



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

JACKSON RANIEL FLORENCIO DA SILVA

Interoperabilidade: uma teoria fundamentada em dados

Recife

2024

JACKSON RANIEL FLORENCIO DA SILVA

Interoperabilidade: uma teoria fundamentada em dados

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Engenharia de Software

Orientador (a): Vinícius Cardoso Garcia

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Silva, Jackson Raniel Florencio da.

Interoperabilidade: uma teoria fundamentada em dados /
Jackson Raniel Florencio da Silva. - Recife, 2024.
124f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro
de Informática, Pós-graduação em Ciência da Computação, 2024.

Orientação: Vinícius Cardoso Garcia.

Inclui referências, apêndices e anexo.

1. Interoperabilidade; 2. Teoria Fundamentada em Dados; 3.
Sistemas. I. Garcia, Vinícius Cardoso. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

Jackson Raniel Florencio da Silva

“Interoperabilidade: uma teoria fundamentada em dados”

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação. Área de Concentração: Engenharia de Software e Linguagens de Programação

Aprovada em: 04/09/2024.

Orientador: Prof. Dr. Vinicius Cardoso Garcia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leopoldo Motta Teixeira
Centro de Informática/UFPE

Prof. Dr. Carlos André Guimarães Ferraz
Centro de Informática / UFPE

Prof. Dr. Rodrigo Pereira dos Santos
Departamento de Informática Aplicada / UNIRIO

Prof. Dr. Filipe Santana da Silva
Departamento de Ciências Exatas e Sociais
Aplicadas / UFCSPA

Prof.Dr. Rafael Prikladnicki
Faculdade de Informática / PUC-RS

Prof. Dr. Igor Scaliante Wiese
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campus Campo Mourão,

Dedico essa tese àqueles que pagaram o preço pela minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo, em tudo e para sempre. A magnitude das palavras tudo, por e em referindo-se a Deus faz com que eu me acovarde em tentar descrever qualquer dos meus pensamentos por saber que não serei capaz de explicá-los com a devida profundidade. No entanto, me arriscarei nessa descrição sabendo que serei injusto e impreciso, mas pelo menos não em tudo e nem com todos.

“Em tudo que me acontece encontro o Teu Amor”. Eu agradeço pela fase mais sombria de minha vida, não sei bem quando ela começou e é inútil tentar encontrar culpados. Não é uma questão do que ocorreu necessariamente, mas de como viver a dor. Dessa fase, agradeço especialmente por ter aprendido a conviver com a morte, com a solidão, com a ansiedade, a depressão, a falta de ar e a taquicardia. Agradeço a Deus por não ter me abandonado e se revelado também na dor, permitindo o meu resgate.

Agradeço também pela saudade daqueles que se foram. Desses, agradeço especialmente por todo o meu desejo de encontrar com Natália na eternidade. Agradeço por essa configuração de família diversa onde encontro minha filha na Graça.

Agradeço por toda a Graça transformadora que recebi. Foi Ela que permitiu que em meio ao meu cansaço existencial eu pudesse respirar bons ares de vida e esperança. Nisso agradeço pela vida da minha família, por minha esposa e nossos recém completos 10 anos de matrimônio, pelo desenvolvimento de minha filha, pelo amor dos meus pais e irmã, avós. Agradeço por aqueles que dividem as batalhas diárias comigo, a quem tenho o prazer de chamar de amigos.

Agradeço pelos meus irmãos de santa caminhada. Espero que, junto a eles, possamos dar testemunhos silenciosos de vida que levem à conversão e salvação de muitos, assim como foi conosco. Agradeço por agora ter a capacidade de olhar e “em tudo e sempre encontrar a Ti”. Por todas as lições, por todas as oportunidades, por meu jeito diverso, por Jesus que encontro todos os dias em todas as pessoas e na Sagrada Eucaristia.

Agradeço por poder ser um calço na vida de tantas pessoas. Como professor, nada me alegra mais do que ver a evolução na vida dos meus educandos. Como voluntário, nada me satisfaz mais do que ver tantas pessoas descobrindo a possibilidade de uma vida plena. Agradeço pela centelha de Deus nos meus professores que honradamente me serviram da mesma maneira, em especial ao meu orientador.

Agradecerei para sempre, porque não cabe na minha vida o que tenho para agradecer.

RESUMO

O compartilhamento de insumos de trabalho já foi diversas vezes motivador de soluções tecnológicas. Na era atual, a informação figura como um desses insumos e é parte motivadora da busca por interoperabilidade de sistemas. A literatura aponta soluções fundamentalmente tecnológicas e recai em problemas de entendimento conceitual, evidenciando a carência de descrições contemporâneas do fenômeno da interoperabilidade. Além das inquietações conceituais, novos métodos de engenharia de software devem incluir uma noção socio-técnica do contexto e buscar compreender semanticamente as mensagens trocadas dentro do sistema. Esses elementos são conceitos sensibilizadores, de que não é possível definir a interoperabilidade partindo de soluções que se propõem a fazê-la, uma vez que são muito específicas de um contexto e incompatíveis entre si. Portanto, existe uma lacuna referente ao significado de interoperabilidade do ponto de vista do que as pessoas esperam, desejam, idealizam e necessitam. Diante do exposto, essa tese tem o objetivo de formular uma teoria de interoperabilidade de bases socio-técnicas, que possa servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais se deseja que a capacidade de interoperar seja desenvolvida. Com o objetivo voltado para a construção e testes de teorias e fazendo uso de dados empíricos como material de análise, essa pesquisa se classifica como uma pesquisa básica. Essa finalidade de resposta a uma pergunta conceitual torna o problema adequado a uma pesquisa exploratória e explicativa quanto aos fins. A abordagem metodológica escolhida é multi-método, ocorrendo o uso de métodos bibliométricos para o delineamento amostral e para a produção de insumos de referência para a análise qualitativa. O método qualitativo utilizado é o da teoria fundamentada em dados. Dentre os resultados alcançados, pode-se destacar a interdisciplinaridade da pesquisa sobre interoperabilidade, a confirmação da defasagem dos conceitos e que a proposição de soluções com interoperabilidade não se fundamenta explicitamente em conceitos presentes na literatura. Também foi possível alcançar uma teoria fundamentada em dados para defender que a interoperabilidade é a qualidade observável, caracterizada por um conjunto de possibilidades de interoperações que suporta uma atividade institucional ou produtiva, dentro de um conjunto de entes interoperáveis.

Palavras-chaves: Interoperabilidade. Teoria Fundamentada em Dados. Sistemas.

ABSTRACT

The sharing of work inputs has repeatedly motivated technological solutions. In the current era, information is one such input and is a driving force behind the pursuit of system integration or interoperability. The literature points to fundamentally technological solutions and falls into problems of conceptual understanding, highlighting the lack of contemporary descriptions of the interoperability phenomenon. Beyond conceptual concerns, new software engineering methods should include a sociotechnical notion of context and seek to understand the messages exchanged within the system semantically. These elements are sensitizing concepts, indicating that it is impossible to define interoperability based on solutions that purport to achieve it, as they are highly context-specific and incompatible. Therefore, there is a gap regarding the meaning of interoperability from the perspective of what people expect, desire, idealize, and need. Given the above, this thesis aims to formulate a sociotechnical-based theory of interoperability that can explain interoperability in current systems and as a reference for systems where the ability to interoperate is desired. With the objective focused on constructing and testing theories and using empirical data as analysis material, this research is classified as basic research. This purpose of answering a conceptual question makes the problem suitable for exploratory and explanatory research regarding its ends. The methodological approach is multi-method, using bibliometric methods for sample design and producing reference inputs for qualitative analysis. The qualitative method used is grounded theory. Among the results achieved, we can highlight the interdisciplinarity of interoperability research, the confirmation of the obsolescence of concepts, and that the proposal of solutions with interoperability is not explicitly based on concepts present in the literature. Also, it was possible to achieve a grounded theory to defend that interoperability is the observable quality characterized by a set of interoperability possibilities that supports an institutional or productive activity within an interoperable set of interoperable entities.

Keywords: Interoperability. Grounded Theory. Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão geral da metodologia utilizada. Fonte: O autor (2024)	30
Figura 2 – Distribuição de similaridade de resumos. Cada ponto do gráfico representa um resumo e a distância entre eles é alusiva à distância do cosseno calculada. Fonte: O autor (2024)	36
Figura 3 – Distribuição de Produtividade Científica da Lei de Lotka. A linha azul representa a distribuição percebida em artigos por autor, enquanto a linha vermelha mostra a distribuição teórica de Lotka. Fonte: O autor(2024)	48
Figura 4 – Países mais produtivos. As barras representam o número de artigos publicados por cada país.. Fonte: O autor (2024)	49
Figura 5 – Intersecções de áreas de conhecimento. As barras no canto inferior esquerdo representam o volume de publicações em determinada área do conhecimento. Os pontos representam publicações em uma determinada área. As linhas que ligam um ou mais pontos representam publicações com colaboração de duas ou mais áreas. As barras na parte gráfica superior representam o volume de publicações referentes exclusivamente a uma única área do conhecimento quando acima dos pontos. Além disso, representa o volume de publicações de mais de uma área do conhecimento acima de linhas com pontos. Fonte: O autor (2024)	51
Figura 6 – Tipos de contribuição. Os gráficos apresentam o número de contribuições por tipo de contribuição dos artigos mais citados. À esquerda está a classificação dos artigos mais citados ao longo do tempo e à direita estão os artigos mais citados e suas respectivas áreas do conhecimento.	60
Figura 7 – Contorno teórico ao final da quarta rodada de análise	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Questões de pesquisa e seus respectivos métodos bibliométricos	31
Tabela 2 – Strings de Busca	35
Tabela 3 – Resumo de Dados Bibliométricos	53
Tabela 4 – Total de citações por país	54
Tabela 5 – Principais veículos de publicação	54
Tabela 6 – Documentos mais citados	55
Tabela 7 – Documentos mais citados por área	56
Tabela 8 – Formas de interação com sistemas interoperáveis dos respondentes	64
Tabela 9 – Nacionalidades dos respondentes	64
Tabela 10 – Controle social e intensidade do diálogo em conjuntos. Fonte: O autor(2024).	78
Tabela 11 – Definições de Interoperabilidade elencados por (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007)	80
Tabela 12 – Análise comparativa do contorno teórico alcançado com os conceitos listados por (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007)	83
Tabela 13 – Outras definições encontradas na literatura	85
Tabela 14 – Comparação com outras definições encontradas na literatura	85
Tabela 15 – Resultado da busca por novas definições entre os anos 2021 e 2024	86
Tabela 16 – Tabela de Organização das Áreas de Conhecimento.	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CASE	Computer-Aided Software Engineering
DoD	Department of Defense
GT	Grounded Theory
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAN	Local Area Network
LMS	Learning Management Systems
LSCS	Large-scale Complex IT Systems
SECO	Software Ecosystems
SoS	Systems-of-Systems
TF-IDF	Term Frequency - Inverse Document Frequency
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	MOTIVAÇÃO	14
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	17
1.3	VISÃO GERAL DA PROPOSTA	18
1.3.1	Objetivo Geral	18
1.3.2	Objetivos Específicos	19
1.4	FORA DE ESCOPO	20
1.5	ORGANIZAÇÃO DA TESE	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	TEORIA FUNDAMENTADA EM DADOS (GROUNDED THEORY)	21
2.2	INTEROPERABILIDADE	23
2.3	PROVOCAÇÕES INICIAIS	26
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
3.1	ETAPA QUANTITATIVA - BIBLIOMETRIA	30
3.1.1	Planejamento e Questões de Pesquisa	31
3.2	COMPILAÇÃO DOS DADOS	32
3.2.1	Identificação dos Termos Relevantes	32
3.2.2	Busca de Dados	34
3.3	PRÉ-PROCESSAMENTO	37
3.4	ETAPA QUALITATIVA - TEORIA FUNDAMENTADA	38
3.4.1	Definição de métodos e instrumentos de coleta de dados	41
3.4.2	Descrição dos sujeitos	42
3.4.3	Coleta de dados	43
3.4.3.1	<i>Codificação</i>	44
3.4.3.2	<i>Uso de memos</i>	45
3.4.3.3	<i>Amostragem teórica</i>	45
3.4.4	Relatoria e Avaliação	45
4	REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	48
4.0.1	Quais fontes de publicação e áreas do conhecimento influenciaram mais significativamente a pesquisa sobre interoperabilidade?	50

4.0.2	Quais estudos mais influenciaram a pesquisa sobre interoperabilidade?	51
4.1	DISCUSSÃO	57
4.1.1	Características gerais da área de interoperabilidade	57
4.1.2	As influências na pesquisa sobre interoperabilidade	58
4.2	CONCLUSÕES	61
5	TEORIA FUNDAMENTADA EM DADOS	64
5.1	BUSCA DE DADOS	64
5.2	CODIFICAÇÃO INICIAL	65
5.3	CODIFICAÇÃO FOCALIZADA	65
5.3.1	Tipo de sistema	65
5.3.2	Restrição do sistema	66
5.3.3	Provedor de interoperabilidade	66
5.3.4	Finalidade	66
5.3.5	Problema	66
5.3.6	Interoperabilidade	67
5.3.7	Condição	67
5.3.8	Símbolos	68
5.4	CODIFICAÇÃO TEÓRICA	69
5.4.1	Qual é o significado do código ecossistema (ou sistema-de-sistemas?)	70
5.4.2	Relação dos entes dentro dos conjuntos e as finalidades dos sistemas	72
5.4.3	Implicações sobre a decisão de fazer parte de um conjunto intra-operável	74
5.4.4	Controle social do conjunto de entes	75
5.4.5	A influência da manutenção das relações para solução de problemas via diálogo.	76
5.5	CONCLUSÕES	77
6	AVALIAÇÃO	79
6.1	CONDIÇÕES PARA A EXISTÊNCIA DE UMA TEORIA SOBRE A INTEROPERABILIDADE	79
6.2	OUTRAS DEFINIÇÕES PRESENTES NA LITERATURA	84
6.3	UMA TEORIA FUNDAMENTADA SOBRE A INTEROPERABILIDADE	87
6.4	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	88
6.5	CONCLUSÕES	89

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
7.1	TRABALHOS FUTUROS	93
7.2	LIMITAÇÕES	94
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE COLETA	110
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ES- CLARECIDO	111
	APÊNDICE C – CADERNO DE CÓDIGOS	113
	APÊNDICE D – ÁREAS DE CONHECIMENTO	118
	ANEXO A – TIPOS DE INTEROPERABILIDADE	123

1 INTRODUÇÃO

O compartilhamento de produtos de trabalho e de etapas da operacionalização para a construção desses tem sido uma tônica de diversas áreas do conhecimento humano, por exemplo, na biologia, desenvolvimento industrial e engenharias. Qualquer conjunto de partes unidas entre si e que possuam um objetivo comum (produtos, serviços, informação) e operação coordenada podem ser considerados sistemas (CHURCHMAN, 2015).

Sistemas não estão relacionados diretamente com sistemas de *software*, diversos sistemas atuais são ou possuem *software* como partes. Esses sistemas existem em domínios distintos como, por exemplo, os listados na pesquisa de Gürdür e Asplund (2018): o empresarial, de defesa, governo, sistemas de informação, sistemas de sistemas e comunicação. Além de novos tipos e áreas de aplicações e sistemas que vêm surgindo graças ao desenvolvimento tecnológico atual, a exemplo de sistemas onde suas partes são nuvens computacionais Demchenko et al. (2012) ou grandes e complexos sistemas de Tecnologia da Informação (TI) - Large-scale Complex IT Systems (LSCS), descritos por Sommerville et al. (2012) e Widjaja e Gregory (2020).

É comum ouvir-se dizer que as partes de um sistema integram-se, interoperam, interligam-se, intercomunicam-se, relacionam-se, compõem-se, na tentativa de descrever o relacionamento delas. Alguns desses termos podem ser usados como sinônimos de capacidades comunicativas e de trocas em determinadas situações. Também como subconjuntos em outras, à exemplo de Thomas e Nejme (1992). Ou como conjuntos que possuem uma intersecção, como em Gürdür e Asplund (2018). Ainda, como partes da solução de um mesmo problema, como tratado por Naudet et al. (2010). Fazendo uso da ambiguidade dentre esses termos, nesse trabalho, todas as alusões à maneira como sistemas interagem, interna e externamente, serão chamadas de interoperabilidade.

1.1 MOTIVAÇÃO

Apesar de ser razoável considerar a utilidade de sistemas e elementos que funcionam isolados em alguns ambientes, existe o desejo, dentro de outras circunstâncias, de que esses comuniquem-se em redes analógicas ou digitais. Prova disso é que o conceito de integração de ferramentas é estudado desde a década de 1970 (GÜRDÜR; ASPLUND, 2018), e a conceituação

dos termos de integração e interoperabilidade na área de engenharia de *software*, vem sendo revisada com o passar das décadas (WASSERMAN, 1990; THOMAS; NEJMEH, 1992; WICKS; DEWAR, 2007). Além de padronizações de como interoperar em determinadas áreas ISO (2005) e da existência de iniciativas continentais para o entendimento e o provimento de (eco)sistemas interoperáveis (GÜRDÜR; ASPLUND, 2018; NAUDET et al., 2010).

