detalhadas, além de abordar as correlações entre *Interoperabilidade* e outras características da IoT.

No estudo conduzido por Hamad (2018) (HAMAD, 2018), é apresentado um processo de Monitoramento e Teste de Automação na Nuvem (ATML). O objetivo principal do estudo é integrar tecnologias IoT aos sistemas de gerenciamento de frotas, através da implementação de sensores para monitorar o status de cada veículo. O sistema ATML é projetado para manter o departamento de logística informado sobre o estado dos veículos, da frota e das atividades de remessa, proporcionando atualizações em tempo real. A abordagem detalhada envolve a criação de um protótipo de Sistema de Frotas Inteligentes (SFS) para empresas de comércio eletrônico, utilizando sensores que coletam dados sobre a localização, velocidade, consumo de combustível e condições dos veículos. Esses dados são então transmitidos para uma plataforma na nuvem, onde são analisados e monitorados usando ferramentas de automação de teste. As ferramentas utilizadas incluem *scripts* automatizados que simulam cenários de operação e verificam a integridade dos dados coletados. No entanto, o estudo não especifica detalhadamente os casos de teste utilizados nem como foi feita a sua implementação, o que limita a aplicabilidade do método a um modelo específico de negócio no contexto de gerenciamento de frotas. Em comparação, o guia proposto oferece uma estrutura mais geral e adaptável, além de detalhar os casos de teste abstratos, proporcionando uma avaliação mais robusta e versátil.

3.2 Diretrizes para avaliação de *interoperabilidade* em IoT: guias, normas técnicas e checklists

No estudo conduzido por Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022) é apresentada uma abordagem de teste para a avaliação de características de aplicações IoT (e.g., desempenho) com base em guias estruturados. O trabalho propõe um guia de teste para avaliar o desempenho das aplicações IoT, organizado em 11 tópicos, que incluem a definição da característica de desempenho, casos de teste abstratos, métricas e ferramentas, entre outros. Além disso, a estrutura do guia foi instanciada especificamente para a característica de “Desempenho”, o qual foi dividido em três subcaracterísticas: “Comportamento Temporal”, “Utilização de Recursos” e “Capacidade”. A avaliação do guia foi realizada por especialistas e por meio de um experimento controlado. Os resultados demonstraram que o guia teve efeitos positivos na avaliação dos aspectos de desempenho das aplicações IoT, além de identificar falhas inerentes à IoT. Este trabalho de mestrado utiliza a abordagem de teste proposta por esses autores para avaliar as características de IoT, com o objetivo de definir um guia de teste de *Interoperabilidade*. Além disso, o presente trabalho refinou a estrutura do guia proposto, adicionando um novo tópico com

foco nos desafios.

Na norma ISO/IEC 21823:2022 (ISO/IEC 21823, 2022), são estabelecidas diretrizes para a *Interoperabilidade* em sistemas IoT, visando assegurar a comunicação e operação eficaz entre dispositivos e sistemas diversos. A norma define o conceito de *Interoperabilidade* no contexto de IoT e estabelece requisitos específicos para garantir que diferentes sistemas possam colaborar de forma eficiente. Além disso, a norma aborda métodos e técnicas para alcançar a *Interoperabilidade*, incluindo a adoção de padrões e protocolos comuns. Também é apresentado um *framework* para avaliar e melhorar a *Interoperabilidade*, promovendo a integração de dispositivos de diferentes fabricantes por meio de padrões comuns. Entre os benefícios desta norma estão a facilitação da integração de dispositivos IoT, a promoção de padrões uniformes e a melhoria da eficiência operacional dos sistemas IoT. Este trabalho de mestrado utiliza algumas diretrizes propostas pela norma ISO/IEC 21823:2022 para avaliar as características de *Interoperabilidade* em IoT, com o objetivo de definir um guia de teste de *Interoperabilidade*.

O estudo conduzido por Caldas (2023) (CALDAS, 2023) propõe uma técnica para avaliar a *Interoperabilidade* em dispositivos IoT no contexto de casas inteligentes por meio da criação de um *checklist*. Esse *checklist* busca identificar os níveis de *Interoperabilidade* (e.g., técnica, semântica e organizacional), definir um conjunto base de dispositivos e aplicações comuns em casas inteligentes e investigar os componentes desses dispositivos relacionados à *Interoperabilidade*. O checklist inclui uma série de perguntas que avaliam aspectos técnicos e semânticos, como tecnologias de comunicação, disponibilidade de APIs, documentação do fabricante e capacidade de comunicação direta com a Internet. O checklist foi elaborado com base na revisão da literatura e nos níveis de interoperabilidade. Embora este método forneça uma ferramenta prática para avaliação e comparação de dispositivos em ambientes residenciais, ela se limita a um conjunto fixo de perguntas e não aborda subcaracterísticas de *Interoperabilidade*, suas propriedades e medidas. Em contraste, a pesquisa deste trabalho foca em validação, especificamente no teste de *Interoperabilidade*.

O estudo conduzido por Motta et al., (2017) (MOTTA *et al.*, 2017) exploram a evolução da *Interoperabilidade* em sistemas de software contemporâneos, considerando o impacto das tecnologias emergentes como objetos inteligentes, Internet das coisas e sistemas contextuais. A pesquisa realiza uma revisão bibliográfica para identificar as dimensões e características de *Interoperabilidade* relevantes, destacando cinco dimensões principais: capacidade de troca, cooperação, integração, relação de sistema e propriedade. Além disso, são identificadas sete

características essenciais, incluindo comportamento adaptativo, disponibilidade, compatibilidade, conformidade com requisitos organizacionais e do sistema, conexão dinâmica e padronização. Essas dimensões e características são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas de software que possam interagir efetivamente em diversos contextos. Em contraste, o guia de teste de *Interoperabilidade* proposto neste trabalho foca na validação prática e no teste de *Interoperabilidade*, estruturado em 12 tópicos que incluem subcaracterísticas, propriedades e métricas.

Da mesma forma, Silva (2019) (SILVA, 2019), propõem uma técnica por meio de uma lista de verificação chamada *ScenarIoT*, para avaliar dispositivos IoT e interações de sistemas em vários ambientes e configurações. A lista de verificação abrange aspectos importantes, como a identificação de componentes de IoT, que inclui a categorização e documentação de sensores, atuadores, dispositivos de leitura de *tags* e outros elementos do sistema IoT. Além disso, verifica requisitos funcionais, avaliando se os dispositivos IoT cumprem com suas funções pretendidas, como coleta de dados, processamento, comunicação e atuação, e requisitos não funcionais, examinando requisitos não-funcionais ou característica como desempenho, segurança, privacidade, confiabilidade e escalabilidade e *Interoperabilidade* dos dispositivos IoT. Outro aspecto abordado é a inspeção de interações entre dispositivos, que analisa os fluxos de dados e comandos entre sensores, atuadores e sistemas de exibição de dados, garantindo a *Interoperabilidade* e a eficiência do sistema. Em contraste, o guia proposto foca em teste de *Interoperabilidade* e não inspeção, o guia é estruturado em 12 tópicos que englobam casos de teste abstratos, propriedades e métricas, além de abordar as correlações entre *Interoperabilidade* e outras características da IoT, permitindo um teste mais abrangente e detalhado de vários cenários de IoT.

3.3 Resumo comparativo entre os trabalhos

Com base na análise dos trabalhos apresentados na subseção anterior, foram identificados aspectos e características distintas em relação a esta pesquisa. A Tabela 1 agrupa os estudos relevantes, considerando a flexibilidade das metodologias (se a metodologia pode ser aplicada a diferentes contextos de IoT), a proposta específica (o método ou abordagem principal proposto por cada estudo) e a etapa de teste que o estudo foca (planejamento, especificação, execução ou outra). Além disso, a tabela permite visualizar lacunas e oportunidades para aprimoramento nas abordagens existentes, destacando áreas onde a pesquisa atual pode oferecer contribuições inovadoras e mais eficazes. Dessa forma, é possível estabelecer um comparativo direto que

ilustra como a metodologia desta pesquisa avança em relação às abordagens anteriores.

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados

Estudo	Flexibilidade	Proposta	Etapa de Teste	Característica
Zaid et al., (2009)	Não	Assinaturas contextuais	Execução	Interoperabilidade
Gunathilaka et al., (2016)	Não	Redes inteligentes	Execução	Interoperabilidade
Rath et al., (2016)	Não	Teste automatizado	Execução	Interoperabilidade
Kuzniar et al., (2012)	Não	Switches OpenFlow	Execução	Interoperabilidade
Mujjiga et al., (2007)	Não	Testes modelos	Planejamento	Interoperabilidade
Haj (2018)	Não	Teste automatizado	Execução	Interoperabilidade
Motta et al., (2017)	Não	Revisão sistemática	Planejamento	Interoperabilidade
Caldas (2023)	Sim	Checklist	Verificação	Interoperabilidade
Silva et al., (2022)	Sim	Checklist	Especificação	Interoperabilidade
ISO/IEC 21823:2022	Sim	Diretrizes para interoperabilidade	Avaliação	Interoperabilidade
Carvalho et al., (2022)	Sim	Guia de teste para desempenho	Planejamento, Especificação, Execução	Desempenho
Esta pesquisa	Sim	Guia de teste para Interoperabilidade	Planejamento, Especificação, Execução	Interoperabilidade

Observa-se que esta pesquisa compartilha semelhanças nas abordagens adotadas por outros trabalhos no teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. No entanto, alguns estudos não esclarecem de maneira explícita quais são as abordagens mais eficazes para este tipo de teste, especialmente em relação à flexibilidade das metodologias e às etapas do processo de teste.

Os trabalhos analisados focam principalmente em *Interoperabilidade* e apresentam metodologias variadas, que vão desde técnicas específicas, como o uso de assinaturas contextuais e testes automatizados, até métodos mais gerais, como *checklists* e revisões sistemáticas. No entanto, a maioria dos estudos não explora como suas metodologias podem ser adaptadas para diferentes aplicações e ambientes de IoT, como residências, indústrias ou cidades inteligentes. Além disso, poucos oferecem uma abordagem abrangente que cobre todas as etapas do processo de teste,

desde o planejamento até a execução.

O aspecto distintivo desta pesquisa reside na construção de um guia estruturado em tópicos, que aborda a definição e a contextualização da *Interoperabilidade* de forma abrangente. Este guia cobre todas as etapas do processo de teste, incluindo planejamento, especificação e execução. Além disso, o guia proposto inclui a definição de casos de teste, sugestões de ferramentas para automação dos testes, casos de teste abstratos, métricas e exemplos de uso, oferecendo uma estrutura completa que pode ser aplicada em diversos contextos e tipos de aplicações IoT.

3.4 Considerações Finais

A análise dos trabalhos relacionados revela um panorama diversificado sobre a *Interoperabilidade* em sistemas IoT, com abordagens que variam desde técnicas específicas até métodos gerais. Embora muitos estudos ofereçam contribuições valiosas, observa-se uma lacuna significativa em termos de flexibilidade e abrangência das metodologias propostas. Em particular, poucos estudos exploram a adaptação de suas abordagens a diferentes contextos de IoT (e.g., residências, indústrias, cidades inteligentes) e cobrem todas as etapas do processo de teste de forma integrada. A construção de um guia estruturado, como o proposto nesta pesquisa, surge como uma necessidade para suprir essas lacunas, oferecendo uma solução que abrange desde o planejamento até a execução dos testes, e que pode ser aplicada de maneira mais flexível. As considerações finais ressaltam a importância de continuar desenvolvendo metodologias que não apenas abordem a *Interoperabilidade*, mas também que se adaptem aos desafios específicos de diferentes ambientes e cenários IoT.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentadas as atividades realizadas no âmbito desta pesquisa, segmentadas em quatro fases distintas. Primeiramente, foi realizada a definição dos objetivos e questões de pesquisa (Seção 4.1), onde foram estabelecidas as metas e as perguntas que guiaram este estudo. Em seguida, foi conduzida uma revisão da literatura (Seção 4.2), na qual foram explorados os trabalhos relevantes que fundamentam o tema investigado. Na terceira fase, foi feita a análise dos estudos (Seção 4.3), detalhando a avaliação crítica dos trabalhos selecionados. Por fim, a construção do guia é descrita (Seção 4.4), abordando o desenvolvimento do guia de teste de *Interoperabilidade* proposto. Estas etapas são ilustradas na Figura 3.



Figura 3 – Metodologia de pesquisa

Embora não tenha sido realizado um mapeamento sistemático, foram adotadas algumas práticas inspiradas no *guideline* proposto por Kitchenham et al., (2009) (KITCHENHAM *et al.*, 2009), com o objetivo de aprimorar a revisão bibliográfica deste estudo.

4.1 Definição dos objetivos e as questões de pesquisa

No contexto dos desafios inerentes à *Interoperabilidade* em IoT, torna-se evidente que a avaliação desta característica requer a implementação de novas estratégias e abordagens capazes de desenvolver métodos eficazes para garantir a interoperabilidade em sistemas inteligentes. Assim, o presente estudo tem como objetivo investigar as seguintes questões de pesquisa (QP):

QP1. Como avaliar a característica de *Interoperabilidade* em aplicações IoT?

Esta questão visa investigar as metodologias, configurações, componentes de hardware e ferramentas aplicáveis à avaliação da *Interoperabilidade* em contextos de aplicações da IoT. A

compreensão das técnicas empregadas na avaliação, a partir de uma perspectiva abrangente dos sistemas de software, contribuirá para a análise de outras situações de avaliação em ambientes de sistemas IoT.

QP2. Quais são as abordagens de teste usadas para avaliar a *Interoperabilidade* em aplicações IoT? O objetivo desta questão é identificar as principais abordagens de teste utilizadas para avaliar a *Interoperabilidade* em aplicações IoT.

QP3. Quais são os principais desafios relacionados ao teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT? Esta questão visa identificar, na literatura, os principais obstáculos enfrentados no teste de *Interoperabilidade* e como esses desafios podem ser superados pelas abordagens científicas adotadas.

4.2 Identificação dos estudos

Inicialmente, foi realizada uma revisão abrangente da literatura para obter uma compreensão aprofundada dos termos fundamentais: “Internet das Coisas”, “Interoperabilidade” e “Teste de Interoperabilidade”. Esses conceitos são cruciais para o desenvolvimento deste estudo e para fornecer uma visão abrangente do estado da arte.

Para identificar os trabalhos relevantes nesta área, foram utilizadas as palavras-chave “Internet das Coisas”, “Interoperabilidade” e “Teste de Interoperabilidade”. Com base nessas palavras-chave, elaborou-se uma string de busca e os estudos foram extraídos na base de dados da ACM. A string de busca utilizada é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – String de busca

String de busca

(“Internet of Things”) AND (“Interoperability test”) OR (“Interoperability testing”)

4.3 Análise dos estudos

Após formular a *string* de busca, foi feita a seleção e análise dos estudos. Utilizamos a ferramenta online Parsifal¹ para organizar e analisar os elementos do protocolo, como questões de pesquisa, termos de busca e critérios de seleção. A revisão da literatura ocorreu em duas fases

¹ <https://parsif.al/>

distintas. Na primeira fase, foram avaliados os títulos e resumos dos 169 estudos identificados, resultando na exclusão de 42 artigos duplicados. Posteriormente, os artigos restantes foram analisados quanto à sua relevância para os objetivos da pesquisa. Nessa etapa, foram excluídos os estudos que não tratavam diretamente dos temas “Internet das Coisas”, “Interoperabilidade” e “Teste de Interoperabilidade” ou que não apresentavam uma metodologia claramente descrita e aplicável, resultando na exclusão de 77 estudos adicionais.

Na fase seguinte, foi realizada a leitura completa dos 50 artigos selecionados. Durante essa etapa, o foco esteve na extração de dados (ver apêndice C) relacionados a vários aspectos essenciais da *Interoperabilidade*. Primeiramente, foram identificadas e analisadas as definições gerais de *Interoperabilidade* presentes na literatura, abrangendo diferentes áreas como redes de computadores, sistemas de informação e IoT. Esse passo foi fundamental para compreender a base teórica que sustenta o conceito de *Interoperabilidade*.

Os resultados detalhados dessas análises são apresentados na Tabela 3. Os 50 artigos selecionados não apenas forneceram uma base sólida de conhecimento na área de pesquisa (ver apêndice A), mas também serviram como suporte teórico para a fundamentação teórica deste trabalho. Diversos conceitos e metodologias discutidos na revisão de literatura foram integrados ao corpo teórico, garantindo um embasamento robusto para a proposta apresentada.

Tabela 3 – Seleção dos estudos

Retornados	Duplicados	Selecionados
169	42	50

Além disso, foram investigados os desafios associados à *Interoperabilidade* em diversos contextos, como a integração de sistemas heterogêneos, a compatibilidade entre diferentes protocolos de comunicação e a gestão de dados em ambientes distribuídos. Esse entendimento foi crucial para destacar a relevância e a complexidade do tema abordado.

Também foram analisadas as abordagens de teste de *Interoperabilidade* descritas nos estudos, que incluíam métodos como testes de conformidade, testes de desempenho e avaliações de compatibilidade entre dispositivos e sistemas. Essa análise permitiu identificar as metodologias mais frequentemente utilizadas e avaliar a eficácia dessas abordagens na prática.

A identificação das lacunas na literatura foi outro ponto de destaque, revelando áreas que necessitam de mais pesquisa e desenvolvimento, tais como a falta de padrões universais para *Interoperabilidade* e a escassez de ferramentas automatizadas de teste. Essa análise auxiliou a

construção do guia proposto, visando preencher essas lacunas e oferecer uma solução prática e abrangente.

Os estudos selecionados evidenciaram sua relevância para a ampliação do conhecimento no campo da pesquisa, permitindo uma análise científica das técnicas aplicadas, dos métodos empregados e dos principais obstáculos identificados na área por outros pesquisadores.

4.4 Construção do guia

Durante o desenvolvimento do guia de teste de *Interoperabilidade* para aplicações IoT, que constitui o foco central deste estudo, seguimos a abordagem proposta por Carvalho, Lelli e Andrade (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022).

Os detalhes completos dos resultados obtidos e do procedimento metodológico utilizado para construir e aplicar este guia são apresentados no Capítulo 5, fornecendo uma compreensão abrangente de como o guia foi concebido e implementado para garantir a *Interoperabilidade* em diferentes contextos de aplicações IoT.

5 GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE

Com base abordagem de teste para avaliar características IoT proposta por Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022), esta abordagem foi utilizada para avaliar a característica de *Interoperabilidade* em ambientes IoT. A metodologia para a construção do guia de teste de *Interoperabilidade*, será apresentada em detalhe na Seção 5.1, a Seção 5.2 descreverá o guia de interoperabilidade desenvolvido, e, por fim, a Seção 5.3 fornecerá as considerações finais deste capítulo.

5.1 Procedimento para instanciação do guia

A metodologia para instanciação do guia para a característica de *Interoperabilidade* baseou-se na abordagem de Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022). Os autores recomendam uma estrutura organizada em 11 tópicos. Uma vez definida a estrutura, foi desenvolvido o conteúdo do guia com base na metodologia de instanciação para uma característica IoT, no contexto dessa pesquisa, *Interoperabilidade*.

Para a estrutura do guia de teste de *Interoperabilidade*, além desses 11 tópicos, foi adicionado um novo tópico relacionado com “Desafios de Teste de Interoperabilidade”. Além disso, O guia inclui uma introdução e instruções de uso, bem como o referencial bibliográfico utilizado para seu embasamento. Dessa forma, a estrutura do guia de teste de *Interoperabilidade* possui 12 tópicos organizados em tópicos, os quais são:

1. Definição da característica
2. Correlação de característica
3. Desafios de Teste de Interoperabilidade
4. Configuração do ambiente
5. Subcaracterística de interoperabilidade
 - Semântica de dados
 - Protocolo de comunicação
 - Integração de sistema
 - Protocolos de rede
6. Contextualização
7. Casos de teste abstrato

8. Medição
9. Impacto das Subcaracterísticas
10. Custo benefício
11. Sugestão de Ferramentas
12. Exemplo de uso do guia

A metodologia para instanciar a estrutura do guia para avaliar a “*Interoperabilidade*” consistiu em seis atividades principais, como ilustrado na Figura 4. As atividades são detalhadas nas próximas subseções.



Figura 4 – Metodologia para instanciación do guia

5.1.1 Revisão da literatura

A primeira atividade foi conduzida seguindo as práticas de revisão proposta por (KITCHE-NHAM *et al.*, 2009). Dessa forma, uma *string* de busca com foco na característica IoT selecionada *Interoperabilidade*, foi definida conforme ilustrado na Tabela 4. Para a formulação da string foram combinadas as palavras-chave, tais como: “Internet das coisas”, “teste de interoperabilidade”, “guias”, “abordagem”, “desafios”, “ferramenta”, “*frameworks*” dentre outras.

Tabela 4 – String de busca

String de busca

(“*internet of things*”) AND (“*interoperability test*” or (“*interoperability testing*”)) AND (*guideline OR method OR approach OR challenges OR framework OR tool OR architecture*)

A execução da string de busca foi feita nas bases de dados ACM, Scopus e IEEE. Essa

fase inicial foi seguida por um processo de seleção, utilizando critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Os critérios de inclusão foram estabelecidos para garantir a relevância dos estudos para o escopo da pesquisa, enquanto os critérios de exclusão visaram remover estudos que não atendiam aos objetivos estabelecidos. Os critérios de seleção adotados nessa pesquisa são ilustrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Critérios de Inclusão e Exclusão para a seleção dos estudos

Critérios de Inclusão (CI):
CI01 - Estudos relacionados a testes de <i>Interoperabilidade</i> em aplicações da Internet das Coisas. Justificativa: Este critério engloba estudos que abordem conceitos ou práticas de teste de <i>Interoperabilidade</i> aplicados a sistemas IoT.
CI02 - Estudos que apresentam guia de teste de IoT ou artefatos similares. Neste critério, estão incluídos estudos que se concentram na elaboração de guias específicos para teste IoT ou que desenvolvem artefatos semelhantes.
CI03 - Artigos disponíveis nos idiomas inglês e português. Esta categoria abrange artigos escritos em inglês, devido a sua ampla difusão na comunidade científica, bem como em português, que é o idioma nativo do pesquisador.
Critérios de Exclusão (CE):
CE01 - Estudos duplicados serão selecionadas apenas uma versão.
CE02 - Estudos que não abordam testes de <i>Interoperabilidade</i> para aplicações IoT: estudos que não apresentam conceitos, metodologias ou abordagens de teste de <i>Interoperabilidade</i> para aplicações IoT.
CE03 - O estudo não está acessível.
CE04 - O estudo é uma versão resumida de outro. Nesse caso, a versão completa do estudo será selecionada.

Ao executar a string de busca nas bases de dados, foram retornados 393 estudos da ACM, 288 estudos da Scopus e 134 estudos da IEEE, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Quantidade de Estudos Selecionados

Base de Dados	Estudos Retornados	Estudos Selecionados
ACM	393	50
Scopus	288	24
IEEE	134	28
Total	815	102

Em seguida, foi realizada a leitura dos títulos e resumos, o que resultou na seleção de 50 estudos da ACM, 24 estudos da Scopus e 28 estudos da IEEE.

5.1.2 *Análise dos estudos obtidos*

A segunda atividade foi a “Análise dos estudos obtidos”, durante o processo de revisão da literatura, foi utilizado a ferramenta online *Parsifal* para analisar os dados. A análise dos estudos ocorreu em duas fases: na primeira rodada foram lidos os títulos e resumos dos 815 estudos identificados; resultando na seleção de 102 estudos preliminares. Em seguida, selecionaram-se os estudos para uma leitura completa, destes, 50 eram da ACM, 24 da Scopus e 28 do IEEE. Com base nesses estudos selecionados, o guia foi preenchido e estruturado com 50 estudos (ver Apêndice A).

A extração dos dados focou em aspectos cruciais para a construção do guia, incluindo definições de *Interoperabilidade*, correlações das características, desafios específicos relacionados à interoperabilidade em IoT, e requisitos de configuração para ambientes de teste. Também foram analisados a subdivisão da *Interoperabilidade* em subcaracterísticas, medidas utilizadas, o custo-benefício, propriedades usadas para avaliar essas subcaracterísticas, casos de teste e ferramentas empregadas nos estudos.

Para sistematizar a coleta dessas informações, foi utilizado um formulário de extração de dados (Ver apêndice D). Esse formulário ajudou a garantir a consistência e a abrangência na coleta dos dados necessários para preencher e estruturar o guia de *Interoperabilidade*.

Os estudos selecionados demonstraram ser essenciais para a construção e aprimoramento do guia de interoperabilidade. Eles forneceram informações relevantes sobre definições, técnicas, métodos e desafios relacionados à interoperabilidade em IoT, permitindo a integração de dados e *insights* necessários para a elaboração de um guia abrangente e prático. A lista completa dos artigos selecionados, que fundamentou o desenvolvimento do guia (ver apêndice A).

5.1.3 *Construção do guia*

A elaboração do guia de teste para a característica de *Interoperabilidade* visa proporcionar suporte aos testadores na condução dos testes e auxiliar na criação de um plano de teste.

A construção do guia consistiu na elaboração do conteúdo de acordo com os 12 tópicos que compõem a estrutura do guia, descritos a seguir.

1. **Definição da característica.** Com base na revisão da literatura, este segmento apresenta as principais definições da característica *Interoperabilidade*, com o propósito de estabelecer

um padrão de conhecimento em relação a essa característica.

2. **Correlação das características.** Este tópico visa apresentar a correlação da *Interoperabilidade* com outras características de IoT, permitindo a identificar seu impacto, que pode ser positivo, negativo ou ambos.
3. **Desafios de teste de *Interoperabilidade*.** Este tópico tem como objetivo apresentar os desafios enfrentados no teste de *Interoperabilidade* em aplicações de IoT.
4. **Configuração do ambiente.** São apresentadas as configurações de ambiente de teste tanto de hardware quanto de software necessárias para a validação da característica.
5. **Definição das subcaracterísticas.** Este tópico apresenta as definições das subcaracterísticas de “*Interoperabilidade*” identificadas na literatura, descrevendo como essas subcaracterísticas foram decompostas para uma avaliação mais precisa da característica de interoperabilidade. O propósito é garantir uma padronização conceitual robusta e uma compreensão abrangente de cada subcaracterística.
6. **Contextualização.** Neste tópico, são delineadas as definições das propriedades das subcaracterísticas de *Interoperabilidade*.
7. **Casos de teste abstratos.** Neste tópico, são apresentados os casos de teste abstratos que podem ser utilizados e adaptados no contexto do processo de teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT.
8. **Medição.** Neste tópico são descritas as medidas identificadas na literatura para a avaliação de testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT.
9. **Impacto das subcaracterísticas.** Neste tópico, são avaliados os impactos que uma subcaracterística pode ter sobre outra, sejam eles positivos ou negativos.
10. **Custo benefício.** O cálculo do custo-benefício para a condução dos testes da característica de interoperabilidade é apresentado utilizando variáveis específicas. O cálculo envolve a relação entre o impacto da característica e o custo total para a execução dos testes.
11. **Sugestões de ferramentas.** Neste tópico, são sugeridas ferramentas, identificadas na literatura, que podem auxiliar na automação da execução de testes e na coleta de medidas.
12. **Exemplo de uso do guia.** Neste tópico é fornecido um exemplo que demonstra o passo a passo da utilização do Guia de *Interoperabilidade* com base em um cenário de IoT.

Além disso, outros tópicos foram enriquecidos com exemplos e explicações, como a seção de casos de teste, a seção de medições com explicações, e também foram sugeridos exemplos de dispositivos e a explicação detalhada sobre a configuração do ambiente.

5.1.4 Observação do comportamento das aplicações IoT

Os testes de *Interoperabilidade* desempenham um papel crucial na garantia da eficácia da colaboração entre dispositivos e sistemas IoT. No entanto, compreender o comportamento dessas aplicações em cenários do mundo real é essencial para detectar e resolver potenciais problemas de *Interoperabilidade*.

A observação de aplicações IoT em situações reais proporciona *insights* valiosos sobre sua interação com o ambiente, sua resposta a condições variáveis e sua capacidade de lidar com eventos imprevistos. Esses aspectos, muitas vezes desafiadores de simular em ambientes controlados de teste, são fundamentais para o sucesso da implementação de IoT.

Na quarta atividade “Observação do comportamento das aplicações IoT”, o guia foi utilizado em uma aplicação web IoT denominada Rottas-UFC¹, projetada para oferecer informações aos usuários de transporte público, como horários de ônibus, detalhes das rotas e localização em tempo real, por meio de dispositivos móveis que utilizam GPS.

Nesse contexto, destaca-se a observação da aplicação web Rottas-UFC. Ao analisar seu desempenho em situações reais, foram identificados desafios específicos relacionados à *Interoperabilidade*, tais como, restrições de recurso de dispositivos, comunicação entre dispositivo e protocolos diferentes. Além disso, o uso do guia facilitou a criação de novos casos de teste, com foco, por exemplo, na análise da compatibilidade de protocolos e na verificação da consistência na troca de mensagens entre dispositivos. Portanto, a observação do comportamento real de aplicações IoT é um passo essencial para garantir que os testes reflitam com precisão os desafios enfrentados na integração de sistemas diversos.

5.1.5 Avaliação do guia de interoperabilidade

A quinta atividade conduzida foi a “Avaliação do guia de interoperabilidade”, procedeu-se à Avaliação do Guia de *Interoperabilidade*. Esta avaliação foi realizada em três etapas, ambas destinadas a garantir a qualidade do guia proposto.

Na primeira etapa, um especialista do domínio avaliou o guia. É relevante mencionar que este especialista não apenas desenvolveu a abordagem de instanciação do guia, mas também construiu uma versão para avaliar a característica de Desempenho em IoT (CARVALHO *et al.*,

¹ A aplicação web Rottas-UFC foi disponibilizada pelos autores e está em processo de registro sob o número: 512024000782-2.

2022). A partir dessa avaliação especializada, diversas melhorias foram sugeridas e incorporadas ao guia, tais como a adição de novos casos de teste para abranger cenários mais complexos, a inclusão de exemplos detalhados dos desafios encontrados na interoperabilidade, a introdução de figuras ilustrativas que correlacionam características e medidas relevantes, além da criação de uma tabela de correlação entre medidas, casos de teste e subcaracterísticas avaliadas.

Na segunda etapa, foram realizadas duas avaliações. Primeiramente, o guia foi avaliado utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (DAVIS, 1989) e, em paralelo, um experimento controlado (WOHLIN *et al.*, 2012). A avaliação foi conduzida com uma turma, composta por alunos de graduação e pós-graduação da disciplina de Verificação e Validação de Software, ofertada no semestre 2023.2 na Universidade Federal do Ceará.

Após o experimento controlado, o guia foi avaliado por pesquisadores e especialistas de qualidade que atuam na indústria. Essas avaliações proporcionaram *insights* valiosos sobre a eficácia do guia, contribuindo para ajustes adicionais e melhorias contínuas do guia.