Afora a necessidade por interoperar, como consequência dela, tem-se uma diversidade de termos sinônimos tendo, cada um deles, múltiplas definições. Diallo et al. (2011) listaram quatro definições de interoperabilidade, como ponto de partida para o seu trabalho. Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), encontraram outras trinta e quatro definições distintas sobre o mesmo termo, além das diversas definições de integração. Essa dificuldade também é reconhecida por Hodapp e Hanelt (2022), quando alega que a pesquisa de interoperabilidade está dicidida em diversos ramos.

Existem autores que agregam às definições níveis de interoperabilidade, como é o caso de (WASSERMAN, 1990) que cria cinco níveis de integração de ferramentas. Já (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007) conseguiram identificar sessenta e quatro tipos distintos de interoperabilidade. E, os autores (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007; GÜRDÜR; ASPLUND, 2018) discutiram diversas formas de mensuração da interoperabilidade. Por último, com base nos desafios técnicos experienciados na construção de diferentes projetos de interoperabilidade provocados pelo uso de diferentes modelos e *frameworks*, (DIALLO et al., 2011) abordaram explicitamente a necessidade da formulação de uma teoria para o alinhamento conceitual como provável caminho de alinhamento tecnológico.

É notória a consonância entre as inquietações de (DIALLO et al., 2011) sobre interoperabilidade e as conclusões de (GÜRDÜR; ASPLUND, 2018) com respeito a integração de ferramentas. Gürdür e Asplund (2018) afirmam que as discussões sobre integração de ferramentas é fundamentalmente tecnológica e a discussão tecnológica foca no entendimento conceitual, muitas vezes apresentando soluções baseadas em modelos de dados.

Aliás, a falta de alinhamento conceitual entre (soluções baseadas em) modelos e na consistência da execução da federação (sistema *de software*), gerada por problemas técnicos como transformação, administração e alinhamento de dados, são justamente as motivações que levam a questionar: "Qual é a teoria de interoperabilidade sob a qual as soluções e *frameworks* [de interoperabilidade] são construídos?" Diallo et al. (2011).

Para além das inquietações conceituais, novos métodos de engenharia de *software* para LSCS devem incluir uma noção sócio-técnica do sistema e buscar compreender semanticamente

as mensagens trocadas dentro do sistema (BAXTER; SOMMERVILLE, 2011; SOMMERVILLE et al., 2012). O termo sócio-técnico refere-se à como fatores humanos, sociais e organizacionais afetam a construção e operação de sistemas.

Nesses sistemas, a necessidade do entendimento semântico pode não ser apenas uma questão de projeto tecnológico, mas um requisito legal, normatização, ou ainda uma padronização exigida pelo contexto. A exemplo da ISO (2005) que já contempla totalmente o modelo de interoperabilidade semântica que a inspirou, Beale (2001), e que foram adotados formalmente como padrões a serem seguidos em alguns países, inclusive no Brasil (Portaria MS. 2.073/2011). Essa portaria foi substituída por outra (Portaria MS. 1.434/2020) que determina quais os novos padrões nacionais de interoperabilidade devem ser utilizados.

Os requisitos sócio-técnicos podem estar também em movimentos mercadológicos que levam à adoção de tecnologias. Por exemplo, a alta adesão do modelo de nuvem computacional enquanto movimento de mercado acarreta na pressão por desenvolvimento tecnológico dos provedores de serviços de nuvem. Na perspectiva de Demchenko et al. (2012), o uso mais complexo de infraestruturas de nuvem orientada a negócios requer o desenvolvimento, dentre outras coisas, de grupos de infraestruturas provisionadas sob demanda e entre múltiplos provedores. O mesmo autor afirma que a composição e integração de aplicações baseadas em nuvem necessitarão de um novo conjunto de funcionalidades e serviços de *intercloud* - serviços comuns a mais de uma nuvem.

Por outro lado, é inegável que, sejam em ambientes de *Local Area Network (LAN)* ou nuvem, cada vez mais, espera-se que sistemas de *software* troquem informações entre si. Tanto que na Europa, a latente necessidade por interoperabilidade tem levado ao financiamento de projetos sobre a mesma envolvendo pesquisadores de vários institutos do continente, a exemplo do projeto CRISTAL¹ e do iFEST².

No entanto, existem dificuldades para que essas capacidades comunicativas e de trocas entre entes de um sistema ocorra. Os próprios níveis de integração levantados por Wasserman (1990) e posteriormente decompostos em elementos menores descritivos de cada nível por Thomas e Nejme (1992) são tratados por eles como problemas a serem enfrentados. Além das dificuldades inerentes em se trabalhar com *softwares* de fornecedores diferentes (WASSERMAN, 1990). Ou ainda, na perspectiva de Naudet et al. (2010), onde a própria interoperabilidade é tratada como um problema.

¹ <https://artemis-ia.eu/project/46-crystal.html>

² <https://artemis-ia.eu/project/13-ifest.html>

Em suma, a discussão a respeito de uma teoria da interoperabilidade tende a contribuir para: a) nortear as discussões teóricas em meio à essa diversidade de termos e conceitos; b) extrair das discussões de modelos de dados a responsabilidade sobre as discussões de alinhamento conceitual; c) entender o papel dos requisitos sócio-técnicos nos projetos de *software* interoperáveis.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Quando, na seção anterior, a importância de se buscar uma teoria de interoperabilidade foi posta, nela também encontra-se parte do problema a ser enfrentado no que diz respeito a multiplicidade de termos, definições e proposituras de soluções limitadas a contextos específicos. Assim como a latente pressão mercadológica por soluções interoperáveis transpassando questões técnicas, organizacionais e até mesmo com relação a transações comerciais e de manufatura entre nações.

Aliás, Ducq, Chen e Doumeingts (2012) levantam a discussão sobre a existência de três categorias de barreiras para a interoperabilidade: conceitual, tecnológica e organizacional. Apesar dos esforços do entendimento da interoperabilidade e de seus termos correlatos discutidos brevemente na seção anterior, os resultados teóricos, mesmo quando abrangentes concentram-se prioritariamente em uma dessas categorias.

A perspectiva tecnológica é central nas visões de vários autores (WASSERMAN, 1990; THOMAS; NEJMEH, 1992; WICKS; DEWAR, 2007; DIALLO et al., 2011; DEMCHENKO et al., 2012). Assim, para esses autores, a interoperabilidade está subdividida em um conjunto de restrições ferramentais e de ambiente. A centralidade da perspectiva semântica pode ser observada nas visões de Beale (2001) e ISO (2005), onde impera a preocupação com a semântica através da aplicação de modelos. A perspectiva organizacional da interoperabilidade é o cerne das preocupações de Naudet et al. (2010) e do contexto de problema do *Department of Defense (DoD)* Norte-Americano, resgatado por Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007). Nesses últimos casos, reconhece-se a interoperabilidade como dependente de um grande conjunto de variáveis de diversos tipos e níveis.

No entanto, todas as definições trazidas por esses autores ausentam-se das discussões teóricas, como lembrado por Diallo et al. (2011), que diferenciam o que é a interoperabilidade de como é feita a interoperabilidade. E mesmo que Diallo (2016) e Naudet et al. (2010) tenham trilhado caminhos de teorização da interoperabilidade a partir do significado de estar

interoperando, o primeiro limita-se à perspectiva tecnológica chegando à conclusão de que a interoperabilidade não pode ser computacionalmente verificada; e o segundo, ao considerar a interoperabilidade como um problema na perspectiva ontológica, continua a gerar uma definição recursiva de que dois elementos são interoperáveis quando interoperam - um problema comum às definições de interoperabilidade identificado por Diallo et al. (2011).

Em consonância com a definição de problema de Diallo et al. (2011) e tomando-a como premissa, o problema a ser tratado nesse trabalho relaciona-se com a inexistência de uma teoria de interoperabilidade sob a qual as soluções e *frameworks*, de interoperabilidade, são construídos. No entanto, diferente do que foi pensando por ele, parte-se, aqui, do entendimento de que os dados que eventualmente levarão ao encontro dessa teoria não estão somente no aspecto técnico, mas potencialmente no consenso oriundo da visão de sujeitos que aleguem ter trabalhado, construído ou interagido em sistemas interoperáveis e da análise de ambientes onde as soluções técnicas são usadas ou necessárias.

Diante do exposto, torna-se relevante a busca por responder a seguinte pergunta de pesquisa: Qual é a teoria de interoperabilidade de bases sócio-técnicas, que possa servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida? Uma vez que, o problema tratado nessa tese é a ausência de uma teoria fundamentada em dados extraídos de contextos práticos distintos sobre a interoperabilidade de sistemas.

1.3 VISÃO GERAL DA PROPOSTA

Uma visão geral dessa proposta de tese pode ser vista a partir dos objetivos abaixo listados em duas seções: uma para o objetivo geral e outra para os objetivos específicos. Em cada uma das seções, a apresentação dos objetivos será seguida do detalhamento destes.

1.3.1 Objetivo Geral

Formular uma teoria de interoperabilidade de bases sócio-técnicas, que possa servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida.

Serão úteis para o julgamento se a teoria foi encontrada, as considerações de Diallo et al. (2011) sobre as capacidades necessárias a ela:

1. Conhecer os requisitos necessários e suficientes para a interoperabilidade;
2. Definir dado, informação, informação útil e contexto;
3. Explicar a dualidade da interoperabilidade, que leva ao paradoxo da necessidade infinita de interfaces ao se buscar a padronização por interfaces para simplificação e redução da quantidade de conexões;
4. Explicar a interoperabilidade sem cair em uma recursão infinita;
5. Explicar a interoperabilidade como um todo.

Além disso, o objetivo geral poderá ser considerado como atingido quando o processo de pesquisa do qual a teoria fundamentada emergiu for avaliado positivamente quanto aos critérios de avaliação elencados por Charmaz (2006) quanto à credibilidade, originalidade, ressonância e utilidade.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os resultados buscados pelos objetivos específicos subsidiam a busca pelo objetivo geral em diversas etapas da pesquisa. Esses, serão extraídos a partir da interpretação de dados bibliométricos e relacionam-se com a influência de indivíduos. São eles:

1. Identificar quais são os artigos, autores, revistas e disciplinas que mais influenciaram a pesquisa sobre interoperabilidade;
2. Delimitar uma amostra não probabilística de sujeitos que aleguem ter trabalhado, construído ou interagido em sistemas interoperáveis;

Com relação ao objetivo específico 2, é preciso considerar que esse objetivo representa uma tarefa desafiadora, no sentido de que não é óbvia a identificação do conjunto de pessoas que já tenham se relacionado com sistemas ditos interoperáveis. Portanto, a identificação dos sujeitos a serem entrevistados dar-se-á com a identificação das comunidades científicas relacionadas à interoperabilidade através de métodos bibliométricos. Configurando assim uma amostra inicial não probabilística intencional de sujeitos. A construção dessa amostra inicia-se como parte do

resultado da análise efetuada nos demais objetivos específicos e finda no decorrer do processo de amostragem teórica do método de Grounded Theory (GT).

1.4 FORA DE ESCOPO

Dentro de um estudo exploratório, os limites da pesquisa são turvos antes do fim. Ainda mais em se tratando do uso da GT onde o campo vai sendo descoberto de acordo com a necessidade de que a saturação teórica seja alcançada. Ainda assim, não é esperado que ocorra, mesmo que não sejam possibilidades totalmente descartadas, nenhum tipo de análise arquitetural, de técnicas ou estrutural de modelos. Também não é esperado que aconteçam nenhum tipo de proposição de novos modelos, arquiteturas ou ferramentas.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Essa tese, além desse capítulo introdutório, apresenta o detalhamento da metodologia de pesquisas no Capítulo 3, contendo a classificação metodológica do trabalho, o planejamento referente ao método bibliométrico, o planejamento referente ao método de GT e os procedimentos de relatoria e avaliação do trabalho.

O Capítulo 4 apresenta os trabalhos relacionados a essa pesquisa compreendendo também todas as etapas e resultados inerentes à etapa bibliométrica quantitativa da tese. É seguido pela execução do método de GT no Capítulo 5.

A tese finaliza com a avaliação dos resultados encontrados no Capítulo 6 e com o Capítulo de considerações finais, que contempla trabalhos futuros e limitações do estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma teoria é um conjunto de premissas sistematizadas e inter-relacionadas de fenômenos naturais ou sociais, fundamentada a partir de hipóteses verificadas e sustentada por evidências empíricas, experimentos e lógica rigorosa. Diferentemente de uma suposição, uma teoria científica busca descrever, prever e compreender eventos ou comportamentos, oferecendo um modelo abrangente e adaptável, sendo frequentemente revisada e refinada à medida que novos dados se tornam disponíveis (HAWKING, 2009).

Nesse contexto, Popper (2005) e Popper (2014) definiu a falsificabilidade como critério essencial para distinguir teorias científicas, enfatizando a necessidade de que sejam testáveis e potencialmente refutáveis. Kuhn (1997) ampliou o conceito ao introduzir a ideia de paradigmas científicos, destacando que teorias operam dentro de estruturas que orientam a pesquisa até serem desafiadas por revoluções científicas ou períodos históricos. Nessa conjuntura, as teorias integram projetos de pesquisa compostos por um núcleo irrefutável e hipóteses auxiliares ajustáveis, permitindo sua evolução, estando diretamente ligadas no avanço do conhecimento, como ferramentas explicativas e preditivas fundamentais para o desenvolvimento científico.

2.1 TEORIA FUNDAMENTADA EM DADOS (GROUNDED THEORY)

A Teoria Fundamentada em Dados (Grounded Theory) é uma metodologia de pesquisa qualitativa criada por Glaser e Strauss (2017) em 1967, cujo objetivo é desenvolver teorias diretamente a partir de dados empíricos, sem a necessidade de hipóteses prévias. Essa abordagem se caracteriza pela coleta e análise simultâneas dos dados, permitindo que categorias, conceitos e relações surjam do processo investigativo. Além disso, os autores introduziram princípios fundamentais, como a codificação aberta, a comparação constante e a saturação teórica, ferramentas essenciais para estruturar teorias que sejam representativas da realidade estudada.

Posteriormente, Corbin e Strauss (2014) em 1990 refinaram o método, detalhando técnicas analíticas como codificação axial e seletiva, que ajudam a organizar e integrar os dados. Além disso, Grounded Theory é amplamente utilizada em áreas como ciências sociais, saúde, educação e computação (HODA, 2021) devido à sua capacidade de permitir a criação de teorias diretamente interligadas aos contextos específicos dos fenômenos investigados. Focada

na coleta e análise de dados diretamente do campo, a metodologia permite que conceitos e categorias surjam de forma indutiva, sem a imposição de modelos teóricos pré existentes. Dessa maneira, a Grounded Theory não apenas descreve, mas também explica fenômenos, oferecendo hipóteses sólidas para a formulação de práticas e intervenções alinhadas à realidade dos envolvidos na pesquisa.

A evolução da Grounded Theory a partir das contribuições de Glaser e Strauss, resultou em diversas abordagens (escolas), cada uma com ênfases e técnicas específicas usadas em pesquisa de abordagem qualitativa. Entre as mais conhecidas estão a abordagem sistemática de Strauss e Corbin, a clássica de Glaser, e a construtivista de Charmaz.

A abordagem de Corbin e Strauss (2014) dentro da Grounded Theory é reconhecida por sua sistematização e rigor metodológico, apresentando uma estrutura analítica clara e detalhada. Os autores dividem o processo de análise em três etapas principais: codificação aberta, onde os dados são divididos em unidades menores para identificar conceitos e categorias preliminares; codificação axial, que refina e conecta as categorias e conceitos identificados na codificação aberta por meio de relações causais, contextuais e interacionais; e por fim a codificação seletiva, que integra essas categorias conectadas em uma narrativa central para formar uma teoria coesa.

Além disso, a abordagem busca priorizar um processo analítico que permite ao pesquisador explorar as interrelações entre os dados, utilizando ferramentas como diagramas e esquemas para explorar essas interrelações e visualizar suas conexões. Essa abordagem combina um elemento de estrutura prévia baseada na emergência teórica dos dados, que permitiu um maior controle analítico no desenvolvimento do conhecimento teórico, sendo amplamente aplicada em áreas como saúde, educação e administração em busca de interpretar dinâmicas sociais complexas de maneira organizada e consistente.

A abordagem clássica da Grounded Theory, desenvolvida por Glaser e Strauss (2017), destaca-se pela flexibilidade e fidelidade aos princípios originais da metodologia, enfatizando a emergência teórica e a construção indutiva de categorias diretamente dos dados, sem influências pré-estabelecidas. Essa abordagem privilegia a observação contínua, a comparação constante e o registro de padrões que surgem naturalmente durante a coleta e a análise dos dados, permitindo que a teoria seja profundamente considerada na realidade estudada. Essa abordagem defende que a “comparação constante” entre os dados é suficiente para gerar categorias teóricas robustas e interrelacionadas, permitindo a neutralidade do pesquisador e minimizando a influência de pressupostos teóricos ou pessoais na construção de teorias que foram desenvolvidas de maneira puramente indutiva. Essa abordagem clássica torna-se parti-

cularmente relevante em dados coletados em contextos onde é necessário explorar fenômenos desconhecidos ou pouco estudados.

A abordagem de Charmaz (2006) criou a mais recente das abordagens da teoria fundamentada. Essa abordagem é construtivista e pragmática, distanciando-se o positivismo e objetivismo de seus antecessores. Na prática, a abordagem de Charmaz (2006) considera que os procedimentos das outras abordagens são adaptáveis ao contexto do estudo que está sendo conduzido. No mais, a teoria que ainda é fortemente ligada aos dados analisados, emerge de uma construção social.

2.2 INTEROPERABILIDADE

Aqui, será descrito o contexto onde o problema de ausência de uma teoria da interoperabilidade existe, partindo dos trabalhos que reconhecem essa ausência ou que, de alguma, forma tratam da multiplicidade de conceitos, modelos e definições sobre as temáticas. Nesse sentido, o artigo de Wasserman (1990) não traz qualquer definição anterior sobre integração de ferramentas ou sequer cita interoperabilidade. Dado que já era a década de 1990, alguns conceitos de interoperabilidade já existiam. No entanto, esse autor limitou-se a descrever um problema que para ele era central à época com relação a ambientes de ferramentas Computer-Aided Software Engineering (CASE): o desejo de conectar ferramentas voltadas para os diferentes aspectos do desenvolvimento de *software*.

Wasserman (1990) desenvolve seus argumentos aparentemente baseado em sua própria experiência, defendendo a adoção de uma arquitetura de sistema aberta para permitir a integração de ferramentas em cinco níveis, cada um resolvendo um problema da integração dessas ferramentas: integração de plataforma, integração da apresentação, integração de dados, integração de controle e integração de processo.

Tendo esses níveis em conta, o nível de integração de uma ferramenta pode ser medido por uma função " $T_1 = f(D, P, C)$ " Wasserman (1990). Onde D , P e C representam respectivamente a dimensão de integração de dados, processos e controle e T_1 é a ferramenta avaliada. Desse modo, uma integração mínima entre ferramentas requer que essas estejam de acordo em pelo menos uma das dimensões da função. Já uma integração efetiva entre ferramentas requer que ambas concordem em todas as dimensões (D , P e C), operando através de uma plataforma compatível.

O trabalho de Wasserman (1990) foi ampliado por Thomas e Nejme (1992) sob o argu-

mento de que para que se possa aferir adequadamente a integração entre duas ferramentas, critérios mais objetivos devem ser dados às dimensões propostas por Wasserman (1990). A visão de Thomas e Nejme (1992) diverge da do seu antecessor com respeito à integração ser uma capacidade da ferramenta. Na visão desse autor, integração é um relacionamento com outros elementos no mesmo ambiente.

Dentre os critérios levantados para cada uma das dimensões, Thomas e Nejme (1992) inseriu na dimensão de dados o atributo interoperabilidade e afirma que “duas ferramentas estão bem integradas com respeito a interoperabilidade se pouco trabalho for necessário para que uma use dados de outra”. Assumindo a necessidade que essas ferramentas tenham um mesmo modelo de dados ou que exista uma dedução de dados de uma para caber no modelo de dados da outra.

Para Wicks e Dewar (2007), a integração é um fenômeno sócio-econômico e não meramente um aspecto técnico como tratado pelos seus antecessores (WASSERMAN, 1990; THOMAS; NEJMEH, 1992). Mesmo fazendo um resgate literário histórico das definições dadas sobre o conceito de interoperabilidade, o autor limita-se a dizer que a integração de ferramentas requer técnicas para formar coalizões de ferramentas para o suporte ao processo de engenharia de *software* em todo ou em parte.

Em seu trabalho, Wicks e Dewar (2007), deixa explícito um problema com relação ao desenvolvimento da área de integração de ferramentas: os benefícios almejados de melhoria de produtividade e ganho de qualidade para equipes, pessoas, processos e produtos, aparentemente não foram alcançados. E que isso ocorre em função de um desejo contínuo da comunidade em produzir ambientes de engenharia de *software* mais sofisticados, sem estar atenta ao fato de que os benefícios desse esforço tem sido aparentemente mínimos, do ponto de vista do valor agregado.

Wicks e Dewar (2007), identificaram que 65% dos trabalhos publicados na área de engenharia de *software* relativos à integração são formulativos, ou seja, concentrados em propor soluções técnicas baseadas em *software*. No entanto, os trabalhos descritivos representam apenas 6% do total. Como consequência, na visão do autor, os pesquisadores estão usando descrições desatualizadas do fenômeno subjacente de integração de ferramentas. Essa visão foi recentemente confirmada (SILVA et al., 2023; SILVA et al., 2024). Fato que tem resultado em desperdício de esforços com respeito à proposição de novas soluções.

Em, Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), que à época era um major da força aérea dos Estados Unidos fez um resgate histórico da interoperabilidade no

contexto militar. Relatando um fiasco de comunicação entre os rádios do exército e da força aérea em 1965 como motivação inicial para que o departamento de defesa do país começasse a tratar problemas de interoperabilidade, que continuaram a ocorrer até o fim da década de 1990.

Ao assumir que, dentro do contexto do departamento de defesa dos EUA, já existe um grande progresso com relação à interoperabilidade, suas políticas, procedimentos, organizações e mecanismos de supervisão, Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007) afirmam que é hora de refinar o aprimoramento da interoperabilidade. E que, o caminho para esse aprimoramento da interoperabilidade passa pela mensuração da interoperabilidade.

Apesar de não ser o objetivo do trabalho, os autores reconhecem que a mensuração tem de partir de uma definição. Como resultado uma das contribuições do trabalho passa a ser a identificação de definições de interoperabilidade que após sumarizadas resultaram em 34 definições diferentes. A definição mais amplamente aceita no julgamento do autor é justamente a primeira descrita pelo DoD dos EUA¹:

“The ability of systems, units, or forces to provide services to an accept services from other systems, units, or forces and to use the services so exchanged to enable them to operate effectively together.” (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007)

A pesquisa de Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), identificou, ainda 64 tipos de interoperabilidade (disponíveis no Anexo A), para além das definições existentes. Ainda que, tenha discutido apenas os tipos de interoperabilidade técnica e não-técnica. Porém, poucos desses tipos estavam explicitamente identificados em suas publicações originais.

Oriundo da área de Sistemas Cyber-Físicos (CPS), Gürdür e Asplund (2018), afirma que a área de pesquisa em interoperabilidade vem de diferentes comunidades e que interagem com a área de integração de ferramentas. Assume que em algum ponto elas se confundem e levanta a possibilidade de que no futuro elas se unam compartilhando e aprendendo com os modelos e esquemas de cada uma. Mas, não aprofunda a discussão a respeito do que é interoperabilidade ou do que é integração de ferramentas, quais são os limites de cada uma e o que é de uma e não é de outra.

Tanto Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007) quanto Gürdür e Asplund (2018) discutiram modelos de avaliação de interoperabilidade. Ambos concluíram que

¹ <https://standards.globalspec.com/std/3592/dodd-2010-6-d-03-11-77>

os modelos de avaliação são parciais, voltados para apenas alguns aspectos da interoperabilidade e que são difíceis de quantificar, seja por conta da utilização de métricas complexas ou subjetivas, seja pela ausência de um modelo matemático para a aferição. Na visão de Gürdür e Asplund (2018), apesar do discurso e conceituação sobre integração de ferramentas já durar mais do que quatro décadas, os esquemas de classificação e as descrições dos contextos onde esses são aplicáveis continuam vagos.

Já Diallo (2016) descreve interoperabilidade como um problema *NP-hard* ao reduzir qualquer sistema a um conjunto de entradas e saídas provocadas por essas entradas. Para esse, atores diferentes do sistema em si dentro do contexto são desconsiderados. Existe algum ponto onde uma intervenção humana possa diminuir essa complexidade?

Dentre todos os trabalhos relacionados, o de Diallo et al. (2011) é o único que trata especificamente do problema de múltiplas definições e tipos de interoperabilidade ao levantar a pergunta de pesquisa: “*What is the theory of interoperability upon which all of our frameworks and solutions are built?*”. Com isso, o autor reconhece que as soluções atuais não são suficientes para prover a interoperabilidade.

2.3 PROVOCAÇÕES INICIAIS

Ao confrontarmos a definição de integração de ferramentas de Wasserman (1990) e a definição de interoperabilidade de Thomas e Nejme (1992) com o histórico de definições resgatadas por Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), emerge a suspeição de que os pesquisadores de engenharia de *software* desconsideraram, não tiveram acesso ou ignoraram a comparação das problemáticas que existiam no contexto das tecnologias militares, quando da delimitação do problema enfrentado e da propositura de novas soluções. Esse posicionamento propositivo/formulativo é tradicional dentre os pesquisadores de engenharia de *software* que tendem a formular soluções para contextos específicos, como identificado na revisão da literatura de Wicks e Dewar (2007). Além disso, propor algo novo é um posicionamento metodológico comum à ciência da computação (WAZLAWICK, 2009).

A problemática da interoperabilidade, como descrita por (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007), nasce na área de telecomunicações, redes e logística quase três décadas antes, mas no ano de 1990 o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (IEEE... , 1990) lança o seu primeiro padrão sobre interoperabilidade, falando explicitamente sobre a habilidade de troca e uso de informações entre componentes de sistemas. É possível que o

padrão do IEEE tenha sido estabelecido posteriormente à publicação de (WASSERMAN, 1990) nesse mesmo ano o que explicaria a ausência da influência do padrão em seu trabalho. Ainda assim, a integração a nível de plataforma descrita pelo autor desconsidera a comunicação em rede apesar de apresentar características do controle de troca de informações, assim como apresenta a preocupação com um modelo de dados comum às ferramentas.

Apesar de não ter sido referenciado, o padrão do IEEE de 1990 pode ter influenciado o trabalho de Thomas e Nejme (1992), considerando uma análise baseada exclusivamente na variável temporal. Talvez por uma interpretação restrita do padrão ou ainda pelo desconhecimento do mesmo, o autor relegou a interoperabilidade exclusivamente ao tratamento dos dados confrontando a natureza ampla da interoperabilidade quando começou a ser modelada como um problema pelo DoD.

Desse modo, pode-se dizer que na década de 90 existiam ao menos duas escolas que tratavam sobre interoperabilidade em contextos diferentes, de maneiras diferentes, mas baseadas na procura por ganhos na capacidade comunicativa e de troca dos elementos de seus respectivos sistemas. Esses objetivos em comum são reconhecidos por Gürdür e Asplund (2018).

Para além dos aspectos técnicos e apesar de Wicks e Dewar (2007) alegarem a ausência de critérios sócio-econômicos como direcionadores dos esforços nos trabalhos de integração de ferramentas, existiu em Thomas e Nejme (1992) um esforço de reconhecimento de características não técnicas do contexto quando esse último afirma a existência de um desejo do usuário por ver ferramentas bem integradas em contraste com a perspectiva de quem as constrói com a expectativa de que sejam facilmente integradas. Essas diferenças entre as visões dos autores podem ser derivadas das diferenças entre as épocas em que os trabalhos foram realizados.

Nesse mesmo sentido, retomando a racionalização sobre a definição de integração: Wasserman (1990) trata a integração como uma função da ferramenta, para Thomas e Nejme (1992) a integração é um relacionamento entre elementos dentro do mesmo ambiente e, por fim, para Wicks e Dewar (2007) a integração é um fenômeno dentro de uma ambiente organizacional. Essa definição de integração variando ao longo do tempo considera contextos histórico-tecnológicos e é semelhante à evolução das definições variáveis no tempo de interoperabilidade listadas por Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007).

A principal definição de interoperabilidade identificada por Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), dentro de seu contexto traz, como foi bem pontuado pelo próprio autor, uma noção flexível e não-técnica ao falar de unidades e forças militares, sendo talvez esse o motivo da ampla aceitação da definição. Ainda assim, em todos os modelos

de aferição da interoperabilidade estudados, reconhece-se a dificuldade em medir o nível de interoperabilidade. Seria esse um efeito intrínseco à interoperabilidade tão somente ou relativo também a suas diversas definições? Nesse ponto, os problemas encontrados por Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007) e Diallo et al. (2011) assemelham-se de modo a ampliar a pergunta anterior para: “Qual é a teoria de interoperabilidade sob a qual todos os modelos de aferição, níveis, *frameworks* e soluções técnicas são feitos?”

Ao afirmar que o esforço de desenvolvimento de ferramentas integradas é comumente limitado à tecnologia e que a discussão sobre tecnologia recai sobre como entender a integração conceitualmente, mas o foco tem sido apenas em aspectos semânticos, Gürdür e Asplund (2018), confirma outras visões (WICKS; DEWAR, 2007; Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007; DIALLO et al., 2011) com respeito à pouca atenção conceitual dada à área de estudo. Apresenta-se, assim, uma consonância com respeito a uma carência teórica.

Do ponto de vista técnico, considerando como maneira de interoperar computar a interoperabilidade como defende Diallo et al. (2011), a interoperabilidade está fadada a estar contida no domínio tecnológico. No entanto, considerando a interoperabilidade do ponto de vista da sua idealização, da noção do desejável abre-se espaço para as perguntas: a interoperabilidade só pode ser se for computável? Pode existir uma interoperabilidade não computável ou parcialmente computável? A identificação, do problema da interoperabilidade como sendo *NP-hard* (DIALLO, 2016) é uma pista para isso?

Essas provocações iniciais são indícios sensibilizantes da lacuna teórica abordada nessa tese e não respondem a nenhuma das perguntas de pesquisa ou ajudam a resolver o problema da construção da amostra de sujeitos para a execução do método da GT. Assim, ensejam uma investigação mais ampla da literatura utilizando métodos de bibliométricos e análises de citações, como descritos nas seções à seguir.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

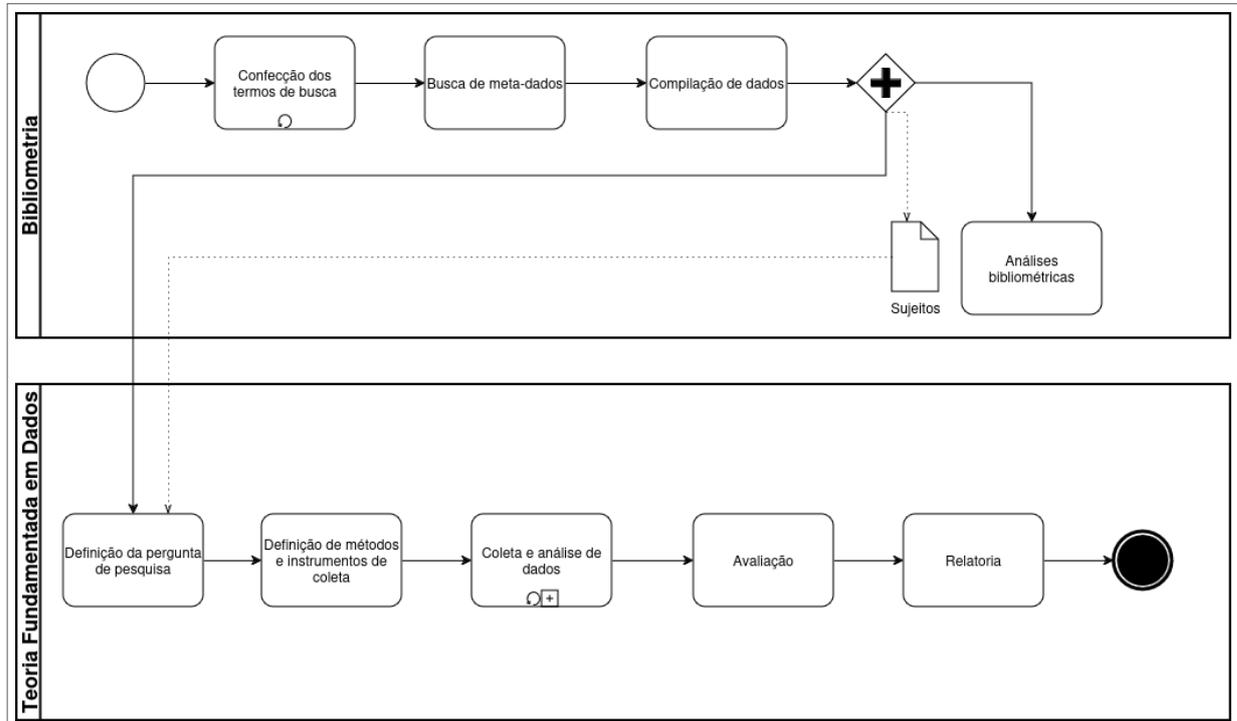
O objetivo da pesquisa é voltado para a construção e testes de teorias, fazendo uso de dados empíricos como material de análise. Classificando-se, desse modo, como uma pesquisa básica (ou pura). Para Kumar (2011), esse tipo de trabalho envolve o desenvolvimento e testes de hipóteses contendo conceitos especializados e abstratos, que são intelectualmente desafiadores e que podem ou não conter aplicações práticas no presente ou no futuro.

Essa finalidade de resposta a uma pergunta conceitual, torna o problema adequado a uma pesquisa exploratória quanto aos fins, uma vez que “visa desenvolver, esclarecer ou modificar conceitos ou ideias para a formulação de problemas mais precisos ou levantamento de hipóteses pesquisáveis” Filho (2005). Porém, Kumar (2011) afirma que apesar de uma pesquisa poder ser classificada quanto a um único fim, em alguns casos, pode-se comportar mais de uma classificação. Nesse sentido essa pesquisa é também explicativa, por estar também focada em “identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de determinados fenômenos” Filho (2005).

A abordagem metodológica dessa tese é multi-método e está representada na Figura 1. Ocorreu o uso de métodos quantitativos para auxiliar o delineamento amostral e para a produção de insumos de referência para a análise qualitativa. O método quantitativo utilizado, está voltado para a captura de análise de dados através de entrevistas/*surveys* com os indivíduos pertencentes à amostra.