Concomitantemente às etapas de avaliação do guia, todo o material de instrumentação necessário para a execução do experimento controlado foi desenvolvido², garantindo a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

5.1.6 Refinamento do guia

A última atividade consistiu do refinamento do guia com o intuito de aprimorar a sua utilidade e eficácia. Esta etapa visou a melhoria do guia, utilizando as análises e avaliações realizadas nas atividades de observação e avaliação como base. Dessa forma, a análise de uma aplicação real e os *feedbacks* recebidos tanto pelo especialista quanto pelas avaliações dos alunos foram incorporadas para refiná-lo.

Após as três avaliações realizadas, foi possível identificar áreas de aprimoramento no guia. Como resultado, foram criados novos casos de teste para abranger uma variedade mais ampla de cenários de *Interoperabilidade*. Além disso, a fórmula do custo-benefício foi refinada, levando em consideração os *feedbacks* recebidos e as análises realizadas. As figuras das correlações de características também foram reestruturadas para proporcionar uma melhor compreensão e usabilidade do guia. Com essas melhorias implementadas, uma nova versão consolidada do guia foi desenvolvida, visando aumentar sua utilidade e eficácia na avaliação da *Interoperabilidade*

² https://drive.google.com/drive/folders/1yeQ4aOVYX_5ln8IGn5PSnPjADPrJ8V_G?usp=sharing

em ambientes de IoT.

5.2 Visão Geral do Guia de Teste Interoperabilidade

O guia de teste de *Interoperabilidade* foi desenvolvido para oferecer uma abordagem abrangente para avaliar a *Interoperabilidade* em diferentes cenários de aplicações IoT. O objetivo principal é garantir que o guia cubra uma gama diversificada de situações e desafios que podem surgir na integração de dispositivos e sistemas variados, proporcionando uma avaliação detalhada e eficaz da compatibilidade e funcionalidade em contextos diversos.

No guia, a característica de *Interoperabilidade* foi subdividida em quatro subcaracterísticas (Semântica de dados, Protocolo de comunicação, Integração de sistema e Protocolos de rede). Para cada subcaracterística o guia fornece tópicos referentes às suas definições, propriedades, casos de teste e medidas.

O Guia está estruturado em 12 tópicos organizados em seções. A sua versão completa está disponível no repositório deste estudo³. A seguir são apresentadas as seções do Guia de Teste de *Interoperabilidade*.

5.2.1 Definição de interoperabilidade

Este tópico do guia tem por objetivo apresentar as definições da característica avaliada para uniformizar o conhecimento sobre o que será testado, principalmente, para engenheiros de software e profissionais que são de diferentes áreas de atuação (*e.g.*, Engenharia de Software, Redes de computadores).

O primeiro tópico do Guia de *Interoperabilidade* apresenta seis “Definições de interoperabilidade”, extraídas da literatura e das normas ISO/IEC 21823 (2022) e ISO/IEC 30141(2018) (ISO/IEC 21823, 2022; ISO/IEC 30141, 2018). A seguir são apresentadas as seis definições:

1. “A *interoperabilidade* é a capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes de trocar informações e usar as informações que foram trocadas.”(LEGNER; WENDE, 2006)
2. “A *interoperabilidade* é a capacidade de diferentes sistemas e organizações para trabalhar juntos (troca de informações e ações) de forma eficaz e eficiente.” (ISO/IEC 30141, 2018)
3. “A *interoperabilidade* pode ser definida como um estado em que duas aplicações podem aceitar e compreender os dados do outro e realizar uma determinada tarefa de forma

³ <https://drive.google.com/drive/folders/1C2hkXRRLsfTeJIKOJzqbAo9mHFN9-yuT?usp=sharing>

satisfatória sem intervenção humana.” (GULLA et al., 2006)

4. *“A Interoperabilidade na IoT refere-se à capacidade dos dispositivos conectados (como sensores, dispositivos inteligentes, gateways etc.) de se comunicarem e interagirem de forma eficiente e transparente, independentemente de sua origem, fabricante ou protocolo de comunicação. (ISO/IEC 21823, 2022)*
5. *“A interoperabilidade é a capacidade de diferentes sistemas, dispositivos ou aplicativos se comunicarem e interagirem de forma eficiente e sem problemas.” (FERREIRA, 2014)*
6. *“A interoperabilidade é a capacidade de um sistema para trocar dados e informações com outros sistemas sem perda ou corrupção de informações.” (ISO 15926, 2011)*

5.2.2 Correlação das Características

Ao efetuar uma análise dos resultados do mapeamento sistemático apresentado por Carvalho; Lelli e Andrade (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022), foi possível identificar um conjunto de 27 características relacionadas à IoT. Com o intuito de investigar as correlações de *Interoperabilidade* entre essas características IoT, o tópico do guia intitulado “Correlação das Características”, apresenta 14 características que estão relacionadas à *Interoperabilidade* conforme ilustrado na Figura 5.

O estudo de Carvalho; Lelli e Andrade (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022) categoriza as correlações em aplicações IoT em três grupos: positivas (retângulos verdes) indicam influência favorável na *Interoperabilidade*; negativas (retângulos vermelhos) indicam o oposto; e variáveis (retângulos amarelos) dependem do contexto da aplicação testada. Conforme ilustrado na Figura 5, a característica “Disponibilidade” pode ter uma influência positiva na *Interoperabilidade* se houver servidores em número suficiente para atender à demanda e, assim, acelerar o processo de troca de mensagens, mas ter efeito negativo, caso contrário. Essas correlações desempenham um papel crucial na identificação de potenciais conflitos que podem surgir no teste de aplicações IoT (CARVALHO *et al.*, 2022).

As definições das características IoT correlacionadas à *Interoperabilidade* foram elencadas no guia com base nas ISO/IEC 25010:2011 (ISO/IEC 25010, 2011; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2008). A seguir, apresentam-se as definições:

1. **Disponibilidade:** refere-se à capacidade do sistema de permanecer operacional e acessível quando necessário, minimizando interrupções e falhas. Em aplicações IoT, elevados

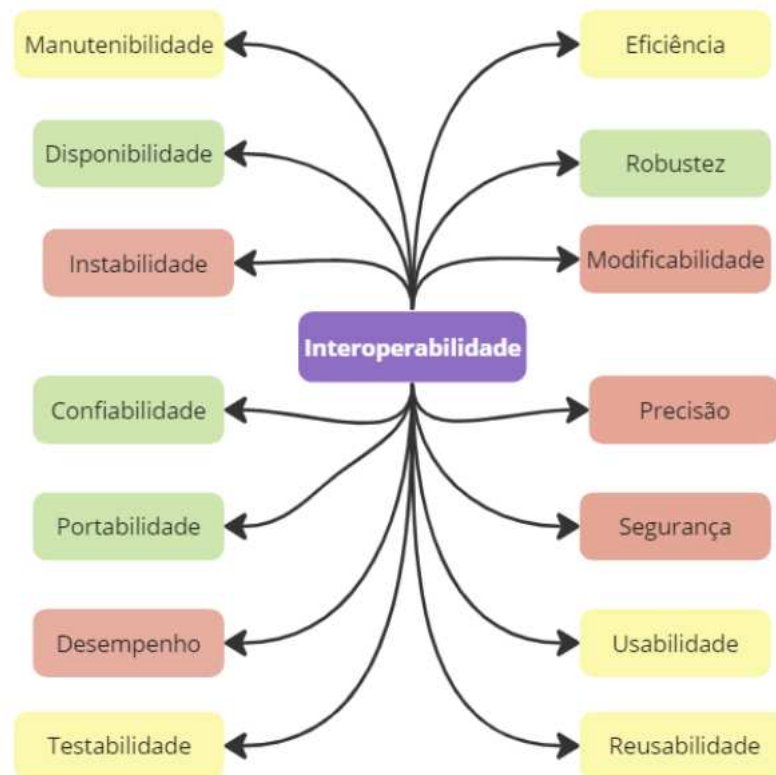


Figura 5 – Correlações das características da IoT com *Interoperabilidade*

níveis de disponibilidade favorecem a comunicação contínua entre dispositivos e serviços distribuídos, contribuindo para a efetiva troca de dados (LI *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2021; NOURA *et al.*, 2019a).

2. **Instabilidade:** relaciona-se à propensão do sistema a falhas ou quedas inesperadas, resultando em um funcionamento inconsistente. Ambientes instáveis prejudicam a sincronização e a integração entre componentes heterogêneos, impactando negativamente a interoperabilidade (XIONG *et al.*, 2018; NOUBIR; KHOKHAR, 2020).
3. **Desempenho:** diz respeito à capacidade do sistema de responder eficazmente às solicitações e operar dentro de tempos aceitáveis. Atrasos excessivos na transmissão de dados podem comprometer a integração entre dispositivos e serviços IoT, especialmente em aplicações distribuídas (LI *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2021).
4. **Portabilidade:** refere-se à facilidade com que um sistema pode ser adaptado a diferentes ambientes ou plataformas sem perda significativa de funcionalidade. Sistemas portáteis tendem a favorecer a interoperabilidade ao possibilitar sua execução em múltiplas infraestruturas e domínios de aplicação (NOURA *et al.*, 2019a; SIVASHANMUGAM *et al.*, 2014).

5. **Confiabilidade:** está relacionada à capacidade do sistema de realizar suas funções de forma consistente e livre de erros ao longo do tempo. Falhas recorrentes impactam diretamente a troca de informações entre sistemas heterogêneos, comprometendo o funcionamento conjunto esperado (XIONG *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2021).
6. **Robustez:** concentra-se na capacidade do sistema de lidar com condições adversas, como entradas inesperadas ou situações de falha, mantendo sua funcionalidade. Arquiteturas robustas permitem a continuidade da comunicação mesmo diante de falhas parciais de dispositivos (NOUBIR; KHOKHAR, 2020; NOURA *et al.*, 2019a).
7. **Precisão:** refere-se à capacidade do sistema de fornecer resultados exatos e consistentes, minimizando erros. Inconsistências na representação dos dados podem gerar falhas de interpretação e comprometer a integração entre sistemas (GUINARD *et al.*, 2016; SIVASHANMUGAM *et al.*, 2014).
8. **Segurança:** está relacionada à proteção das informações e dos recursos do sistema contra acessos não autorizados e ameaças. Embora mecanismos de segurança sejam essenciais para garantir a confiabilidade da troca de dados, políticas excessivamente restritivas podem dificultar a integração entre sistemas interoperáveis (SILVA *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2018; ISO/IEC, 2018).
9. **Manutenibilidade:** diz respeito à facilidade de realizar alterações, correções ou melhorias no sistema de forma eficiente e com baixo impacto. Sistemas mais manuteníveis tendem a se adaptar melhor a novos requisitos de interoperabilidade, como mudanças em protocolos ou padrões de comunicação (RAZA; WOLTER, 2017; PETROLO *et al.*, 2018).
10. **Usabilidade:** aborda a facilidade de uso do sistema, tornando-o mais intuitivo e eficiente para os usuários. Interfaces pouco intuitivas podem dificultar a correta configuração das comunicações entre dispositivos interoperáveis (ALAM *et al.*, 2017; TARIQ *et al.*, 2018).
11. **Reusabilidade:** refere-se à capacidade de componentes ou módulos do sistema serem reutilizados em diferentes partes do software ou em outros projetos, favorecendo a integração com outras plataformas e sistemas (GUINARD *et al.*, 2016; NOURA *et al.*, 2019a).
12. **Testabilidade:** está relacionada à facilidade de realizar testes eficazes no sistema para verificar sua qualidade e funcionalidade. Ambientes com maior testabilidade permitem identificar falhas de interoperabilidade de forma antecipada (WINKLER *et al.*, 2019; KOVATSCHEK *et al.*, 2018; ALAM *et al.*, 2017).
13. **Modificabilidade:** aborda a facilidade de realizar alterações no sistema para atender a

novos requisitos ou corrigir problemas sem causar impactos indesejados. Sistemas pouco modificáveis enfrentam dificuldades em se manter compatíveis com a evolução tecnológica do ecossistema IoT (XIONG *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2021).

14. **Eficiência:** diz respeito ao uso otimizado de recursos computacionais, como CPU, memória e largura de banda. Sistemas eficientes favorecem a interoperabilidade ao evitar sobrecarga dos dispositivos; entretanto, otimizações excessivas podem comprometer o suporte a múltiplos protocolos e mecanismos de integração (LI *et al.*, 2018; NOURA *et al.*, 2019a; ISO/IEC, 2018).

5.2.3 Desafios do Teste de Interoperabilidade

Este tópico apresenta os desafios que impactam o teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Foram identificados 20 desafios. A Figura 6 apresenta esses desafios, divididos em três grupos, (i) desafios mais críticos mencionados pela literatura (linhas vermelhas); (ii) desafios mais citados na literatura (linhas verdes); e (iii) desafios observados na prática em aplicativos IoT (linhas amarelas).

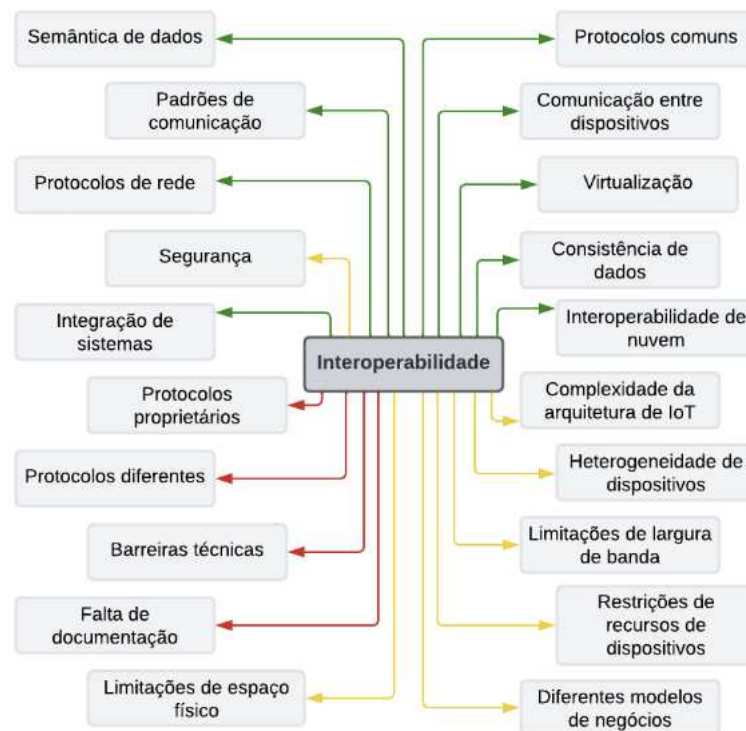


Figura 6 – Principais desafios nos testes de interoperabilidade

A seguir, são descritos os 20 desafios de *Interoperabilidade* que impactam no teste de aplicações IoT:

1. **Protocolos de rede.** O desafio de testar a compatibilidade entre diferentes protocolos de rede (por exemplo, TCP/IP, UDP, HTTP e MQTT), abordando a diversidade de protocolos, a complexidade de integração e assegurando a comunicação eficaz entre dispositivos de diferentes fabricantes. O desafio é: “*Como testar a compatibilidade entre diferentes protocolos de rede?*” (ZANELLA *et al.*, 2014).
2. **Semântica de dados.** O desafio de garantir a consistência semântica dos dados trocados entre dispositivos IoT durante os testes, evitando ambiguidades e assegurando uma interpretação comum dos dados entre dispositivos e sistemas. O desafio é: “*Como testar a consistência semântica dos dados trocados entre dispositivos IoT?*” (PERERA *et al.*, 2014).
3. **Segurança.** Os desafios relacionados à segurança envolvem testar a eficácia das medidas de proteção implementadas, garantir a integridade e confidencialidade dos dados sensíveis e assegurar que a *Interoperabilidade* não introduza vulnerabilidades. O desafio é: “*Como testar a interoperabilidade sem comprometer a segurança dos dispositivos IoT?*” (SICARI *et al.*, 2015).
4. **Padrões de comunicação.** O desafio de testar a adoção de padrões de comunicação diferentes (por exemplo, HTTP, CoAP, MQTT e AMQP) entre dispositivos IoT, lidando com a diversidade de padrões e assegurando a compatibilidade entre diferentes dispositivos para uma comunicação eficaz. O desafio é: “*Como testar a adoção de diferentes padrões de comunicação entre dispositivos IoT?*” (ATZORI *et al.*, 2010).
5. **Integração de sistemas.** O principal desafio seria testar a integração de sistemas e dispositivos IoT, lidando com a complexidade da integração, a necessidade de coordenação entre sistemas e a compatibilidade entre diferentes tecnologias. O desafio é: “*Como testar a integração de sistemas em dispositivos IoT?*” (BANDYOPADHYAY; SEN, 2011).
6. **Protocolos diferentes.** O desafio de testar a gestão da diversidade de protocolos de comunicação (por exemplo, Zigbee e Bluetooth), assegurando a compatibilidade e lidando com a complexidade das diferentes tecnologias empregadas. O desafio é: “*Como testar a adoção de diferentes padrões de comunicação entre dispositivos IoT?*” (RAYES; SALAM, 2019).
7. **Barreiras técnicas.** O desafio é testar considerando as barreiras técnicas que incluem limitações tecnológicas, como restrições de hardware (por exemplo, limitações de processamento em dispositivos de baixo custo) e software (como incompatibilidades entre

diferentes sistemas operacionais e *APIs*), que podem impedir a comunicação eficaz entre dispositivos IoT. Isso abrange dificuldades como a incompatibilidade entre diferentes tecnologias (por exemplo, diferentes tipos de sensores e atuadores que utilizam protocolos distintos) e a necessidade de desenvolver soluções inovadoras para garantir a interoperabilidade. O desafio é: “*Como testar os aspectos relacionados às barreiras técnicas para a interoperabilidade?*” (AL-FUQAHA *et al.*, 2015).

8. **Falta de documentação.** O desafio de lidar com a falta de documentação clara e detalhada sobre dispositivos e protocolos (como APIs, formatos de dados e especificações de comunicação) durante os testes, enfrentando dificuldades de integração e a necessidade de desenvolver documentação própria para entender e conectar os dispositivos corretamente. O desafio é: “*Como testar a interoperabilidade de dispositivos e protocolos que não são claramente especificados e documentados?*” (VERMESAN; FRIESS, 2011).
9. **Limitações de espaço físico.** O desafio de mitigar as limitações de espaço físico ao instalar e testar dispositivos IoT, enfrentando dificuldades relacionadas à instalação compacta e otimização do uso do espaço disponível para garantir que todos os dispositivos funcionem corretamente em um ambiente restrito. O desafio é: “*Como testar a interoperabilidade de várias aplicações IoT considerando as limitações de espaço físico durante a instalação e operação?*” (KHAN *et al.*, 2012).
10. **Modelos de negócio diferentes.** O desafio de harmonizar diferentes modelos de negócios para promover a interoperabilidade durante os testes, lidando com a diversidade de abordagens e assegurando a compatibilidade entre soluções. O desafio é: “*Como testar a harmonização de diferentes modelos de negócios para promover a interoperabilidade?*” (PORTER; HEPPELMANN, 2014).
11. **Restrições de recursos de dispositivos.** O desafio de testar a superação das restrições de recursos dos dispositivos IoT, incluindo limitações de energia, memória e capacidade de processamento, otimizando o desempenho e garantindo funcionalidade com recursos limitados. O desafio é: “*Como testar as restrições de recursos dos dispositivos IoT?*” (CALDAS, 2023).
12. **Limitações de largura de banda.** O desafio de testar a gestão das limitações de largura de banda em redes IoT (como redes LoRaWAN com baixa largura de banda ou redes 5G com alta largura de banda), otimizando a transmissão de dados e garantindo a comunicação eficiente entre dispositivos de diferentes fabricantes. Isso inclui avaliar como as restrições

de largura de banda impactam a interoperabilidade e a eficiência da troca de informações entre sistemas distintos. O desafio é: “*Como testar a interoperabilidade entre dispositivos IoT quando há limitações de largura de banda na rede, garantindo uma comunicação eficiente?*” (PALATTELLA *et al.*, 2013).

13. **Heterogeneidade de dispositivos.** O desafio de testar a compatibilidade e gerenciar a complexidade da integração de dispositivos com diferentes capacidades, protocolos e fabricantes. O desafio é: “*Como testar a compatibilidade e gerenciar a heterogeneidade dos dispositivos IoT?*” (NOURA *et al.*, 2019b).
14. **Complexidade da arquitetura IoT.** O desafio de simplificar a complexidade da arquitetura IoT para melhorar a interoperabilidade durante os testes, reduzindo a complexidade herdada pelos testes ao lidar com a coordenação entre múltiplas camadas e componentes do sistema. O desafio é: “*Como lidar com a complexidade da arquitetura IoT na condução dos testes de Interoperabilidade?*” (BORGIA, 2014).
15. **Interoperabilidade na nuvem.** O desafio de testar a interoperabilidade entre diferentes serviços em nuvem, lidando com a diversidade de serviços, garantindo compatibilidade e integrando diferentes plataformas. O desafio é: “*Como testar a interoperabilidade entre diferentes serviços em nuvem?*” (BOTTA *et al.*, 2016).
16. **Consistência de dados.** O desafio de garantir a consistência dos dados entre dispositivos IoT durante os testes, lidando com a verificação e correção de dados inconsistentes e assegurando a precisão dos dados. O desafio é: “*Como testar a consistência dos dados entre dispositivos IoT?*” (ZASLAVSKY *et al.*, 2013).
17. **Protocolos proprietários.** O desafio de testar a interoperabilidade entre dispositivos IoT que utilizam protocolos proprietários (por exemplo, protocolos específicos de fabricantes para automação residencial), assegurando a comunicação e integração eficazes apesar das especificações e implementações fechadas. Isso inclui lidar com a falta de documentação aberta e a necessidade de adaptar ou desenvolver interfaces para compatibilizar dispositivos que utilizam protocolos exclusivos. O desafio é: “*Como testar a interoperabilidade entre dispositivos IoT que utilizam protocolos proprietários?*” (NOURA *et al.*, 2019a).
18. **Virtualização.** O desafio de usar a virtualização para melhorar a interoperabilidade durante os testes, lidando com a implementação e gerenciamento de recursos virtualizados e assegurando compatibilidade. O desafio é: “*Como testar a virtualização para melhorar a interoperabilidade?*” (KREUTZ *et al.*, 2015).

19. **Comunicação entre dispositivos.** O desafio de garantir uma comunicação eficaz entre dispositivos IoT durante os testes, padronizando os testes para atender tanto a aplicações que utilizam protocolos comuns quanto a aplicações que empregam protocolos diferentes. Isso inclui lidar com a diversidade de protocolos, assegurar a compatibilidade e gerenciar a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes. O desafio é: “*Como testar a comunicação eficaz entre dispositivos IoT de forma padronizada, considerando a diversidade de protocolos comuns e diferentes utilizados nas aplicações?*” (SICARI *et al.*, 2013).
20. **Protocolos comuns.** O desafio de garantir a eficácia dos testes para aplicações IoT que utilizam protocolos diferentes, assegurando a compatibilidade e a comunicação eficiente entre dispositivos de diversos padrões. O desafio é: “*Como padronizar os testes para garantir a interoperabilidade entre dispositivos IoT que utilizam diferentes protocolos?*” (SHELBY *et al.*, 2016).

5.2.4 Configuração do ambiente

Para criar um ambiente de teste eficaz para *Interoperabilidade* em IoT, é essencial incluir diversos componentes básicos, tais como um ou mais dispositivos IoT, infraestrutura de rede, atuadores e um aplicativo responsável pela tomada de decisões e envio de comandos. A construção de um ambiente diversificado, que abranja diferentes dispositivos, protocolos, fabricantes e condições de rede, é fundamental para assegurar que os dispositivos IoT possam comunicar-se de maneira eficaz em cenários reais, independentemente de suas diferenças técnicas. Para simular a *Interoperabilidade*, o ambiente de teste pode incluir, por exemplo:

Dispositivos de IoT. A avaliação da interoperabilidade em IoT exige a utilização de dispositivos que possam se comunicar entre si. Esses dispositivos incluem sensores, dispositivos de controle, dispositivos de rede e outros compatíveis com o protocolo de comunicação escolhido. Por exemplo, podem ser utilizados sensores de temperatura de fabricantes A, B e C, e atuadores de iluminação de fabricantes X, Y e Z, para garantir a comunicação eficaz entre diferentes tipos de equipamentos.

Infraestrutura de Rede. A infraestrutura de rede deve ser configurada para permitir a comunicação contínua e segura entre os dispositivos IoT. Esta configuração pode envolver a utilização de redes sem fio, como Wi-Fi e Bluetooth, bem como switches, roteadores e firewalls.

Testes podem ser realizados em redes Wi-Fi, redes celulares e redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) para avaliar a interoperabilidade em diversos ambientes de rede.

Atuadores. Atuadores são dispositivos essenciais que executam ações baseadas nas informações recebidas dos sensores ou em comandos de sistemas externos. Para a avaliação da interoperabilidade, atuadores como aqueles responsáveis por abrir e fechar cortinas, ajustar a temperatura do termostato e ligar ou desligar aparelhos eletrônicos são considerados importantes para testar a interação e controle dos sistemas.

Aplicações para Tomada de Decisões e Envio de Comandos. Aplicações ou plataformas que tomam decisões com base nas informações fornecidas pelos dispositivos IoT e enviam comandos para controlá-los são cruciais. Essas aplicações devem ser capazes de se comunicar com dispositivos de diferentes fabricantes e protocolos, assegurando a interoperabilidade do sistema.

5.2.5 Subcaracterísticas

A característica de *Interoperabilidade* foi subdividida em quatro subcaracterísticas, conforme ilustrado na Figura 7. As quatro subcaracterísticas identificadas são: *Semântica dos Dados*, *Protocolos de Comunicação*, *Integração de Sistemas* e *Protocolos de Rede*. Segundo a abordagem de instanciação proposta por Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022), se uma característica selecionada possui subcaracterísticas, a próxima etapa é analisar e estruturar os dados para cada uma delas. No guia, para cada subcaracterística são apresentados os seguintes tópicos: ‘Definição da Subcaracterística’, ‘Contextualização’, ‘Casos de Teste Abstratos’ e ‘Medidas’. As definições foram extraídas das normas ISO/IEC 30141:2018 (ISO/IEC 30141, 2018). A seguir são apresentados esses tópicos para cada subcaracterística.

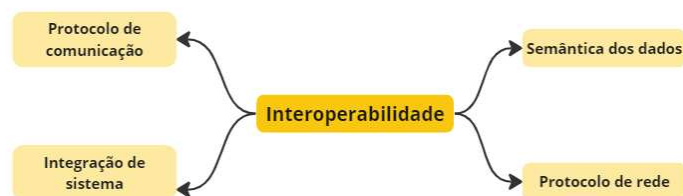


Figura 7 – Subcaracterísticas da Interoperabilidade

– **Definição da Subcaracterística:** apresentam uma descrição formal da subcaracterística,

baseada nas normas ISO/IEC, e esclarece o que se entende por essa subcaracterística no contexto de *Interoperabilidade*.

- **Contextualização:** apresenta a subcaracterística no contexto de sistemas IoT, explicando sua importância e os desafios específicos que ela apresenta para garantir a *Interoperabilidade* eficaz.
- **Casos de Teste Abstratos:** apresenta exemplos de casos de teste abstratos que podem ser utilizados para criar casos de teste concreto. Os casos de teste são cenários hipotéticos desenvolvidos para avaliar o comportamento da subcaracterística em condições variadas.
- **Medidas:** apresenta medidas e métodos de avaliação utilizados para medir a eficácia da *Interoperabilidade* da subcaracterística, garantindo que os dispositivos IoT possam funcionar corretamente em diferentes cenários.

1. Semântica dos Dados

- **Definição.** De acordo com a norma ISO/IEC 30141:2018 (ISO/IEC 30141, 2018), a semântica de dados refere-se ao significado e contexto dos dados. É a capacidade de interpretar e compreender o significado dos dados, permitindo que diferentes sistemas e dispositivos compartilhem e utilizem dados de maneira consistente e eficiente.
- **Contextualização.** No contexto de IoT, a semântica de dados refere-se à capacidade de garantir que os dispositivos e sistemas de IoT compartilhem informações de maneira eficiente e precisa, mesmo que utilizem diferentes formatos de dados ou terminologias.
- **Propriedades.** foram identificadas oito propriedades: *interpretação comum, harmonização de terminologias, mapeamento de dados, compatibilidade semântica, consistência, precisão, compreensão de vocabulário e coerência semântica.*
- **Casos de teste abstratos:** foram elaborados seis casos de teste abstratos para a subcaracterística *semântica dos Dados*. Um exemplo desses casos de teste é apresentado na Tabela 7.
- **Medidas:** quatro medidas foram desenvolvidas para avaliar a subcaracterística *Semântica dos Dados*. Um exemplo de medida para *Semântica dos Dados* é apresentado na Tabela 8.

2. Protocolos de Comunicação.

- **Definição.** De acordo com a norma ISO/IEC 30141:2018 (ISO/IEC 30141, 2018) em um ambiente de IoT, é comum que dispositivos e sistemas sejam produzidos por

Tabela 7 – Caso de Teste “Leitura de Dados” para Semântica de Dados
Caso de Teste 1 - CT01

Título:	Leitura de dados
Ambiente de Teste:	Uma rede de dispositivos IoT heterogêneos.
Pré-condição:	Dispositivos conectados à mesma rede Wi-Fi.
Passo a Passo:	a) Iniciar o aplicativo móvel b) Selecionar a leitura de um dado c) Verificar o dado exibido na tela
Pós-condições:	O dado exibido na tela do dispositivo móvel deve corresponder ao mesmo dado solicitado pelo atuador.

Tabela 8 – Medida “Capacidade de dispositivos” para semântica dos dados
Capacidade de dispositivos - M01

Propósito:	Avaliar a capacidade de diferentes dispositivos IoT interagirem uns com os outros de forma eficaz.
Método:	Realizar testes de interoperabilidade com diferentes combinações de dispositivos IoT e medir a taxa de sucesso das interações.
Medida:	Taxa de sucesso de interações entre dispositivos IoT, medida como a proporção de interações bem-sucedidas em relação ao número total de interações realizadas. Taxa de Sucesso (%)= (Número de interações bem-sucedidas / Número total de interações) x 100
Explicação:	Essa fórmula calcula a taxa de sucesso em porcentagem, onde o número de interações bem-sucedidas é dividido pelo número total de interações realizadas e multiplicado por 100 para obter a representação em porcentagem. Essa fórmula permitirá que você quantifique a eficácia da interoperabilidade entre dispositivos IoT em seu teste.
Referência:	ISO 30141:2018 e Atzori et al. (2014)

diferentes fabricantes e possuam diferentes especificações técnicas. Sem padrões de comunicação estabelecidos, pode ser difícil ou impossível para esses dispositivos se comunicarem e compartilharem dados. Portanto, a interoperabilidade em IoT depende da existência e adesão a padrões de comunicação bem definidos.