A lógica por trás da interpretação dos dados foi dedutiva, indutiva e abdutiva. A dedução foi a lógica exclusiva da análise bibliométrica, uma vez que os meta-dados das bases de produção acadêmica são derivados das circunstâncias explicitadas pela *string* de busca, ao mesmo tempo que capazes de explicar a mostra encontrada. Já a análise das respostas às entrevistas foi abdutiva e indutiva por codificação textual, como preconizado na GT.

Figura 1 – Visão geral da metodologia utilizada.
Fonte: O autor (2024)



3.1 ETAPA QUANTITATIVA - BIBLIOMETRIA

A bibliometria, enquanto método de pesquisa, apresenta-se como um caminho para o entendimento e a quantificação do amplo significado de interoperabilidade. Utilizando esse método é possível encontrar os especialistas, veículos de publicação e principais disciplinas envolvendo a temática em questão, além de viabilizar o entendimento do campo de pesquisa em interoperabilidade, com sua evolução no tempo, difusão conceitual, e estrutura intelectual. É possível ainda levantar os principais desafios e o conjunto de tópicos relacionados ao tema.

O delineamento metodológico desse estudo segue as recomendações de fluxo de trabalho definido por Zupic e Čater (2015), contendo as seguintes etapas: planejamento da pesquisa, compilação dos dados bibliométricos, análises, visualização e interpretação. Como o próprio autor explicita que as suas recomendações são uma visão geral do processo de condução da pesquisa, também é utilizada a abordagem para analisar um campo de pesquisa proposta por M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma e Herrera (2011), Cobo et al. (2011). Essas etapas e abordagens são detalhadas nas seções seguintes.

3.1.1 Planejamento e Questões de Pesquisa

Zupic e Čater (2015) preconizam que na fase de planejamento as questões de pesquisa e os métodos bibliométricos para respondê-las devem ser definidos. Essa recomendação é atendida como exposto na Tabela 1.

Questões	Método
Q.P.1 - Quais são os estudos que mais influenciaram a pesquisa sobre a temática da interoperabilidade? Q.P.2 - Quem são os autores que mais influenciaram a pesquisa sobre interoperabilidade? Q.P.3 - Quais periódicos e disciplinas tiveram o maior impacto na linha de pesquisa sobre interoperabilidade?	Análise de citações

Tabela 1 – Questões de pesquisa e seus respectivos métodos bibliométricos

A análise de citações, enquanto métrica basal, serve como meio de encontrar autores, estudos e veículos de publicação desses. É dessa análise de citações que foram extraídos os artigos, os nomes dos indivíduos que serviram de entrada para o estudo qualitativo posterior, além das revistas onde as principais pesquisas são veiculadas para servir de eventual argumento enquanto critério de inclusão e exclusão.

Os métodos bibliométricos são adequados para uma revisão quantitativa da literatura. Esses métodos permitem revisões com milhares de documentos filtrando seus metadados. Considerando o objetivo de encontrar áreas, documentos e pessoas capazes de contribuir para o entendimento do conceito de interoperabilidade, essas capacidades são bem-vindas. Então, usando métodos bibliométricos, pode-se mapear a literatura desde os primeiros pensamentos publicados sobre interoperabilidade, segmentados por décadas e áreas, até a última década.

Portanto, essas questões de pesquisa foram respondidas resumindo a base de dados bibliométrica e realizando uma análise de citações. Para isso, foi tomada a contagem de citações como fator de influência. De várias opções, a biblioteca de linguagem R Bibliometrix (ARIA; CUCCURULLO, 2017) apareceu como a mais atraente para dar suporte às etapas de limpeza e resumo de dados mais necessários.

3.2 COMPILAÇÃO DOS DADOS

Três blocos de trabalho dividem essa etapa: identificar palavras-chave relevantes para estudos de busca relacionados ao tema; selecionar ou construir um banco de dados apropriado; Filtrar e exportar um documento de dados bibliográficos pré-processados.

3.2.1 Identificação dos Termos Relevantes

O processo de definição da *string* de busca minimiza o viés das palavras conhecidas pelo pesquisador e busca novas palavras-chave para compor o escopo da pesquisa (MARCOS-PABLOS; GARCÍA-PEÑALVO, 2018). O planejamento dos termos de pesquisa relevantes contém cinco etapas: 1. Busca piloto baseada no conhecimento prévio do pesquisador; 2. Exclusão de artigos duplicados e sem resumo; 3. Classificação dos resultados da pesquisa de acordo com a sua relevância; 4. Utilizar o método estatístico Term Frequency - Inverse Document Frequency (TF-IDF) no grupo de artigos relevantes para prospectar novas palavras-chave; 5. Repetir todo o processo até que nenhuma nova palavra-chave apareça.

O método de Marcos-Pablos e García-Peñalvo (2018) foi construído levando em consideração o modelo PIPOC (Population, Intervention, Comparison, Outcomes, and Context) (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007). No entanto, as dimensões de comparação e contexto não podem ser limitadas para atender às necessidades das nossas questões de investigação. Os termos que restringem as demais dimensões são:

- População: sistemas, dados, modelos ou informação
- Intervenção: melhoria, desenvolvimento ou processo
- Resultado: interoperabilidade

Esses termos foram as entradas iniciais aos algoritmos de recomendação utilizados durante o processo de construção da *string* de busca. De modo que outros termos foram acrescentados à *string* posteriormente, de acordo com a relevância apresentada ao se avaliar os retornos da Scopus. Esses processos de classificação e recomendação automática foram utilizados para atenuar os vieses inerentes à escolha de termos de busca.

Além dos termos, dado o volume de resultados, foi necessário considerar, exclusivamente no processo de refinamento da *string* de busca, os resultados obtidos para o ano de 2020.

A escolha deste ano específico se deu porque: não havia mais artigos aguardando publicação com esta data; marca o final de uma década; e, foi preciso um conjunto pequeno reduzido de dados para o treinamento dos algoritmos de classificação. Essa restrição não permaneceu na fase de coleta de dados. Dessa forma, a *string* piloto ficou:

```
TITLE-ABS-KEY ((system* OR data*) AND (improv* OR development OR process) AND ( interoper* )) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR, 2020 ))
```

A busca piloto no Scopus retornou 1.467 estudos armazenados em formato *Comma separated values*(CSV) contendo nomes dos autores, título do documento, ano de publicação e resumo de cada estudo retornado. Tratamos manualmente os resultados eliminando as duplicatas e entradas sem resumos. Cada estudo foi classificado com “R” e “NR”, respectivamente, quando considerado relevante ou não.

A realização deste processo é demasiadamente dispendioso e a dificuldade aumentaria na mesma proporção em que o âmbito da pesquisa se alargasse através de novas palavras-chave e à medida que as pesquisas abrangessem também outras bases de dados. Por isso, em todas as execuções posteriores desta etapa, utilizamos um *script Python*¹ (MARCOS-PABLOS; GARCÍA-PEÑALVO, 2018) para a classificação automática dos seguintes resultados de pesquisa que recebem como base de treinamento a classificação manual aqui feita.

O próximo passo envolveu encontrar termos relevantes dentro do corpo dos resumos do grupo de artigos “R” e “NR”. Portanto, calculamos os valores de frequência do TF-IDF de diferentes n-gramas (a sequência contínua de termos) através das coleções de resumos. Os termos não repetidos e com maior relevância foram considerados para recompor a *string* de busca. Marcos-Pablos e García-Peñalvo (2018) desenvolveram um *script Python* usando as bibliotecas de processamento de linguagem natural nltk, scitikit-learn e pandas que suportam esta etapa.

Interativamente, a *string* de busca recomposta com os novos termos encontrados serve de entrada para repetir todos os passos descritos acima até que o cálculo do TF-IDF não retorne novos termos adequados para compor a *string*. Também foi necessário retirar dos resultados documentos do tipo editorial (ed), revisão (re), revisão de conferência (cr), carta (le), errata (er) e notas (no). Bem como retirar documentos que não sejam relatórios de intervenção direta contendo grupos focais, análises bibliométricas e cientométricas. Resultando na *string* de pesquisa abaixo após três interações:

¹ Arquivos fonte disponibilizados por Marcos-Pablos e García-Peñalvo (2018): <https://bit.ly/2JfdS4f>

TITLE-ABS-KEY ((system* OR data* OR model* OR information OR process OR cloud OR platform OR architecture) AND (improv* OR development) AND (interoper*)) AND NOT ("focus group" OR bibliometric OR scientometric) AND (EXCLUDE(DOCTYPE, "re") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "cr") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "ed") OR EXCLUDE (DOCTYPE, "no") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "le") OR EXCLUDE (DOCTYPE, "er"))

A classificação ocorreu com classificador multinominal de frequências Naive Bayes - *Bigram Frequencies* com validação cruzada de 10 vezes. O F1-score calculado como forma de verificação da qualidade da classificação foi de 0,784. Este resultado foi o melhor entre os classificadores Bernoulli Naive Bayes, Multinomial Naive Bayes, KVN e SVN.

3.2.2 Busca de Dados

Consideramos, como premissa, a dispersão de especialistas e estudos sobre interoperabilidade em múltiplas áreas temáticas e meios de divulgação após a primeira análise dos dados retornados em buscas de ensaios. Essa característica torna inviável selecionar revistas e autores de destaque sobre o tema sem uma boa margem para equívocos. Portanto, foi indispensável realizar a busca no maior número possível de bases de dados utilizando as palavras-chave citadas para evitar perda de dados importantes.

Nesta pesquisa, os dados brutos vêm das bases de dados Web of Science (WoS) e Scopus. A Scopus abrange mais de 36 milhões de títulos de mais de 11 mil pesquisadores que abrangem múltiplas áreas do conhecimento. O WoS fornece acesso a índices de citações regionais e multidisciplinares, contendo mais de 34 mil revistas, livros, anais de patentes e bases de dados disponíveis para pesquisa. Entre esses índices, o PubMed é a base de recursos biomédicos mais acessível globalmente, contendo mais de 27 milhões de registros (WILLIAMSON; MINTER, 2019). Neste último, existem muitos estudos sobre a interoperabilidade da informação em saúde, apresentando-se como um recurso interessante para um domínio específico.

Antes de iniciar o processo de busca de dados, a *string* de busca teve que ser adaptada para utilização no Scopus, retirando a restrição ao ano de 2020. Além disso, a *string* de busca para utilização no WoS foi reescrita porque existem diferenças entre os buscadores dessas bases. As *strings* utilizadas na fase de busca estão demonstradas na Tabela 2. Além dessas modificações, os resultados do WoS foram tratados para excluir documentos dos tipos: material editorial,

publicações retratadas, cartas e revisões.

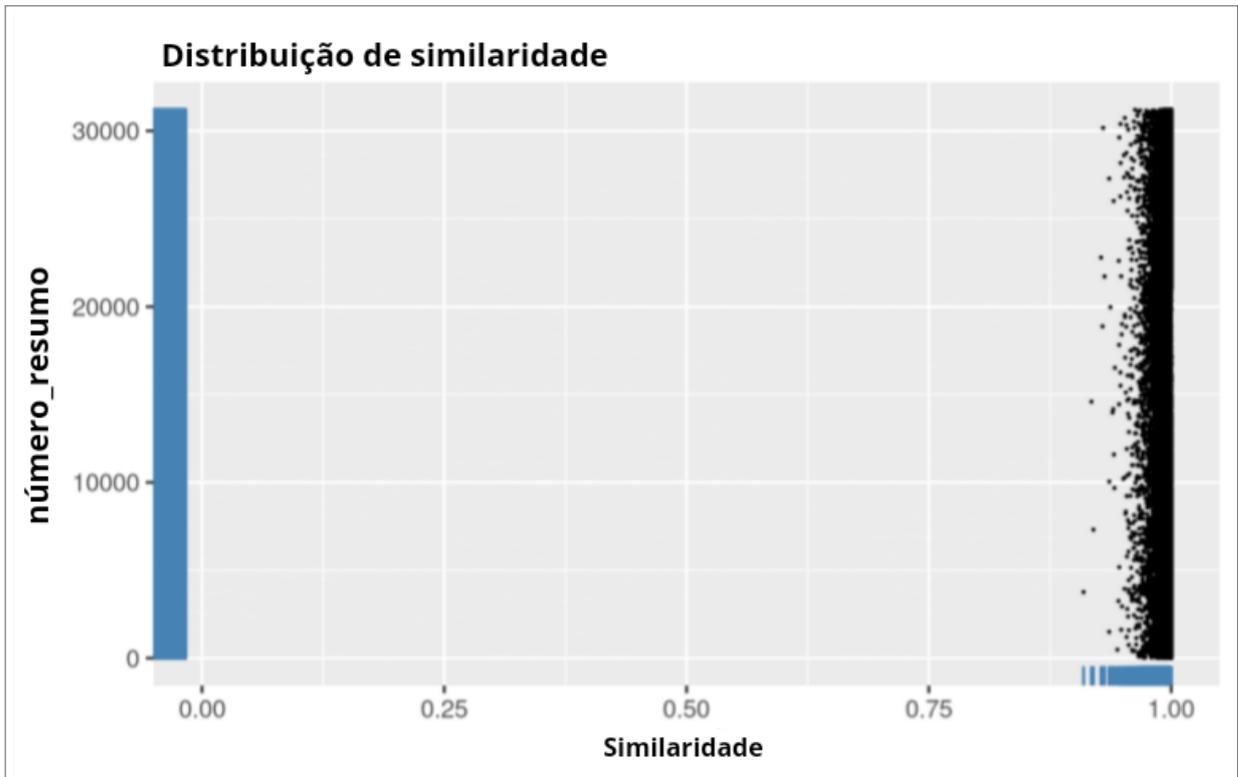
Tabela 2 – Strings de Busca

Base de dados	String de Busca
Scopus	TITLE-ABS-KEY((system* OR data* OR model* OR information OR process OR cloud OR platform OR architecture) AND (improv* OR development) AND (interoper*)) AND NOT ("focus group" OR bibliometric OR scientometric) AND (EXCLUDE(DOCTYPE, "re") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "cr") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "ed") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "no") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "le") OR EXCLUDE(DOCTYPE, "er"))
WoS	TTI=((system* OR data* OR model* OR information OR process OR cloud OR platform OR architecture) AND (improv* OR development) AND (interoper*)) NOT TI=("focus group" OR bibliometric OR scientometric) OR (AB=((system* OR data* OR model* OR information OR process OR cloud OR platform OR architecture) AND (improv* OR development) AND (interoper*)) NOT AB=("focus group" OR bibliometric OR scientometric)) OR (AK=((system* OR data* OR model* OR information OR process OR cloud OR platform OR architecture) AND (improv* OR development) AND (interoper*)) NOT AK=("focus group" OR bibliometric OR scientometric)) OR (KP=((system* OR data* OR model* OR information OR process OR cloud OR platform OR architecture) AND (improv* OR development) AND (interoper*)) NOT KP=("focus group" OR bibliometric OR scientometric))

Após a busca, o classificador considerou 31.225 artigos como relevantes. O cálculo de similaridade do cossenos dos resumos foi uma forma de verificar a classificação, seguindo as recomendações de Marcos-Pablos e García-Peñalvo (2018). Isso alcançou a taxa de similaridade comparando cada resumo com o primeiro resumo relevante. Graficamente é possível verificar o alto grau de similaridade entre os resumos no gráfico de distribuição da Figura 2, onde cada ponto do gráfico representa um resumo de estudo retornado e a distância entre eles é alusiva à distância do cosseno calculada. Desse modo, quanto mais próximos os pontos estiverem entre si, maior a similaridade dos resumos e conseqüentemente maior a possibilidade de os estudos retornados tratarem do mesmo assunto.

Foi uma pesquisa em diferentes bases de dados que retornou artigos oriundos de diferentes áreas temáticas, doravante denominados documentos fonte. Portanto, é necessário considerar

Figura 2 – Distribuição de similaridade de resumos. Cada ponto do gráfico representa um resumo e a distância entre eles é alusiva à distância do cosseno calculada. Fonte: O autor (2024)



que diferentes áreas possuem características de citação distintas (RAAN, 2004). Não considerar a influência por área temática poderia causar um viés na observação da análise dos dados. O tratamento dessa dificuldade começa durante a busca nas bases.

Para mitigar esse risco de viés de análise, foi necessário observar a classificação dos documentos fonte por assunto existente nas bases de dados. Contudo, as áreas temáticas divergem entre as bases, bem como as respectivas mecânicas de exportação de dados. No WoS, uma ampla classificação de assuntos pode servir como filtro para a busca de artigos, sendo possível exportar os dados referentes em formato de arquivo para *download*. A classificação dos assuntos na Scopus difere da base de dados anterior e não é passível de exportação em arquivo.

Devido a esse cenário, foi necessário aglomerar conjuntos de assuntos relacionados entre si em 26 áreas do conhecimento, mantendo o conteúdo semântico entre as diferentes bases de dados (Apêndice D). Esta classificação nas áreas de estudo propostas foi revisada com base na Classificação dos Programas Instrucionais - 2020 (CIP) (U.S., 2020). Não existe uma classificação adequada das áreas de estudo para utilização em análises bibliométricas transdisciplinares. Dessa forma, embora utilizemos o CIP com finalidade diferente da original, trata-se de uma classificação estável, de ampla divulgação, revisada periodicamente e que guarda um

histórico de alterações de seus códigos.

Em seguida, a estratégia de busca envolveu inserir a *string* gerada, filtrando os resultados em cada uma das bases de dados por área de conhecimento e selecionando os assuntos por área e por base de dados no quadro de classificação de áreas de estudo da Tabela 16 (Presente no Apêndice D) e salvar os metadados das buscas separadamente, considerando suas respectivas áreas de estudo.

3.3 PRÉ-PROCESSAMENTO

Comumente, dados retirados de fontes bibliográficas contém erros (COBO et al., 2011). Portanto, os metadados dos documentos de origem foram pré-processados. Os dados baixados foram divididos por área de conhecimento, importados e separados por áreas e mecanismos de busca para a construção dos *data frames* em R (versão 3.6.3) utilizando a biblioteca Bibliometrix (versão 3.0.1) (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

Posteriormente, *data frames* de uma mesma área de conhecimento foram mesclados, mesmo que de bases de dados distintas. Nesse processo, a Bibliometrix (ARIA; CUCCURULLO, 2017) eliminou eventuais documentos duplicados entre mecanismos de busca. Este processo resultou em 26 *data frames* temáticos. Foi realizada uma segunda verificação de duplicatas utilizando o algoritmo de distância de Damerau-Levenshtein (BARD, 2007), analisando títulos de documentos com pelo menos 95% de similaridade. Esta verificação não eliminou nenhum documento.

Na fase de análise, além dos *data frames* temáticos, foi necessário um *data frame* com todos os resultados da pesquisa e alguns outros com segmentações temporais. Segundo Van Raan (Van Raan, 1996), falando em análise de citações, os *snapshots* bibliométricos são inúteis, pois é necessário tempo para que os artigos publicados sejam reconhecidos e depois citados. O argumento é que mesmo períodos de três anos podem ser demasiado curtos para esta medição. Por outro lado, uma análise do número de citações considerando o tempo total de publicações na temática pode levar a uma análise superficial da dinâmica da temática estudada.

Por isso, além da análise de citações por área do conhecimento e considerando todos os estudos publicados ao longo do tempo, foram analisadas as citações por período de dez anos para entender quais estudos foram mais relevantes em cada década. O agrupamento em décadas foi regressivo, de forma que o último grupo conterá os estudos mais antigos. Como esperado, houve menos publicações por ano, voltando no tempo. Assim, o último grupo pode

aglomerar estudos publicados ao longo de 15 anos.

Além da possibilidade de estudos duplicados de bases de dados diferentes, existe também a possibilidade de os nomes dos autores e das revistas serem registrados de forma distinta em bases de dados diferentes devido a erros de digitação, apresentação de padrões ou devido a problemas de *charset*. O mesmo pode ocorrer com as diferentes fontes citadas por cada artigo na base de dados, fazendo com que ambos os tipos de dados necessitem de pré-processamento para mitigar possíveis vieses desta situação.

A Bibliometrix não possui rotinas específicas dedicadas à limpeza de dados. Existem apenas algumas regras de limpeza para as rotinas principais: conversão de texto para maiúsculas, remoção de caracteres não alfanuméricos, remoção de símbolos de pontuação e espaços extras e truncamento do sobrenome e nome do meio dos autores para suas iniciais (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Além disso, estas rotinas são executadas apenas em momentos específicos.

Por isso, foi realizada uma terceira verificação em busca de erros ortográficos, considerando os campos de título e ano de publicação em cada *data frame* temático. Essa verificação foi semi automatizada por um algoritmo que alertava para diferenças de até dez caracteres no grupo de metadados dos documentos de origem. Esses alertas foram verificados manualmente e corrigidos quando necessário. A última ação de processamento dos *data frames* foi a remoção dos documentos de origem sem os nomes dos autores. Essa remoção foi automatizada utilizando recursos da linguagem R. Além disso, a correção do tipo de documentos. Neste caso, apenas um documento fonte foi classificado erroneamente como documento de revisão pertencente à categoria artigo.

3.4 ETAPA QUALITATIVA - TEORIA FUNDAMENTADA

Essa seção trata da coleta, organização e análise dos dados extraídos de entrevistas com os sujeitos da amostra inicial fazendo uso do método GT - também denominado Teoria Fundamentada em Dados. Em seu estudo, Stol, Ralph e Fitzgerald (2016) elicitaram um conjunto de considerações para a condução e relatoria de estudos que utilizam GT. Essas considerações são aqui tomadas como guia para a estruturação do protocolo de pesquisa, iniciando com a apresentação da variante utilizada junto de informações gerais sobre o estudo, seguido da descrição de onde os dados serão extraídos, do papel da revisão da literatura nesse estudo, a forma pela qual essa pesquisa será avaliada e as formas de coleta e análise de dados.

Apesar da existência prévia de outras formas de realizar um estudo com GT, nessa tese é

feita a opção por seguir o padrão de Charmaz (2006). Essa escolha dá-se por dois fatores: a contemporaneidade do padrão e a adequação da perspectiva filosófica com o objetivo geral. Essa escolha implica no modo como a literatura será tratada, na maneira como a codificação será realizada, na forma de análise dos dados e nos critérios de avaliação do estudo. O significado dessas implicações é apresentado abaixo, nessa mesma seção, junto dos conceitos gerais do método.

Uma das características chave no uso da GT é a exposição limitada à literatura do tópico de interesse para prevenir visões preconcebidas com potencial de enviesamento da análise, como lembrado por Gibbs (2009). É evidente que, por mais que o pesquisador esteja com a mente aberta para a codificação, ninguém está totalmente livre de ideias preconcebidas. Por isso, Gibbs (2009) recomenda que tente-se não começar com essas visões preconcebidas e a iniciar simplesmente analisando os dados. Charmaz (2006), considera que uma breve revisão da literatura pode ser feita adequando-se ao propósito do estudo. No entanto, enfoca o papel da revisão da literatura como ferramenta para reivindicar, localizar e defender as análises realizadas.

Para a GT tudo são dados, sejam “dados quantitativos, dados qualitativos, dados semi-estruturados, fotos, diagramas, vídeos e até mesmo teorias e literatura” (STOL; RALPH; FITZGERALD, 2016). A forma mais comum de coleta de dados em GT é através do que Charmaz (2006) chama de *intensive interviewing*: uma entrevista com intuito de abordar um determinado assunto em profundidade. Não descartando porém, a possibilidade de outras formas para a obtenção de dados, como a análise textual.

Esse método deve ser executado iterativamente. Portanto, diferentemente de outros métodos, a análise de dados deve ser feita de forma imediata e contínua. Assim como também são contínuas a amostragem teórica e a comparação entre os dados e as análises realizadas (comparação constante). Essa concomitância entre coleta e análise de dados qualitativos é uma boa prática, ressaltada por Gibbs (2009). Desse modo, o resultado da análise dos primeiros dados coletados pode servir de novas perguntas para a pesquisa.

Fazer uma amostragem teórica “significa perseguir dados pertinentes para desenvolver a teoria emergente” (CHARMAZ, 2006). É o ato de buscar novos dados que possam explicar lacunas ainda não explicadas pela teoria. Ou então, buscar novos dados para elaborar e refinar as categorias que constituem a teoria. É uma das ações do método de GT que deve ser executada enquanto não se atinge a saturação teórica, que é o ponto em que os elementos constituintes de uma teoria estão bem subsidiados e novos dados não levam a novas versões

ou interpretações da teoria, como afirma Stol, Ralph e Fitzgerald (2016).

Entre a amostragem e a saturação teórica ocorrem as atividades de análise da GT. Para Stol, Ralph e Fitzgerald (2016), a sensibilidade teórica é uma habilidade que o pesquisador de GT precisa ter: a capacidade de conceitualizar com base nos dados e estabelecer relacionamentos entre os conceitos. A principal ferramenta de análise é a codificação, que é “uma forma de indexar ou categorizar o texto para estabelecer uma estrutura de ideias temáticas em relação a ele.” (GIBBS, 2009), dando a cada trecho do texto um nome ou etiqueta.

Apesar de Charmaz (2006) descrever e reconhecer como válidas outras formas de codificação, uma das principais características da sua vertente de codificação é o uso das técnicas de codificação inicial, focalizada e teórica. A autora, afirma a existência de três práticas de codificação inicial: palavra por palavra, linha a linha e por incidente. “A codificação palavra por palavra e a codificação linha a linha ajudam você a ver aquilo que lhe é conhecido sob uma nova perspectiva. A codificação por incidentes auxilia a descoberta de padrões contrastantes” Charmaz (2006). Ainda, existem palavras tão características, como termos amplamente utilizados, jargões e expressões edemáticas que formam um código em si, chamado de códigos *in vivo*.

Outra ferramenta de análise da GT é a escrita de memos (memorandos, notas, rabiscos, diário de pesquisa,...). Stol, Ralph e Fitzgerald (2016) destacam que os pesquisadores usam memos para elaborar as categorias à medida que elas emergem dos códigos, descrever as características do relacionamento entre as categorias e identificar lacunas. Gibbs (2009) reforça que os memorandos serão utilizados como forma de teorizar e comentar à medida que a codificação temática ocorre, além de ajudar a desenvolver a estrutura analítica.

Os memorandos conterão pensamentos analíticos, separados dos dados coletados, sobre os códigos teóricos criados (GIBBS, 2009). Assim será possível identificar claramente o que são os dados coletados e o que são ideias e comentários do processo de análise, preservando a consistência dos dados enquanto fonte de fundamentação. A ordenação dos memos, ou ordenação teórica, segundo (CHARMAZ, 2006), possibilita uma organização lógica da análise além de ser uma maneira de refinar os links teóricos entre as categorias de modo a compará-las e a arranjá-las na ordem adequada à teoria.

A pergunta de pesquisa inicial é a mesma que fora apresentado no Capítulo 1: Qual é a teoria de interoperabilidade de bases sócio-técnicas, que possa servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais? E, ao mesmo tempo, como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida? Essa pergunta

de pesquisa tende a ser refinada durante a execução da pesquisa de acordo os dados oriundos da amostragem teórica. Essa mudança e até o surgimento novas perguntas de pesquisa são reconhecidas como comuns ao método por Charmaz (2006) e Gibbs (2009).

3.4.1 Definição de métodos e instrumentos de coleta de dados

A definição de métodos e instrumentos, para Tarozzi (2011), tem consequências sobre tipos de dados que serão coletados. O autor reconhece as entrevistas semiestruturadas como a principal ferramenta utilizada pela GT, por conta da contribuição do interacionismo simbólico e pela característica da comunicação falada que permite focalizar a coleta de acordo com a codificação.

Nessa pesquisa, as entrevistas foram conduzidas de maneira semi-estruturada, em turnos, com o envio por *e-mail* de formulários eletrônicos com a possibilidade de respostas em texto ou através de áudios gravados, à escolha do entrevistado. As entrevistas foram realizadas em cinco rodadas. Essa quantidade de turnos de entrevistas foi ditada pela necessidade de saturação teórica, como recomendado por Charmaz (2006), ou pela disponibilidade dos sujeitos entrevistados.

Vale salientar os motivos por trás da escolha de entrevistar os sujeitos por meios eletrônicos assíncronos. Primeiramente, para facilitar o contato e a comunicação, uma vez que os sujeitos foram oriundos de diversas nacionalidades. A contratação de tradução simultânea não é uma opção economicamente viável e não garante a captura de informações subliminares oriundas da interação entre os sujeitos e o entrevistador.

Por conseguinte, a opção de oferecer aos sujeitos a possibilidade de responder à entrevista por envio de gravações de áudio em suas línguas nativas teve o intuito de deixar os sujeitos mais à vontade para expressar suas ideias e opiniões. Essa opção tem um custo financeiro mais baixo, apesar de afetar a operacionalização das etapas subsequentes da pesquisa.

O instrumento de coleta de dados pode ser visto no Apêndice A. Esse instrumento, foi igual para todos os sujeitos, contendo: uma descrição dos objetivos da pesquisa; termo de consentimento (Apêndice B); uma pergunta para verificar o enquadramento do entrevistado como sujeito adequado para pesquisa; um conjunto de perguntas abertas sobre a visão dos participantes quanto à definição de interoperabilidade e sobre o contexto onde eles reconhecem que interagiram com sistemas interoperáveis; e a indicação de um contato de outras pessoas que tenham interagido junto com eles nesses mesmos sistemas. A opção por questões abertas

que busquem capturar as opiniões dos sujeitos é consonante com a recomendação de Charmaz (2006) que alega que é a partir dos métodos que deve-se buscar a visão de mundo segundo a perspectiva dos entrevistados.

A avaliação desse instrumento ocorreu tanto na forma de triangulação com dois pesquisadores, quanto na forma de teste preliminar que “consiste em testar os instrumentos de pesquisa sobre uma pequena parte da população ou amostra do ‘universo’, antes de ser aplicado definitivamente” (FILHO, 2005). Uma vez que no método da GT a coleta e análise de dados é interativa, as primeiras respostas ao instrumento serviram de teste preliminar para as interações futuras. A avaliação do instrumento considerou as respostas adquiridas, com base nas recomendações de Filho (2005): se algum termo dos questionamentos realizados não está claro ou preciso e se a ordem e a forma dos questionamentos interferiu nas respostas dadas pelos entrevistados.

3.4.2 Descrição dos sujeitos

O método quantitativo bibliométrico foi utilizado como forma de busca ampla para sumarização e filtragem dos sujeitos entrevistados. Esse uso adequa-se ao objetivo específico dessa tese: delimitar uma amostra não probabilística de sujeitos que aleguem ter trabalhado, construído ou interagido em sistemas interoperáveis. Cabe ressaltar que a escolha dos métodos bibliométricos dá-se por não ser trivial encontrar sujeitos que conscientemente aleguem ter trabalhado, construído ou interagido em sistemas interoperáveis.

As comunidades e sujeitos retornados por essa etapa quantitativa da pesquisa são o resultado da primeira etapa da estratégia de amostragem. Dentro de cada comunidade encontrada, serão feitas buscas por pessoas que aleguem ter desenvolvido ou se envolvido em sistemas interoperáveis. Por conta da impossibilidade de se aferir ou estimar toda a população, de inferir a probabilidade de um sujeito da amostra estar na população e da intencionalidade apresentada pelos critérios que levarão à seleção dos sujeitos, essa amostra classifica-se como intencional e não probabilística (FILHO, 2005; BALTES; RALPH, 2022).

Essas pessoas contactadas foram estimuladas a fazer a indicação com nome e *e-mail* de outras pessoas, que assim como elas tenham desenvolvido ou se envolvido com sistemas interoperáveis. Esse processo de recomendação deveria criar uma amostragem acidental, “formada [também] por aqueles elementos que vão aparecendo” Filho (2005), no entanto, não foi bem sucedida devido à baixa taxa de retorno por parte dos entrevistados.

Ainda, a decisão por uma análise bibliométrica abrangente (Ver 3.1) tem um potencial enriquecedor da teorização fundamentada em dados, uma vez que existe um aumento da chance de encontrar um volume de visões distintas sobre interoperabilidade, aumentando assim o conflito potencial entre essas visões. Desse modo, o posicionamento da pesquisa tem que ser sensível a essas perspectivas diferenciadas, assumindo o compromisso da observação do que quer que seja a interoperabilidade pela visão dos entrevistados, seguindo a recomendação de Gibbs (2009).

3.4.3 Coleta de dados

A primeira etapa da coleta de dados foi a transcrição dos áudios que foram retornados pela entrevista assíncrona. Para (TAROZZI, 2011), dada a indissociabilidade da coleta e da codificação em GT é também a primeira operação de codificação. E é justamente pelo fato de a transcrição também ser uma atividade interpretativa, consonância afirmada por Gibbs (2009), que se dá a importância da escolha pela coleta de dados no formato de áudio. A coleta de dados nesse formato permitiu a eventual captura de silêncios, suspiros, entonações, cacoetes que podem ser significativos para a análise a ponto de transformarem-se em códigos iniciais.

A transcrição é uma mudança de meio, como afirma Gibbs (2009), e portanto, oferece riscos como a descontextualização, a interpretação equivocada do texto produzido e a codificação superficial. Por conta disso, nessa pesquisa os áudios originais foram mantidos junto dos textos transcritos para uso durante a análise. Tanto os arquivos de texto transcritos quanto as respostas capturadas já no formato de texto eletrônico foram armazenadas em arquivos de texto simples, categorizados pelos nomes dos entrevistados, data e identificação do instrumento de coleta.

Como a análise realizada com o método da GT está voltada para o conteúdo do que foi dito, mesmo que não descarte os elementos oriundos do que não fora, é aceitável uma organização dos textos transcritos antes da codificação. Isso porque “a fala contínua muito raramente vem na forma de sentenças bem construídas.”(GIBBS, 2009).

3.4.3.1 Codificação

Charmaz (2006) define que a codificação qualitativa é o processo de definir sobre o quê os dados são enquanto primeiro passo analítico, todo o processo de codificação dessa tese foram fundamentados nas recomendações dessa autora. Gibbs (2009) classifica a codificação do método charmaniano da GT como codificação baseada em dados, por não iniciar de uma lista de códigos predeterminados. Esse processo chama-se codificação aberta, tem esse nome como uma provável sugestão de que ela precisa ser feita com a mente aberta.