- **Contextualização.** Protocolo de comunicação refere-se a um conjunto de especificações técnicas que definem as regras e os padrões de comunicação para permitir a Interoperabilidade entre dispositivos em um ambiente de IoT.
- **Propriedades.** foram identificadas sete propriedades: *Compatibilidade; Consistência; Segurança; Escalabilidade; Flexibilidade; Taxa de Erro de Transmissão; e Interoperabilidade de plataforma cruzada.*

- **Casos de teste abstratos.** sete casos de teste abstratos foram elaborados para a subcaracterística *Protocolo de comunicação*. Um exemplo desses casos de teste é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Caso de teste “Padrões de comunicação” para Protocolo de comunicação

Caso de Teste 07 - CT07	
Título	Teste de Padrões de Comunicação em Dispositivos IoT
Ambiente de Teste	Dois dispositivos IoT de fabricantes diferentes (Dispositivo A e Dispositivo B).
Pré-condição	Dispositivos conectados à mesma rede Wi-Fi.
Passo a Passo	a) Inicie a comunicação entre Dispositivo A e Dispositivo B por meio da plataforma IoT. b) Envie um conjunto de dados de teste contendo leituras de dados a partir de Dispositivo A para Dispositivo B. c) Verifique se o Dispositivo B interpreta corretamente os dados. d) Repita o processo, mas desta vez, envie os dados de teste do Dispositivo B para Dispositivo A.
Pós-condições	Ambos os dispositivos (A e B) foram capazes de interpretar e compreender corretamente os dados enviados pelo outro.

- **Medidas.** cinco medidas foram desenvolvidas para avaliar a subcaracterística *Protocolo de Comunicação*. Um exemplo de medida para *Protocolo de comunicação* é apresentado na Tabela 10.

3. Integração de Sistemas.

- **Definição.** A norma ISO 30141:2018 (ISO/IEC 30141, 2018) estabelece a integração de sistema como a habilidade dos sistemas em estabelecer conexões, realizar comunicações e interações com outros sistemas e serviços.
- **Contextualização.** A capacidade de integrar diferentes sistemas e dispositivos é crucial para garantir a comunicação eficaz e a interação entre componentes heterogêneos.
- **Propriedades.** foram identificadas quatro propriedades: *Compatibilidade de protocolos; Compatibilidade de dados; Confiabilidade; e Escalabilidade.*
- **Casos de teste abstratos.** quatro casos de teste abstratos foram elaborados para sub-

Tabela 10 – Medida “Taxa de sucesso para conexão” para protocolo de comunicação

Taxa de Sucesso para Conexão - M08	
Propósito	Avaliar a efetividade dos padrões de comunicação em estabelecer conexões entre dispositivos em uma rede de IoT.
Método	Tentar estabelecer uma conexão entre dispositivos em uma rede de IoT e contabilizar o número de conexões bem-sucedidas.
Medida	$X = \text{número de conexões bem-sucedidas} / \text{número total de tentativas de conexão}$
Explicação	Essa fórmula representa a proporção de conexões que foram estabelecidas com sucesso em relação ao número total de tentativas de conexão realizadas.
Referência	ISO/IEC 29341-8-20:2016

característica *Integração de sistema*. Um exemplo desses casos de teste é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Caso de teste abstrato “Interoperabilidade entre dispositivo” para integração de sistema

Caso de Teste 14 - CT14	
Título	Teste de interoperabilidade entre dispositivos
Ambiente de Teste	Rede de dispositivos IoT
Pré-condição	Todos os dispositivos da rede estão devidamente configurados e conectados.
Passo a Passo	<ol style="list-style-type: none"> a) Inicie o sistema de automação b) Envie um comando de ativação para um dispositivo A usando o protocolo X. Verifique se o dispositivo A responde corretamente e executa a ação esperada. c) Envie um comando de ativação para um dispositivo B usando o protocolo Y. d) Verifique se o dispositivo B responde corretamente e executa a ação esperada. e) Certifique-se de que não haja conflitos ou problemas de comunicação entre os dispositivos de diferentes protocolos.
Pós-condições	Os dispositivos devem ser capazes de se comunicar e trocar informações.

– **Medidas.** quatro medidas foram desenvolvidas para avaliar a subcaracterística *Integração de sistema*. Um exemplo de medida para *Integração de sistema* é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Medida “Taxa de sucesso” para protocolo de rede

Taxa de Sucesso na Integração de Sistema - M10	
Propósito	Avaliar a eficácia da interoperabilidade de serviços em um ambiente IoT.
Método	Registrar o número de tentativas de interoperabilidade e o número de tentativas bem-sucedidas durante um período de tempo específico.
Medida	$X = (n1 / n2) \times 100\%$ X = taxa de sucesso na integração de sistemas n1 = número de tentativas bem-sucedidas n2 = número total de tentativas realizadas
Explicação	Essa medida calcula a eficácia da interoperabilidade de serviços em um ambiente IoT, representando a porcentagem de tentativas de interoperabilidade que foram bem-sucedidas em relação ao número total de tentativas realizadas. Quanto maior o valor de X, maior é a taxa de sucesso na integração de sistemas, indicando um melhor desempenho na interoperabilidade de serviços.
Referência	ISO/IEC 30141:2018

4. Protocolos de Rede.

- **Definição.** A norma ISO/IEC 30141:2018 define protocolos de rede como um elemento essencial da *Interoperabilidade* em sistemas de IoT, que permite a comunicação entre dispositivos, serviços e aplicativos em uma rede. O protocolo de rede define regras e padrões para troca de dados, sincronização e coordenação de operações entre dispositivos permitindo a *Interoperabilidade* e integração de sistemas heterogêneos.
- **Contextualização.** Com a crescente expansão da IoT e o aumento exponencial no número de dispositivos e sistemas conectados, a *Interoperabilidade* tornou-se um requisito essencial para assegurar uma comunicação eficaz e a troca de informações entre eles. Os protocolos de rede permitem que dispositivos e serviços de diferentes fabricantes e tecnologias possam se conectar e interagir de maneira eficiente.
- **Propriedades:** foram identificadas cinco propriedades: *Compatibilidade; Escalabilidade; Segurança; Eficiência energética e Latência.*
- **Casos de teste abstratos:** seis casos de teste abstratos foram elaborados para subcaracterística *Protocolos de rede*. Um exemplo desses casos de teste é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Caso de teste abstrato “Teste de compatibilidade” para protocolo de rede

Caso de Teste 19 - CT19	
Título	Teste de Compatibilidade de Protocolo de Rede
Ambiente de Teste	Sistema IoT com dispositivos de diferentes fornecedores conectados por meio de protocolos de rede distintos.
Pré-condição	Os dispositivos estão configurados corretamente e conectados à rede.
Passo a Passo	1 - Verificar se todos os dispositivos estão conectados e funcionando corretamente. 2 - Enviar dados de um dispositivo para outro por meio do protocolo de rede. 3 - Verificar se os dados foram recebidos corretamente pelo dispositivo de destino.
Pós-condições	Os dados foram transmitidos com sucesso e os dispositivos foram capazes de interoperar usando os protocolos de rede correspondentes.

- **Medidas.** cinco medidas foram desenvolvidas para avaliar a subcaracterística *Protocolo de rede*. Um exemplo de medida para *Protocolo de rede* é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Medida “Taxa de transferência” para protocolo de Rede

Taxa de Transferência de Rede - M16	
Propósito	Avaliar a quantidade de dados que podem ser transmitidos entre dispositivos em um determinado período de tempo.
Método	Enviar um conjunto de dados de tamanho conhecido do dispositivo A para o dispositivo B e medir o tempo necessário para a transmissão completa.
Medida	$X = S/t$, onde S é o tamanho dos dados enviados e t é o tempo necessário para a transmissão completa.
Explicação	Essa medida expressa quantos dados podem ser transmitidos de um dispositivo A para um dispositivo B em um determinado período de tempo, representando a eficiência da rede de comunicação em questão. Quanto maior o valor de X, mais rápida é a taxa de transferência da rede. Essa medida é útil para avaliar o desempenho e a capacidade de comunicação de dispositivos e sistemas, sendo uma métrica importante em contextos como a Internet das Coisas (IoT).
Referência	ISO/IEC 30141:2018 - Information technology – Internet of Things (IoT) – Part 4: Communication protocols.

De maneira análoga, a contextualização das subcaracterísticas de *Interoperabilidade* é apresentada nas subseções do guia. Essas subseções detalham as subcaracterísticas extraídas da análise da literatura. Ao utilizar o guia de teste de interoperabilidade, um profissional ou usuário experiente pode selecionar as subcaracterísticas, os casos de teste e as medições a serem

avaliadas, conforme o contexto da aplicação. É importante destacar que tais escolhas podem impactar diretamente a avaliação da aplicação, especialmente no que se refere à característica de interoperabilidade.

Foram especificados 25 casos de teste abstratos para as quatro subcaracterísticas da *Interoperabilidade*. Desses, seis são detalhados para Semântica dos Dados”, sete para Protocolo de Comunicação”, cinco para Integração de Sistemas” e sete para Protocolos de Rede”. Cada caso de teste segue a mesma estrutura: o título descreve a natureza do teste, o ambiente de teste especifica as configurações necessárias, as pré-condições estabelecem o estado prévio necessário, o passo a passo fornece instruções detalhadas para a execução e as pós-condições indicam o estado resultante após a conclusão do teste.

Além dos casos de teste, medidas específicas foram selecionadas para cada subcaracterística. Das 19 medidas identificadas na literatura para auxiliar na avaliação da *Interoperabilidade*: quatro foram relacionadas a Semântica dos Dados”, cinco ao Protocolo de Comunicação”, cinco à Integração de Sistemas” e cinco ao Protocolo de Rede”.

5.2.6 Impacto das subcaracterísticas

Os impactos das subcaracterísticas de *Interoperabilidade* em IoT podem ser significativos. A falta de *Interoperabilidade* pode resultar em sistemas incompatíveis que não conseguem se comunicar entre si, limitando a eficiência e a eficácia da IoT. Além disso, a falta de segurança pode levar a violações de privacidade e vulnerabilidades, enquanto a ausência de uma interpretação comum dos dados pode resultar em falhas de comunicação. Portanto, a *Interoperabilidade* é uma característica crítica da IoT, e as subcaracterísticas relacionadas devem ser gerenciadas adequadamente para garantir que os dispositivos IoT possam se comunicar e operar juntos de forma eficiente e segura.

As subcaracterísticas de *Interoperabilidade* estão interligadas de forma a impactar diretamente umas às outras, o que implica que a ausência de uma subcaracterística pode prejudicar o desempenho das demais. Dessa forma, é essencial adotar uma abordagem integral na validação da interoperabilidade, considerando o contexto da aplicação. Essa abordagem pode ser implementada por meio de testes que avaliem as subcaracterísticas em conjunto ou através da implementação de soluções que abordem as propriedades afetadas pelas diferentes subcaracterísticas de “*Interoperabilidade*”.

Para estabelecer as interações entre as quatro subcaracterísticas de *Interoperabilidade*, é essencial analisar quais delas influenciam as propriedades das outras subcaracterísticas. A Figura 8 ilustra as correlações das propriedades da subcaracterística “**Semântica de Dados**” com as propriedades das outras três subcaracterísticas de *Interoperabilidade*. As cores representam as propriedades das outras subcaracterística: (i) verde para “Integração de Sistemas”; (ii) azul para “Protocolo de Comunicação”; e (iii) vermelho para “Protocolo de Rede”.

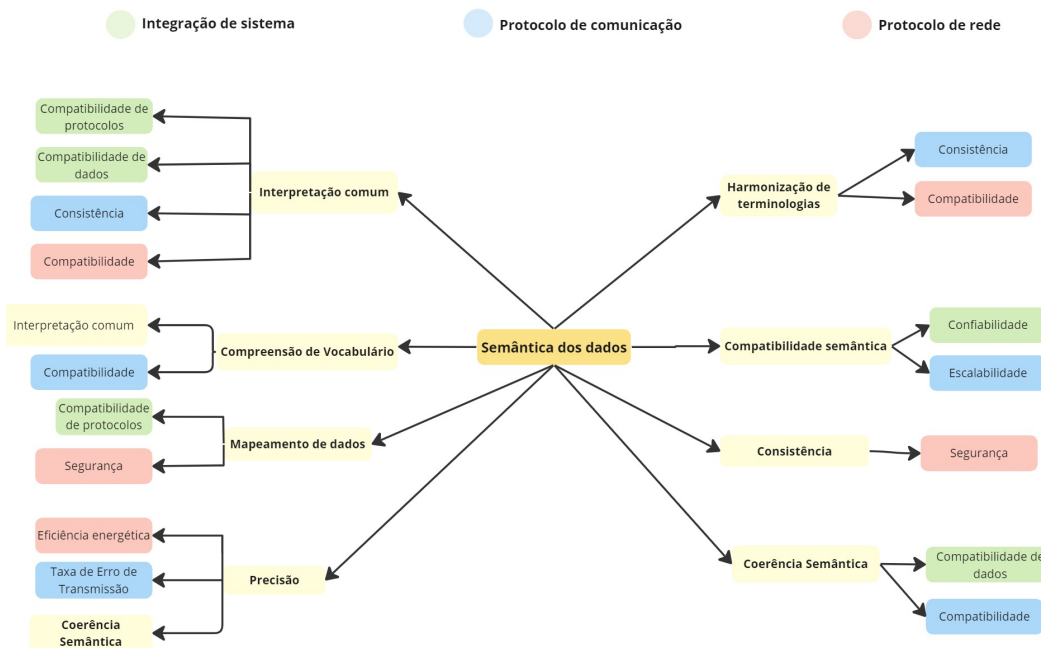


Figura 8 – Relacionamento das propriedades de “Semântica dos Dados” com as demais propriedades das subcaracterísticas

Ao avaliar a propriedade “Interpretação Comum” de “Semântica de Dados”, é necessário considerar a avaliação das propriedades das outras subcaracterísticas “Compatibilidade de Protocolo” (Protocolo de Comunicação), “Compatibilidade de Dados” (Integração de Sistemas), “Consistência” (Protocolo de Rede) e “Compatibilidade” (Integração de Sistemas). Isso ocorre porque a “Interpretação Comum” depende dessas propriedades para garantir que os dispositivos IoT possam compreender e interpretar os dados de maneira uniforme e eficaz.

Assim, a análise das propriedades de “Semântica de Dados” demanda uma abordagem integrada. É necessário considerar as inter-relações entre as subcaracterísticas e suas respectivas propriedades para garantir uma avaliação abrangente e precisa. É apresentado uma tabela que mostra essa relação entre as subcaracterísticas e suas propriedades correspondentes (ver apêndice I). Além disso, as Figuras 9, 10 e 11 ilustram as correlações das propriedades das subcaracterísticas “Integração de sistema”, “Protocolo de rede” e “Protocolo de comunicação”

com outras áreas relevantes. Essas imagens ajudam a identificar quais propriedades devem ser selecionadas e avaliadas em conjunto, visando uma interoperabilidade eficiente e segura no contexto de aplicações IoT.

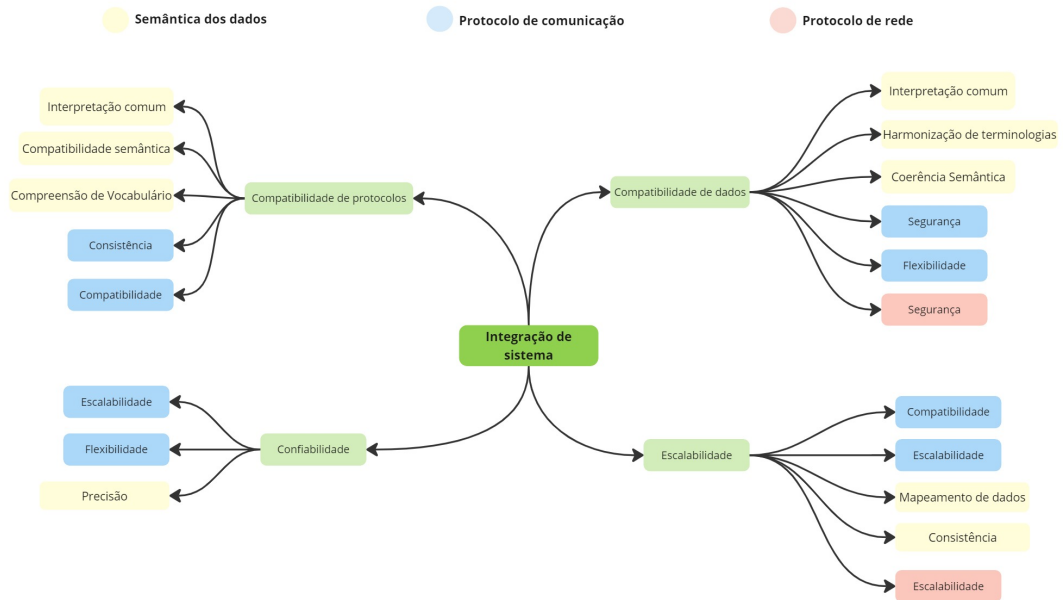


Figura 9 –Relacionamento das propriedades de “Integração de sistema” com as demais propriedades das subcaracterística

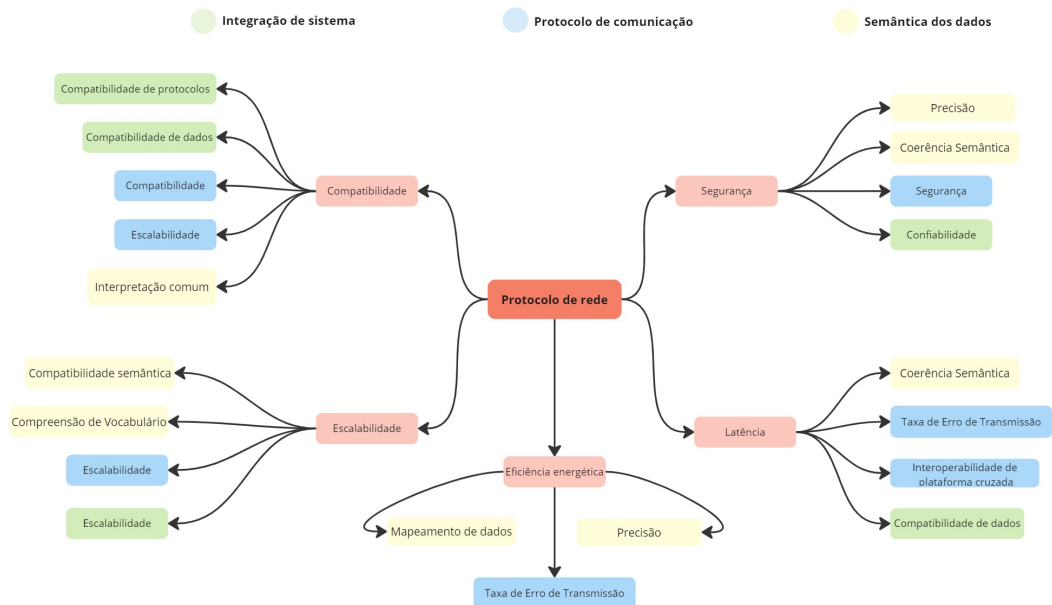


Figura 10 –Relacionamento das propriedades de “Protocolo de rede” com as demais propriedades das subcaracterística

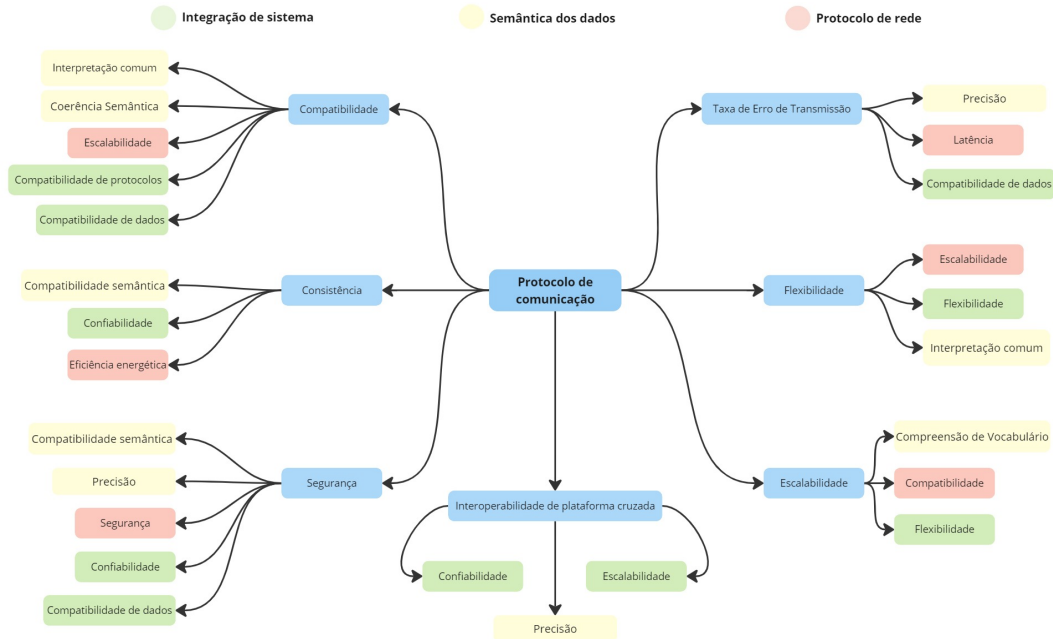


Figura 11 –Relacionamento das propriedades de “Protocolo de rede” com as demais propriedades das subcaracterística

5.2.7 Custo-benefício

O cálculo do custo-benefício (CB) é baseado na fórmula proposta por (CARVALHO *et al.*, 2022). Segundo os autores, o “custo-benefício” avalia o esforço de teste com base nas correlações das características de IoT (CARVALHO *et al.*, 2022). O cálculo do CB considera o impacto de uma característica de IoT, associado ao custo dos testes, utilizando parâmetros específicos. Assim, a fórmula do CB pode ser aplicada para avaliar a característica de Interoperabilidade, na qual identificamos 14 características correlacionadas. O cálculo da fórmula do CB é descrito abaixo.

$$CI = ORC/RC \quad (5.1)$$

- ORC: número de características correlacionadas à interoperabilidade priorizadas na aplicação
- RC: número total de características relacionadas à interoperabilidade

As métricas de Impacto (CI) e Esforço são utilizadas para calcular a relação custo-benefício, auxiliando na priorização dos testes. O cálculo consiste na estimativa do custo de cada caso de teste com base no tempo médio de execução e na taxa horária do testador, utilizando a seguinte fórmula:

$$CT_i = TC_i * VHC_i \quad (5.2)$$

- CT_i : Custo estimado para executar o caso de teste
- TC_i : Tempo médio de um testador para executar um caso de teste
- VHC_i : Valor da hora do testador que executará o caso de teste

Quando todos os CTs são concluídos, o maior valor encontrado é obtido da seguinte forma:

$$MCT = \max(CT) \quad (5.3)$$

- MCT: maior custo para a execução do caso de teste
- CT: todas as estimativas de custo

A normalização dos custos médios dos casos de teste é feita da seguinte forma:

$$CCT = \left(\sum_{i=1}^n CT_i / MCT \right) / n \quad (5.4)$$

- CCT: custo médio dos casos de teste padronizados
- CT_i / MCT : valor estimado do custo do caso de teste i normalizado pelo maior custo
- n : número de casos de teste

O mesmo processo é repetido para as medições para obter o CMD:

$$CMD = \text{custo médio das medições padronizadas.} \quad (5.5)$$

Assim, o Esforço (ESF) é definido da seguinte forma:

$$ESF = (CCT + CMD) / 2 \quad (5.6)$$

O resultado é analisado a partir de um plano cartesiano que varia de 0 a 1 e depende do quadrante mostrado na Figura 12.

Na relação Custo-Benefício da Interoperabilidade, o eixo x representa o Impacto (CI) e o eixo y representa o Esforço (ESF). Os testes são priorizados da seguinte forma:

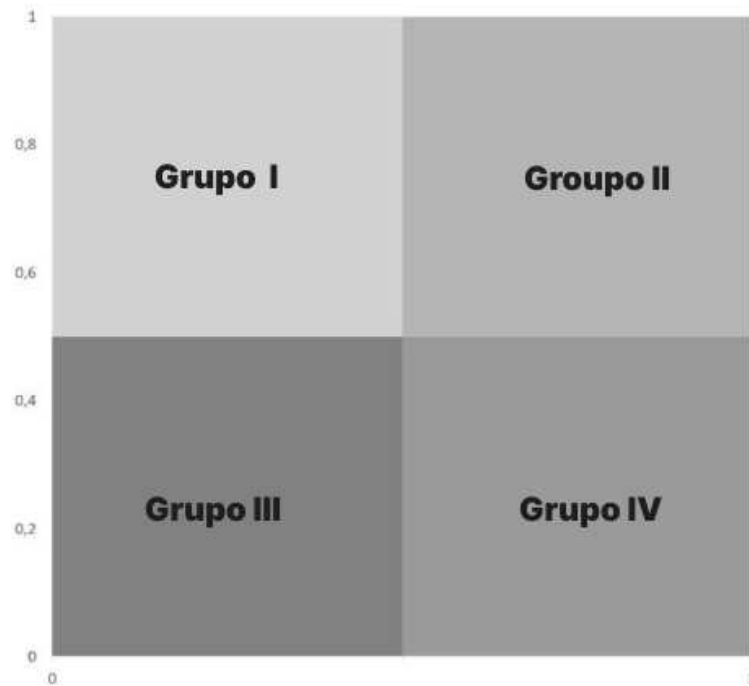


Figura 12 – Relação Custo-Benefício (BRANCO *et al.*, 2024a)

- Grupo I (Alto Esforço, Baixo Impacto) tem baixa prioridade;
- Grupo II (Baixo Esforço, Baixo Impacto) tem prioridade média;
- Grupo III (Alto Esforço, Alto Impacto) tem alta prioridade; e
- Grupo IV (Baixo Esforço, Alto Impacto) tem prioridade muito alta.

5.2.8 Sugestões de ferramentas

Outro tópico do guia aborda as "Sugestões de Ferramentas" destinadas a automatizar os testes de *Interoperabilidade*. Neste contexto, foram identificadas oito ferramentas de teste. As ferramentas são apresentadas na Tabela 15.

Conforme ilustra a Tabela 15, destacam-se as ferramentas *Wireshark* e *Home Assistant*. O *Wireshark* é um sistema que possibilita a análise do tráfego de rede, permitindo a coleta de métricas como o tempo de execução, o tempo de transmissão de mensagens, o tempo mínimo de espera, entre outros. O *Home Assistant* é uma plataforma de automação residencial de código aberto que proporciona suporte para uma extensa gama de dispositivos IoT. Esta plataforma tem a finalidade de integrar dispositivos provenientes de distintos fabricantes e protocolos em uma única interface de controle. Essa funcionalidade pode se revelar útil para a avaliação da harmonia operacional entre os dispositivos e a determinação de sua *Interoperabilidade*.

Tabela 15 – Ferramentas de teste

Ferramenta	Descrição	Método de teste	Ambiente de teste	Execução de teste	Licença	Acesso
Eclipse IoT	Conjunto de ferramentas para desenvolvimento e teste de aplicações IoT	Caixa Preta	Remoto	Plataforma	Open source: código aberto	https://iot.eclipse.org
IoTIFY	Simulador de dispositivos IoT para teste de interoperabilidade	Caixa Preta	Remoto	Plataforma	Open source: código aberto	https://iotify.io/
CoAPthon	Biblioteca para desenvolvimento e teste de aplicações IoT baseadas no protocolo CoAP	Caixa Preta	Local	Software instalável	Open source: código aberto	https://github.com/Tanganelli/CoAPthon3
FreeRTOS	Sistema operacional em tempo real para dispositivos IoT	Caixa Branca	Remoto	Plataforma	Open source: código aberto	https://www.freertos.org/a00104.html
Tasmota	Firmware de código aberto para dispositivos IoT baseados em ESP8266 e ESP32	Caixa Branca	Remoto	Software instalável	Open source: código aberto	https://tasmota.github.io/docs/
Wireshark	Analisador de protocolos de rede para monitoramento e depuração de tráfego IoT	Caixa Cinza	Local	Software instalável	Open source: código aberto	https://www.wireshark.org/
OpenIoT	Conjunto de ferramentas para testar a interoperabilidade entre dispositivos IoT e suas interfaces de programação de aplicativos (APIs).	Caixa Cinza	Local e Nuvem	Plataforma	Open source: código aberto	https://github.com/OpenIoTOrg/openiot
Home Assistant	Software de automação residencial de código aberto, com suporte a uma grande variedade de dispositivos IoT	Caixa Preta	Local	Software instalável	Software gratuito e de código aberto	https://www.home-assistant.io/

5.2.9 Exemplo de uso do guia

Uma ilustração mais abrangente da aplicação de um “Guia de Teste de Interoperabilidade para Aplicações IoT” pode ser em um ambiente web que integra uma variedade de dispositivos IoT de diferentes fabricantes. O guia de Teste de “Interoperabilidade” é aplicável para avaliar a capacidade de comunicação e interação eficiente entre esses dispositivos e a aplicação que os gerencia. Seu objetivo é garantir que a integração entre diversos dispositivos e sistemas seja realizada de forma harmoniosa, independentemente das diferenças nos fabricantes, modelos e protocolos. Esse guia proporciona uma abordagem sistemática para verificar e assegurar a *Interoperabilidade* em cenários diversos e complexos. A seguir, será apresentado o cenário e o passo a passo de como foi executado em cada etapa.

Cenário: O software web denominado Rottas-UFC, concebido com o intuito de otimizar a mobilidade dos estudantes da Universidade Federal do Ceará, disponibiliza informações minuciosas relativas ao sistema de transporte público no campus universitário. O software tem por meta aprimorar a experiência dos discentes ao planejar suas deslocações, bem como reduzir o tempo de espera nos pontos de embarque. Para assegurar a eficácia da *Interoperabilidade*, diversos cenários de teste foram concebidos, abrangendo uma multiplicidade de aspectos do aplicativo.

- **Cálculo do Custo-Benefício (com valores fictícios):** para calcular o custo-benefício, são apresentados valores fictícios no cenário. O resultado do custo-benefício deve se encaixar nos quadrantes do plano cartesiano apresentado pelo resultado do cálculo feito, garantindo que os valores fictícios não sejam negativos, o que indica que investir em testes de interoperabilidade será vantajoso. No exemplo da aplicação Rottas UFC, é vantajoso realizar testes de interoperabilidade.
 - CDI = 0.68, portanto, tendo um alto impacto
 - Sabendo que o valor de CCT = 0.4 e CMD = 0.38
 - O custo seria Custo = 0.39, portanto, sendo de baixo esforço

Portanto, estando no quadrante 4, ou seja, com uma prioridade muito alta para a realização da validação da interoperabilidade da aplicação em questão, dado seu baixo custo e alto benefício.