De acordo com o método de Charmaz (2006), nessa tese foram utilizados os métodos de codificação inicial linha-a-linha, codificação focalizada e codificação teórica. Para a autora, a codificação linha-a-linha funciona particularmente bem em dados detalhados sobre problemas empíricos fundamentais ou processos, sendo esses dados oriundos, por exemplo, de entrevistas e documentos.

A codificação inicial deve estar relacionada intimamente com os dados, portanto, a busca deve ser por observar as ações em cada argumento. Para tanto, (CHARMAZ, 2006) recomenda que se façam perguntas aos dados durante a codificação inicial como:

- Esses dados representam um estudo de quê?
- O que os dados sugerem ou afirmam?
- Do ponto de vista de quem?
- Qual categoria teórica esse dado específico indica?

A análise seguiu com a codificação focalizada, com códigos mais consensuais em comparação com os anteriores. Charmaz (2006) explica que esses códigos devem ser frutos de uma tomada de decisão explícita por parte do pesquisador com relação aos códigos iniciais, sintetizando-os e agrupando-os para, assim, analisar e explicar segmentos de dados maiores. Esses códigos focais são resultantes da comparação constante de dados com dados.

O último tipo de codificação é a teórica. Os códigos teóricos devem ser capazes de explicar todos os dados, mesmo sendo os códigos de mais alto nível de síntese. Para Charmaz (2006) esses códigos teóricos são integrativos de modo a dar um contorno aos códigos focais reunidos, podendo gerar uma história analítica capaz de criar uma orientação teórica. O que Stol, Ralph e Fitzgerald (2016) resumem como o ato de especificar o relacionamento entre categorias (códigos focais) para integrá-las em uma teoria coesa.

3.4.3.2 *Uso de memos*

A escrita de memos ocorre durante todo o processo da GT, mas tem um uso particularmente mais intensivo durante coleta e análise de dados. Essas anotações são, na perspectiva de Tarozzi (2011), o lugar onde se deve registrar aquilo que não é óbvio, as justificativas para as escolhas e ações tomadas anexadas de suas respectivas argumentações. Esse autor trata os mesmos como espaços especificamente de análise. Para Charmaz (2006), são um espaço de comparação de dados com dados, dados com códigos, códigos com códigos, categorias com categorias, códigos com categorias, categorias com conceitos.

Nessa pesquisa os memorandos foram divididos em iniciais e avançados. Os iniciais, voltados para o acompanhamento da codificação inicial e da coleta de dados contendo as explicações das escolhas de codificação e de entrevistas nessa fases. Os memorandos avançados, voltados para o trabalho analítico de racionalizar sobre as categorias.

3.4.3.3 *Amostragem teórica*

Duas distinções precisam ser feitas: a amostragem teórica não refere-se a uma amostra quantitativa com intuito de generalização; e, a amostra teórica não é a amostra de sujeitos levantada pelos métodos bibliométricos. Ainda que, como afirma Tarozzi (2011) também é uma amostra não probabilística com a escolha dos sujeitos sendo direcionada, ou seja intencional.

“A amostragem teórica é estratégica, específica e sistemática.” Charmaz (2006), além de relacionar-se diretamente com o trabalho de redação de memorandos. São as categorias não saturadas dos memorandos, as suposições, perguntas de pesquisa e hipóteses derivadas da análise de dados que apontam que tipo de informação deve ser buscada através da investigação empírica.

3.4.4 **Relatoria e Avaliação**

A escrita de um relatório de pesquisa utilizando GT é a última parte do processo analítico e, de certa forma, vem sendo construída durante o processo junto com os memorandos (TAROZZI, 2011). Também é, considerado por Charmaz (2006), como um processo ideológico onde o pesquisador faz a sua defesa da teoria criada contra a literatura existente.

Charmaz (2006) defende que existe o risco do relato da pesquisa não deixar claro limite

entre o processo e o resultado. E que a utilidade dos métodos utilizados serão avaliados pelo produto final. Por isso, a autora apresenta um conjunto de critérios de qualidade para a avaliação do trabalho realizado, abaixo reproduzidos na íntegra:

Cedibilidade

- A sua pesquisa conseguiu obter uma familiaridade íntima com o ambiente ou o tópico?
- Os dados são suficientes para satisfazer às suas afirmações? Considere o alcance, o número e a profundidade das observações contidas nos dados.
- Você fez comparações sistemáticas entre as observações e entre as categorias?
- As categorias cobrem uma ampla variedade de observações empíricas?
- Existem conexões lógicas fortes entre os dados coletados, o seu argumento e a sua análise?
- A sua pesquisa apresentou dados suficientes relativos às suas afirmações de modo a permitir que o leitor formule uma avaliação independente e concorde com as suas afirmações?

Originalidade

- As suas categorias são novas? Elas oferecem novos *insights*?
- A sua análise apresenta uma nova interpretação conceitual dos dados?
- Qual é o significado social e teórico deste trabalho?
- De que maneira a sua teoria fundamentada questiona, expande ou aprimora as ideias, os conceitos e as práticas correntes?

Ressônancia

- As categorias retratam a plenitude da experiência estudada?
- Você conseguiu revelar tanto os significados pressupostos quase imperceptíveis quanto aqueles instáveis?
- Você esboçou as conexões entre as coletividades ou as instituições maiores e as vidas individuais quando os dados sugeriam esse procedimento?

- A sua teoria fundamentada faz sentido para os seus participantes ou para as pessoas que compartilham as mesmas circunstâncias? A sua análise oferece-lhes *insights* mais profundos sobre as suas vidas e os seus universos?

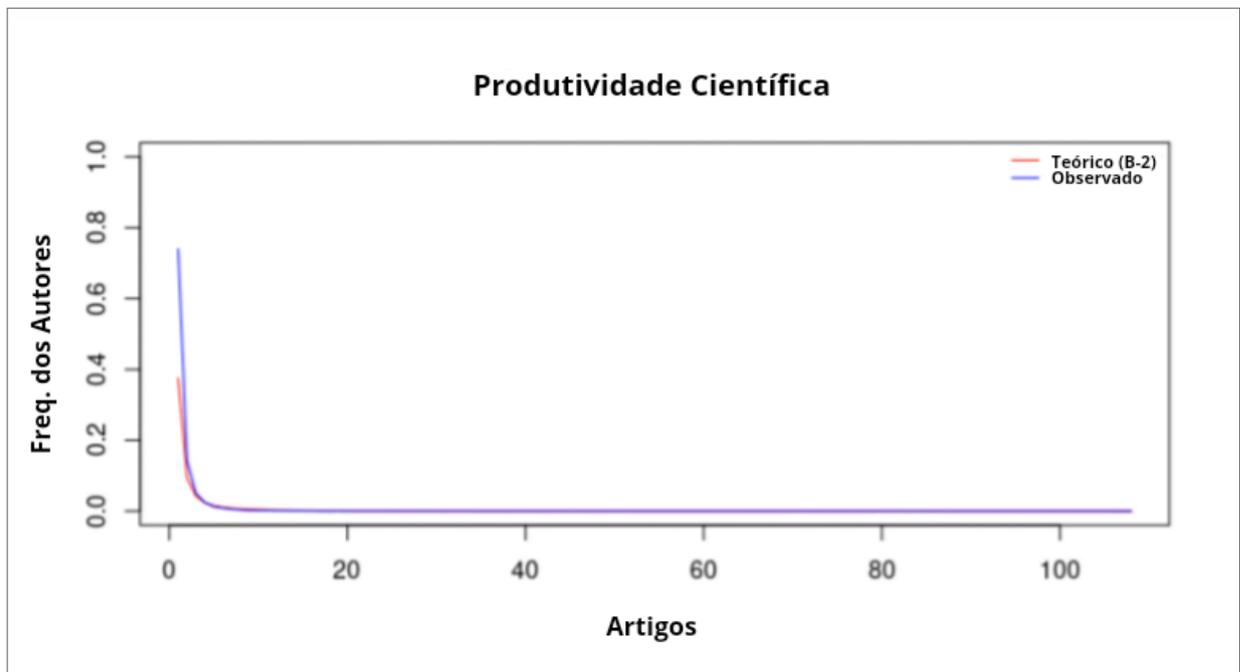
Utilidade

- A sua análise oferece interpretações que as pessoas possam utilizar em suas vidas cotidianas?
- As suas categorias analíticas sugerem processos gerais?
- Nesse caso, você analisou esses processos gerais quanto às suas implicações tácitas?
- A análise pode incentivar novas pesquisas em outras áreas substantivas?
- De que modo o seu trabalho contribui para o conhecimento? De que forma ele contribui para a criação de um mundo melhor?

4 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

O conjunto de todos os documentos fonte auferido após os procedimentos de coleta de metadados, descritos na Seção 3.3, abrange publicações realizadas entre 1970 e 2021, totalizando 21.431 documentos de 9.685 fontes editoriais diferentes. Destes, 7.095 são artigos, 8.433 são artigos de conferências e 4.649 são artigos de *proceedings*. Esses documentos representam o trabalho de 47.048 autores, sendo apenas 3.010 documentos de autoria única. Cerca de 73,98% dos autores publicaram apenas um documento. Esta distribuição pode ser percebida no gráfico de distribuição de Lotka Lotka (1926), na Figura 3.

Figura 3 – Distribuição de Produtividade Científica da Lei de Lotka. A linha azul representa a distribuição percebida em artigos por autor, enquanto a linha vermelha mostra a distribuição teórica de Lotka. Fonte: O autor(2024)



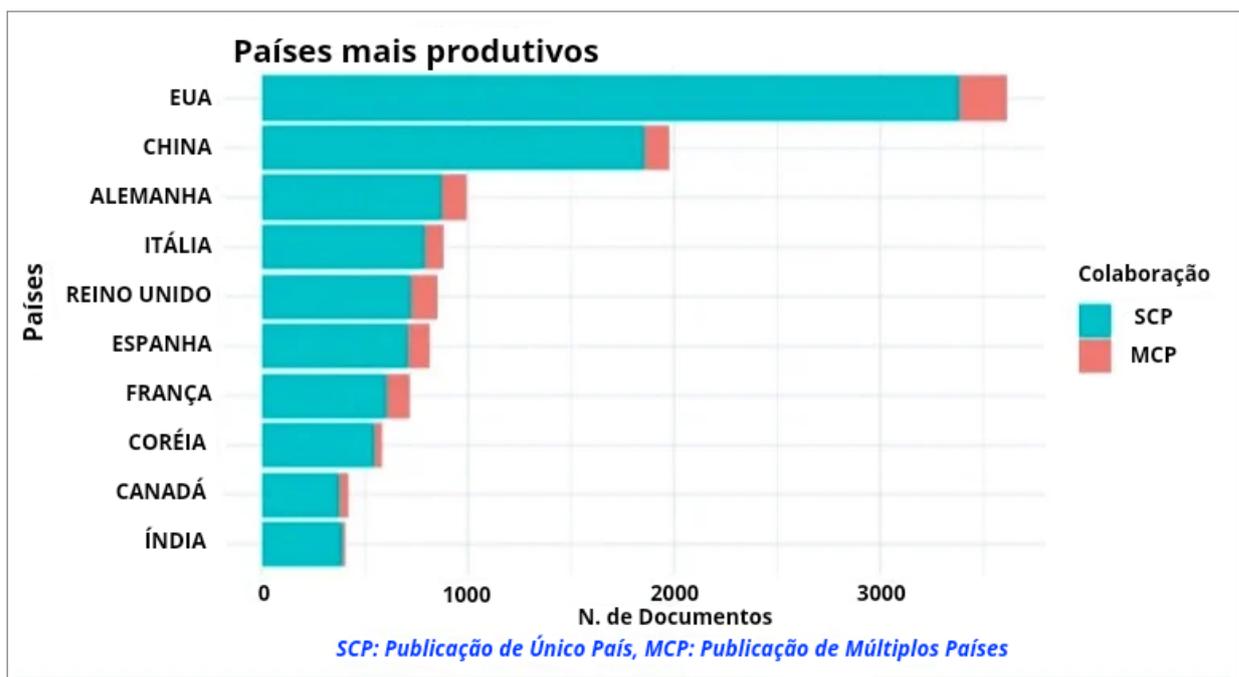
Ele assume uma lei do inverso do quadrado em que o número de autores que fazem um certo número de contribuições é uma razão fixa em relação ao número de autores que publicam um único artigo, implicando que o coeficiente beta teórico da lei de Lotka quase sempre é igual a 2. Desse modo, é esperado que em uma análise bibliométrica a distribuição de contribuições por autores seja próximo a 2. No grupo de documentos observados, obtivemos $B = 2,37$, uma constante de 0,50 e uma qualidade de ajuste $R^2 = 0,94$. Porém, o teste de Kolmogorov-Smirnov entre as distribuições teóricas e observadas retornou um valor p de $1.456891e^{-06}$, o que rejeita a hipótese nula. Ou seja, não pode-se afirmar que a distribuição de contribuições

por autores encontrada seja igual à distribuição de Lotka numa comparação entre distribuições independentes testadas pelo algoritmo de Kolmogorov-Smirnov.

A produção científica anual teve um aumento expressivo na década de 2000 e manteve-se em patamar semelhante desde então. Nesta década foram publicados 8.287 documentos, com a participação de 17.721 autores. O resumo das publicações analisadas está na Tabela 3, onde “Total” representa o conjunto de todos os documentos fonte e as colunas dos subperíodos “P1” a “P5” analisados.

Considerando o período total analisado, os países com maior volume de publicações são os EUA e a China, respectivamente. Veja a Figura 4. Contudo, quando olhamos para os países sob a perspectiva do número de citações recebidas, as posições no ranking variam na maioria dos casos (Tabela 4). A contagem de citações é uma métrica variável no tempo, pois o número de citações de um determinado artigo tende a aumentar ao longo do tempo, o que poderia explicar essa diferença. Por outro lado, o número de artigos publicados no período passado determinado é imutável. O caso chinês pode ilustrar uma implicação prática da diferença entre estas duas métricas: a produção sobre interoperabilidade só ganha volume a partir do início dos anos 2000. Desta forma, os EUA têm mais tempo a acumular citações do que a China, o que justifica estar no topo de ambos os rankings.

Figura 4 – Países mais produtivos. As barras representam o número de artigos publicados por cada país..
Fonte: O autor (2024)



A escolha da contagem de citações como métrica de avaliação indica os principais veí-

culos e trabalhos publicados que tiveram maior influência na área de pesquisa. Geralmente, os pesquisadores de todas as áreas citam estudos porque concordam com seu conteúdo integralmente ou em partes. Dessa forma, é seguro dizer que o número de citações que um artigo recebe indica como ele influenciou (ZUPIC; ČATER, 2015) ou impactou (Thomson Reuters, 2008) no pensamento e no desenvolvimento científico. Esta análise se apresenta na forma de listas dos N principais estudos, autores ou revistas da mesma área examinada (ZUPIC; ČATER, 2015).

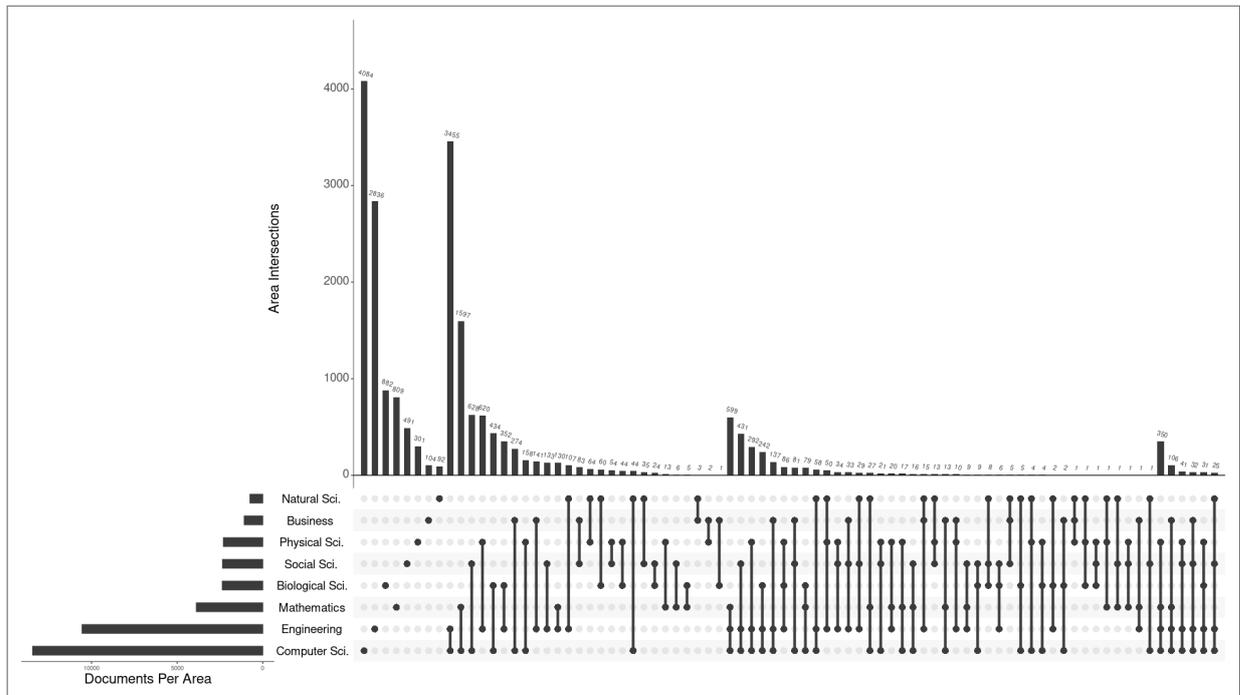
4.0.1 Quais fontes de publicação e áreas do conhecimento influenciaram mais significativamente a pesquisa sobre interoperabilidade?