- **Gerar plano de teste:** ao utilizar o guia, ao final, um plano de teste é gerado, incluindo os problemas encontrados e as recomendações de correção. Esse plano de teste pode ser utilizado para melhorar a interoperabilidade dos dispositivos e da aplicação, garantindo que possam operar juntos de forma eficiente e confiável.

O exemplo acima ilustra a aplicação do guia de teste de *Interoperabilidade* na aplicação IoT Rottas-UFC, enfatizando as principais características, medidas e análises de custo-benefício. Seguir os procedimentos delineados no guia permite a elaboração de um plano de teste. Este plano deve abordar os casos de teste selecionados, a configuração do ambiente, as medidas escolhidas, as subcaracterísticas selecionadas e seus impactos, bem como a execução dos testes.

5.3 Considerações Finais

Neste capítulo, detalhou-se a construção do guia de teste de *Interoperabilidade*, fundamentada na abordagem de Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022). O processo incluiu a elaboração de artefatos, como a definição das características da *Interoperabilidade*, a catalogação de ferramentas para automação dos testes, a criação de casos de teste abstratos e a descrição do ambiente necessário para a realização dos testes. As considerações finais sobre a aplicação e eficácia do guia serão abordadas no capítulo seguinte.

Desenvolveram-se 25 casos de teste abstratos, cobrindo as quatro subcaracterísticas da *Interoperabilidade*. Além disso, abordaram-se os 12 tópicos do guia de teste de *Interoperabilidade*. O próximo capítulo apresentará os resultados das avaliações aplicadas ao guia, incluindo a análise dos dados obtidos e a eficácia do guia em diferentes cenários de aplicação.

6 AVALIAÇÃO DO GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE

Neste capítulo são apresentadas as avaliações conduzidas para validar a construção do Guia de Teste de *Interoperabilidade* proposto nesta dissertação. A avaliação do guia foi conduzida em três etapas: (i) uma avaliação utilizando o modelo TAM para compreender como os usuários percebem e aceitam o Guia de Teste de *Interoperabilidade*; (ii) um experimento controlado para testar uma aplicação IoT; e (iii) uma avaliação do ponto de vista de especialistas para examinar a estrutura geral do guia e seu conteúdo. Neste capítulo, também são apresentados os resultados e análises dessas avaliações.

6.1 Avaliação modelo TAM

O modelo de aceitação de tecnologia (TAM) foi desenvolvido por Davis (1989) (DAVIS, 1989) e é amplamente utilizado para entender e prever a aceitação de novas tecnologias pelos usuários. O TAM indica que a aceitação de uma tecnologia é influenciada principalmente por duas variáveis: a Percepção de Utilidade (PU) e a Percepção de Facilidade de Uso (PEOU).

No entanto, para proporcionar uma análise mais abrangente, o modelo TAM foi estendido em diversos estudos para incluir outras dimensões relevantes proposta por Venkatesh e Davis (2000) (VENKATESH; DAVIS, 2000; VENKATESH *et al.*, 2003). Nesta pesquisa, foram integradas novas categorias adicionais: Intenção de Uso Futuro (IU), Impacto na Eficiência do Teste (IE) e Satisfação Geral (SG). Dessa forma, na avaliação do TAM utilizada no guia, essas categorias também foram incorporadas. A avaliação realizada com o modelo TAM seguiu o design descrito a seguir:

1. **Objetivo.** A avaliação realizada com o Modelo TAM visou analisar a aceitação e a eficácia do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para Aplicações IoT, focando na percepção dos usuários sobre a utilidade e a facilidade de uso do guia.
2. **Contexto.** Antes da avaliação, foram ministradas duas aulas de nivelamento, cada uma com duração de duas horas. A primeira aula foi teórica, explicando o conceito de teste de *Interoperabilidade*, e a segunda aula foi prática, executando testes de *Interoperabilidade* com dispositivos inteligentes, como lâmpadas e a assistente virtual Alexa. A avaliação foi então conduzida durante outra aula presencial, com a turma de Verificação e Validação de Software, envolvendo seis alunos de graduação do curso de Ciência da Computação da

UFC.

3. **Instrumentação.** A avaliação das dimensões do Modelo TAM foi realizada através de um questionário estruturado. As categoria do modelo são:
 - a) **Percepção de Utilidade (PU).** A Percepção de Utilidade refere-se ao grau em que uma pessoa acredita que usar uma tecnologia específica irá melhorar seu desempenho no trabalho ou nas atividades realizadas. Para avaliar a percepção dos participantes sobre a utilidade do Guia de Teste de *Interoperabilidade*, foram formuladas três perguntas.
 - b) **Facilidade de Uso (PEOU - *Perceived Ease of Use*).** A Percepção de Facilidade de Uso diz respeito ao grau em que uma pessoa acredita que usar a tecnologia será livre de esforço. Para medir a percepção dos participantes quanto à facilidade de uso do guia, foram elaboradas cinco perguntas.
 - c) **Intenção de Uso Futuro (IU).** A Intenção de Uso Futuro avalia a probabilidade de os usuários continuarem utilizando a tecnologia no futuro. Para verificar se os participantes pretendem utilizar o Guia de Teste de *Interoperabilidade* em projetos futuros, foram formuladas duas perguntas.
 - d) **Impacto na Eficiência do Teste (IE).** O Impacto na Eficiência do Teste mede como o uso da tecnologia influencia a eficiência dos testes realizados. Para avaliar o impacto do guia na eficiência dos testes realizados, foi formulada uma pergunta.
 - e) **Satisfação Geral (SG).** A Satisfação Geral avalia o nível de contentamento dos usuários com a experiência de uso da tecnologia. Para avaliar o nível de satisfação geral dos usuários em relação ao Guia de Teste de *Interoperabilidade*, foram formuladas três perguntas.
4. **Participantes.** A avaliação utilizando o Modelo TAM contou com a participação de seis alunos do curso de Ciência da Computação, matriculados na disciplina de Validação de Software da Universidade Federal do Ceará. Esses seis alunos não compareceram à primeira aula de nivelamento e foram convidados apenas para a avaliação TAM. Eles foram organizados em duplas para avaliar o Guia de Teste de *Interoperabilidade* usando a aplicação IoT. Todos os participantes eram do sexo masculino e tinham entre 22 e 26 anos.
5. **Análise dos resultados.** Para a análise dos resultados do questionário TAM (ver apêndice F) foi adotada a Escala *Likert* (LIKERT, 1932) como padrão de resposta. O seu objetivo é especificar o nível de concordância ou discordância dos respondentes em relação a

determinadas afirmativas, onde “discordo totalmente” corresponde a 1, “neutro” a 3, e “concordo totalmente” a 5. A moda, como medida estatística, representa o valor mais recorrente em um conjunto de dados. A moda global foi 5, indicando que a resposta “concordo totalmente” foi a mais frequente entre os participantes para a maioria das perguntas, revelando uma alta aceitação e satisfação com o Guia de Testes de *Interoperabilidade*.

6.2 Resultados e Discussão

A seguir, são apresentados a análise e os resultados da avaliação utilizando o modelo TAM, organizados em cinco etapas distintas: Percepção de Utilidade (PU), Facilidade de Uso (PEOU - *Perceived Ease of Use*), Intenção de Uso Futuro (IU), Impacto na Eficiência do Teste (IE) e Satisfação Geral (SG). A avaliação foi conduzida com seis participantes, que foram organizados em duplas para avaliar a aplicação web Rottas-UFC ¹ (ver apêndice J), utilizando o Guia de Teste de *Interoperabilidade*.

6.2.1 Avaliação da Percepção de Utilidade (PU)

Para avaliar a Percepção de Utilidade, foram elaboradas três perguntas. As perguntas são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Facilidade de Uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

ID	Descrição da Pergunta
PU1	O Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> foi útil para entender a condução do processo de teste de <i>Interoperabilidade</i> em uma aplicação IoT?
PU2	O Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> se mostrou eficaz ao planejar/especificar casos de teste em uma aplicação IoT?
PU3	O Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> facilitou a realização dos testes em uma aplicação IoT?

A Figura 13 apresenta o grau de concordância entre os participantes acerca da utilidade do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para a condução de testes em uma aplicação IoT. A análise desses resultados oferece uma visão abrangente sobre a percepção dos participantes em relação à eficácia do guia nas diversas fases do processo de teste.

Ao analisar os resultados da questão PU1, que avalia a utilidade do guia na compreensão do processo de condução dos testes, observa-se que todos os seis participantes (100%) manifestaram

¹ A aplicação web Rottas-UFC foi fornecida pelos autores e está em processo de registro sob o número: 512024000782-2

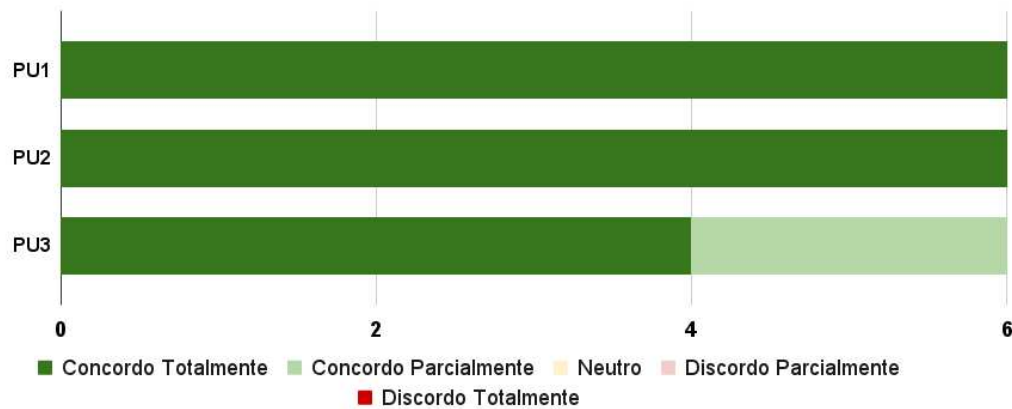


Figura 13 – Utilidade do Guia para conduzir os testes em uma aplicação IoT

total concordância quanto à eficácia do guia nesse aspecto. Este resultado indica uma percepção unânime de que o Guia de Teste de *Interoperabilidade* foi útil para entender o processo de execução dos testes em uma aplicação IoT.

Na questão PU2, que investiga a eficácia do guia no planejamento e especificação dos testes, a alta concordância entre os participantes se mantém. Todos os seis participantes (100%) concordaram plenamente que o guia foi eficaz nessa etapa, refletindo uma clara percepção de utilidade do guia no processo de planejamento dos testes.

Em relação à questão PU3, que examina a eficácia do guia na execução dos testes, quatro participantes (66,7%) concordaram totalmente com a eficácia do guia, enquanto os outros dois participantes (33,3%) apresentaram uma concordância parcial.

A moda para a categoria PU foi 5. Os resultados apresentados na Figura 13 evidenciam uma alta percepção de utilidade do Guia de Teste de *Interoperabilidade* entre os participantes, destacando sua eficácia tanto no planejamento quanto na condução dos testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Contudo, os resultados mostraram que, no uso do guia para a execução dos testes, houve uma percepção de eficácia parcial por dois participantes.

6.2.2 Avaliação da Facilidade de Uso (PEOU - Perceived Ease of Use)

Para a avaliação da Facilidade de Uso, foram elaboradas cinco perguntas. As perguntas são apresentadas na Tabela 17.

A Figura 14 apresenta a concordância dos participantes em relação à facilidade de uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade* ao conduzir testes na aplicação Rottas-UFC. Esta avaliação é crucial para entender se o guia é intuitivo e eficiente, facilitando tanto o planejamento quanto a

Tabela 17 – Facilidade de Uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

ID	Descrição da Pergunta
PEOU1	A estrutura do documento (tópicos) e as instruções do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> são fáceis de entender?
PEOU2	A curva de aprendizado para usar o Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> foi suave?
PEOU3	A organização dos tópicos e o sequenciamento dos conteúdos ficou claro?
PEOU4	Considero que o uso do guia facilita o planejamento/especificação dos testes de <i>Interoperabilidade</i> em aplicações IoT.
PEOU5	Considero que o uso do guia facilita a execução dos testes de <i>Interoperabilidade</i> em aplicações IoT.

execução dos testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT.

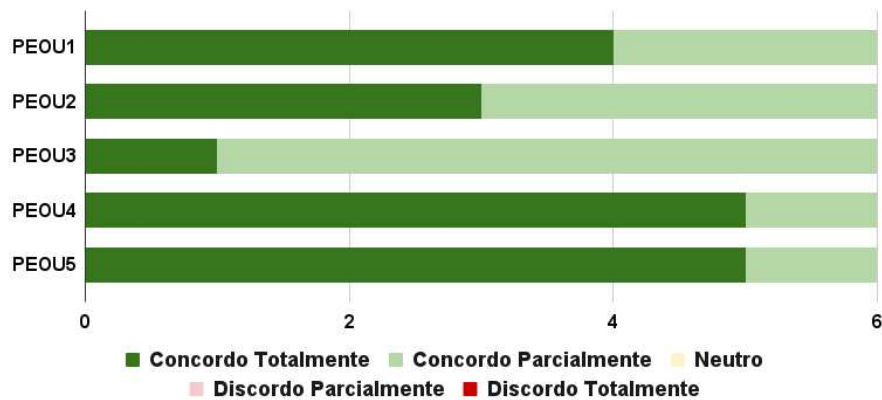


Figura 14 – Utilidade do Guia para conduzir os testes em uma aplicação IoT

A primeira questão (PEOU1) avaliou se a estrutura dos tópicos e as instruções do Guia são fáceis de entender. Os resultados mostram que quatro participantes (66,7%), concordaram totalmente com essa afirmação, enquanto dois participantes (33,3%) concordaram parcialmente.

A segunda questão (PEOU2) investigou se a curva de aprendizado para utilizar o Guia foi suave. Os resultados mostraram que três participantes (50%) concordaram totalmente, enquanto os outros três (50%) concordaram parcialmente com essa afirmativa.

A terceira questão (PEOU3) examinou se a organização dos tópicos e o sequenciamento dos conteúdos foram claros. Os resultados mostram que um participante (16,7%) concorda totalmente, enquanto outros cinco participantes (83,3%), concordaram parcialmente com essa afirmação.

Em relação à utilidade percebida do Guia, a questão (PEOU4) revelou que cinco participantes (83,3%) concordaram totalmente que o uso do guia facilita o planejamento e a especificação

dos testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Apenas um participante (16,7%) concordou parcialmente.

A última questão (PEOU5) abordou se o uso do guia facilita a execução dos testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Nessa questão, cinco participantes (83,3%) concordaram totalmente com essa afirmativa, enquanto um participante (16,7%) concordou parcialmente.

A moda para a categoria PEOU foi 5. No entanto, os resultados indicaram uma percepção parcial em relação à curva de aprendizado e à organização dos tópicos do guia. Embora o Guia de Teste de *Interoperabilidade* tenha sido bem recebido em termos de facilidade de uso, os resultados sugerem que melhorias na estrutura e na clareza do conteúdo poderiam ser benéficas. As respostas dos participantes indicam que ajustes na organização dos tópicos e na apresentação do guia podem facilitar a compreensão e a utilização do guia durante o processo de teste.

6.2.3 Impacto na Eficiência do Teste

Para a análise do impacto na eficiência do teste, foi formulada uma questão ilustrada na Tabela 18 com o intuito de avaliar a contribuição do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para a eficácia global dos testes em uma aplicação IoT.

Tabela 18 – Impacto na Eficiência do Teste do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

ID	Descrição da Pergunta
IET1	O uso do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> contribuiu para a eficácia global dos testes em uma aplicação IoT?

A Figura 15 apresenta a concordância entre os participantes em relação à eficácia global dos testes com o uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*.

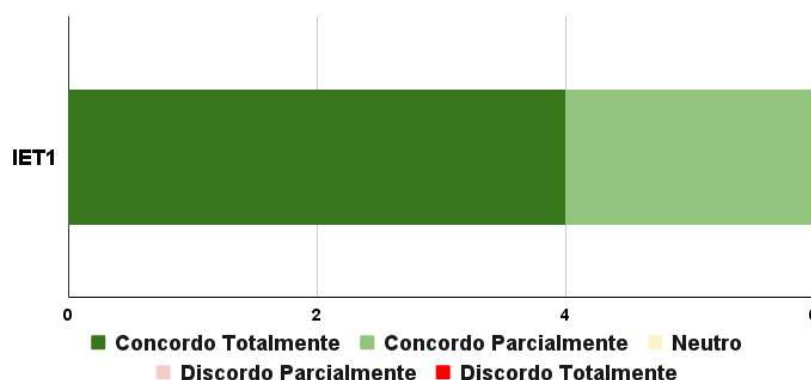


Figura 15 – Eficácia global dos testes

Os resultados indicam que quatro participantes (66,7%) concordaram totalmente que o guia contribuiu significativamente para a eficácia global dos testes em aplicações IoT, enquanto dois participantes (33,3%) concordaram parcialmente.

A moda para a categoria ITE foi 5. Os resultados indicam uma alta percepção de que o Guia de Teste de *Interoperabilidade* contribui significativamente para a eficácia global dos testes em aplicações IoT.

6.2.4 Satisfação Geral

Para avaliar a satisfação geral, foram elaboradas três perguntas. As perguntas são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Satisfação geral do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

ID	Descrição da Pergunta
SG1	Ficou claro e compreensível o uso do Guia de <i>Interoperabilidade</i> em termos de instruções e abordagem para o planejamento dos testes?
SG2	Ficou claro e compreensível o uso do Guia de <i>Interoperabilidade</i> em termos de instruções e abordagem para a execução dos testes?
SG3	No geral, estou satisfeito(a) com a experiência de utilizar o Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> ?

A Figura 16 apresenta a concordância dos participantes em relação à eficácia global dos testes realizados com o uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*.

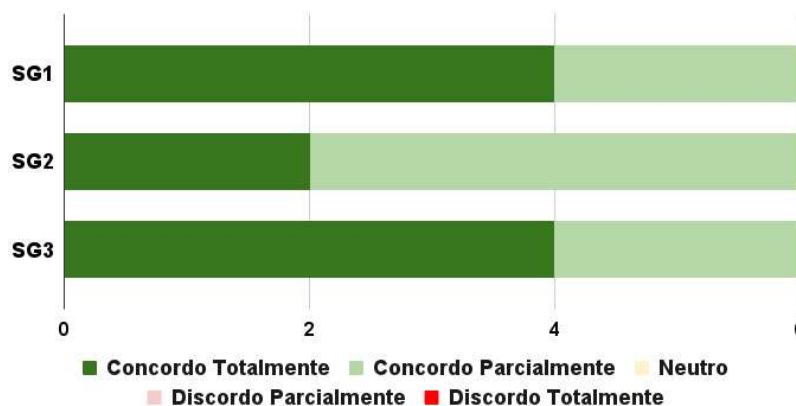


Figura 16 – Eficácia global dos testes

Em relação à clareza e compreensibilidade do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para o planejamento dos testes (SG1), quatro participantes (66,7%) concordaram totalmente que o guia

foi claro e compreensível, enquanto dois participantes (33,3%) concordaram parcialmente com essa afirmação.

Para a execução dos testes (SG2), um participante (16,7%) concordou totalmente, enquanto cinco participantes (83,3%) concordaram parcialmente com a clareza e compreensibilidade do guia.

Em relação à satisfação geral (SG3), revelou que quatro participantes (66,7%) concordaram totalmente que estão satisfeitos com a experiência de utilizar o Guia, enquanto dois participante (33,3%) concordou parcialmente.

A moda para a categoria SG foi 5. No entanto, os resultados revelaram uma percepção variável quanto à clareza e compreensibilidade do guia. Embora a maioria dos participantes considere o Guia de Teste de *Interoperabilidade* claro para o planejamento dos testes, a clareza percebida para a execução dos testes foi menos uniforme. As respostas sugerem que, enquanto o guia é bem avaliado para o planejamento, são necessárias melhorias na sua clareza e compreensão durante a execução dos testes para otimizar a experiência geral do usuário.

6.3 Experimento controlado

O experimento controlado é uma metodologia de pesquisa que permite analisar os efeitos de variáveis específicas ao manter alguns fatores constantes e manipular outros (WOHLIN *et al.*, 2012). Neste estudo, o experimento foi projetado para avaliar a eficácia do Guia de Teste de *Interoperabilidade* em termos de sua aplicação prática, incluindo a análise de seu conteúdo e estrutura. O objetivo foi testar o guia comparando seu desempenho sob condições controladas para garantir uma análise precisa dos resultados.

O experimento controlado foi realizado em paralelo com a avaliação do modelo TAM *ver seção 6.2*. Para a condução do experimento foram seguidas nove atividades, conforme apresentadas a seguir:

1. A “**Definição da ideia do experimento**” parte da necessidade de avaliar a eficácia do Guia de Teste de *Interoperabilidade* na prática. A ideia central foi comparar a performance dos testes de *Interoperabilidade* em uma aplicação web IoT denominada Rottas-UFC entre dois grupos de participantes: um grupo que utilizou o guia e outro que não o utilizou. Os participantes foram responsáveis por conduzir os teste, cobrindo todas as etapas, desde o planejamento até a execução e identificação de falhas.

2. No que se refere à “**Definição do objetivo**” é necessário verificar se o Guia de Teste de *Interoperabilidade* para Aplicações IoT atende ao objetivo proposto, comparando seu desempenho sob condições controladas para garantir uma análise precisa dos resultados.
3. Na **Seleção dos participantes**. Foram definidos 12 alunos que participaram da primeira aula teórica e prática. Os alunos foram agrupados em dois grupos: G1, composto por seis participantes que utilizaram o guia, e G2, composto por seis participantes que não utilizaram o guia. Esta divisão permitiu uma análise comparativa clara entre os participantes que tiveram acesso ao guia e aqueles que seguiram os procedimentos tradicionais. A composição dos grupos é detalhada na Tabela 20.

Tabela 20 – Características dos Participantes do Estudo

Título Acadêmico	Atuação	Experiência em Teste
Grupo G1 - Utilizou o Guia		
Mestrando	Acadêmica e Mercado	<i>Interoperabilidade</i>
Mestrando	Acadêmica e Mercado	Requisitos Não-Funcionais
Graduando	Acadêmica	<i>Interoperabilidade</i>
Graduando	Acadêmica	Requisitos Não-Funcionais
Graduando	Acadêmica	Requisitos Não-Funcionais
Graduando	Acadêmica	Requisitos Não-Funcionais
Grupo G2 - Não Utilizou o Guia		
Graduando	Acadêmica	<i>Interoperabilidade</i>
Graduando	Acadêmica	Requisitos Não-Funcionais
Graduando	Acadêmica	Requisitos Não-Funcionais
Graduando	Acadêmica	Requisitos Não-Funcionais
Graduando	Acadêmica	Requisitos Não-Funcionais
Graduando	Acadêmica	<i>Interoperabilidade</i>

4. A “**Definição das questões de pesquisa**” tem como objetivo orientar a avaliação do guia. As questões foram formuladas para guiar essa avaliação:
- a) **QP1. O uso do guia reduz o esforço necessário para conduzir os testes de *Interoperabilidade*?** *Esta questão investiga se o guia facilita a realização dos testes, tornando o processo mais eficiente e menos trabalhoso.*
 - b) **QP2. O guia facilita a especificação de um maior número de casos de teste para a avaliação de *Interoperabilidade*?** *Esta questão investiga se o guia ajuda a aumentar a quantidade de casos de teste criados, proporcionando uma cobertura mais extensa e detalhada na avaliação de *Interoperabilidade*.*
 - c) **QP3. O guia facilita a identificação de falhas que são específicas de certos protocolos ou configurações em uma aplicação IoT?** *Esta questão examina se o guia*

contribui para detectar falhas específicas relacionadas a determinados protocolos ou configurações, que poderiam não ser facilmente identificadas por outros métodos de teste.

5. A partir das questões de pesquisa, foram estabelecidas as “**Definição das hipóteses**” para testar essas questões. As hipóteses foram divididas em nulas (H_0), que afirmam não haver relação significativa sobre o que está sendo investigado, e alternativas (H_1), que indicam uma relação desejada como verdadeira, conforme ilustrado na Tabela 21.

Tabela 21 – Relação entre Hipóteses e Questões de Pesquisa

Questão de Pesquisa	Hipóteses Relacionadas
Q1	$H_{0,0}$, $H_{1,1}$
Q2	$H_{0,1}$, $H_{1,2}$
Q3	$H_{0,3}$, $H_{1,3}$

No contexto desta pesquisa, as hipóteses nulas têm o objetivo de verificar se a abordagem baseada em um Guia de Teste de *Interoperabilidade* demanda o mesmo esforço e identifica o mesmo número de falhas que os testes tradicionais. Por outro lado, as hipóteses alternativas propõem que a utilização de guias estruturados reduz o esforço de teste, gera um maior número de casos de teste e identifica um maior número de falhas IoT em comparação com os métodos tradicionais. A descrição de cada hipótese é apresentada na Tabela 22.

Para a avaliação das hipóteses nulas, será empregado o teste estatístico *T-Student's* proposto por Flenberg e Lazarr (2011) (FIENBERG; LAZAR, 2001). A decisão sobre a rejeição ou aceitação das hipóteses nulas será baseada no p-valor (*valor de probabilidade*) em relação ao nível de significância estabelecido. Se o p-valor for menor que o nível de significância definido, a hipótese nula será rejeitada. Em análises estatísticas, é comum utilizar um nível de significância de 0,05. Considerando que, nesta pesquisa, o esforço de teste é definido pelo tempo gasto no planejamento dos testes, a Tabela 23 apresenta das hipóteses e os métodos de avaliação.

6. Na atividade de “**Definição da aplicação**” foi utilizada uma aplicação IoT denominada Rottas UFC. Nessa aplicação, os usuários podem visualizar rotas e horários dos ônibus intracampi e intercampi, acompanhar em tempo real a localização dos ônibus, consultar estimativas de horário de chegada às paradas, obter informações precisas sobre a localização das paradas intracampi, pesquisar locais específicos dentro do campus da UFC, como prédios, faculdades, laboratórios e bibliotecas, e filtrar e ordenar os ônibus de uma

Tabela 22 – Hipóteses do Experimento sobre Testes de *Interoperabilidade*

Hipótese	Descrição
Hipóteses Nulas	
H_{0,0}	A abordagem baseada em guia estruturado para conduzir atividades de teste de <i>Interoperabilidade</i> requer o mesmo esforço que os testes tradicionais.
H_{0,1}	A abordagem baseada em guias estruturados produz a mesma quantidade de casos de teste do que os testes tradicionais.
H_{0,2}	A abordagem baseada em guias estruturados detecta o mesmo número de falhas IoT que os testes tradicionais.
Hipóteses Alternativas	
H_{1,1}	A abordagem baseada em guias estruturados reduz mais o esforço de teste do que os testes tradicionais. <i>Esforço (Com o guia) < Esforço (Sem o guia)</i>
H_{1,2}	A abordagem baseada em guias estruturados produz mais casos de teste do que os testes tradicionais. <i>Quantidade de casos de teste (Com o guia) > Quantidade de casos de teste (Sem o guia)</i>
H_{1,3}	A abordagem baseada em guias estruturados encontra mais falhas na IoT do que os testes tradicionais. <i>Número de falhas IoT (Com o guia) > Número de falhas IoT (Sem o guia)</i>

Tabela 23 – Métodos de Avaliação das Hipóteses

Hipótese	Método de Avaliação
H_{1,1}	Serão contabilizado o tempo dedicado ao planejamento, incluindo a definição dos casos de teste, a seleção das medidas e a configuração do ambiente. A média desse tempo será calculada para cada grupo. Os dados serão coletados e comparados entre os grupos para avaliar se há diferenças no esforço exigido para a condução dos testes, com base na utilização ou não do guia.
H_{1,2}	Serão contabilizados o número de casos de teste gerados por cada grupo, e a média será calculada para cada um. Esses resultados serão comparados entre os grupos para avaliar possíveis diferenças na eficácia dos testes.
H_{1,3}	Serão contabilizadas a quantidade de falhas relacionadas à IoT detectadas por cada grupo, e a média será calculada para cada um. Esses valores serão comparados entre os grupos para determinar se há diferenças na quantidade de falhas IoT identificadas com a utilização do guia.

linha específica com base na parada e/ou horário, facilitando o planejamento eficiente das viagens e reduzindo o tempo de espera nas paradas de ônibus. Na Figura 17 é apresentada algumas telas da aplicação Rottas-UFC com a visão dessas funcionalidades mencionadas. O experimento foi realizado *in loco* no laboratório de informática do GREat (Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas), com a participação de dez alunos de graduação e dois de pós-graduação, sob a supervisão da orientadora desta



Figura 17 – Aplicação *web* Rottas-UFC

pesquisa.

7. A “**Definição da instrumentação**” incluiu a elaboração de planilhas de falhas, roteiro de execução do teste, vídeos sobre teste de *Interoperabilidade* e aulas presenciais de nivelamento.

Na etapa inicial da instrumentação, foi disponibilizado um repositório com vídeos explicativos sobre o conceito de *Interoperabilidade* e sobre a execução de testes em aplicações IoT. Para o nivelamento do conhecimento dos alunos, foram organizadas duas aulas: uma teórica, abordando os fundamentos do teste de *Interoperabilidade*, incluindo artigos e tutoriais específicos além de apresentar as principais metodologias de teste em aplicações IoT, e outra prática, na qual foram utilizados dispositivos inteligentes, como lâmpadas e a assistente virtual Alexa.

O planejamento das aulas teve como objetivo assegurar um conhecimento uniforme entre todos os participantes, permitindo que todos compreendessem tanto o conceito quanto a prática do teste de *Interoperabilidade*. Além disso, foram disponibilizados todos os templates elaborados a todos os participantes². Para os integrantes do G1 (grupo que utilizou o guia), foi fornecida uma versão em PDF do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para Aplicações IoT.

Com o objetivo de registrar as falhas na aplicação identificadas pelos participantes, foi fornecido a todos um conjunto de documentos: (i) um template para relatório de falhas; (ii) definições das características; e (iii) definição dos níveis de gravidade das falhas. O template para relatório de falhas, baseado no modelo proposto por Carvalho et al., (2022) (CARVALHO *et al.*, 2022), inclui os seguintes campos:

- a) Descrição (descrição da falha detectada)

² https://drive.google.com/drive/folders/1yeQ4aOVYX_5ln8IGn5PSnPjADPrJ8V_G?usp=sharing

- b) Caso de teste/medida (caso de teste ou medida no qual a falha foi detectada)
- c) Características (características relacionadas à falha detectada)
- d) Gravidade (nível de gravidade da falha detectada).

Este conjunto de documentos foi elaborado para garantir uma documentação sistemática e detalhada das falhas. Para auxiliar no preenchimento do relatório de falhas, foi fornecido um template (ver apêndice G) que inclui a definição das características relacionadas à *Interoperabilidade*, a definição das características específicas de IoT e a descrição dos níveis de gravidade das falhas. Além disso, o documento contém um template para o relatório de falhas.