A pesquisa sobre interoperabilidade está espalhada por 26 áreas do conhecimento, segmentadas na Tabela 16. O canto inferior esquerdo da Figura 5 apresenta as áreas com maior número de artigos de 1970 a 2020. O volume de artigos publicados em Ciência da Computação e Engenharia é de 13.423 e 10.498, respectivamente. Representa cerca de três vezes mais que a Matemática, que aparece em terceiro lugar.

O primeiro grupo de barras da Figura 5 mostra o número de artigos publicados exclusivamente nas áreas representadas pelos pontos pretos imediatamente abaixo. A maioria dos artigos foi publicada nas áreas de Ciência da Computação e Engenharia, seguida de Ciências Biológicas. Analogamente, o segundo grupo de barras mostra o número de trabalhos interdisciplinares exclusivamente em duas áreas do conhecimento, predominando as intersecções entre Ciência da Computação e Engenharia, Ciência da Computação e Matemática, e Ciências da Computação e Sociais. Observando o terceiro e quarto grupo de barras, as intersecções compostas predominantes são novamente as áreas de Ciência da Computação e Engenharia.

Dado o volume de publicações por área de análise, a expectativa é que as fontes de publicações reflitam as áreas destacadas. Esta expectativa é confirmada pela Tabela 5. Contudo, o volume de publicações destas fontes representa apenas cerca de 8% dos artigos publicados. É uma indicação de que não existem revistas ou conferências que agreguem um número significativo de publicações na área da interoperabilidade. É importante mencionar outras fontes de publicação relevantes de Taylor & Francis, Elsevier e Springer que não aparecem neste ranking top-10, mas estão presentes nos dados analisados.

Figura 5 – Intersecções de áreas de conhecimento. As barras no canto inferior esquerdo representam o volume de publicações em determinada área do conhecimento. Os pontos representam publicações em uma determinada área. As linhas que ligam um ou mais pontos representam publicações com colaboração de duas ou mais áreas. As barras na parte gráfica superior representam o volume de publicações referentes exclusivamente a uma única área do conhecimento quando acima dos pontos. Além disso, representa o volume de publicações de mais de uma área do conhecimento acima de linhas com pontos. Fonte: O autor (2024)



4.0.2 Quais estudos mais influenciaram a pesquisa sobre interoperabilidade?

Para responder a esta questão de pesquisa, os dez artigos com maior contagem de citações foram considerados os mais influentes, classificados em ordem decrescente, entre as décadas contempladas pela base bibliométrica. Dessa forma, considerar a relevância do estudo na década em que foi publicado reduz o viés temporal que afeta a simples contagem de citações.

A tabela 6 mostra o id dos artigos com mais citações em cada década, seguido do respectivo número total de citações e sua taxa por ano. O primeiro bloco da tabela mostra a classificação dos artigos considerando toda a base de dados, seguida das classificações por décadas. Todos os grupos de tabelas contém dez artigos, exceto o grupo de artigos publicados entre 1970 e 1980 que teve apenas quatro exemplares com registro de citação.

É correto dizer que quanto mais tempo se passou desde a publicação de um artigo, maior será a probabilidade dele receber mais citações. Porém, o tempo de publicação não é um fator determinante no número de citações que um artigo recebe. Mesmo assim, dividir os documentos por décadas em relação aos respectivos anos de publicação ajuda a reduzir o

viés temporal na análise. Assim, dois artigos publicados, por exemplo, na década de 1980, podem ser comparados de forma mais adequada quanto às suas influências no número de citações recebidas. Outra evidência de que o tempo decorrido desde a publicação não é o único determinante para o número de citações recebidas pelo artigo é que a análise apresentada na Tabela 6 apresenta numerosos casos de documentos mais recentes com mais citações do que outros mais influentes publicados nas décadas anteriores.

Além disso, para mitigar o viés, dividimos os artigos por suas áreas de publicação. O resultado desta divisão está na Tabela 7 que também apresenta blocos com identificadores, total de citações e taxa de citações por ano. Porém, cada grupo de tabelas representa uma área do conhecimento, sendo um bloco para cada área do conhecimento que recebeu destaque na Figura 5.

Tabela 3 – Resumo de Dados Bibliométricos

	Total	P1	P2	P3	P4	P5
informação Principal						
Intervalo de tempo	1970:2021	1970:1980	1981:1990	1991:2000	2001:2010	2011:2020
Fontes	9685	13	58	705	4092	5656
Documentos	21431	20	99	1192	8287	11785
Média anos desde a publicação.	11	45,3	34,5	24,8	15,1	6,5
Média citações por documento.	8,96	2,95	3,889	9,455	9,819	8,38
Média citações por ano por documento.	0,9268	0,06127	0,1102	0,3741	0,6088	1,211
Referências	413045	92	431	11771	127969	275345
Tipos de Documento						
Artigo	7095	14	35	438	2159	4414
Artigo no prelo	3	NA	NA	NA	NA	3
Artigo; capítulo de livro	8	NA	NA	NA	NA	8
Artigo; Documento de dados	1	NA	NA	NA	NA	1
Artigo; acesso antecipado	13	NA	NA	NA	NA	NA
Artigo; documento <i>proceedings</i>	424	NA	NA	83	273	68
Livro	76	NA	NA	1	25	50
Capítulo de livro	647	NA	NA	1	196	450
Documento de conferência	8433	6	64	428	3513	4422
Documento de dados	1	NA	NA	NA	NA	1
Documento de <i>proceedings</i>	4649	NA	NA	241	2060	2348
Documento Retratado	7	NA	NA	NA	5	2
Pesquisa curta	72	NA	NA	NA	56	16
Autores						
Autores	47048	32	184	2627	17721	31869
Aparições dos autores	78796	33	191	3113	27091	48055
Autor: documentos de autoria única	2548	13	52	344	1216	1019
Autor; documentos de autoria múltipla	44500	19	132	2283	16505	30850
Colaboração dos Autores						
Documentos de autoria única	3010	13	55	375	1394	1170
Documentos por autor	0,456	0,625	0,538	0,454	0,468	0,37
Autores por documentos	2,2	1,6	1,86	2,2	2,14	2,7
Coautores por documento	3,68	1,65	1,93	2,61	3,27	4,08
Índice de colaboração	2,42	2,71	3	2,79	2,39	2,91

Tabela 4 – Total de citações por país

País	Total de citações	Média de Documentos citados
ESTADOS UNIDOS	52937	14,640
REINO UNIDO	12412	14,637
ITÁLIA	11373	12,924
CHINA	11138	5,637
ALEMANHA	10803	10,901
ESPAÑA	6473	7,991
CANADÁ	6322	15,124
FRANÇA	5815	8,156
HOLANDA	5734	16,244
AUSTRÁLIA	3893	11,797

Tabela 5 – Principais veículos de publicação

Fontes	Artigos
LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE (INCLUDING SUBSERIES LECTURE NOTES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LECTURE NOTES IN BIOINFORMATICS)	487
CEUR WORKSHOP PROCEEDINGS	291
PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING	270
ACM INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDING SERIES	158
STUDIES IN HEALTH TECHNOLOGY AND INFORMATICS	140
LECTURE NOTES IN ELECTRICAL ENGINEERING	89
COMMUNICATIONS IN COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE	88
INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES - ISPRS ARCHIVES	82
LECTURE NOTES IN BUSINESS INFORMATION PROCESSING	82
ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING	69

Tabela 6 – Documentos mais citados

Total			1970 : 1980		
Documento	TC	TC/ ano	Documento	TC	TC/ ano
Foster, Kesselman e Tuecke (2001)	2587	117,6	Kircher et al. (1970)	25	0,4717
Rueden et al. (2017)	2257	376,2	Brick e Elleersick (1980)	18	0,4186
Giannozzi et al. (2017)	2216	369,3	Francillon (1974)	13	0,2653
Madeira et al. (2019)	1464	366,0	Wentz e Hingorani (1980)	3	0,0698
Huber et al. (2015)	1410	176,2			
Price-Whelan et al. (2018)	1339	267,8			
Harding et al. (2018)	1311	262,2			
Smith et al. (2007)	1251	78,2			
Stajich et al. (2002)	1178	56,1			
Smulders (2002)	854	40,7			
1981 : 1990			1991 : 2000		
Documento	TC	TC/ ano	Documento	TC	TC/ ano
Reilly et al. (1987)	174	4833	Buyya, Abramson e Giddy (2000)	583	25,35
Rasure et al. (1990)	36	1091	Neches et al. (1991)	553	17,28
Schantz (1986)	27	730	Cohen et al. (1997)	517	19,88
Cerf e Cain (1983)	26	650	Chau, Tam e Tam (1997)	432	16,62
A. . . (1989)	20	588	Garlan, Allen e Ockerbloom (1995)	273	9,75
Biocca et al. (1990)	10	303	Mehta, Medvidovic e Phadke (2000)	271	11,78
Mensh, Kite e Darby (1989)	9	265	Bayardo et al. (1997)	255	9,81
Bertine et al. (1990)	8	242	Kelly, Lyytinen e Rossi (1996)	211	7,81
Berretta, Agostini e Dickinson (1990)	7	212	Farquhar, Fikes e Rice (1997)	209	8,04
Schmidt e Matthes (1990)	6	182	Schreiber (1995)	152	5,43
2001 : 2010			2011 : 2020		
Documento	TC	TC/ ano	Documento	TC	TC/ ano
Foster, Kesselman e Tuecke (2001)	2587	117,6	Rueden et al. (2017)	2257	376,2
Smith et al. (2007)	1251	78,2	Giannozzi et al. (2017)	2216	369,3
Stajich et al. (2002)	1178	56,1	Madeira et al. (2019)	1464	366,0
Smulders (2002)	854	40,7	Huber et al. (2015)	1410	176,2
Macfadyen e Dawson (2010)	569	43,8	Price-Whelan et al. (2018)	1339	267,8
Neteler e Mitasova (2005)	569	37,9	Harding et al. (2018)	1311	262,2
Heroux et al. (2005)	558	31,0	Xia (2013)	755	75,5
Yang et al. (2009)	502	35,9	Covic e Boys (2013)	641	64,1
Dillon, Wu e Chang (2010)	432	33,2	Parrish et al. (2020)	640	106,7
McKinley et al. (2004)	431	22,7	Razzaque et al. (2016)	592	84,6

Tabela 7 – Documentos mais citados por área

Ciência da computação			Engenharia		
Documento	TC	TC/ ano	Documento	TC	TC/ ano
Foster, Kesselman e Tuecke (2001)	2587	117,6	Smulders (2002)	679	32,3
Rueden et al. (2017)	2292	382,0	Covic e Boys (2013)	641	64,1
Smulders (2002)	854	40,7	Parrish et al. (2017)	640	106,7
Parrish et al. (2017)	638	106,3	Cohen et al. (1997)	517	19,9
Razzaque et al. (2016)	592	84,6	Yang et al. (2009)	502	35,9
Buyya, Abramson e Giddy (2000)	583	25,3	Chen, Doumeingts e Vernadat (2008)	478	31,9
Macfadyen e Dawson (2010)	569	43,8	Levinson et al. (2011)	470	39,2
Heroux et al. (2005)	558	31,0	Dillon, Wu e Chang (2010)	432	33,2
Neches et al. (1991)	553	17,3	Sudarsan et al. (2005)	418	23,2
Cohen et al. (1997)	517	19,9	Catarinucci et al. (2015)	406	50,8
Matemática			Ciências Biológicas		
Documento	TC	TC/ ano	Documento	TC	TC/ ano
Foster, Kesselman e Tuecke (2001)	2587	117,6	Rueden et al. (2017)	2257	376,2
Rueden et al. (2017)	2292	382,00	Madeira et al. (2019)	1464	366,0
Medina et al. (2001)	846	38,45	Huber et al. (2015)	1410	176,2
Heroux et al. (2005)	558	31,00	Harding et al. (2018)	1311	262,2
Meng et al. (2006)	335	19,71	Smith et al. (2007)	1251	78,2
Sheng et al. (2014)	302	33,56	Stajich et al. (2002)	1178	56,1
Navigli e Velardi (2004)	250	13,89	Xia (2013)	755	75,5
Hernández-Muñoz et al. (2011)	246	20,50	Parrish et al. (2017)	640	106,7
Foster (2006)	245	14,41	Rajkomar et al. (2018)	500	100,0
Kelly, Lyytinen e Rossi (1996)	211	7,81	McDonald et al. (2012)	406	36,9
Ciências Sociais			Ciências Físicas		
Documento	TC	TC/ ano	Documento	TC	TC/ ano
Macfadyen e Dawson (2010)	569	43,77	Giannozzi et al. (2017)	2216	369,3
Guha et al. (2006)	352	20,71	Price-Whelan et al. (2018)	1339	267,8
Wheeler, Yeomans e Wheeler (2008)	346	23,07	Parrish et al. (2017)	640	106,7
Verma et al. (2005)	303	16,83	Neteler e Mitsova (2005)	569	37,9
Farquhar, Fikes e Rice (1997)	281	10,81	Gröger e Plümer (2012)	358	32,5
De Lucia et al. (2009)	258	18,43	Guha et al. (2006)	352	20,7
Scholl e Klischewski (2007)	222	13,88	Walters et al. (2017)	322	53,7
Gottschalk (2009)	216	15,43	Spek (2020)	313	104,3
Landsbergen e Wolken (2001)	215	9,77	Yang (2010)	246	18,9
Paraskeva, Mysirlaki e Papagianni (2010)	170	13,08	Haibach et al. (2012)	205	18,6
Administração			Ciências Naturais		
Documento	TC	TC/ ano	Documento	TC	TC/ ano
Chau, Tam e Tam (1997)	432	16,62	Neteler e Mitsova (2005)	569	37,93
Ceccagnoli et al. (2012)	420	38,18	Kumar et al. (2006)	369	21,71
Verma et al. (2005)	303	16,83	Michalakes et al. (2005)	196	10,89
Scholl e Klischewski (2007)	222	13,88	Gleeson et al. (2010)	166	12,77
Landsbergen e Wolken (2001)	215	9,77	Sui e Maggio (1999)	142	5,92
Teece (2018)	175	35,00	Betsou et al. (2010)	124	9,54
Gonçalves et al. (2004)	173	9,11	David et al. (2013)	102	10,20
Bynum, Issa e Olbina (2013)	154	15,40	Hong et al. (2015)	95	11,88
Zur Muehlen, Nickerson e Swenson (2005)	138	7,67	Bastin et al. (2013)	94	9,40
Ding et al. (2019)	134	33,50	Bernard et al. (2005)	91	5,06

4.1 DISCUSSÃO

Partindo da premissa de que existe uma interdependência entre a qualidade dos dados e os resultados da análise, cabe a discussão sobre o processo de construção da base de dados utilizada neste estudo. Não existem nas recomendações para a condução de métodos bibliométricos de Zupic e Cater (ZUPIC; ČATER, 2015), e Cobo *et al.* (M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma; HERRERA, 2011; COBO *et al.*, 2011) recomendações específicas sobre como determinar os termos de pesquisa, nem para a composição da *string* de busca. Ainda que, possa ser eficaz em múltiplos contextos, deixar esta tarefa exclusivamente nas mãos dos pesquisadores, atribuindo-lhes total responsabilidade para definir, encontrar novos termos, encontrar novos arranjos para a *string* de pesquisa e verificar a eficácia das *strings* construídas através de avaliação manual.

Contudo, essa abordagem de construção de *strings* de busca pode ser afetada pela visão de mundo de quem está conduzindo a pesquisa, além de ser inviável quando avaliamos um volume considerável de documentos retornados pelos mecanismos de busca. Por esse motivo, procurou-se associar os métodos de construção de bases de dados bibliométricas a uma abordagem de construção de strings de busca semiautomática e sistemática proposta por (MARCOS-PABLOS; GARCÍA-PEÑALVO, 2018), conforme descrito na seção 3.2.

Esse processo resultou em uma base de dados bibliométrica com artigos muito semelhantes quando comparados seus resumos, como pode ser visto na tabela de dispersão da Figura 2. Após ser higienizada e comparado com a distribuição teórica de Lotka (LOTKA, 1926), essa base de dados apresentou grande qualidade de ajuste, o que também aparece como uma indicação da qualidade do banco de dados analisado.

Dadas essas evidências, consideramos que o uso de um método semi automatizado e sistemático de construção de *strings* de busca reduziu eventuais vieses oriundos das experiências e expectativas dos autores deste estudo. Essa abordagem metodológica é a primeira contribuição desta pesquisa, pois pode ser útil para permitir análises bibliométricas massivas, reduzindo vieses na construção das *strings* de busca em pesquisas futuras.

4.1.1 Características gerais da área de interoperabilidade

A primeira peculiaridade da base bibliométrica analisada é a participação de múltiplas áreas do conhecimento na produção científica sobre interoperabilidade. Mesmo que existam artigos

classificados em apenas uma área do conhecimento, muitas publicações classificadas existem em mais de uma área. Esse é o primeiro indicativo caracterizador da área de interoperabilidade como uma área interdisciplinar. Há também uma participação robusta, mesmo que não exclusiva, das áreas de conhecimento da Ciência da Computação e da Engenharia nesta produção interdisciplinar.