Para coletar os dados da execução do experimento, como duração, documentos utilizados e feedbacks, foi aplicado um questionário com os participantes ao final do experimento³. O questionário final aplicado com os participantes do grupo G1 (grupo que utilizou o guia) foi elaborado com um maior número de perguntas, especificamente direcionadas ao uso do guia. A divisão dessas perguntas são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Categorias e Quantidade de Perguntas Relacionadas ao Experimento

Categoria	Perguntas gerais	Perguntas adicionais	Exemplo de perguntas adicionais
Geral	3	1	Foi seguido o processo sugerido no guia para a condução dos testes?
Artefatos	4	1	-
Execução	1	8	Com base no guia foi feita apenas uma única vez a geração do plano de teste foi feita uma única vez?
Esforço	14	5	Quanto tempo foi gasto na compreensão do guia?
Dificuldades	4	2	Você teve alguma dificuldade com as ferramentas sugeridas no guia?
Considerações Finais	2	-	-

Além dos artefatos mencionados anteriormente, foi disponibilizado aos participantes o link de acesso à aplicação Rottas-UFC, com a solicitação de que cada participante elaborasse, um plano de teste, além de completar o *checklist* e o relatório de falhas. Todos os instrumentos utilizados no experimento estão disponíveis no repositório⁴.

³ <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1WhbrOwb4LBat7UGPPFEzZFXgZra4JsMI/edit?usp=sharing&ouid=107032733340169469238&rtpof=true&sd=true>

⁴ https://drive.google.com/drive/folders/1yeQ4aOVYX_5ln8IGn5PSnPjADPrJ8V_G?usp=drive_link

8. Para a “**Execução do experimento**”, os participantes iniciaram o processo respondendo individualmente a um questionário pré-teste (ver apêndice E). Este questionário teve o propósito de avaliar a compreensão dos participantes sobre testes de *Interoperabilidade* e assegurar um “nívelamento da turma” no conhecimento prévio sobre o tema. Cada passo é detalhado a seguir:

- a) **Passo 1 - Entendimento sobre *Interoperabilidade*.** Para um maior esclarecimento sobre teste de *Interoperabilidade* e IoT, os participantes receberam uma apresentação sobre teste de *Interoperabilidade* e assistiram a vídeos relacionados.
- b) **Passo 2 - Leitura do Guia.** Os participantes do grupo G1 foram instruídos a fazer a leitura completa do guia para compreender o conceito de teste de *Interoperabilidade* para aplicações IoT.
- c) **Passo 3 - Compreensão da Aplicação.** Os participantes foram orientados a adquirir conhecimento sobre a aplicação Rottas-UFC, que seria objeto do teste.
- d) **Passo 4 - Configuração do Aplicativo.** Os participantes foram instruídos a acessar o aplicativo Rottas-UFC e realizar sua configuração conforme as instruções fornecidas.
- e) **Passo 5 - Acesse novamente o Guia.** Os participantes que utilizaram o guia foram orientados a acessá-lo novamente para obter mais informações sobre *Interoperabilidade*.
- f) **Passo 6 - Planejamento e Execução de Teste.** Os participantes foram instruídos a planejar, construir e executar os testes de *Interoperabilidade* conforme orientado.
- g) **Passo 7 - Preenchimento da Planilha de Falhas.** À medida que as falhas fossem detectadas, os participantes deveriam preencher a planilha de falhas de acordo com o modelo fornecido.
- h) **Passo 8 - Resposta ao questionário.** Ao concluir a avaliação, os participantes foram instruídos a responder ao questionário sobre a avaliação, preenchendo as três abas disponíveis.
- i) **Passo 9 - Artefatos finais.** Os participantes foram orientados a gerar três artefatos ao final do teste: Plano de Teste, Relatório de Falhas e Questionário final.
- j) **Passo 10 - Compartilhamento dos artefatos gerados.** Os participantes foram instruídos a enviar todos os documentos gerados durante a avaliação para um e-mail específico.

Cada participante teve, em média, duas horas para execução do experimento. Os partici-

pantes do G1 que utilizaram o guia seguiram 10 passos, enquanto os demais seguiram 8 passos. Os passos 2 e 5 são exclusivos para o grupo G1 que usou o guia.

9. Após a execução do experimento, foi realizada a “**Análise e Resultados**” dos artefatos enviados pelos participantes de cada grupo. Os resultados foram comparados entre os grupos e discutidos para avaliar a contribuição do guia para a melhoria dos testes de *Interoperabilidade*.

Na subseção seguinte, serão apresentados detalhes dos dados obtidos, os cálculos estatísticos realizados, e os resultados das hipóteses, assim como as respostas às questões de pesquisa elencadas para o experimento.

6.3.1 *Análise e resultado do experimento controlado*

A Tabela 25 apresenta uma visão abrangente dos resultados obtidos no experimento, diferenciando os grupos que utilizaram o guia (G1) daqueles que não o utilizaram (G2). São apresentado para cada participante, informações como ID, tempo de planejamento, quantidade de casos de teste especificados e o número de falhas de IoT relatadas.

O tempo é apresentado em minutos e refere-se ao esforço dedicado à leitura e compreensão do guia, configuração do ambiente de teste, elaboração dos casos de teste, escolha de medidas, execução dos testes e a definição do escopo do plano de teste.

Tabela 25 – Resultados do experimento controlado

ID	Tempo (min)	Casos de teste (#)	Falhas IoT (#)
Grupo 1 - G1			
G1-1	50	8	3
G1-2	45	10	2
G1-3	40	6	0
Grupo 2 - G2			
G2-1	90	4	0
G2-2	60	3	0
G2-3	50	6	2

Ao analisar a Tabela 25, é possível observar que o grupo que utilizou o guia (G1) produziu mais casos de teste e identificou um maior número de falhas IoT em comparação com o grupo que não utilizou o guia (G2). No entanto, o tempo de planejamento e execução foi menor para o

grupo G1, exceto no caso do participante G1-1, cujo tempo de planejamento foi equivalente ao do participante G2-3 do grupo G2. Essa diferença pode ser atribuída às dúvidas expressas por alguns participantes tanto no planejamento quanto na aplicação IoT testada.

Embora todo o suporte necessário tenha sido previamente fornecido, incluindo orientações presenciais e discussões em sala de aula, essas dúvidas podem refletir uma percepção de complexidade na condução dos testes de *Interoperabilidade*. Ao se depararem com a necessidade de iniciar o planejamento de testes do zero, os participantes do grupo sem o guia podem ter sentido falta de familiaridade com o procedimento. Os participantes do grupo com guia tiveram acesso aos casos de teste abstratos fornecidos pelo guia, o que facilitou o processo, enquanto o grupo G2 teve que criar tudo do zero, contribuindo ainda mais para a diferença observada.

6.3.2 *Análise e resultado das questões de pesquisa*

Nesta seção, são apresentadas as análises e resultados relacionados às questões de pesquisa formuladas para avaliar a eficácia do guia de testes de *Interoperabilidade*. As questões de pesquisa foram elaboradas com o objetivo de investigar aspectos específicos da aplicação do guia e seu impacto na condução dos testes. Para cada questão, foram formuladas hipóteses que foram testadas por meio de análises estatísticas baseadas nas ferramentas online^{5,6,7} nos dados coletados durante o experimento.

Q1 - O uso do guia reduz o esforço destinado à condução dos testes de *Interoperabilidade*?

Para responder a essa questão de pesquisa, foram avaliadas duas hipóteses apresentadas na Tabela 26.

Para avaliar a hipótese nula, foi realizado o teste *T-Student's* com um nível de significância de 0,05. Os dados utilizados consistiram nos tempos de planejamento dos testes, em minutos, coletados a partir das respostas fornecidas pelos participantes no questionário final do experimento. Os valores de tempo foram então comparados entre os grupos G1 (com guia) e G2 (sem guia).

Na Tabela 26, o p-valor obtido foi de 0,035, representando um valor menor em comparação com o nível de significância estabelecido em 0,05, resultando em uma **diferença estatística significativa**. Esse resultado indica que a hipótese nula $H_{0,0}$ - não há diferença significativa entre os grupos em relação ao tempo gasto no planejamento dos testes, deve ser rejeitada.

⁵ <https://www.graphpad.com/quickcalcs/pvalue1.cfm>

⁶ <https://pt.symbolab.com/calculator/statistics/p-value>

⁷ <https://www.omnicalculator.com/pt/estatistica/teste-t>

A média dos tempos foi calculada somando-se os tempos gastos no planejamento dos testes para cada grupo e dividindo-se o total pelo número de participantes. Por exemplo, os valores foram somados e divididos por seis. Esta análise permitiu verificar se há uma diferença estatisticamente significativa entre os tempos de planejamento dos testes dos dois grupos, o que poderia indicar a eficácia do guia de testes de *Interoperabilidade*.

Tabela 26 – Resultados da hipótese $H_{1,1}$

Hipótese	Comparação	Média G1	Média G2	Probabilidade	Resultado
$H_{0,0}$ e $H_{1,1}$	Esforço: Tempo gasto (em minutos) no planejamento	45	66	p-valor = 0,035	Diferença estatística significativa

Esse resultado indica uma **diferença estatisticamente significativa**, o que significa que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula $H_{0,0}$ - a abordagem baseada em um guia estruturado para conduzir atividades de teste de *Interoperabilidade* requer o mesmo esforço de teste que os testes de *Interoperabilidade* tradicionais.

A **diferença estatisticamente significativa** implica que a diferença observada nos tempos de planejamento dos testes entre os grupos G1 (com guia) e G2 (sem guia) não é devida ao acaso, mas sim ao efeito da intervenção, que no caso é o uso do Guia de Testes de *Interoperabilidade*. Em outras palavras, o uso do guia estruturado demonstrou uma efetividade maior em termos de redução do esforço necessário para o planejamento dos testes de *Interoperabilidade* em comparação com os métodos tradicionais conforme ilustrado na Tabela 22.

Conforme detalhado na Subseção 6.3, ao apresentar as hipóteses, para a hipótese alternativa $H_{1,1}$, comparamos se o Esforço (com o guia) é menor do que o Esforço (sem o guia), considerando que o esforço é medido pelo tempo gasto (em minutos) no planejamento. Conforme é ilustrado na Tabela 26.

QP2. O guia facilita a especificação de um maior número de casos de teste para a avaliação de *Interoperabilidade*?

Para responder a esta questão de pesquisa, foram avaliadas a hipótese nula apresentadas na Tabela 27. Para avaliar a hipótese nula, foi realizado novamente o teste *T-Student's* com um nível de significância de 0,05. Os dados utilizados foram a quantidade de casos de teste gerados, calculada pela divisão dos grupos, conforme detalhado na Tabela 27.

Tabela 27 – Resultados da hipótese $H_{1,1}$

$H_{x,y}$	Comparação	Média G1	Média G2	Probabilidade	Resultado
$H_{0,1}$ e $H_{1,2}$	Qtde de caso de teste/ Qtde de grupo	8	4	p-valor = 0,023	Diferença estatística significativa

Na Tabela 27, o p-valor obtido foi de 0,023, representando um valor menor em comparação com o nível de significância estabelecido em 0,05, resultando em uma **diferença estatística significativa**. Esse resultado indica que a hipótese nula $H_{0,1}$ - A abordagem baseada em guias estruturados para conduzir atividades de testes de *Interoperabilidade* produz casos de teste com eficácia igual aos testes de *Interoperabilidade* tradicionais, deve ser rejeitada.

Q3 - O uso do guia amplia a detecção de falhas IoT?

Para responder a esta questão de pesquisa, foram avaliadas a hipótese nula $H_{0,3}$ - A abordagem baseada em guias estruturados para conduzir atividades de testes de *Interoperabilidade* detecta o mesmo número de falhas IoT que os testes de *Interoperabilidade* tradicionais, e a hipótese alternativa $H_{1,3}$ - A abordagem baseada em guias estruturados para conduzir atividades de testes de *Interoperabilidade* encontra mais falhas IoT do que os testes de *Interoperabilidade* tradicionais. Os dados utilizados foram o número de falhas IoT detectadas, conforme detalhado na Tabela 28.

Tabela 28 – Resultados da hipótese $H_{1,3}$

$H_{x,y}$	Comparação	Média G1	Média G2	Probabilidade	Resultado
$H_{0,3}$ e $H_{1,3}$	Número de falhas detectadas/ Qntd de grupo	1,66	0,66	p-valor: 0,03	Diferença estatística significativa

Na Tabela 28, o p-valor obtido foi de 0,03, sendo menor do que o nível de significância estabelecido em 0,05, resultando em uma **Diferença estatística significativa**. Isso indica que a hipótese nula $H_{0,3}$ - A abordagem baseada em guias estruturados para conduzir atividades de testes de *Interoperabilidade* detecta o mesmo número de falhas IoT que os testes de *Interoperabilidade* tradicionais, deve ser rejeitada.

Durante a análise das falhas identificadas pelos participantes, procedeu-se à eliminação das duplicadas, resultando na contagem de cada falha apenas uma vez. Em uma segunda

instância, quando uma mesma falha foi identificada por participantes de grupos distintos, ela foi contabilizada uma vez para cada grupo. Por exemplo, um grupo com guia identificou três falhas muito graves, enquanto um grupo sem guia identificou duas falhas muito graves, totalizando cinco falhas muito graves identificadas pelos grupos. Dentre essas cinco falhas, duas foram identificadas por ambos os grupos. Portanto, embora no sistema como um todo tenham sido identificadas três falhas IoT muito graves, para os propósitos de cálculo do experimento, consideramos cinco falhas muito graves, uma vez que cada grupo foi avaliado individualmente.

6.4 Avaliação com os especialistas

Para garantir a precisão, a relevância e a aplicabilidade prática do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para Aplicações IoT, foi realizada uma avaliação com especialistas da área de Qualidade e Teste de software. O objetivo dessa avaliação foi obter uma validação técnica e metodológica do guia, identificando pontos fortes, possíveis melhorias e assegurando que o guia atenda às necessidades e expectativas dos pesquisadores e profissionais da área de Teste de Software. A metodologia utilizada na avaliação conduzida com os especialistas é apresentada a seguir:

1. **Objetivo.** Avaliar a estrutura e o conteúdo do Guia de Teste de *Interoperabilidade* com a perspectiva de especialistas da área de Qualidade e Teste de software.
2. **Contexto.** A avaliação foi realizada de forma remota ao longo de duas semanas, utilizando a aplicação web Rottas-UFC. Para orientar o processo, foi fornecido um roteiro detalhado (ver apêndice H).
3. **Participantes.** Os participantes do estudo foram especialistas que atuam tanto na academia quanto com profissionais que atuam na indústria. O perfil dos especialistas é apresentado na Tabela 29.

A Tabela 29 fornece uma visão detalhada das características dos especialistas envolvidos na pesquisa. Dos seis especialistas listados, três atuam predominantemente no mercado profissional (ESP1, ESP5 e ESP6), enquanto três possuem uma atuação híbrida, tanto no mercado quanto na academia (ESP2, ESP3 e ESP4).

Em termos de experiência, três especialistas (ESP1, ESP3 e ESP6) têm conhecimento tanto em teste de IoT, *Interoperabilidade* quanto em Teste de Software. Por outro lado o ESP2 possui experiência em Teste IoT, enquanto ESP4 e ESP5 têm experiência em Teste de Software. A formação dos especialistas inclui quatro bacharéis (ESP1, ESP3, ESP4 e ESP5) e dois mestres (ESP2 e ESP6). As posições variam de Analista de Teste (ESP1,

Tabela 29 – Especialistas e suas características

ID	Formação	Título Acadêmico	Atuação	Posição	Experiência
ESP1	Engenharia da Computação	Bacharel	Profissional	Analista de Teste	IoT, <i>Interoperabilidade</i> e Teste
ESP2	Ciência da Computação	Mestre	Ambos	Analista de Teste	IoT
ESP3	Ciência da Computação	Bacharel	Ambos	Líder de Teste	IoT, <i>Interoperabilidade</i> e Teste
ESP4	Ciência de Dados	Bacharel	Ambos	Analista de Teste	Teste
ESP5	Análise e Desenvolvimento de Sistemas	Bacharel	Profissional	Analista de Teste	Teste
ESP6	Engenharia de Software	Mestre	Profissional	Analista de Teste Sênior	IoT, <i>Interoperabilidade</i> e Teste

ESP2, ESP4 e ESP5) a Líder de Teste (ESP3) e Analista de Teste Sênior (ESP6).

4. **Instrumentação.** O instrumento de coleta de dados utilizado foi um questionário (ver apêndice B), composto por 32 perguntas, distribuídas em quatro seções distintas:

- 6 perguntas sobre o perfil do especialista;
- 7 perguntas relativas à estrutura do guia;
- 10 perguntas relacionadas ao conteúdo do guia;
- 9 perguntas referentes à percepção geral sobre a utilização do guia.

As respostas foram coletadas utilizando uma escala de Likert (LIKERT, 1932), que varia de 1 a 5, onde 1 corresponde a “discordo totalmente” e 5 a “concordo totalmente”. A escala de Likert foi empregada nas seções de Avaliação da Estrutura do Guia de Teste de *Interoperabilidade* e Considerações Finais sobre o Uso do Guia. Nessas seções, os participantes avaliaram aspectos como a clareza dos materiais fornecidos, a organização das seções e a eficácia do guia no planejamento das atividades de teste. A moda das respostas, que indica a opção mais frequente escolhida pelos participantes, foi “Concordo totalmente”. Este resultado sugere uma forte concordância com as afirmações propostas.

6.4.1 Resultados e Discussão

Os resultados da avaliação realizada com os especialistas são apresentados em três etapas: (i) Avaliação da Estrutura e conteúdo do Guia de Teste de *Interoperabilidade*, conforme descrito na Seção 6.4.1.1; (ii) Avaliação do uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*, detalhada na Seção 6.4.1.2 e (iii) Percepção geral sobre a utilização do Guia de Teste de *Interoperabilidade*, apresentada na Seção 6.4.1.3.

6.4.1.1 Avaliação da Estrutura e conteúdo do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

Para avaliar a estrutura do Guia, foram formuladas sete perguntas específicas, cujas descrições estão detalhadas na Tabela 30. Estas perguntas foram elaboradas para obter uma compreensão abrangente sobre a adequação dos materiais fornecidos e a organização dos tópicos.

Tabela 30 – Avaliação da estrutura e conteúdo do guia pelos Especialistas

Código	Questão de Avaliação
EC1	Os materiais e a instrumentação fornecidos para a utilização do guia foram adequados e eficazes para a compreensão?
EC2	A organização dos tópicos do Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> facilitou sua compreensão e sua utilização?
EC3	Os tópicos abordados no guia estão organizados de forma lógica e sequencial?
EC4	Os exemplos dos casos de teste abstratos fornecidos no Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> foram úteis para criação dos casos de teste concretos?
EC5	O Guia de Teste de <i>Interoperabilidade</i> se mostrou eficaz no planejamento das atividades referentes ao teste de <i>Interoperabilidade</i> ?
EC6	Os exemplos e ilustrações fornecidos no guia foram úteis para entender os conceitos apresentados?
EC7	Você considera que o guia cobriu todos os aspectos relevantes do teste de <i>Interoperabilidade</i> em uma aplicação IoT?

A Figura 18 apresenta a concordância entre os especialistas quanto à avaliação da estrutura e do conteúdo do guia. Cada linha representa uma pergunta relacionada à avaliação.

Para a pergunta **EC1**, sobre a adequação e eficácia dos materiais e da instrumentação fornecidos para a compreensão do guia, os resultados mostraram que cinco especialista (83,3%) concordaram totalmente com essa afirmação, enquanto um participante (16,7%) concordou parcialmente.

Nas perguntas **EC2**, **EC6** e **EC7**, todos os seis especialistas (100%) também concordaram to-

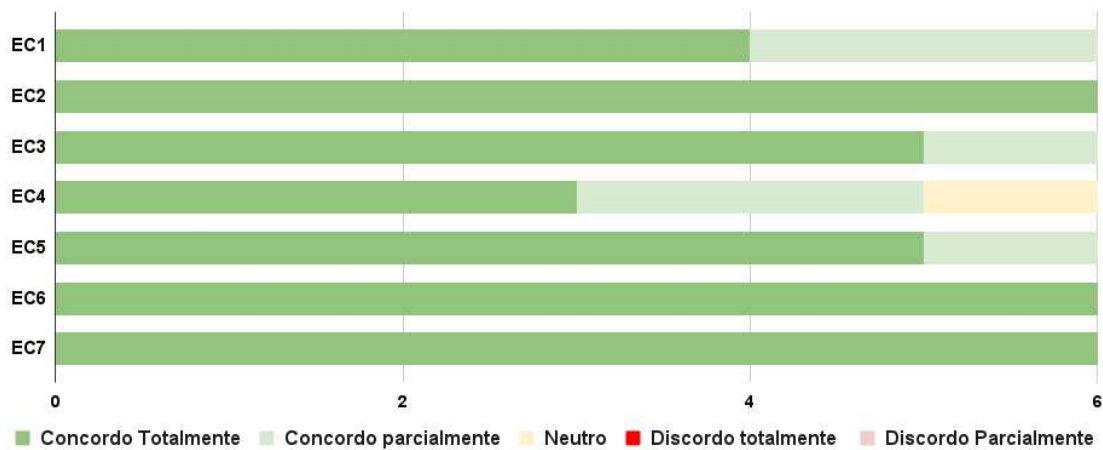


Figura 18 – Avaliação da estrutura e conteúdo do guia

talmente com as afirmações. Para os itens **EC3** e **EC5**, cinco especialistas (83,3%) manifestaram concordância total. No entanto, na pergunta **EC4**, a distribuição das respostas foi mais variada: três especialistas (50%) concordaram totalmente, dois especialistas (33,3%) apresentaram concordância parcial, e um especialista (16,7%) expressou uma opinião neutra.

A moda para avaliação da estrutura e do conteúdo do guia foi 5. Os resultados demonstram que o guia é bem estruturado e organizado. Contudo, o item **EC4** apresentou que apesar da aceitação positiva, alguns especialistas encontraram áreas para melhorias, especialmente na utilidade dos exemplos fornecidos para a criação de casos de teste concretos.

6.4.1.2 Avaliação do uso do Guia de Teste de Interoperabilidade

Para a avaliação do uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*, foram formuladas 10 perguntas abertas com o objetivo de investigar a eficácia e a aplicabilidade do guia em diferentes etapas do processo de teste, as perguntas são apresentadas na Tabela 31.

Os resultados obtidos pelos especialistas em relação à execução dos testes revelam que cinco especialistas (ESP1, ESP3, ESP4, ESP5 e ESP6) realizaram os testes exclusivamente de forma manual, o que representa (90%) dos participantes. Apenas um especialista (ESP2) utilizou tanto a abordagem manual quanto a automática.

A prevalência da execução manual pode ser atribuída à complexidade dos testes, que frequentemente exigem intervenção humana direta. Embora a automação ofereça eficiência, ela pode ser mais complexa e demorada para implementar. A única exceção foi o especialista ESP3, que utilizou uma combinação de métodos manuais e automáticos. Essa escolha ressalta a vantagem

Tabela 31 – Avaliação do uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

ID	Descrição
UG1	Como foi a execução dos testes?
UG2	Quanto tempo foi gasto na etapa de leitura e compreensão do guia?
UG3	Quanto tempo foi gasto no total da avaliação considerando que temos 5 etapas que requerem esforços: (i) Etapa de leitura e compreensão do guia; (ii) Etapa de planejamento dos testes; (iii) Etapa de configuração do ambiente; (iv) Etapa de especificação dos testes; e (v) Etapa de execução dos testes
UG4	Você usou alguma ferramenta sugerida no guia? Qual(is)?
UG5	Utilizou alguma ferramenta que não foi mencionada no guia? Qual?
UG6	Para o planejamento, especificação e execução dos testes, você utilizou todas os tópicos do Guia?
UG7	Fez uso de medidas? Se sim, quantas foram coletadas?
UG8	Utilizou alguma medida que não foi apresentada no guia?
UG9	Quais as falhas IoT que você identificou através do uso do guia?
UG10	Caso tenha encontrado falhas na aplicação testada, você teve dificuldade em classificar e fornecer gravidade (severidade) a essas falhas com o template fornecido na instrumentação?

de integrar ambos os métodos para uma avaliação mais abrangente e detalhada, equilibrando a precisão do teste manual com a eficiência da automação. Vale destacar que o ESP3 é líder de teste, com experiência avançada em testes e conhecimento em teste de *Interoperabilidade*, o que enriquece e valida ainda mais esses dados.

A Figura 19 apresenta os resultados obtidos pelos especialistas em relação ao tempo gasto na etapa de leitura e compreensão do guia. Essa etapa é crucial para garantir que os especialistas entendam completamente o conteúdo e as instruções fornecidas no guia.

Os resultados apresentam uma variação no tempo necessário para a leitura e compreensão do guia entre os especialistas, considerando suas áreas de atuação. Especialistas que atuam diretamente com testes, como ESP4 e ESP5, levaram entre 2 e 3 horas para completar essa etapa. Por outro lado, ESP1, ESP3 e ESP6, que atuam tanto em IoT quanto em testes, concluíram a leitura em menos de 2 horas, sugerindo que a experiência em ambas as áreas facilita a compreensão do guia de maneira eficiente.

Por outro lado, o especialista (ESP2), que possui uma atuação dividida entre o meio acadêmico e profissional e foco em IoT, levou entre 3 e 5 horas para completar a leitura, indicando uma

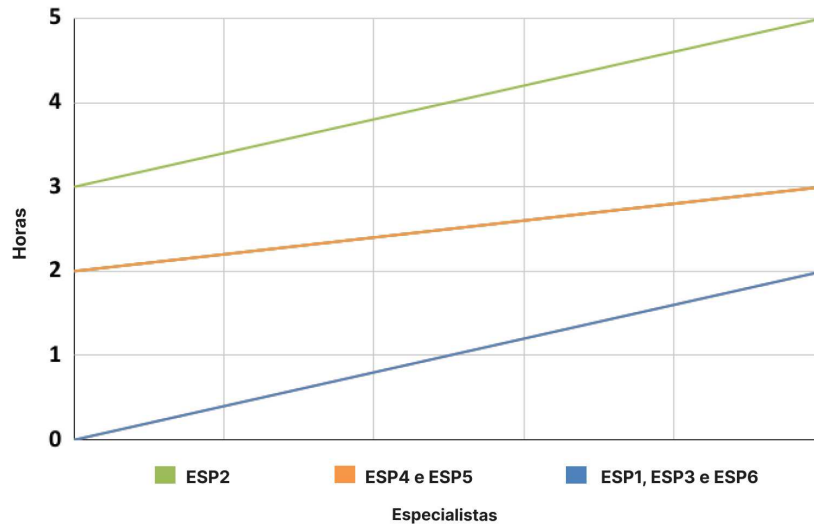


Figura 19 – Tempo gasto na etapa de leitura e compreensão do guia

análise mais detalhada e cuidadosa ou possíveis dificuldades específicas na compreensão do material.

A diversidade nos tempos de leitura e compreensão pode ser atribuída às diferenças nas áreas de atuação dos especialistas. Aqueles com experiência em ambas as áreas de IoT e testes geralmente levaram menos tempo, enquanto especialistas focados exclusivamente em testes ou com uma atuação acadêmica levaram mais tempo. No entanto, o fato de a maioria dos especialistas ter concluído a leitura e compreensão em um tempo relativamente curto indica que o guia é, em geral, bem estruturado e claro, independentemente das diferenças individuais nas áreas de conhecimento e atuação.

A Figura 20 apresenta os resultados obtidos pelos especialistas em relação ao tempo total na avaliação, levando em conta as cinco etapas: leitura e compreensão do guia, planejamento dos testes, configuração do ambiente, especificação dos testes e execução dos testes.

Os resultados mostram uma variação no tempo total gasto na avaliação, considerando as diferentes áreas de atuação dos especialistas. Especialistas que atuam tanto em IoT quanto em testes, como ESP1, ESP3 e ESP6, levaram entre duas e três horas para completar todas as etapas. Isso sugere que a experiência em ambas as áreas facilita uma abordagem eficiente e bem planejada para realizar todas as etapas da avaliação.

Por outro lado, o especialista ESP2, que possui foco em IoT, gastou cinco horas ou mais para completar a avaliação. Esse tempo mais longo pode indicar uma abordagem mais detalhada ou possíveis dificuldades específicas na execução.

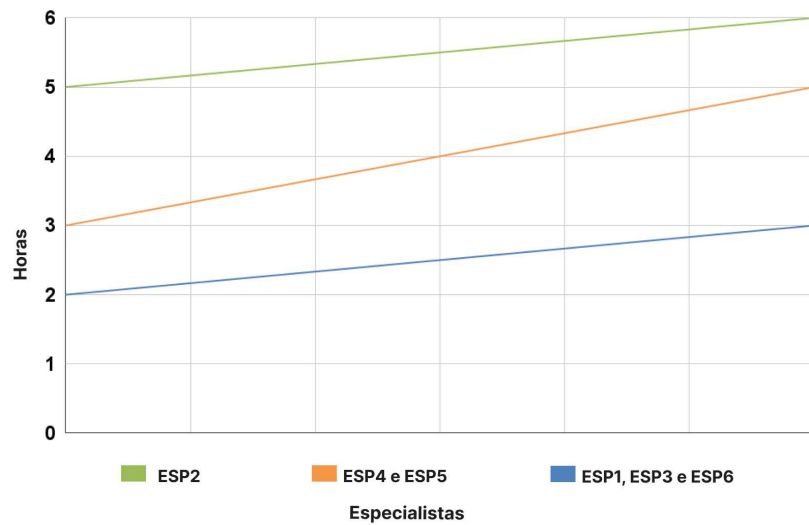


Figura 20 – Tempo total gasto na avaliação

Especialistas focados exclusivamente em testes, como ESP4 e ESP5, levaram mais de três e menos de cinco horas para concluir a avaliação. Esse período sugere que, embora a experiência em testes permita uma avaliação abrangente, pode haver uma necessidade de maior tempo para executar todas as tarefas propostas.

Essa variação nos tempos pode refletir diferenças individuais nas metodologias de trabalho, na familiaridade com o conteúdo abordado no guia e na complexidade percebida das tarefas a serem executadas. As variações podem fornecer *insights* valiosos para otimizar o guia, visando torná-lo mais eficiente e acessível, sem comprometer a qualidade e a abrangência da avaliação realizada pelos especialistas.

Os resultados obtidos dos especialistas quanto ao planejamento, especificação e execução dos testes apresentados na Tabela 31 (pergunta UG6) indicam que somente o especialista ESP3 utilizou todos os tópicos do guia, destacando-se por ser o único que automatizou os testes. Esse especialista, que atua como Líder de Teste e possui uma experiência significativa em IoT, *Interoperabilidade* e Teste, demonstrou uma compreensão abrangente e uma aplicação completa do guia.

Os outros cinco especialistas (ESP1, ESP2, ESP4, ESP5 e ESP6) não utilizaram todos os tópicos do guia. Relataram não ter utilizado o tópico de ferramentas, o que pode indicar que houve dificuldade no entendimento. A automação dos testes, que requer um conhecimento avançado, pode ter sido um desafio para esses especialistas, contribuindo para a omissão desse tópico. Além disso, a falta de familiaridade com as ferramentas recomendadas pode ter levado a

uma menor confiança na aplicação dos testes automatizados.

A pergunta UG7 tem como objetivo identificar se os especialistas usaram medidas durante a avaliação e quantificar a quantidade de medidas coletadas. A Tabela 32 ilustra a distribuição e a diversidade das medidas coletadas.

Tabela 32 – Medidas coletadas pelos especialistas

ID	Medidas Coletadas
ESP1	Tempo médio de resposta nas solicitações de informações; Taxa de sucesso na integração com sistemas de transporte;
ESP3	Tempo médio de resposta nas solicitações de informações; Taxa de sucesso na integração com sistemas de transporte; Nível de conformidade com protocolos de comunicação; Tempo necessário para adaptar o aplicativo a novos sistemas de transporte; e Nível de segurança das transações de dados.
ESP6	Tempo médio de resposta nas solicitações de informações e Tempo necessário para adaptar o aplicativo a novos sistemas de transporte

Os resultados obtidos na Tabela 32 indicam que três especialistas (ESP1, ESP3 e ESP6) fizeram uso de medidas durante a avaliação, enquanto três especialistas (ESP2, ESP4 e ESP5) não utilizaram. A análise desses dados sugere que os especialistas com maior experiência e conhecimento na área, foram mais propensos a coletar um conjunto mais extenso de medidas.

A pergunta UG9 busca identificar se os especialistas detectaram falhas durante o teste, as quais foram documentadas na Tabela 33.

Tabela 33 – Falhas identificadas pelos especialistas

ID	Descrição da Falha
ESP1 ESP3	“O aplicativo apresentou períodos de inatividade que impediram o acesso das rotas e horários.”
ESP1 e ESP3	“O aplicativo apresentou lentidão na atualização das informações.”
ESP1 e ESP3	“A interface do usuário é pouco intuitiva, dificultando a navegação.”
ESP1 e ESP2	“Interrupções que afetaram a capacidade de acessar informações sobre horários e localização dos ônibus.”
ESP1 e ESP2	“As estimativas de chegada dos ônibus estavam incorretas
ESP1 e ESP2	“Houve dificuldades na integração com app externo, afetando a atualização das informações de rotas e horários.”
ESP4 e ESP5	“Apresentou falhas ou travamentos inesperados durante o uso.”
ESP4 e ESP5	“Problemas na comunicação entre o aplicativo e os sistemas de transporte resultaram em informações desatualizadas.”

Os resultados indicam que os especialistas identificaram falhas em diversos Requisitos Não Funcionais, como disponibilidade, *Interoperabilidade*, desempenho, usabilidade e instabilidade.

Além disso, todos os seis especialistas relataram não ter encontrado dificuldades na classificação e na atribuição de gravidade (severidade) às falhas identificadas (pergunta UG 10), conforme o template (ver apêndice G) fornecido na instrumentação. A ausência de dificuldades na classificação das falhas sugere que o guia oferece ferramentas e recursos adequados, facilitando o processo de identificação e análise de problemas em sistemas IoT. Este resultado reforça a percepção de que o guia é intuitivo e eficiente, conduzindo os especialistas de forma eficaz durante o teste e a avaliação.

6.4.2 Percepção geral sobre a utilização do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

Para avaliar a percepção sobre o uso do Guia de Teste de *Interoperabilidade*, foram formuladas nove perguntas com o objetivo de verificar se o guia é útil para os especialistas.

As perguntas PG1 á PG5 foram estruturadas utilizando a escala *Likert*. Além dessas perguntas, foram formuladas três de maneira aberta (PG6 á PG9). As perguntas são apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34 – Perguntas sobre o Guia de Teste de *Interoperabilidade*

ID	Descrição
PG1	O uso do guia de teste de <i>Interoperabilidade</i> facilitou o planejamento do teste?
PG2	O uso do guia de teste de <i>Interoperabilidade</i> me orientou na criação dos casos de teste?
PG3	O guia de teste de <i>Interoperabilidade</i> foi útil na orientação para seleção de medidas?
PG4	O guia de teste de <i>Interoperabilidade</i> foi útil na orientação para calcular o custo benefício?
PG5	O guia de teste de <i>Interoperabilidade</i> me proporcionou uma melhor compreensão sobre o Teste de <i>Interoperabilidade</i> ?
PG6	Dentre os tópicos do guia, marque as que você achou mais relevante para o teste de <i>Interoperabilidade</i> de IoT.
PG7	Teve algum tópico do guia que você não entendeu? Justifique.
PG8	Cite os pontos positivos do guia de teste de <i>Interoperabilidade</i> para IoT.
PG9	Cite os pontos de melhoria do guia de teste de <i>Interoperabilidade</i> para IoT.

A Figura 21 apresenta os resultados obtidos a partir das respostas às perguntas PG1 a PG5, que avaliaram a percepção dos especialistas sobre a utilidade do Guia de Teste de *Interoperabilidade* na prática.

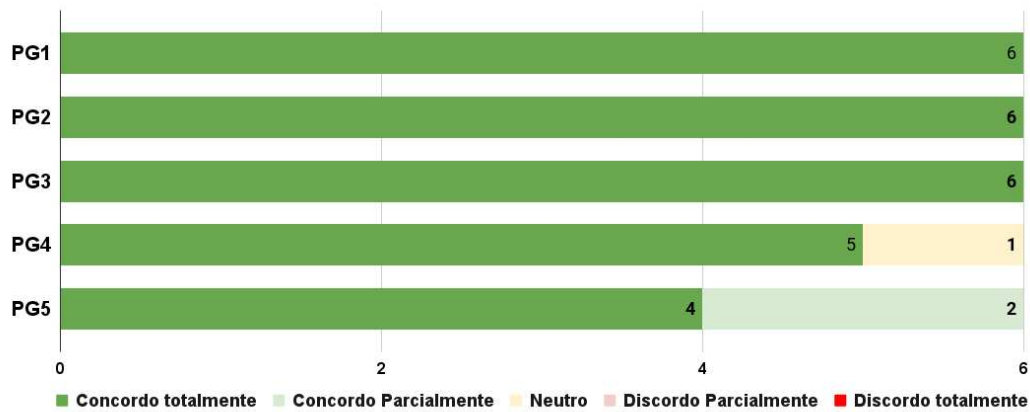


Figura 21 – Percepção geral da utilização do Guia de Teste de *Interoperabilidade*

Os resultados indicam uma tendência de aprovação em relação à utilidade do guia de teste de *Interoperabilidade* entre os especialistas. Nas primeiras três perguntas (PG1, PG2 e PG3), todos os seis especialistas (100%) concordaram totalmente com as afirmações de que o guia facilitou o planejamento dos testes de *Interoperabilidade*, orientou na criação dos casos de teste e foi útil na seleção de medidas. Esses resultados indicam uma percepção positiva e consistente da eficácia do guia.

Na quarta pergunta (PG4), cinco especialistas (83%), concordaram totalmente que o guia foi útil na orientação para calcular o custo-benefício de um teste de *Interoperabilidade*. Apenas um participante (17%) mostrou-se neutro, esse resultado indica que, enquanto a percepção geral é positiva, há um pequeno indicativo de que o guia poderia oferecer maior clareza ou detalhes nessa questão.

A última pergunta (PG5), quatro participantes (67%) concordaram totalmente e dois participantes (33%) concordaram parcialmente que o guia proporcionou uma melhor compreensão sobre o teste de *Interoperabilidade*. Este resultado indica que o guia auxilia na compreensão dos testes de *Interoperabilidade*, porém, ele ainda pode ser refinado para melhorar a sua clareza.

A moda geral para a percepção da utilização do Guia de Teste de *Interoperabilidade* foi 5. Isso indica que a maioria dos especialistas avaliou positivamente a utilidade do guia, evidenciando sua eficácia tanto no planejamento quanto na execução dos testes de aplicações IoT. No entanto, os resultados também sugerem que existem áreas que podem ser refinadas para aumentar ainda mais a clareza e a aplicabilidade prática do guia.

A pergunta PG6 visa identificar os tópicos mais relevantes do Guia de Teste de *Interoperabilidade* conforme a avaliação dos especialistas. A Tabela 35 apresenta esses tópicos destacados.

Tabela 35 – Tópicos do guia mais relevantes para o teste de *Interoperabilidade*

Tópico do Guia	Especialistas
Definição de Característica	ESP1
Desafios de Teste de <i>Interoperabilidade</i>	ESP1, ESP2, ESP3, EP4, EP5 e EP6
Configuração do ambiente	ESP1, ESP3, ESP4, ESP5
Custo-benefício	ESP1
Exemplo de uso do guia	ESP1, ESP3, ESP4, EP5, EP6
Correlações das características	ESP2, ESP3
Integração de sistema	ESP2, ESP3
Sugestões de ferramentas	ESP2, ESP3, ESP4, ESP5, ESP6
Semântica de dados	ESP5

Os resultados, apresentados na Tabela 35, revelam que o tópico “Desafios de Teste de *Interoperabilidade*” foi o mais mencionado, com todos os seis especialistas (100%) destacando sua importância. Este tópico é crucial para a identificação e abordagem de desafios específicos no teste de *Interoperabilidade* em IoT.

Os tópicos “Sugestões de Ferramentas” e “Exemplo de Uso do Guia” foram ambos destacados por cinco especialistas. A alta relevância desses tópicos indica a necessidade de ferramentas práticas e exemplos claros para um teste eficaz.

Os tópicos “Configuração do Ambiente” e “Correlação das Características” foram mencionados por quatro e dois especialistas, respectivamente, refletindo a importância da preparação adequada do ambiente de teste e a compreensão das inter-relações entre características de *Interoperabilidade*.

Os tópicos “Integração de Sistema”, “Definição de Característica”, “Custo-benefício” e “Semântica de Dados” foram mencionados com menor frequência, sugerindo que, embora relevantes, não são considerados prioritários por todos os especialistas.

A questão (PG7) buscou identificar se houve algum tópico do guia que não foi compreendida pelos especialistas e solicitou justificativas para eventuais dificuldades de entendimento. Os resultados indicam que todos os seis especialistas relataram não ter encontrado dificuldades na compreensão dos tópicos do guia. Esses resultados indicam que o guia é bem estruturado e escrito de maneira acessível, facilitando a compreensão e a aplicação prática pelos especialistas.

A Tabela 36 apresenta os pontos positivos do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para IoT, conforme relatado por quatro especialistas na questão PG8.

Os resultados destacam os pontos positivos do Guia de Teste de *Interoperabilidade* como uma

Tabela 36 – Pontos Positivos do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para IoT

ID	Comentário
ESP1	Uma ferramenta didática de apoio, com definições objetivas, e que muito facilita o entendimento para quem desconhece a área.
ESP3	Foi um guia muito bem produzido e que me permitiu realizar um teste robusto baseados nas orientações repassadas.
ESP5	Facilita a compreensão e os passos a serem feitos para a realização de um bom teste.
ESP4	O guia é útil para diversas atividades de Teste de Software, como por exemplo: (i) Planejamento de Testes; (ii) Especificação de Testes; e (iii) Execução de Testes.

ferramenta valiosa, bem-organizada e acessível, que facilita a realização de testes abrangentes e robustos.

Para aprimorar o Guia de Teste de *Interoperabilidade* para IoT, os especialistas forneceram feedback detalhado. A Tabela 37 apresenta os comentários sugeridos pelos especialistas que responderam à pergunta PG9.

Tabela 37 – Pontos de Melhoria do Guia de Teste de *Interoperabilidade* para IoT

ID	Comentários
ESP1	“Eu não incluiria a seção de ferramentas, pois fiquei confusa com a quantidade apresentada. Considerando que o teste é de <i>Interoperabilidade</i> , um manual seria mais recomendado, dado que a aplicação é pequena. A seção de correlações também não me pareceu muito útil.”
ESP6	“Parabéns pela construção do Guia; é evidente o grande trabalho realizado. Recomendo a inclusão de um template para a elaboração de um plano de teste de <i>Interoperabilidade</i> .”

A avaliação positiva geral e a ausência de críticas significativas em algumas respostas refletem a qualidade do Guia de teste de *Interoperabilidade*, mas as sugestões recebidas são fundamentais para aprimorar ainda mais o guia. Incorporar essas melhorias garantirá que o guia continue a ser uma ferramenta útil e eficaz para testes de *Interoperabilidade* em diversos contextos de IoT.

6.5 Ameaças à validade

De acordo com a classificação proposta por Wohlin et al. (2012) (WOHLIN *et al.*, 2012), as ameaças à validade de um estudo empírico podem ser organizadas em quatro categorias: validade de construção, validade interna, validade externa e validade de conclusão. Essas categorias

permitem analisar, respectivamente, se os instrumentos utilizados medem corretamente o que se pretende avaliar, se os resultados observados são decorrentes dos tratamentos aplicados, se os achados podem ser generalizados e se as conclusões são suportadas adequadamente pelos dados obtidos. A seguir, são discutidas as principais ameaças identificadas neste estudo.

6.5.1 Validade de Construção

A validade de construção refere-se ao grau em que os instrumentos e procedimentos utilizados representam adequadamente os conceitos investigados. Neste estudo, uma ameaça potencial está relacionada ao uso de questionários baseados no modelo TAM para avaliar a aceitação do guia. Embora o TAM seja amplamente utilizado para esse fim, existe o risco de que as respostas dos participantes reflitam percepções subjetivas ou interpretações individuais das questões, e não necessariamente o uso efetivo do guia.

Outra ameaça à validade de construção está associada ao contexto educacional em que as avaliações foram realizadas. Os participantes eram alunos matriculados em uma disciplina, o que pode ter influenciado suas respostas em função da relação com o ambiente acadêmico ou com o pesquisador responsável. Em particular, o fato de a atividade estar vinculada à avaliação da disciplina poderia ter levado alguns participantes a fornecer respostas mais favoráveis ao guia, caracterizando um possível viés de desejabilidade social. No entanto, é importante destacar que a atividade não teve caráter avaliativo (não valendo nota), sendo utilizada apenas como parte do processo de mitigação dessa ameaça à validade.

Para mitigar essas ameaças, foram utilizados instrumentos previamente consolidados na literatura, como o modelo TAM, e as instruções fornecidas aos participantes enfatizaram que as respostas não teriam impacto direto em suas avaliações individuais. Ainda assim, tais ameaças não podem ser completamente eliminadas.

6.5.2 Validade Interna

A validade interna diz respeito à relação de causa e efeito entre o uso do guia e os resultados observados. Uma ameaça identificada foi o conhecimento prévio limitado dos participantes sobre testes de interoperabilidade. Para reduzir esse impacto, as avaliações foram conduzidas após a exposição dos alunos a conteúdos teóricos e práticos relacionados à área, no âmbito da disciplina de Verificação e Validação de Software. Além disso, foi aplicado um questionário

pré-teste com o objetivo de verificar o nível de conhecimento dos participantes e promover maior homogeneidade entre eles.

Outra ameaça à validade interna refere-se ao número reduzido de participantes, especialmente na avaliação baseada no modelo TAM e na avaliação com especialistas. O tamanho limitado das amostras pode influenciar a estabilidade dos resultados observados. Como estratégia de mitigação, foram realizadas três avaliações distintas, com diferentes perfis de participantes e diferentes objetivos (aceitação, uso prático e análise técnica), buscando obter uma visão mais ampla sobre o guia proposto.

Adicionalmente, o tempo restrito para a execução do experimento controlado, limitado a uma aula de duas horas, pode ter influenciado a profundidade com que os participantes aplicaram o guia. Para minimizar esse efeito, foram fornecidos roteiros detalhados e instruções prévias, de modo a otimizar o uso do tempo disponível.

6.5.3 Validade Externa

A validade externa está relacionada à possibilidade de generalização dos resultados para outros contextos, aplicações ou populações. Uma ameaça relevante decorre do uso de apenas uma aplicação IoT no experimento, baseada no sistema Rottas-UFC, configurado em ambiente de laboratório para simular o comportamento de um ônibus em circulação. Embora essa aplicação contemple funcionalidades típicas de sistemas IoT, os resultados obtidos estão restritos a esse contexto específico.

Além disso, a simulação do ambiente real pode não reproduzir integralmente todas as condições e variabilidades encontradas em cenários reais de operação, o que limita a extrapolação direta dos resultados para outras aplicações IoT.

Dessa forma, os achados deste estudo devem ser interpretados como indícios iniciais sobre o potencial do guia proposto, não sendo possível afirmar sua aplicabilidade universal para todos os tipos de sistemas IoT. Estudos adicionais, envolvendo diferentes aplicações, contextos e perfis de usuários, são necessários para ampliar a validade externa dos resultados.

6.5.4 Validade de Conclusão

A validade de conclusão refere-se ao grau em que as conclusões extraídas são justificadas pelos dados obtidos. Uma ameaça identificada está relacionada ao tamanho reduzido das amostras

utilizadas nas avaliações, o que pode limitar a força estatística das análises realizadas e aumentar a probabilidade de interpretações equivocadas.

Além disso, como parte dos resultados baseia-se em percepções dos participantes, existe o risco de que fatores externos, como motivação pessoal, experiência prévia ou expectativas em relação ao estudo, tenham influenciado as respostas.

Para mitigar essas ameaças, os resultados foram analisados de forma descritiva e interpretados com cautela, evitando generalizações indevidas. Além disso, foram utilizados métodos estatísticos, como o teste T-Student, para apoiar a análise das diferenças observadas entre os grupos, reduzindo a subjetividade na interpretação dos dados. Também foram realizadas três avaliações independentes, envolvendo diferentes especialistas, e a aplicação do estudo em um cenário de aplicação IoT, de forma a aumentar a robustez da análise. Assim, as conclusões apresentadas neste trabalho indicam tendências e evidências iniciais sobre a utilidade do guia, e não provas definitivas de sua eficácia.

6.5.5 Considerações finais

Este estudo compreendeu três avaliações do Guia de Teste de Interoperabilidade. A primeira, baseada no modelo TAM, contou com a participação de seis alunos e teve como objetivo analisar a aceitação do guia. A segunda consistiu em um experimento controlado, com a participação de doze alunos, visando observar o uso prático do guia em uma aplicação IoT. A terceira avaliação foi conduzida com seis especialistas, buscando obter uma análise técnica e metodológica do guia.

Os resultados obtidos fornecem indícios de que o guia pode auxiliar na atividade de teste de interoperabilidade em aplicações IoT. Contudo, tais resultados devem ser interpretados à luz das ameaças à validade discutidas neste capítulo. Em especial, ressalta-se que os achados não permitem afirmar a eficácia do guia de forma conclusiva, mas apontam evidências iniciais de sua utilidade e potencial de aplicação, motivando a realização de estudos futuros mais amplos e controlados.

7 DISCUSSÃO

Neste capítulo, discutem-se as questões de pesquisa investigadas. Essas questões, formuladas para orientar a avaliação e análise da característica de *Interoperabilidade* em aplicações IoT, além de identificar abordagens de teste e desafios relacionados, são:

- **QP1-** Como avaliar a característica de *Interoperabilidade* em aplicações IoT?
- **QP2-** Quais são as abordagens de teste usadas para avaliar *Interoperabilidade* em aplicações IoT?
- **QP3-** Quais são os principais desafios relacionados ao teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT?

O restante do capítulo está estruturado em três seções principais. A Seção 7.1 aborda a questão de pesquisa QP1, focando na avaliação da característica de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. A Seção 7.2 explora a questão QP2, que examina as abordagens de teste utilizadas para avaliar a *Interoperabilidade* em sistemas IoT. Por fim, a Seção 7.3 trata da questão QP3, que investiga os principais desafios relacionados ao teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Cada uma dessas seções oferece uma análise das perguntas formuladas, detalhando os métodos de avaliação empregados, as abordagens de teste adotadas e os desafios encontrados durante o estudo da *Interoperabilidade* em aplicações IoT.

7.1 QP1. Como avaliar a característica de Interoperabilidade para aplicações IoT?

A avaliação da *Interoperabilidade* em aplicações IoT representa um desafio significativo e requer uma abordagem sistemática, conforme evidenciado pelos estudos analisados na revisão da literatura. A partir dos 152 artigos selecionados para construção do guia, observou-se que a maioria dos trabalhos destaca a necessidade de compreender previamente os requisitos de *Interoperabilidade* associados ao contexto da aplicação, considerando a heterogeneidade de dispositivos, protocolos e tecnologias envolvidas no ecossistema IoT (ZAIDI *et al.*, 2009; GUNATHILAKA *et al.*, 2016; RATH *et al.*, 2018).

Diversos estudos enfatizam a importância dos testes de integração como estratégia central para a avaliação da *Interoperabilidade*. Os trabalhos de Zaid *et al.* (ZAIDI *et al.*, 2009) e Gunathilaka *et al.* (GUNATHILAKA *et al.*, 2016) propõem a utilização de cenários que simulam condições reais de operação, a fim de verificar a capacidade dos dispositivos e sistemas de

se comunicarem adequadamente. Contudo, tais abordagens concentram-se principalmente em interações específicas entre componentes, apresentando limitações quanto à cobertura de cenários mais complexos e à análise de escalabilidade.

Além disso, parte dos artigos analisados aponta o uso de ferramentas e plataformas especializadas como suporte à avaliação da *Interoperabilidade*. Rath et al. (RATH *et al.*, 2018) e Kuzniar et al. (KUZNIAR *et al.*, 2012) descrevem soluções voltadas à automação de testes e à verificação de compatibilidade entre sistemas. Embora essas ferramentas contribuam para a identificação de falhas de comunicação e inconsistências, observa-se que a maioria dos trabalhos não adota uma estrutura metodológica integrada que contemple, de forma explícita, as etapas de planejamento, especificação e execução dos testes.

A análise dos estudos evidencia ainda que poucos trabalhos apresentam diretrizes claras para a definição de métricas específicas de *Interoperabilidade* ou para a construção de casos de teste abstratos adaptados a diferentes domínios de aplicação IoT. Essa lacuna metodológica reforça a necessidade de uma abordagem estruturada que organize essas atividades de forma sistemática.

Nesse contexto, o Guia de Teste de *Interoperabilidade* para Aplicações IoT proposto neste estudo foi concebido a partir das limitações identificadas na literatura. Diferentemente das abordagens existentes, o guia organiza explicitamente as etapas de planejamento, especificação e execução dos testes, incorporando características correlacionadas à IoT, propriedades e métricas específicas, além de casos de teste abstratos e orientações para configuração do ambiente de teste. A relevância de guias estruturados é corroborada por Carvalho, Lelli e Andrade (CARVALHO *et al.*, 2022) e por Caldas (CALDAS, 2023), que destacam a importância de métodos sistemáticos para a avaliação de características de qualidade em aplicações IoT, embora não abordem a *Interoperabilidade* de forma tão abrangente quanto a proposta apresentada neste trabalho.

7.2 QP2. Quais são as abordagens de teste usadas para avaliar Interoperabilidade em aplicações IoT?

A revisão dos artigos para construção do guia revelou que há poucas abordagens dedicadas exclusivamente à avaliação da *Interoperabilidade* em aplicações IoT. A maioria dos trabalhos utiliza estratégias derivadas de testes tradicionais de software, como testes de integração e testes de sistema, adaptadas de forma parcial ao contexto IoT (ZAIDI *et al.*, 2009; GUNATHILAKA *et al.*, 2016).

Entre as abordagens identificadas, destaca-se o *checklist* proposto por Caldas (CALDAS, 2023), que fornece um conjunto de itens para verificação da compatibilidade entre dispositivos e plataformas IoT. Essa abordagem permite uma avaliação sistemática de aspectos relacionados à comunicação e integração, porém não define procedimentos detalhados para a geração de casos de teste nem métricas específicas de *Interoperabilidade*.

O trabalho de Carvalho, Lelli e Andrade (CARVALHO *et al.*, 2022) é relevante e apresenta um guia estruturado para a avaliação de desempenho em sistemas IoT. Embora esse guia demonstre a viabilidade de uma abordagem organizada por etapas, seu foco está na característica de desempenho, não contemplando diretamente os desafios da *Interoperabilidade*, como a heterogeneidade de protocolos e a integração entre diferentes domínios.

Além dessas propostas, alguns estudos utilizam frameworks genéricos de teste ou ferramentas automatizadas para validar interações entre componentes IoT (RATH *et al.*, 2018; KUZNIAR *et al.*, 2012). Entretanto, tais abordagens não são alinhadas especificamente aos padrões de qualidade relacionados à *Interoperabilidade* definidos pela norma ISO, limitando-se à verificação funcional da comunicação entre dispositivos.

Dessa forma, a análise da literatura evidencia a ausência de uma abordagem de teste dedicada à *Interoperabilidade* em aplicações IoT que integre, de maneira sistemática, planejamento, especificação e execução dos testes. Com base nessa lacuna, este estudo propõe um guia de teste voltado especificamente para essa característica, estruturado para lidar com as particularidades dos ambientes IoT e fundamentado nos desafios e limitações observados nos trabalhos existentes.

7.3 QP3. Quais são os principais desafios relacionados ao teste de Interoperabilidade em aplicações IoT?

Com base na análise dos artigos selecionados (ver apêndice A), foram identificados um conjunto de 20 desafios associados ao teste de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. Esses desafios refletem a natureza distribuída, heterogênea e dinâmica desse tipo de sistema, conforme relatado por diversos estudos (ZAIDI *et al.*, 2009; GUNATHILAKA *et al.*, 2016; RATH *et al.*, 2018).

Entre os principais desafios, destaca-se a diversidade de dispositivos e protocolos de comunicação. Muitos trabalhos apontam que a coexistência de diferentes padrões e arquiteturas dificulta a definição de procedimentos de teste uniformes, exigindo abordagens flexíveis capazes

de abranger múltiplas configurações (GUNATHILAKA *et al.*, 2016; KUZNIAR *et al.*, 2012).

Questões relacionadas à segurança e à privacidade também foram frequentemente mencionadas nos estudos analisados. A interoperabilidade entre sistemas distintos pode ampliar a superfície de ataque, tornando necessário que os testes considerem aspectos como proteção de dados, autenticação e controle de acesso (RATH *et al.*, 2018). Esses fatores ampliam a complexidade do processo de teste, pois envolvem não apenas a verificação funcional da comunicação, mas também requisitos não funcionais críticos.

Outro desafio recorrente refere-se à escalabilidade e à integração com sistemas legados. Os trabalhos indicam que soluções IoT frequentemente precisam interagir com infraestruturas pré-existentes, o que pode gerar incompatibilidades e exigir adaptações específicas nos testes (ZAIDI *et al.*, 2009). Além disso, a ampliação do número de dispositivos conectados pode revelar problemas de interoperabilidade que não são detectados em cenários de pequena escala.

Com base nesses desafios, este estudo incorporou ao guia de teste de *Interoperabilidade* uma seção específica dedicada à discussão e ao tratamento dessas dificuldades. Essa seção apresenta orientações para lidar com a heterogeneidade de dispositivos, os requisitos de segurança e privacidade, bem como questões de escalabilidade e integração com sistemas legados. Assim, o guia proposto não apenas reconhece os desafios identificados na literatura, mas também oferece diretrizes práticas para enfrentá-los, tornando-se mais adequado às condições reais de aplicações IoT.

7.4 Considerações finais

Neste capítulo, foram discutidas as questões de pesquisa que guiam este estudo, abordando a avaliação da *Interoperabilidade* em aplicações IoT e os desafios associados. Para RQ1, identificou-se que uma avaliação eficaz exige um planejamento detalhado, incluindo definição clara de casos de teste e medidas apropriadas, além de um ambiente que simule condições reais. O guia desenvolvido oferece uma abordagem estruturada para realizar essas avaliações de forma sistemática. Em relação a RQ2, foi constatada uma lacuna em metodologias específicas para *Interoperabilidade* em IoT. Embora existam abordagens gerais, elas não atendem completamente às necessidades de IoT. Este estudo preenche essa lacuna com um guia específico, proporcionando uma estrutura robusta e sistemática para a avaliação da *Interoperabilidade*. Sobre RQ3, foram identificados 20 desafios principais, como a diversidade de dispositivos e protocolos, questões de

segurança e privacidade, e a necessidade de escalabilidade e integração com sistemas legados. O guia de teste foi aprimorado para abordar esses desafios com diretrizes práticas para adaptação a diferentes protocolos, proteção de dados e integração eficaz. Em suma, o capítulo destaca a importância de abordagens metodológicas robustas e direcionadas para a avaliação e teste da *Interoperabilidade* em IoT, com o guia desenvolvido oferecendo uma ferramenta prática para enfrentar os desafios complexos do ambiente IoT e melhorar as práticas de teste.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Nesta dissertação, foi desenvolvido um Guia de Teste de *Interoperabilidade* para aplicações IoT, com o propósito de oferecer uma assistência estruturada na realização de testes de interoperabilidade com base nas suas subcaracterísticas definidas pela norma ISO/IEC 25010:2011 (ISO/IEC 25010, 2011): Semântica dos Dados, Protocolos de Comunicação, Integração de Sistema e Protocolo de Rede. O guia é estruturado em 12 tópicos distintos, cobrindo aspectos essenciais como definições, correlações das características, desafios de teste de *Interoperabilidade*, configuração do ambiente de teste, casos de teste abstratos, medidas, impacto das subcaracterísticas, custo-benefício, sugestões de ferramentas e exemplo de uso.

O Guia de Teste de *Interoperabilidade* foi desenvolvido para enfrentar os desafios identificados na literatura, como a heterogeneidade dos dados, a presença de múltiplos protocolos de comunicação e a diversidade dos protocolos de transporte. O guia visa preencher lacunas evidenciadas, como a ausência de padronização nos procedimentos de teste de *Interoperabilidade*, a falta de abordagens para este teste e recomendações de ferramentas adequadas para avaliar a *Interoperabilidade* em ambientes IoT.

Para suprir as lacunas identificadas, foram conduzidas duas revisões da literatura. A primeira revisão teve um caráter abrangente, visando a compreensão profunda da característica de *Interoperabilidade*. A segunda revisão focou-se no desenvolvimento dos tópicos específicos do guia de teste para aplicações IoT, evidenciando a centralidade da *Interoperabilidade* nos desafios enfrentados tanto no contexto acadêmico quanto na indústria, e sublinhando a importância de métodos padronizados e ferramentas específicas para a realização de testes eficazes.

O guia foi instanciado com as informações provenientes dos estudos selecionados durante a segunda revisão da literatura. Durante sua elaboração, tornou-se evidente a necessidade de incluir um tópico adicional sobre os desafios de teste de *Interoperabilidade*. Portanto, o guia segue a estrutura de base proposta, com adaptações e aprimoramentos específicos para torná-lo mais acessível e útil.

Para avaliar a eficácia do guia, foram realizadas três avaliações distintas. A primeira avaliação utilizou o modelo TAM com seis participantes, visando avaliar a aceitação do guia. A segunda avaliação foi um experimento controlado com 12 participantes, divididos em dois grupos: um utilizando o guia e outro não. A terceira avaliação envolveu a análise por seis especialistas que

forneceram *feedbacks* para refinamento e aprimoramento do guia.

Os resultados das avaliações foram positivos, demonstrando que o guia de teste de *Interoperabilidade* é eficaz no planejamento e execuções dos testes. Os participantes que utilizaram o guia apresentaram uma maior eficiência e precisão na execução dos testes, criação de casos de teste, bem como um maior número de detecção de falhas IoT.

Em conclusão, esta dissertação apresentou uma contribuição para a área de Teste de *Software*, especificamente em Teste de *Interoperabilidade* no domínio IoT, oferecendo um Guia de Teste de *Interoperabilidade* estruturado para condução dos testes de *Interoperabilidade*. O guia desenvolvido não apenas preenche as lacunas apontadas na literatura, mas também proporciona uma ferramenta prática e acessível para profissionais e pesquisadores, facilitando a avaliação da *Interoperabilidade* e promovendo a qualidade e robustez das aplicações IoT.

8.1 Resultados Alcançados

Esta dissertação trouxe três principais contribuições significativas para o campo dos testes de Interoperabilidade em aplicações IoT:

1. *Desenvolvimento do Guia de Teste de Interoperabilidade*. A principal contribuição desta dissertação é o guia de teste de interoperabilidade¹, elaborado para fornecer uma abordagem abrangente e prática na avaliação das características de *Interoperabilidade* em aplicações IoT. O guia foi desenvolvido com base na revisão da literatura e na análise de estudos existentes, além da observação do comportamento das aplicações IoT. Este guia inclui definições detalhadas, correlações entre características, casos de teste abstratos, medidas e o cálculo do custo-benefício para a avaliação da *Interoperabilidade*. Essas adições visam melhorar a precisão e a eficiência dos testes e facilitar a configuração do ambiente de teste. O guia de Teste de *Interoperabilidade* pode ser utilizado pela comunidade de Engenharia de Software, especialmente por profissionais e pesquisadores na área de Teste de Software.
2. *Identificação e Categorização dos Desafios de Interoperabilidade*. A revisão da literatura permitiu a identificação e categorização de 20 desafios relacionados à interoperabilidade, como a heterogeneidade de dispositivos, a integração de sistemas e os padrões de comunicação. Esses desafios forneceram uma base sólida para a construção do guia de

¹ <https://github.com/karinascb/INTEROPERABILITY-TESTING-GUIDE-FOR-IoT>

teste, orientando a pesquisa para áreas de maior necessidade e garantindo que o guia abordasse problemas críticos encontrados na prática. Além disso, a estrutura do guia foi aprimorada com base na abordagem de Carvalho, Lelli e Andrade (CARVALHO *et al.*, 2022), adicionando um novo tópico específico para *Interoperabilidade*, o que tornou o guia mais prático e adaptado aos desafios identificados.

3. *Avaliação Prática do Guia*. O guia foi testado com uma aplicação IoT denominada Rottas-UFC, utilizando questionários TAM, experimento controlado e avaliação com especialistas. Os resultados indicaram que o guia facilita o processo de teste, melhora a precisão e a eficiência dos testes de *Interoperabilidade* e destaca a aplicabilidade prática da ferramenta. As avaliações reforçam as melhorias significativas que o guia oferece para a prática de testes em ambientes IoT.
4. *Publicação Científica*. Os resultados obtidos com a aplicação do guia foram organizados e submetidos ao *Journal of the Brazilian Chemical Society e Proceedings of the Brazilian Symposium on Multimedia and the Web (WebMedia)* (BRANCO *et al.*, 2024b), o qual foi aceito para publicação. O artigo apresenta detalhadamente os achados da pesquisa, demonstrando como o guia contribui para aprimorar o processo de teste em aplicações IoT, com foco em *Interoperabilidade*, precisão e eficiência. A aceitação no journal reforça a relevância acadêmica e a aplicabilidade prática do guia na área.

Esses resultados evidenciam a robustez e a aplicabilidade da abordagem desenvolvida, oferecendo uma contribuição valiosa para a área de testes de interoperabilidade em aplicações IoT e fornecendo uma ferramenta útil para pesquisadores e profissionais da área.

8.2 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, algumas direções podem ser exploradas para expandir e aprofundar os resultados obtidos. Uma linha de pesquisa relevante seria a avaliação do guia de teste de *Interoperabilidade* em diferentes cenários e contextos da indústria. Conduzir estudos de caso em outros projetos permitirá avaliar a eficácia do guia em outros contextos.

Além disso, a ampliação das avaliações empíricas por meio de novos experimentos controlados envolvendo diferentes perfis de participantes pode fornecer dados adicionais para refinar o guia. Este enfoque ajudará a identificar possíveis melhorias e a adaptar o guia às necessidades variadas dos usuários.

Outro direcionamento de pesquisa é a automação do guia de teste de interoperabilidade para facilitar sua aplicação em projetos IoT. Esta automação incluirá a documentação detalhada de todos os passos do guia, gerando um plano de teste de *Interoperabilidade* contemplando desde a definição das características e a seleção de casos de teste abstratos. A implementação dessa automação tornará o guia mais acessível e eficiente, promovendo sua adoção em larga escala.

Essas direções futuras visam não apenas consolidar os resultados alcançados, mas também abrir novas frentes de pesquisa e desenvolvimento, contribuindo para o avanço contínuo da área de testes de *Interoperabilidade* em aplicações IoT.

REFERÊNCIAS

- AL-FUQAHA, A.; GUIZANI, M.; MOHAMMADI, M.; ALEDHARI, M.; AYYASH, M. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE communications surveys tutorials**, IEEE, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015.
- ALAM, M. N.; MISRA, J.; HASAN, S. M. An overview of iot testing: Challenges, tools, and techniques. In: **Proceedings of the IEEE UEMCON**. [S. l.: s. n.], 2017.
- ALMEIDA, R. L. A. Chase: checklist para avaliação da experiência do usuário em ambientes de internet das coisas. 2018.
- ANDRADE, S.; LUQUE, D. Interoperabilidade de sistemas aplicados às cidades inteligentes: Um estudo de mapeamento sistemático. In: SBC. **Anais do X Workshop de Computação Aplicada em Governo Eletrônico**. [S. l.], 2022. p. 97–108.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- BANDYOPADHYAY, D.; SEN, J. Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. **Wireless personal communications**, Springer, v. 58, n. 1, p. 49–69, 2011.
- BETANCUR, D. C. C.; SÁNCHEZ, J. H. Comunicação assertiva em professores: diagnóstico e proposta educativa. **Praxis & Saber**, v. 10, n. 24, p. 143–165, 2019.
- BLAIR, C.; URSACHE, A. A bidirectional model of executive functions and self-regulation. Guilford Press, 2011.
- BORGIA, E. The internet of things vision: Key features, applications and open issues. **Computer Communications**, Elsevier, v. 54, p. 1–31, 2014.
- BOTTA, A.; DONATO, W. D.; PERSICO, V.; PESCAPÈ, A. Integration of cloud computing and internet of things: A survey. **Future generation computer systems**, Elsevier, v. 56, p. 684–700, 2016.
- BRANCO, K. C.; DANTAS, V.; CARVALHO, L. Interoperability testing guide for the internet of things. In: **Proceedings of the 30th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2024. p. 188–196. ISSN 0000-0000. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/webmedia/article/view/30312>.
- BRANCO, K. d. S. C.; DANTAS, V. L. L.; CARVALHO, L. M. Interoperability testing guide for the internet of things. In: SBC. **Brazilian Symposium on Multimedia and the Web (WebMedia)**. [S. l.], 2024. p. 188–196.
- BRÁS, S. M. **Proposta de solução para a Interoperabilidade de Sistemas na plataforma Elder Care**. Tese (Doutorado) – Instituto Politécnico de Leiria, 2011.
- CALDAS, E. A. L. Checklist para avaliação da interoperabilidade em dispositivos iot com foco em casas inteligentes. 2023.
- CARVALHO, L. M.; LELLI, V.; ANDRADE, R. M. Performance testing guide for iot applications. In: **ICEIS (1)**. [S. l.: s. n.], 2022. p. 667–678.

- CHEN, X.; HUANG, Y.; ZHANG, Z.; LIU, Y. A survey of iot interoperability: From the perspective of standardization and technology. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 173, p. 102943, 2021.
- COLOMBO, J. F.; FILHO, J. de L. Internet das coisas (iot) e indústria 4.0: revolucionando o mundo dos negócios. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 72–85, 2018.
- COUTINHO, A.; CARNEIRO, E. O.; GREVE, F. G. P. Computação em névoa: Conceitos, aplicações e desafios. **Minicursos do XXXIV SBRC**, p. 266–315, 2016.
- DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quarterly**, Management Information Systems Research Center, University of Minnesota, v. 13, n. 3, p. 319–340, 1989.
- DIAS, R. R. d. F.; PERIN, E. Internet das coisas sem mistérios: uma nova inteligência para os negócios. **Renata Rampim de Freitas Dias.: São Paulo Netpress Books**, 2016.
- EMYGDIO, J. L.; ALMEIDA, M. B. Prova de conceito sobre impactos epistêmicos e ontológicos na interoperabilidade semântica de terminologias clínicas. **WWW/INTERNET 2019**, p. 290.
- FERREIRA, H. G. C. Arquitetura de middleware para internet das coisas. 2014.
- FERREIRA, V. G.; HERRERA, C. G.; SOUZA, S.; SANTOS, R. R. d.; SOUZA, P. S. L. d. Software testing applied to the development of iot systems: preliminary results. In: **Proceedings of the 8th Brazilian Symposium on Systematic and Automated Software Testing**. [S. l.: s. n.], 2023. p. 113–122.
- FIENBERG, S. E.; LAZAR, N. William sealy gosset. In: **Statisticians of the Centuries**. New York, NY: Springer New York, 2001. p. 312–317. ISBN 978-1-4613-0179-0. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0179-0_67.
- FONSECA, F.; EGENHOFER, M.; BORGES, K. A. Ontologias e interoperabilidade semântica entre sigs. In: **II Workshop Brasileiro em Geoinformática-GeoInfo2000, Proceedings**. São Paulo. [S. l.: s. n.], 2000.
- GIUSTO, D.; IERA, A.; MORABITO, G.; ATZORI, L. **The internet of things: 20th Tyrrhenian workshop on digital communications**. [S. l.]: Springer Science & Business Media, 2010.
- GUINARD, D. *et al.* A semantic web-based approach for interoperability of smart home systems. **Journal of Universal Computer Science**, v. 22, n. 1, p. 78–101, 2016.
- GULLA, J. A.; TOMASSEN, S. L.; STRASUNSKAS, D. Semantic interoperability in the norwegian petroleum industry. In: **ISTA**. [S. l.: s. n.], 2006. p. 81–93.
- GUNATHILAKA, P.; MASHIMA, D.; CHEN, B. Softgrid: A software-based smart grid tested for evaluating substation cybersecurity solutions. In: **Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Cyber-Physical Systems Security and Privacy**. [S. l.: s. n.], 2016. p. 113–124.
- GURIJALA, Y. R. **Performance Testing Internet of Things**. 2018. <https://www.infosys.com/de/documents/performance-testing-iot.pdf>. Disponível em: <https://www.infosys.com/de/documents/performance-testing-iot.pdf>.

HAMAD, R. M. H. Automation testing and monitoring lab on the cloud for iot smart fleet system (atml & sfs). In: **Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS 2018**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 1–7.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 25012:2008 - Software Engineering – Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Data quality model**. Geneva, Switzerland, 2008.

ISO 15926. **ISO 15926 - Industrial automation systems and integration - Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities**. 2011. Geneva: ISO. Accessed on 28 Mar. 2023. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/50694.html>.

ISO/IEC. **ISO/IEC 30141:2018 — Internet of Things (IoT) — Interoperability for IoT systems**. [S. l.], 2018.

ISO/IEC 21823. **Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT systems**. International Organization for Standardization, 2022. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/76470.html>.

ISO/IEC 25010. **ISO/IEC 25010:2011, Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models**. 2011.

ISO/IEC 30141. **Information technology – Internet of Things (IoT) – Reference architecture**. International Organization for Standardization, 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/65695.html>.

KATASONOV, A.; KAYKOVA, O.; KHRIYENKO, O.; NIKITIN, S.; TERZIYAN, V. Smart semantic middleware for the internet of things. In: SCITEPRESS. **International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics**. [S. l.], 2008. v. 2, p. 169–178.

KHAN, R.; KHAN, S. U.; ZAHEER, R.; KHAN, S. Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. **Frontiers of Information Technology (FIT), 2012 10th International Conference on**, p. 257–260, 2012.

KITCHENHAM, B.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; BAILEY, J.; LINKMAN, S. Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. **Information and software technology**, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009.

KOVATSCH, M. *et al.* Evaluating iot platforms for interoperability: The need for a standardized testing infrastructure. **IEEE Internet Computing**, 2018.

KREUTZ, D.; RAMOS, F. M. V.; VERISSIMO, P. E.; ROTHENBERG, C. E.; AZODOLMOLKY, S.; UHLIG, S. Software-defined networking: A comprehensive survey. **Proceedings of the IEEE**, IEEE, v. 103, n. 1, p. 14–76, 2015.

KUZNIAR, M.; PERESINI, P.; CANINI, M.; VENZANO, D.; KOSTIC, D. A soft way for openflow switch interoperability testing. In: **Proceedings of the 8th international conference on Emerging networking experiments and technologies**. [S. l.: s. n.], 2012. p. 265–276.

LEGNER, C.; WENDE, K. Towards an excellence framework for business interoperability. In: **19th Bled eConference eValues**. Bled, Slovenia: [S. n.], 2006. Disponível em: https://www.academia.edu/68299952/Towards_an_Excellence_Framework_for_Business_Interoperability.

- LEITE, L. R. C. Internet das coisas (iot): vulnerabilidades de segurança e desafios. 004, 2019.
- LEITE, M. F. A. Interoperabilidade com base na norma iec 61850: revisão sistemática e estudo de caso. 2021.
- LI, X. *et al.* A comprehensive study of iot interoperability challenges and opportunities. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 2018.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932.
- MACHADO, L. R.; SILVA, F. J. d.; BARRADAS, A.; VIANA, D.; TELES, A.; COUTINHO, L. Product quality for smart cities applications: A mapping study. In: **Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Information Systems**. [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–8.
- MAIA, N.; MACEDO, G.; COLLINS, E.; DIAS-NETO, A. Aplicando testes ágeis com equipes distribuídas: Um relato de experiência. In: SBC. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software**. [S. l.], 2012. p. 365–372.
- MASCARENHAS, A. P. F. M.; FERNANDES, S. M.; FREITAS, F. D.; CALHEIROS, G. B.; LEFRANÇOIS, G. L. G.; BAHIA, M. B.; RATON, V. F. B. Desenvolvimento de produtos iot. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4711–4724, 2021.
- MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the internet of computers to the internet of things. In: **From active data management to event-based systems and more**. [S. l.]: Springer, 2010. p. 242–259.
- MATTIELLO-FRANCISCO, M. d. F. Inrob-uma abordagem para testes de interoperabilidade e de robustez de subsistemas de temporeal intensivos em software. **Doutorado em engenharia eletrônica e computação, Instituto de Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP**, 2009.
- MAZIERO, H. P. *et al.* Arquiteturas para interoperabilidade em verticais de iot. Florianópolis, SC., 2018.
- MENEZES, L. M. C. d. Um mapeamento sistemático de testes para aplicações iot. 2018.
- MILLER, P. Interoperability: What is it and why should i want it? **Ariadne**, n. 24, 2000.
- MIRANDA, J.; MÄKITALO, N.; GARCIA-ALONSO, J.; BERROCAL, J.; MIKKONEN, T.; CANAL, C.; MURILLO, J. M. From the internet of things to the internet of people. **IEEE Internet Computing**, IEEE, v. 19, n. 2, p. 40–47, 2015.
- MONTORI, F.; BEDOGNI, L.; FELICE, M. D.; BONONI, L. Machine-to-machine wireless communication technologies for the internet of things: Taxonomy, comparison and open issues. **Pervasive and Mobile Computing**, Elsevier, v. 50, p. 56–81, 2018.
- MOTTA, R. C.; OLIVEIRA, K. M. D.; TRAVASSOS, G. H. Rethinking interoperability in contemporary software systems. In: IEEE. **2017 IEEE/ACM Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems (JSOS)**. [S. l.], 2017. p. 9–15.

- MUJJIGA, S.; SUKUMARAN, S. Modelling and test generation using sal for interoperability testing in consumer electronics. In: **Proceedings of the second workshop on Automated formal methods**. [S. l.: s. n.], 2007. p. 32–40.
- MUNIZ, M. H.; DAVID, J. M. N.; BRAGA, R.; CAMPOS, F.; STROELE, V. Pragmatic interoperability in iot: a systematic mapping study. In: **Proceedings of the 25th Brazillian Symposium on Multimedia and the Web**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 73–80.
- MYERS, G. J.; SANDLER, C.; BADGETT, T. **The art of software testing**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2011.
- NOUBIR, G.; KHOKHAR, A. Interoperability in iot systems: Challenges and solutions. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 7, n. 10, p. 9712–9725, 2020.
- NOURA, M.; ATIQUZZAMAN, M.; GAEDKE, M. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges. **Mobile Networks and Applications**, Springer, v. 24, n. 3, p. 796–809, 2019.
- NOURA, M.; ATIQUZZAMAN, M.; GAEDKE, M. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges. **Mobile networks and applications**, Springer, v. 24, p. 796–809, 2019.
- NUNES, P. R. d. A. F. **Validação de padrões de web services transacionais**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2011.
- PACHECO, R. A.; SANTOS, A. B. C. dos; CRUZ, R. M. da; GONSIOROSKI, L. H.; BATISTA, J. V. Aplicação prática de iot e computação móvel no controle de sistemas de ar condicionados. In: SBC. **Anais Estendidos do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. [S. l.], 2020. p. 209–216.
- PALATTELLA, M. R.; ACCETTURA, N.; VILAJOSANA, X.; WATTEYNE, T.; GRIECO, L.; BOGGIA, G.; DOHLER, M. Standardized protocol stack for the internet of (important) things. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, IEEE, v. 15, n. 3, p. 1389–1406, 2013.
- PANTSAR-SYVÄNIEMI, S.; PURHONEN, A.; OVASKA, E.; KUUSIJÄRVI, J.; EVESTI, A. Situation-based and self-adaptive applications for the smart environment. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, IOS Press, v. 4, n. 6, p. 491–516, 2012.
- PATEL, M.; KOCH, T.; DOERR, M.; TSINARAKI, C.; GIOLDASIS, N.; GOLUB, K.; TUDHOPE, D. **Semantic interoperability in digital library systems**. 2005.
- PERERA, C.; ZASLAVSKY, A.; CHRISTEN, P.; GEORGAKOPOULOS, D. Context aware computing for the internet of things: A survey. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, IEEE, v. 16, n. 1, p. 414–454, 2014.
- PETROLO, R. *et al.* Towards a flexible and scalable iot communication architecture based on dynamic grouping of devices. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 118, p. 97–108, 2018.
- PIAZZA, A. P. *et al.* Uma abordagem para interoperabilidade entre plataformas heterogêneas de serviços web para redes colaborativas de organizações. Florianópolis, SC, 2007.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming competition. **Harvard Business Review**, Harvard Business School Publishing Boston, v. 92, n. 11, p. 64–88, 2014.

RATH, F.; SCHEMMEL, D.; WEHRLE, K. Interoperability-guided testing of quic implementations using symbolic execution. In: **Proceedings of the Workshop on the Evolution, Performance, and Interoperability of QUIC**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 15–21.

RAYES, A.; SALAM, S. **Internet of things from hype to reality: The road to digitization**. [S. l.]: Springer, 2019.

RAZA, S.; WOLTER, K. Middleware for internet of things: A survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 4, n. 5, p. 1202–1221, 2017.

RAZZAQUE, M. A.; MILOJEVIC-JEVRIC, M.; PALADE, A.; CLARKE, S. Middleware for internet of things: a survey. **IEEE Internet of things journal**, IEEE, v. 3, n. 1, p. 70–95, 2015.

REVELL, S. **Internet of things (IoT) and machine to machine communications (M2M) challenges and opportunities**. London, UK: [S. n.], 2013. Final Paper, Google Scholar.

ROSE, K.; ELDRIDGE, S.; CHAPIN, L. The internet of things: An overview. **The internet society (ISOC)**, Reston, VA, v. 80, p. 1–50, 2015.

ROWLAND, C.; GOODMAN, E.; CHARLIER, M.; LIGHT, A.; LUI, A. **Designing Connected Products: UX for the Consumer Internet of Things**. First. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472: O'Reilly Media, Inc., 2015. 385 p.

SALES, O. M. M.; PINTO, V. B. *et al.* Tecnologias digitais de informação para a saúde: revisando os padrões de metadados com foco na interoperabilidade. 2019.

SALUM, M. I. F. *et al.* Interoperabilidade logística: uma proposta de conceito, atributos e práticas. 2013.

SANTOS, B. P.; SILVA, L. A.; CELES, C.; BORGES, J. B.; NETO, B. S. P.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. Internet das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 31, p. 16, 2016.

SANTOS, M. C. dos. Internet das coisas e sistemas inteligentes no jornalismo: o conceito de presença diluído entre as narrativas da complexidade urbana. **Comunicação & Inovação**, v. 17, n. 34, p. 21–39, 2016.

SAYÃO, L. F.; MARCONDES, C. H. O desafio da interoperabilidade e as novas perspectivas para as bibliotecas digitais. **Transinformação**, SciELO Brasil, v. 20, p. 133–148, 2008.

SHELBY, Z.; HARTKE, K.; BORMANN, C. **The constrained application protocol (CoAP)**. [S. l.]: IETF, 2016.

SICARI, S.; MIORANDI, D.; CHLAMTAC, I.; PELLEGRINI, F. D. A secure and quality-aware prototypical architecture for the internet of things. **Information Systems**, Elsevier, v. 38, n. 8, p. 1187–1200, 2013.

SICARI, S.; RIZZARDI, A.; GRIECO, L. A.; COEN-PORISINI, A. Security, privacy and trust in internet of things: The road ahead. **Computer networks**, Elsevier, v. 76, p. 146–164, 2015.

- SILVA, J. O. Análise e testes de intrusão em dispositivos iot. 2023.
- SILVA, L. D. *et al.* Survey of security in internet of things. **Journal of Computer and System Sciences**, v. 88, p. 122–147, 2017.
- SILVA, V.; LUCENA, C. **ContentNet: Um Framework para Interoperabilidade de Conteúdos Educacionais Utilizando o Padrão IMS**. Tese (Doutorado) – Dissertação para obtenção do título de Mestrado em Ciência em Informática . . . , 2000.
- SILVA, V. M. d. Scenariot: support for scenario specification of internet of things-based software systems. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.
- SIVASHANMUGAM, K. *et al.* Semantic interoperability in the internet of things: A survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 16, n. 3, p. 1513–1530, 2014.
- SOARES, D. d. S. Interoperabilidade entre sistemas de informação na administração pública. 2010.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software. São Paulo: Ed. [S. l.]: Addison Wesley**, 2003.
- SOUZA, B. P. de. **SCENARIOTCHECK: Uma Técnica de Leitura Baseada em Checklist para Verificação de Cenários IoT**. Tese (Doutorado) – Ph. D. Dissertation. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.
- SUNDMAEKER, H.; GUILLEMIN, P.; FRIESS, P.; WOELFFLÉ, S. *et al.* Vision and challenges for realising the internet of things. **Cluster of European research projects on the internet of things, European Commision**, v. 3, n. 3, p. 34–36, 2010.
- TARIQ, F.; KHAN, M. A.; ALNUEM, M.; IMRAN, M. A. Iot simulation tools and applications: A survey. In: **Proceedings of the International Conference on the Internet of Things**. [S. l.: s. n.], 2018.
- TOMOVIC, S.; YOSHIGOE, K.; MALJEVIC, I.; RADUSINOVIC, I. Software-defined fog network architecture for iot. **Wireless Personal Communications**, Springer, v. 92, n. 1, p. 181–196, 2017.
- VENKATESH, V.; DAVIS, F. D. A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. **Management science**, INFORMS, v. 46, n. 2, p. 186–204, 2000.
- VENKATESH, V.; MORRIS, M. G.; DAVIS, G. B.; DAVIS, F. D. User acceptance of information technology: Toward a unified view. **MIS quarterly**, JSTOR, p. 425–478, 2003.
- VERMESAN, O.; FRIESS, P. **Internet of Things: Global technological and societal trends**. [S. l.]: River Publishers, 2011.
- VERMESAN, O.; FRIESS, P. European research cluster on the internet of things. In: **Internet of Things-Global Technological and Societal Trends From Smart Environments and Spaces to Green ICT**. [S. l.]: River Publishers, 2022. p. 1–7.
- WEISS, L. C. *et al.* Interoperabilidade semântica: uma análise sob a perspectiva da abordagem ontológica de willard van orman quine. 2019.
- WELLER, A. C.; MARTINS, E.; MATTIELLO-FRANCISCO, F. In rob-uml: uma abordagem para testes de interoperabilidade e robustez baseados em modelos. 2015.

- WINKLER, T. *et al.* Interoperability testing of internet of things devices. In: **IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)**. [S. l.: s. n.], 2019.
- WOHLIN, C.; RUNESON, P.; HÖST, M.; OHLSSON, M. C.; REGNELL, B.; WESSLÉN, A. **Experimentation in Software Engineering**. [S. l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- XIONG, N.; MA, J.; CHEN, X.; LIU, S. Iot interoperability: a review. **Journal of Sensors**, 2018.
- ZAIDI, F.; BAYSE, E.; CAVALLI, A. Network protocol interoperability testing based on contextual signatures and passive testing. In: **Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing**. [S. l.: s. n.], 2009. p. 2–7.
- ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of things for smart cities. **IEEE Internet of Things journal**, IEEE, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.
- ZASLAVSKY, A.; PERERA, C.; GEORGAKOPOULOS, D. Sensing as a service and big data. **International Conference on Advances in Cloud Computing (ACC-2012)**, p. 21–29, 2013.

APÊNDICE A – ARTIGOS SELECIONADOS

IEEE		
ID	Título do artigo	Referência
1	Context aware computing for the internet of things: A survey	PERERA, Charith et al. Context aware computing for the Internet of Things: A survey. <i>IEEE Communications Surveys & Tutorials</i> , v. 16, n. 1, p. 414–454, 2014.
2	The internet of things: A survey	ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The Internet of Things: A survey. <i>Computer Networks</i> , v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
3	Internet of things for smart cities	ZANDBERGEN, Paul; BARBOSA, Rui. Internet of things for smart cities. <i>IEEE Internet of Things Journal</i> , v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.
4	Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead	SICARI, Sabrina et al. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. <i>Computer Networks</i> , v. 76, p. 146–164, 2015.
5	Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization	GUBBI, Jayavardhana et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. <i>Future Generation Computer Systems</i> , v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.
6	Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions	WHITMORE, Andrew; AGARWAL, Anurag; XU, Li Da. The Internet of Things—A survey of topics and trends. <i>Information Systems Frontiers</i> , v. 17, n. 2, p. 261–274, 2015.
7	Internet of things from hype to reality: The road to digitization	EVANS, Dave. The Internet of Things: How the next evolution of the Internet is changing everything. <i>IEEE Internet Computing</i> , v. 16, n. 1, p. 1–7, 2011.
8	Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications	AL-FUQAHA, Ala et al. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. <i>IEEE Communications Surveys & Tutorials</i> , v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015.
9	Internet of Things: Global technological and societal trends	MILOJICIC, Dejan et al. Internet of Things: Global technological and societal trends. <i>IEEE Internet Computing</i> , v. 15, n. 1, p. 8–15, 2011.
10	Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges	BAKICI, Tuba; ALMIRALL, Esteve; WAREHAM, Jonathan. A smart city initiative: The case of Barcelona. <i>Journal of the Knowledge Economy</i> , v. 4, n. 2, p. 135–148, 2013.
11	How smart, connected products are transforming competition	PORTER, Michael E.; HEPPELMANN, James E. How smart, connected products are transforming competition. <i>Harvard Business Review</i> , v. 92, n. 11, p. 64–88, 2014.
12	Internet of things in industries: A survey	LI, Shancang; XU, Li Da; ZHAO, Shanshan. The Internet of Things: A survey. <i>Information Systems Frontiers</i> , v. 17, n. 2, p. 243–259, 2015.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DA AVALIAÇÃO COM OS ESPECIALISTAS

Avaliação com os especialistas - Guia de Teste de Interoperabilidade para IoT

Este trabalho faz parte da pesquisa de mestrado da aluna Karina da Silva Castelo Branco orientada pela profa Dra Valéria Lelli. Sua participação no teste de interoperabilidade é crucial para aprimorar o GUIA. Valorizamos sua experiência e insights para aperfeiçoar nosso guia. Compartilhe suas observações, sugestões e experiências relacionadas ao uso do guia para testar a interoperabilidade em uma aplicação IoT (*Internet of Things*). Sua contribuição é essencial para continuarmos a evoluir e proporcionar a melhor experiência possível.

Agradecemos por dedicar seu tempo e expertise nesta avaliação!

* indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail *

2. As respostas deste questionário podem ser utilizadas como fonte de pesquisa para melhorar o guia e em futuras pesquisas. Toda informação coletada neste questionário é confidencial. Você permite o uso das suas informações para os fins mencionados?

Marcar apenas uma opção.

Concordo

Não

concordo

Perfil dos participantes

1- Qual a sua formação acadêmica? *

Marcar apenas uma opção.

Engenharia da computação

Ciência da Computação

Engenharia de software

Sistema da informação

Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Outro: _____

3. 2- Qual é a sua ocupação atualmente? *

Marque todas que se aplicam.

Pesquisador (Mestrado e

Doutorado) Docente

Profissional do mercado

Outro: _____

4. 3- Sua ocupação atualmente é em áreas profissionais, acadêmicas ou ambas? *

Marque todas que se aplicam.

Área

acadêmica

Área

profissional

Outro: _____

4- Em qual (ou quais) área(s) você possui experiência? *

Marque todas que se aplicam.

Teste de software

Teste IoT

Teste de interoperabilidade

5- Você possui experiência em testar e/ou avaliar requisitos não-funcionais? *

Marque todas que se aplicam.

- Usabilidade
- Desempenho
- Segurança
- Interoperabilidade
- Escalabilidade
- Disponibilidade
- Portabilidade
- Outro: _____

6- Você tem experiência em teste de interoperabilidade? *

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

Avaliação da estrutura do Guia de Teste de Interoperabilidade

1- Os materiais e a instrumentação fornecidos para o uso do guia cumpriu seu objetivo de maneira clara e foi suficiente para compreender o assunto do qual ele abordava? *

Marcar apenas uma opção.

Concordo totalmente

Concordo

parcialmente Neutro

Discordo parcialmente

Discordo totalmente

2- A organização das seções do Guia de Teste de Interoperabilidade facilitou a sua compreensão e a sua utilização?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

3- Os tópicos abordados no guia estão organizados de forma lógica e sequencial?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

4- Os exemplos dos casos de teste abstratos fornecidos no Guia de Teste de Interoperabilidade foram úteis para criação dos casos de teste concretos?

*

Caso de teste **concreto**: *Um caso de teste concreto detalha passos específicos, entradas e resultados esperados para verificar uma funcionalidade, enquanto um caso de teste abstrato é mais genérico, descrevendo requisitos de teste sem detalhes de implementação.*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

5- O Guia de Teste de Interoperabilidade se mostrou eficaz no planejamento das atividades referentes ao teste de interoperabilidade?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

6- Os exemplos e ilustrações fornecidos no guia foram úteis para entender os conceitos apresentados?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

7- Você considera que o guia cobriu todos os aspectos relevantes do teste de interoperabilidade em uma aplicação IoT?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

Avaliação do uso do Guia

1- Como foi a execução dos testes?

Marque todas que se aplicam.

- Manual
- Automática

2- Quanto tempo foi gasto na etapa de leitura e compreensão do guia? *

Marcar apenas uma opção.

- menos de 2
- horas entre 2 e 3
- horas
- mais de 3 horas e menos de 5
- horas 5 horas ou mais

2. 3- Quanto foi gasto no total da avaliação considerando que temos 5 etapas que requerem esforços: 1. etapa de leitura e compreensão do guia; 2. etapa de planejamento dos testes ; 3. etapa de configuração do ambiente; 4. etapa de especificação dos testes; e 5. etapa de execução dos testes? *

Marcar apenas uma opção.

- menos de 2
- horas entre 2 a 3
- horas
- mais de 3 horas e menos de 5
- horas 5 horas ou mais

- Não usei ferramenta
- Eclipse IoT
- IoTIFY
- CoAPthon
- FreeRTOS
- Tasmota
- Wireshark
- OpenIoT
- Home Assistant
- Outro: _____

5- Utilizou alguma ferramenta que não foi mencionada no guia? Qual?

6- Para o planejamento, especificação e execução dos testes, você utilizou todas as seções do Guia? *

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

Se respondeu NÃO na pergunta anterior, quais as seções que você não utilizou?

7- Fez uso de métricas? Se sim, quantas foram coletadas? *

8- Utilizou alguma métrica que não foi apresentada no guia? *

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

8. Se sim, na pergunta anterior. Qual foi a medida?

9- Quais as falhas IoT que você identificou através do uso do guia? *

10- Caso tenha encontrado falhas na aplicação testada, você teve dificuldade * em classificar e fornecer gravidade (severidade) a essas falhas com o template fornecido na instrumentação?

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

Considerações finais sobre o uso do Guia

1- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O uso do guia de teste de interoperabilidade facilitou o planejamento do teste de interoperabilidade"?

Marcar apenas uma opção.

Concordo totalmente

Concordo

parcialmente Neutro

Discordo parcialmente

Discordo totalmente

2- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O uso do guia de teste de interoperabilidade me orientou na criação dos casos de teste"?

Marcar apenas uma opção.

Concordo totalmente

Concordo

parcialmente Neutro

Discordo

parcialmente

Discordo totalmente

3- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O guia de teste de interoperabilidade foi útil na orientação para seleção de métricas"?

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

4- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O guia de teste de interoperabilidade foi útil na orientação para calcular o custo benefício de um teste de interoperabilidade"?

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

5- Qual o seu nível de concordância com essa frase -"O guia de teste de interoperabilidade me proporcionou uma melhor compreensão sobre o Teste de Interoperabilidade"?

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

6- Dentre as seções do guia, marque as que você achou mais relevante para o teste de interoperabilidade de IoT. *

Marque todas que se aplicam.

- Definição de Característica
- Correlação das características
- Desafios do Teste de Interoperabilidade
- Configuração do ambiente
- Semântica de dados
- Protocolo de comunicação
- Integração de sistema
- Protocolos de rede
- Impacto das Subcaracterísticas
- Custo benefício
- Sugestão de ferramentas
- Exemplo de uso do guia

7 - Teve alguma seção do guia que você não entendeu? Justifique. *

8- Cite os pontos positivos do guia de teste de interoperabilidade para IoT. *

9- Cite os pontos de melhoria do guia de teste de interoperabilidade para IoT. *

Perfil dos participantes

1- Qual a sua formação acadêmica? *

Marcar apenas uma opção.

Engenharia da computação

Ciência da Computação

Engenharia de software

Sistema da informação

Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Outro: _____

3. 2- Qual é a sua ocupação atualmente? *

Marque todas que se aplicam.

Pesquisador (Mestrado e

Doutorado) Docente

Profissional do mercado

Outro: _____

4. 3- Sua ocupação atualmente é em áreas profissionais, acadêmicas ou ambas? *

Marque todas que se aplicam.

Área

acadêmica

Área

profissional

Outro: _____

4- Em qual (ou quais) área(s) você possui experiência? *

Marque todas que se aplicam.

Teste de software

Teste IoT

Teste de interoperabilidade

5- Você possui experiência em testar e/ou avaliar requisitos não-funcionais? *

Marque todas que se aplicam.

- Usabilidade
- Desempenho
- Segurança
- Interoperabilidade
- Escalabilidade
- Disponibilidade
- Portabilidade
- Outro: _____

6- Você tem experiência em teste de interoperabilidade? *

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

Avaliação da estrutura do Guia de Teste de Interoperabilidade

1- Os materiais e a instrumentação fornecidos para o uso do guia cumpriu seu objetivo de maneira clara e foi suficiente para compreender o assunto do qual ele abordava? *

Marcar apenas uma opção.

Concordo totalmente

Concordo

parcialmente Neutro

Discordo parcialmente

Discordo totalmente

2- A organização das seções do Guia de Teste de Interoperabilidade facilitou a sua compreensão e a sua utilização?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

3- Os tópicos abordados no guia estão organizados de forma lógica e sequencial?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

4- Os exemplos dos casos de teste abstratos fornecidos no Guia de Teste de Interoperabilidade foram úteis para criação dos casos de teste concretos?

*

Caso de teste **concreto**: *Um caso de teste concreto detalha passos específicos, entradas e resultados esperados para verificar uma funcionalidade, enquanto um caso de teste abstrato é mais genérico, descrevendo requisitos de teste sem detalhes de implementação.*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

5- O Guia de Teste de Interoperabilidade se mostrou eficaz no planejamento das atividades referentes ao teste de interoperabilidade?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

6- Os exemplos e ilustrações fornecidos no guia foram úteis para entender os conceitos apresentados?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

7- Você considera que o guia cobriu todos os aspectos relevantes do teste de interoperabilidade em uma aplicação IoT?

*

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

Avaliação do uso do Guia

1- Como foi a execução dos testes?

Marque todas que se aplicam.

- Manual
- Automática

2- Quanto tempo foi gasto na etapa de leitura e compreensão do guia? *

Marcar apenas uma opção.

- menos de 2
- horas entre 2 e 3
- horas
- mais de 3 horas e menos de 5
- horas 5 horas ou mais

2. 3- Quanto foi gasto no total da avaliação considerando que temos 5 etapas que requerem esforços: 1. etapa de leitura e compreensão do guia; 2. etapa de planejamento dos testes ; 3. etapa de configuração do ambiente; 4. etapa de especificação dos testes; e 5. etapa de execução dos testes? *

Marcar apenas uma opção.

- menos de 2
- horas entre 2 a 3
- horas
- mais de 3 horas e menos de 5
- horas 5 horas ou mais

- Não usei ferramenta
- Eclipse IoT
- IoTIFY
- CoAPthon
- FreeRTOS
- Tasmota
- Wireshark
- OpenIoT
- Home Assistant
- Outro: _____

5- Utilizou alguma ferramenta que não foi mencionada no guia? Qual?

6- Para o planejamento, especificação e execução dos testes, você utilizou todas as seções do Guia? *

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

Se respondeu NÃO na pergunta anterior, quais as seções que você não utilizou?

7- Fez uso de métricas? Se sim, quantas foram coletadas? *

8- Utilizou alguma métrica que não foi apresentada no guia? *

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

8. Se sim, na pergunta anterior. Qual foi a medida?

9- Quais as falhas IoT que você identificou através do uso do guia? *

10- Caso tenha encontrado falhas na aplicação testada, você teve dificuldade * em classificar e fornecer gravidade (severidade) a essas falhas com o template fornecido na instrumentação?

Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

Considerações finais sobre o uso do Guia

1- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O uso do guia de teste de interoperabilidade facilitou o planejamento do teste de interoperabilidade"?

Marcar apenas uma opção.

Concordo totalmente

Concordo

parcialmente Neutro

Discordo parcialmente

Discordo totalmente

2- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O uso do guia de teste de interoperabilidade me orientou na criação dos casos de teste"?

Marcar apenas uma opção.

Concordo totalmente

Concordo

parcialmente Neutro

Discordo

parcialmente

Discordo totalmente

3- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O guia de teste de interoperabilidade foi útil na orientação para seleção de métricas"?

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

4- Qual o seu nível de concordância com essa frase - "O guia de teste de interoperabilidade foi útil na orientação para calcular o custo benefício de um teste de interoperabilidade"?

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

5- Qual o seu nível de concordância com essa frase -"O guia de teste de interoperabilidade me proporcionou uma melhor compreensão sobre o Teste de Interoperabilidade"?

Marcar apenas uma opção.

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Neutro
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

6- Dentre as seções do guia, marque as que você achou mais relevante para o teste de interoperabilidade de IoT. *

Marque todas que se aplicam.

- Definição de Característica
- Correlação das características
- Desafios do Teste de Interoperabilidade
- Configuração do ambiente
- Semântica de dados
- Protocolo de comunicação
- Integração de sistema
- Protocolos de rede
- Impacto das Subcaracterísticas
- Custo benefício
- Sugestão de ferramentas
- Exemplo de uso do guia

7 - Teve alguma seção do guia que você não entendeu? Justifique. *

8- Cite os pontos positivos do guia de teste de interoperabilidade para IoT. *

9- Cite os pontos de melhoria do guia de teste de interoperabilidade para IoT. *

APÊNDICE C – FORMULÁRIO GERAL DE EXTRAÇÃO

Formulário de extração		
Data da leitura:		
Item	Descrição	Observações
Ano/Autor		
Título		
Fonte		
Palavras chaves		
Nome do jornal/conferência		
Apresenta característica de interoperabilidade relacionado a IoT? Quais?		
Existe algum teste de interoperabilidade? Qual?		
Objetivo do estudo		
Tipo de iniciativa		
Descrição da iniciativa		
Resultados da iniciativa		
Apresenta alguma validação de técnica?		
Trabalhos futuros		
Relevância para pesquisa		
Desafios		
Qualidade do estudo		
Existe contribuição para pesquisa?		
O(s) objetivo(s) do estudo estão claramente declarados?		
Existe alguma discussão sobre os resultados do estudo		

APÊNDICE D – FORMULÁRIO DE EXTRAÇÃO PARA O GUIA

Formulário de extração com foco no guia de interoperabilidade		
Tópico do GUIA	Item	Descrição
Seção 01	O estudo apresenta as definições para a característica de interoperabilidade?	Escrever a definição e contextualização
Seção 02	Existem correlações com outras características? Quais?	Escrever a definição e contextualização
Seção 03	Quais são os desafios de interoperabilidade citados?	Escrever a definição e contextualização
Seção 04	Como é feita a configuração do ambiente para o teste de interoperabilidade?	Escrever a definição e contextualização
Seção 05	A característica de interoperabilidade pode ser organizada em subcaracterística? Quais?	Escrever a definição e contextualização
Seção 06	Quais são as medidas para avaliar a interoperabilidade? como são calculadas? são exclusivas para IoT?	Escrever a definição e contextualização
Seção 07	Quais são as propriedades usadas para avaliar a interoperabilidade?	Escrever a definição e contextualização
Seção 08	Quais são os casos de teste base para interoperabilidade?	Escrever a definição e contextualização
Seção 09	Apresenta alguma fórmula para o cálculo do custo benefício?	Escrever a definição e contextualização
Seção 10	O estudo apresenta alguma ferramenta para avaliar a interoperabilidade?	Escrever a definição e contextualização

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE**Avaliação sobre interoperabilidade em IoT**

Este questionário foi desenvolvido para coletar feedback valioso dos alunos após uma aula dedicada a Teste de interoperabilidade em sistemas IoT, incluindo uma dinâmica prática com a assistente virtual Alexa. O objetivo principal é avaliar a compreensão teórico-prática dos alunos sobre os conceitos introduzidos de teste de interoperabilidade, preparando-os para um teste prático em uma aplicação IoT agendada para aula seguinte.

Marque quanto você concorda ou discorda em cada assertiva.

1. informe a matrícula: *

Entendimento Conceitual

2. Você leu o material fornecido previamente sobre Teste de interoperabilidade? *

Marcar apenas uma opção

Sim

Não

3. O conceito de interoperabilidade em sistemas IoT foi compreendido durante a aula teórica?

Marcar apenas uma opção

Concordo Totalmente Concordo Parcialmente Neutro

Discordo Parcialmente Discordo Totalmente

4. A dinâmica realizada contribuiu para a minha compreensão sobre a importância *
da interoperabilidade em aplicações IoT

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
 Concordo Parcialmente
 Neutro
 Discordo Parcialmente
 Discordo Totalmente

5. A atividade prática com a Alexa ajudou a visualizar como os conceitos de *
interoperabilidade são aplicados na prática.

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
 Concordo Parcialmente
 Neutro
 Discordo Totalmente
 Discordo Parcialmente

6. Sinto-me preparado(a) para realizar o teste de interoperabilidade em uma
aplicação IoT, considerando os conhecimentos adquiridos na aula.

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
 Concordo Parcialmente
 Neutro
 Discordo Totalmente
 Discordo Parcialmente

7. Considero que a aula e as atividades preparatórias foram suficientes para o teste prático em uma aplicação IoT.

Marcar apenas uma opção

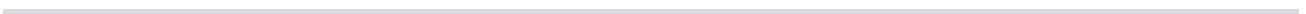
- Concordo Totalmente
 Concordo Parcialmente
 Neutro
 Discordo Parcialmente
 Discordo Totalmente

8. O quanto você se sente confiante em seus conhecimentos sobre interoperabilidade em sistemas IoT após a aula teórica?

Marcar apenas uma opção

- Muito confiante
 Confiante
 Neutro
 Pouco confiante
 Nada confiante

9. Escreva abaixo sugestões/comentários sobre a aula de nivelamento de conhecimento sobre teste de interoperabilidade



APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO MODELO TAM

Questionário baseado no Modelo TAM para Avaliação do Guia de Teste de Interoperabilidade

O Modelo TAM (Technology Acceptance Model) é um framework teórico que visa compreender e explicar a aceitação e adoção de tecnologia pelos usuários. No contexto sobre o Guia de Teste de Interoperabilidade, o objetivo do Modelo TAM é avaliar como os usuários percebem e aceitam o Guia de Teste de Interoperabilidade.

Objetivos do Modelo TAM no Contexto do Guia de Teste de Interoperabilidade:

Percepção de Utilidade (PU): O modelo TAM visa avaliar a utilidade percebida do Guia de Teste de Interoperabilidade. Ou seja, busca entender se os usuários acreditam que essa ferramenta é benéfica e valiosa para conduzir testes de interoperabilidade em aplicações IoT. A percepção de utilidade influencia diretamente na aceitação e adoção da tecnologia.

Facilidade de Uso (PEOU - Perceived Ease of Use): A facilidade de uso percebida é outra dimensão do modelo TAM. Ela se concentra na avaliação da simplicidade e acessibilidade do Guia de Teste de Interoperabilidade. Se os usuários considerarem que a ferramenta é fácil de entender e utilizar, é mais provável que a adotem de forma positiva.

Intenção de Uso Futuro (IU): Esta dimensão investiga se os usuários pretendem continuar usando o Guia de Teste de Interoperabilidade em projetos futuros. A intenção de uso futuro está relacionada à aceitação contínua da tecnologia, o que é fundamental para garantir a sua utilidade a longo prazo.

Impacto na Eficiência do Teste: O Modelo TAM também permite avaliar se o Guia de Teste de Interoperabilidade teve um impacto positivo na eficiência dos testes realizados pelos usuários. Avalia se a ferramenta realmente contribui para a melhoria do processo de teste de interoperabilidade em aplicações IoT.

Satisfação Geral: A satisfação geral é um indicador crucial da aceitação da tecnologia. Se os usuários estiverem satisfeitos com a experiência de utilizar o Guia de Teste de Interoperabilidade, é mais provável que continuem a usá-lo e o recomendem a outros.

Conclusão: O Modelo TAM permite uma abordagem estruturada para avaliar a aceitação do Guia de Teste de Interoperabilidade pelos usuários, considerando fatores fundamentais como utilidade percebida, facilidade de uso, intenção de uso futuro, impacto na eficiência do teste e satisfação geral. Os resultados desse questionário podem orientar melhorias contínuas na ferramenta, garantindo sua eficácia e aceitação pelos usuários.

Este questionário é anônimo e os dados serão utilizados para avaliar a aceitação do Guia de Teste de Interoperabilidade, visando melhorias contínuas em sua utilidade e usabilidade. A sinceridade nas respostas é fundamental. Sua resposta será muito importante para a busca da melhoria contínua da qualidade do Guia.

As respostas desse questionário podem ser utilizadas como fonte de pesquisa para a melhoria do guia. Toda informação coletada neste questionário é confidencial. Você permite o uso das suas informações para os fins mencionados?

Marcar apenas uma opção

Sim

Não

Percepção de Utilidade (PU):

1. O Guia de Teste de Interoperabilidade foi útil para entender a condução do processo de teste de interoperabilidade em uma aplicação IoT?

Marcar apenas uma opção

Concordo Totalmente

Concordo Parcialmente

Neutro

Discordo Parcialmente

Discordo Totalmente

2. O Guia de Teste de Interoperabilidade se mostrou eficaz ao planejar/especificar casos de teste em uma aplicação IoT?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Totalmente
- Discordo Parcialmente

3. O Guia de Teste de Interoperabilidade facilitou a realização dos testes em uma aplicação IoT?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Totalmente
- Discordo Parcialmente
- Não utilizei

Facilidade de Uso (PEOU - Perceived Ease of Use):

1. A estrutura do documento (tópicos) e as instruções do Guia de Teste de Interoperabilidade são fáceis de entender?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

2. A curva de aprendizado para usar o Guia de Teste de Interoperabilidade foi suave?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

3. A organização dos tópicos e o sequenciamento dos conteúdos ficou claro?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Parcialmente
- Concordo Totalmente Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

4. Considero que o uso do guia facilita o planejamento/especificação dos testes de interoperabilidade em aplicações IoT

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

5. Considero que o uso do guia facilita a execução e especificação dos testes de interoperabilidade em aplicações IoT

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente
- Não utilizei

Intenção de Uso Futuro (IU):

1. Eu pretendo continuar utilizando o Guia de Teste de Interoperabilidade em futuros projetos de teste em IoT?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

2. Recomendaria o Guia de Teste de Interoperabilidade a colegas que conduzem * testes em aplicações IoT?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

Impacto na Eficiência do Teste

1. O uso do Guia de Teste de Interoperabilidade contribuiu para a eficácia global dos testes em uma aplicação IoT?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

Satisfação Geral

1. Ficou claro e compreensível o uso do Guia de Interoperabilidade em termos de instruções e abordagem para planejamento dos testes?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

2. Ficou claro e compreensível o uso do Guia de Interoperabilidade em termos de instruções e abordagem para execução dos testes?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

3. No geral, estou satisfeito(a) com a experiência de utilizar o Guia de Teste de Interoperabilidade?

Marcar apenas uma opção

- Concordo Totalmente
- Concordo Parcialmente
- Neutro
- Discordo Parcialmente
- Discordo Totalmente

APÊNDICE G – TEMPLATE PARA RELATÓRIO DE FALHAS

Template do relatório:

Relatório de Falhas				
ID	Descrição	Caso de teste/Medida	Característica	Gravidade

Definições Características:

Característica	Definição
Disponibilidade	Se refere à capacidade do sistema de estar em funcionamento e acessível quando necessário, minimizando interrupções ou falhas.
Instabilidade	se relaciona à tendência do sistema de sofrer falhas ou quedas inesperadas, resultando em um funcionamento inconsistente.
Desempenho	O desempenho diz respeito à capacidade do sistema de responder eficazmente às solicitações e operar dentro dos limites estabelecidos, garantindo tempos de resposta aceitáveis.
Portabilidade	refere-se à facilidade com que um sistema pode ser transferido ou adaptado para diferentes ambientes ou plataformas sem perda significativa de funcionalidade.
Confiabilidade	Está relacionada à capacidade do sistema de realizar suas funções de forma consistente e livre de erros ao longo do tempo.
Robustez	Se concentra na capacidade do sistema de lidar com condições adversas, como entradas inesperadas ou situações de falha, mantendo sua funcionalidade.
Safety (Segurança)	Neste contexto, se refere à capacidade do sistema de evitar ou minimizar riscos, garantindo a proteção dos usuários e dos dados.
Security (Segurança)	Está relacionada à proteção das informações e recursos do sistema contra acessos não autorizados, ataques cibernéticos e ameaças.
Manutenibilidade	Diz respeito à facilidade de realizar alterações, correções ou melhorias no sistema de forma eficiente e com baixo impacto.
Usabilidade	Aborda a facilidade de uso do sistema, tornando-o intuitivo e eficiente para os usuários.
Reusabilidade	Refere-se à capacidade de componentes ou módulos do sistema serem reutilizados em diferentes partes do software ou em outros projetos.
Testabilidade	Está relacionada à facilidade de realizar testes eficazes no sistema para verificar sua qualidade e funcionalidade.
Modificabilidade	Aborda a facilidade de realizar alterações no sistema para atender a novos requisitos ou corrigir problemas sem causar impactos indesejados.
Eficiência	Diz respeito ao uso otimizado de recursos, como CPU, memória e largura de banda, para garantir um desempenho adequado do sistema.
Interoperabilidade	Refere-se à capacidade de diferentes sistemas, dispositivos, aplicações ou componentes de trabalharem juntos de forma eficaz e eficiente, comunicando-se e trocando informações de maneira compreensível e utilizável por todos os envolvidos.

Gravidade:

Gravidade	Definição
Pouco grave	interrompimento no fluxo de operação mas é possível concluir por retentativa ou work around
Grave	interrompimento do fluxo de operação mas é possível contornar ou remediar a situação, imediatamente, com a intervenção de terceiros
Muito grave	interrompimento do fluxo de operação que causa indisponibilidade de dados/operações e só é possível remediar a situação com mudanças no sistema realizadas pela equipe técnica

APÊNDICE H – ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DO GUIA

ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DO GUIA DE TESTE DE INTEROPERABILIDADE REMOTO

Esta avaliação está vinculada a uma pesquisa de mestrado da aluna [omitido para revisão] orientada pela [omitido para revisão] com o objetivo principal de verificar a condução e realização dos testes de interoperabilidade de uma aplicação IoT.

A aplicação em questão, denominada **Rottas_UFC**, foi desenvolvida com a finalidade de fornecer informações de transporte aos alunos da Universidade Federal do Ceará (UFC). O aplicativo visa melhorar a mobilidade dos estudantes ao oferecer informações detalhadas e atualizadas sobre o transporte público no campus universitário, permitindo o planejamento eficiente das viagens e reduzindo o tempo de espera nas paradas de ônibus.

O teste deve ser **conduzido individualmente**, com cada participante alternando entre os papéis de "motorista" e "aluno" ao longo do teste, que terá a **duração de duas semanas**.

Para garantir a eficácia da interoperabilidade, é crucial considerar vários cenários de teste que abordam diferentes aspectos da aplicação. As funcionalidades essenciais incluem:

- **Visualização de Rotas e Horários:** Os usuários têm acesso às informações das rotas de ônibus intracampi e intercampi, juntamente com os horários de partida e chegada
- **Acompanhamento em Tempo Real:** O aplicativo permite que os estudantes acompanhem a localização em tempo real dos ônibus intracampi, evitando assim longos períodos de espera nas paradas.
- **Estimativa de Chegada:** Os usuários podem consultar as estimativas de horário de chegada dos ônibus às paradas, facilitando o planejamento de suas viagens.
- **Localização das Paradas:** O aplicativo fornece informações precisas sobre a localização das paradas intracampi, simplificando a busca pelos pontos de embarque.
- **Busca de Locais na UFC:** Os usuários podem pesquisar locais específicos dentro do campus da UFC, como prédios, faculdades, laboratórios e bibliotecas, para uma melhor orientação no campus.
- **Filtragem e Ordenação de Ônibus:** Os estudantes têm a opção de filtrar e ordenar os ônibus de uma linha específica com base na parada e/ou horário, tornando mais fácil encontrar a opção mais adequada às suas necessidades.

Resumidamente, o Rottas_UFC é uma aplicação projetada para fornecer aos estudantes da UFC um acesso fácil e conveniente a informações sobre o transporte público no campus, auxiliando-os na otimização de suas viagens e minimizando o tempo de espera nas paradas de ônibus.

Para conduzir a avaliação de forma eficaz, é crucial que você siga **atentamente as instruções fornecidas abaixo**. O Guia foi elaborado para orientar uma execução no teste de interoperabilidade de uma aplicação IoT. Certifique-se de seguir cada passo de maneira precisa, pois isso contribuirá para a consistência e confiabilidade dos resultados obtidos. Ao aderir estritamente às diretrizes delineadas, você estará contribuindo significativamente para o avanço deste estudo. Agradecemos sua dedicação e cooperação neste processo.

Configuração do Ambiente:

Opção 01:

- Utilização de 1 smartphone Android/iOS para acessar o aplicativo web Rottas_UFC;
- Utilização de 1 smartphone Android/iOS para acessar o aplicativo Traccar Client;

Opção 02:

- Utilização de 1 desktop/notebook para acessar o aplicativo web Rottas_UFC;
- Utilização de 1 smartphone Android/iOS para acessar o aplicativo Traccar Client;

Execução do Teste - 10 Passos:

Passo 1 - Entendimento sobre interoperabilidade: Para um maior esclarecimento sobre teste de interoperabilidade e IoT, veja esse material:

Apresentação sobre teste de interoperabilidade

Vídeos sobre teste de interoperabilidade

Passo 2- Leitura do Guia: Faça a leitura completa do guia para compreender o conceito de teste de interoperabilidade para aplicações IoT <Guia de Teste de Interoperabilidade>.

Passo 3 - Compreensão da Aplicação: Adquira conhecimento sobre a aplicação Rottas_UFC, que será objeto do teste, consultando o material disponível <Rottas UFC> .

Passo 4 - Configuração do Aplicativo: Acesse o aplicativo Rottas_UFC por meio do seguinte link: <Aplicativo Rottas_UFC>

Será necessário baixar um aplicativo externo [Traccar Client](#)

Cliente Traccar	Status
Status do Serviço	<input checked="" type="checkbox"/>
Identificador do dispositivo	
URL do Servidor	
Precisão de localização	Médio >
Intervalo	10
Distância	
Ângulo	
Offline buffering	<input type="checkbox"/>

- **Identificador do dispositivo:** Será o número de telefone do usuário que está realizando o teste
- **URL do servidor:** <http://200.129.43.193:8082>
- **Status do Serviço** : Deve está ativado conforme a foto

Passo 5 - Acesse novamente o Guia: Acesse o guia de interoperabilidade no seguinte link: <Guia de interoperabilidade>

Passo 6 - Planejamento e Execução de Testes: Planeje, construa e execute os testes de interoperabilidade conforme orientado no guia.

Passo 7 - Preenchimento da Planilha de Falhas: À medida que as falhas são detectadas, preencha a planilha de falhas de acordo com o modelo fornecido. O modelo contém um template para o registro das falhas, além de informações sobre as características relacionadas às falhas e a definição dos níveis de gravidade das mesmas <Relatório de Falhas >

Passo 8 - Resposta ao Checklist: ao concluir a avaliação, responda ao checklist sobre o avaliação, preenchendo as três abas disponíveis. O checklist pode ser acessado no seguinte link: <Checklist>

Passo 9 - Artefatos finais: só reforçando o que deve ser entregue no ao final do teste, espera-se a geração de três artefatos:

- Plano de Teste <Modelos de documentações>
- Relatório de Falhas <Relatório de Falhas >
- Questionário final <Avaliação com os especialistas>

Passo 10 - Compartilhamento dos artefatos gerados: Envie todos os documentos gerados durante a avaliação para a seguinte pasta de e-mail: karinascbranco@gmail.com

Dúvidas e Contato: Em caso de dúvidas ou necessidade de esclarecimentos, entre em contato com 85 9 9135-5315 por e-mail karinascbranco@gmail.com ou pelo número de WhatsApp ou Telegram: 85 9 9135-5315.

Agradecemos sua colaboração na condução desta avaliação.

**APÊNDICE I – RELACIONAMENTO MEDIDAS X CASOS DE TESTE ABSTRATOS X
FERRAMENTAS**

medidas		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
C01																				
C02																				
C03																				
C04																				
C05																				
C06																				
C07																				
C08																				
C09																				
C10																				
C11																				
C12																				
C13																				
C14																				
C15																				
C16																				
C17																				
C18																				
C19																				
C20																				
C21																				
C22																				

Casos de teste

APÊNDICE J – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA O USO DA APLICAÇÃO ROTTAS-UFC

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DA APLICAÇÃO ROTTAS PARA FINS CIENTÍFICOS

Eu, **Francisco Laurindo Costa Junior**, portador do CPF **000.399.393-08**, autorizo a aluna de mestrado em computação, **Karina da Silva Castelo Branco**, na Universidade Federal do Ceará (UFC), a utilizar a aplicação Rottas-UFC, que está em processo de registro de software sob o número **512024000782-2**, para fins de pesquisa científica.

A aplicação será utilizada para a pesquisa intitulada **TESTE DE INTEROPERABILIDADE PARA APLICAÇÕES DE INTERNET DAS COISAS**, que tem como objetivo propor um Guia de teste de interoperabilidade. Os dados coletados e gerados pela aplicação Rottas serão analisados para fins de produção científica, como artigos, teses, dissertações, e outras publicações acadêmicas. Esta autorização é válida sem período de validade.

O AUTORIZADO compromete-se a utilizar a aplicação estritamente conforme as finalidades acadêmicas descritas, manter o AUTORIZADOR informado sobre os progressos e resultados da pesquisa, e assegurar que todas as informações e dados coletados serão tratados de forma confidencial e em conformidade com as leis de proteção de dados aplicáveis.

O PROPRIETÁRIO compromete-se a fornecer ao AUTORIZADO todas as informações e suporte técnico necessário para a correta utilização da aplicação, podendo solicitar a interrupção do uso caso identifique qualquer uso indevido ou desvio das finalidades previstas.

PROPRIETÁRIO: **Francisco Laurindo Costa Junior**

AUTORIZADO: **Karina da Silva Castelo Branco**