Outra peculiaridade é a pulverização de artigos em que as principais fontes reveladas pela análise concentram apenas 8% das publicações. Ao observarmos as fontes destacadas, é visível que elas são relativas às áreas de conhecimento da Ciência da Computação, Engenharia e suas respectivas áreas de aplicação. Assim, estas observações permitem-nos concluir que os estudos produzidos sobre interoperabilidade potencialmente aplicam técnicas desta área a problemas de outras áreas do conhecimento.

Ainda, no que diz respeito à comparação da base de dados observada com a distribuição teórica de Lotka (LOTKA, 1926), a hipótese nula foi rejeitada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Este tipo de resultado pode acontecer em algumas áreas, como foi verificado em outros estudos (EKUNDAYO; OKOH, 2018; CORBET et al., 2019). Na presente pesquisa, quando este resultado é comparado com o resultado da qualidade do ajuste e a análise do gráfico da Figura 3, em que podemos observar uma cauda longa onde a distribuição teórica segue a distribuição observada, compreende-se que existe um grupo significativo de autores que publicaram apenas uma vez na área de pesquisa em interoperabilidade. Desta forma, existe uma tendência estatística de que alguns destes autores possam voltar a contribuir para o desenvolvimento da interoperabilidade em algum momento no futuro para seguir a distribuição teórica.

Contudo, estes resultados indicam que um grupo significativo de autores publicou uma solução para o problema relativo à interoperabilidade nas suas áreas específicas do conhecimento e não se sentiu estimulado a contribuir mais profundamente para o desenvolvimento da própria investigação em interoperabilidade.

4.1.2 As influências na pesquisa sobre interoperabilidade

Pretendemos verificar como os artigos mais influentes contribuíram para o desenvolvimento do conhecimento sobre interoperabilidade. E não classificar esses artigos de acordo com o tipo de interoperabilidade que apresentam, como fizeram Panetto (PANETTO, 2007) e Ford *et. al.* (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007), nem classificar a contribuição dada por

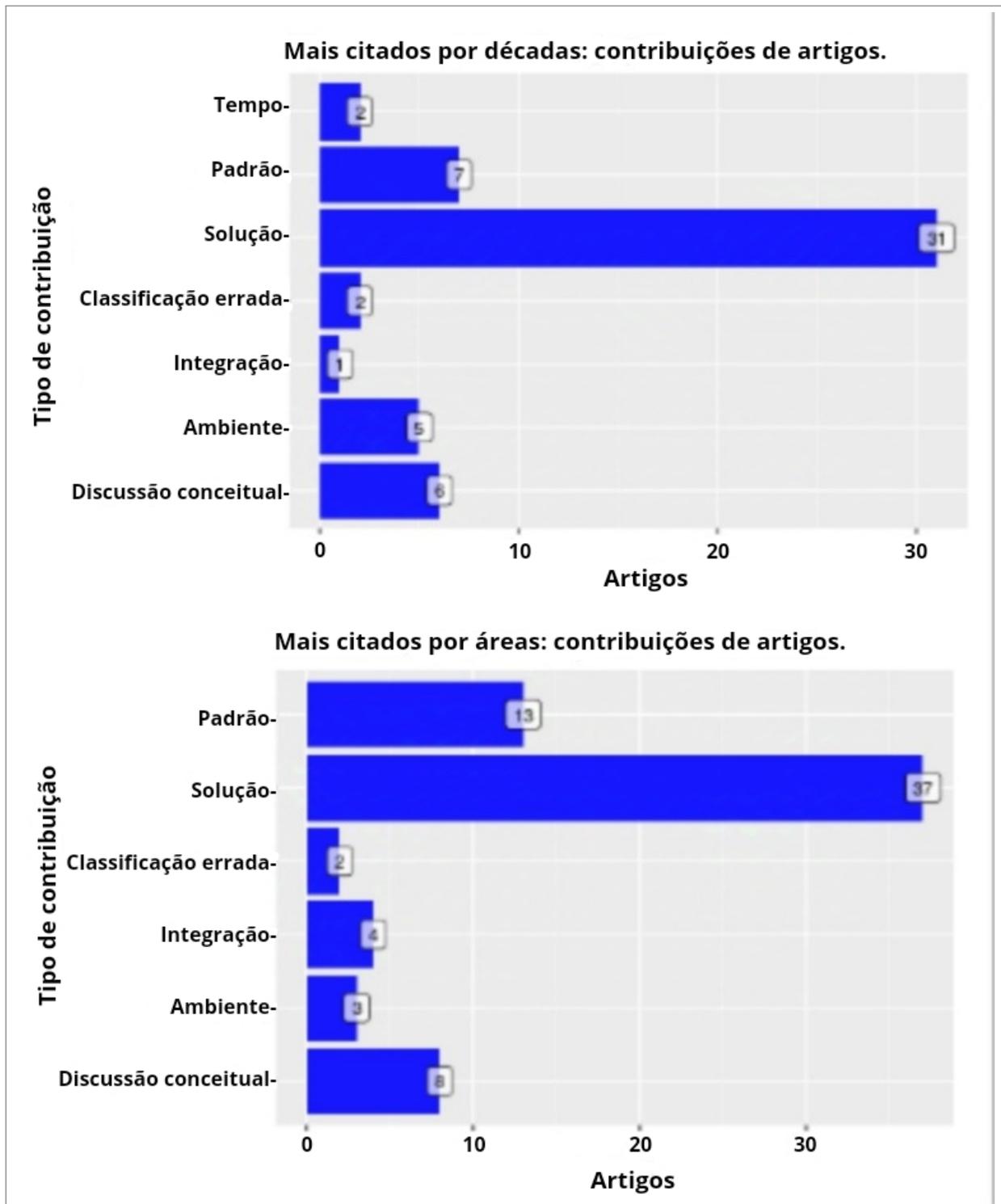
algum nível de interoperabilidade. Embora estas sejam boas formas de comparar contribuições, estas classificações servem propósitos específicos em domínios específicos. Por outro lado, os dados dessa pesquisa provêm de domínios diferentes e as perguntas de pesquisa direcionam o interesse para os produtos finais dos artigos, mais do que na sua classificação de acordo com qualquer outro parâmetro.

Utilizando os resumos dos artigos mais citados, foi possível classificar o tipo de influência que eles exercem a partir de suas principais contribuições. O resultado da classificação dos tipos pode ser visto na Figura 6, onde cada uma das barras representa uma contribuição distinta. Partindo da análise dos artigos mais citados por áreas do conhecimento (apresentados na Tabela 7), é possível notar uma predominância de artigos que apresentam uma solução que tem ou precisa ter a interoperabilidade como característica. Seguidos por artigos que discutem a interoperabilidade do ponto de vista de um padrão de comunicação ou armazenamento de dados e artigos que são discussões conceituais dos quais apenas três discutem o conceito de interoperabilidade diretamente. Os outros quatro artigos explicam a inserção de uma parte em um sistema (integração), e três artigos discutem a interoperabilidade como algo presente no sistema onde uma solução é executada.

Em todas as áreas do conhecimento há predominância de trabalhos que apresentam uma solução com interoperabilidade como característica, exceto para as áreas de Administração e Ciências Sociais que trouxeram mais discussões conceituais e artigos sobre padrões de comunicação e armazenamento de dados. As soluções com interoperabilidade apresentadas pelos artigos nas áreas de Ciências Físicas e Naturais são, em sua maioria, ferramentas que resolvem soluções específicas destas áreas. Por outro lado, as soluções de interoperabilidade classificadas em Matemática, Engenharia e Ciência da Computação se repetem com certa frequência, representando a construção de *frameworks* genéricos ou *softwares* com aplicações em outras áreas do conhecimento. No caso dos artigos classificados da área de conhecimento da Matemática, nenhum deles trata de qualquer formalismo matemático relativo à interoperabilidade, o que nos leva a crer que a análise dos artigos devolvidos das áreas de Ciência da Computação e Engenharia para esta área se deve a algum grupo de fontes de publicação classificadas pelos mecanismos de busca como sendo de duas dessas três áreas simultaneamente.

Utilizando esta mesma classificação, como pode ser visto na parte esquerda da Figura 6, a análise dos artigos mais citados ao longo do tempo (conforme mostrado na Tabela 6) segue uma tendência semelhante. Considerando os artigos mais citados, há um artigo que trata a interoperabilidade como algo presente no sistema no qual uma solução é executada (HUBER et

Figura 6 – Tipos de contribuição. Os gráficos apresentam o número de contribuições por tipo de contribuição dos artigos mais citados. À esquerda está a classificação dos artigos mais citados ao longo do tempo e à direita estão os artigos mais citados e suas respectivas áreas do conhecimento.



al., 2015), e um artigo que fala sobre um padrão de comunicação ou armazenamento de dados (SMITH et al., 2007). Os demais discutem soluções que têm ou necessitam de interoperabilidade como característica.

Os seis artigos mais citados abordam discussões conceituais e têm data de publicação

anterior a 2005. Mesmo assim, apenas o artigo de Mensh, Kite e Darby (1989) aborda diretamente conceitos de interoperabilidade. Os demais abordam primordialmente outros conceitos que se relacionam com a interoperabilidade. Dos outros seis artigos, sendo cinco publicados entre 1981 e 1990 e o mais recente publicado em 2007, abordam padrões de comunicação e armazenamento de dados, deixando a interoperabilidade em segundo plano.

Isso ganha destaque na análise de quatro artigos que tratam a interoperabilidade como algo presente onde uma solução roda. Dois tratam a interoperabilidade como um período de tempo decorrido entre intervenções cirúrgicas. Os demais apresentam soluções que possuem ou necessitam de interoperabilidade como característica.

Esses resultados endossam a suspeita de que muitos autores publicaram uma solução para um problema relacionado à interoperabilidade em suas áreas específicas do conhecimento e não se sentiram estimulados a contribuir mais profundamente para o desenvolvimento da própria área de interoperabilidade. Além disso, o baixo número de artigos que influenciaram as pesquisas sobre interoperabilidade de forma a agregar discussões teóricas ou conceituais indica que as soluções criadas não estão fundamentadas conceitualmente, pelo menos de forma direta, ou que se fundamentam em soluções antigas e eventualmente desatualizadas.

4.2 CONCLUSÕES

A análise de citações identificou as fontes de publicação e áreas de pesquisa que influenciaram os estudos sobre interoperabilidade, tendo como métrica o número de citações. De forma analógica, foram identificados os artigos mais influentes no que diz respeito a uma análise de áreas de conhecimento e com uma análise oportuna segmentada por grupos de anos, abrangendo o período de 1970 a 2020.

A estrutura metodológica utilizada permite interpretar que a base de dados analisada:

1. Indica que a investigação sobre interoperabilidade é, de fato, interdisciplinar;
2. Não há predomínio de publicações em veículos de uma área específica do conhecimento;
3. Estudos de pesquisa em interoperabilidade são aplicações de técnicas de interoperabilidade em problemas de múltiplas áreas do conhecimento;
4. Os autores analisados tendem a publicar uma solução para um problema relacionado à interoperabilidade com aplicação em alguma área específica do conhecimento e não se

sentem estimulados a contribuir de forma mais aprofundada para a interoperabilidade em si;

5. Há predominância de publicações que tratam a interoperabilidade como um recurso existente ou desejável em um sistema de *software*;
6. Administração e Ciência Sociais são as áreas do conhecimento onde predominam as discussões conceituais sobre interoperabilidade;
7. Os conceitos de interoperabilidade encontrados são de 15 a 41 anos atrás;
8. A proposição de soluções com interoperabilidade não se fundamenta, pelo menos explicitamente, em conceitos de interoperabilidade ou se fundamenta em conceitos antigos e potencialmente ultrapassados.

Fora isso, retomando as provocações iniciais, esses resultados endossam o problema da ausência de um arcabouço teórico ausente de conflitos oriundos de múltiplas definições de interoperabilidade, oferecendo uma triangulação metodológica com os trabalhos de Diallo et al. (2011) e Gürdür e Asplund (2018). Um indício de validade e confiabilidade dos resultados obtidos.

Ter poucos tipos de interoperabilidade explicitamente declarados nos artigos analisados nessa pesquisa e na pesquisa de Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), pode ser um indicativo de oportunidades para a pesquisa qualitativa no sentido da capacidade que esse tipo de pesquisa tem para interrogar os dados em busca do que está subentendido e de questionar as pessoas quais foram suas idealizações de interoperabilidade quando da realização de seus estudos, construção de ferramentas, dentre outros.

Além de que, tanto para integração de ferramentas, quanto para interoperabilidade permanece como indício de brecha nos estudos de ambas as áreas a conclusão de (WICKS; DEWAR, 2007): existe a carência de descrições contemporâneas do fenômeno que possam considerar aspectos não técnicos uma vez que a literatura apresenta um grande quantitativo de descrições de ferramentas baseadas em definições antigas e pouco avaliadas ou discutidas. Indício esse também reforçado na presente pesquisa.

Esses elementos são indícios, “conceitos sensibilizadores” (CHARMAZ, 2006), de que não é possível definir a interoperabilidade partindo de soluções que se propõem a fazê-la, uma vez que são muito específicas de um contexto e incompatíveis entre si. Ao mesmo tempo, a propositura de novos artefatos técnicos que se proponham a fazer interoperabilidade tendem

a ser incompletos ou imprecisos devido à falta de uma definição clara sobre o como se faz a interoperabilidade. Portanto, existe uma lacuna que consiste em buscar o significado de interoperabilidade do ponto de vista do que as pessoas esperam, desejam, idealizam e necessitam que a interoperabilidade seja.

5 TEORIA FUNDAMENTADA EM DADOS

5.1 BUSCA DE DADOS

Os sujeitos arguidos nessa fase da pesquisa foram selecionados com base nas informações de nacionalidade e total de citações presentes na base de dados bibliométrica. Foram contactados ao todo 850 sujeitos distribuídos em 5 rodadas de envio convites para participação na pesquisa, com uma taxa de resposta aproximada de 4,5%. A lista de convidados foi extraída dos artigos mais citados, segmentados pelos documentos cujos primeiros autores eram das nacionalidades brasileira, portuguesa, estadunidense, britânica e canadense. A base de dados bibliométrica continha apenas o *e-mail* dos autores de correspondência. Por isso, foi necessário coletar manualmente, dos documentos ou de buscas pela Internet os endereços de correspondência eletrônica de outros autores.

Das respostas aos formulários recebidas, apenas 31 foram consideradas para a análise, sendo excluídas dessa fase as repostas em branco a todo o formulário e os convidados que declaram explicitamente nunca terem interagido com um sistema interoperável na quarta pergunta do instrumento de coleta. As demais formas de interação podem ser conferidas na Tabela 8. Os respondentes foram oriundos de 7 diferentes nacionalidades como pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 8 – Formas de interação com sistemas interoperáveis dos respondentes

Formas de interação	Quantidade
Interagiu de outra forma ou com mais de uma opção	14
Projetou	9
Construiu	2
Utilizou/trabalhou com um	6

Tabela 9 – Nacionalidades dos respondentes

País	Quantidade
Brasil	15
Suécia	1
Portugal	10
México	1
Canadá	2
Reino Unido	1
Singapura	1

5.2 CODIFICAÇÃO INICIAL

A codificação inicial foi realizada com as respostas oriundas de cada uma das rodadas de entrevistas respondidas. Com o auxílio de *software* específico para essa finalidade (Phonic), as transcrições e repostas das pessoas que responderam a ao menos uma das questões abertas e não se desengendraram selecionando a opção “Eu não interagi”, da questão 4 do instrumento de coleta (Apêndice A), foram tratadas de acordo com os procedimentos metodológicos descritos no Capítulo 3.

Na rodada inicial de codificação, emergiram 15 códigos de um total de 82 excertos das respostas. Sendo, “Condição”, “Provedor de interoperabilidade” e “Objetivo da interoperabilidade” os códigos mais recorrentes. Ao término da quinta rodada, essa etapa resultou em 28 códigos oriundos de 479 excertos das respostas de todos os participantes. O detalhamento com o nome desses códigos, sua descrição e a quantidade de destaques mapeados pra cada um deles pode ser visto no caderno de códigos presente no Apêndice C.

5.3 CODIFICAÇÃO FOCALIZADA

A codificação focalizada foi iniciada ainda com os resultados da primeira rodada de respostas, tendo os códigos mais recorrentes como candidatos à categorias. No entanto, esses códigos só foram confirmados como categorias com os resultados das rodadas posteriores. Ao final, essa análise resultou em sete categorias de códigos iniciais, listadas e analisadas nas subseções abaixo.

5.3.1 Tipo de sistema

Sobretudo ao descreverem o sistema interoperável com o qual interagiram, mas também ao responderem os demais questionamentos, ficou clara a multiplicidade de significados com que a palavra “sistema” fora empregada. A pista para o entendimento desse significado partiu do relato do entrevistado neea6n7lajtybzsxnxiu7 ao descrever a interoperabilidade ocorrendo em um sistema de sistemas de *software*.

A partir desse ponto, o código “Tipo de sistema” passou a ser considerado uma categoria e uma nova codificação inicial foi realizada com os dados das rodadas 1 e 2 a fim de caracterizar unidades de sistemas integrantes de um sistema maior com o código “ente” e o conjunto

dessas unidades com o código “ecossistemas (ou sistemas de sistemas?)”.

Ainda na segunda rodada de análise, sem alterações posteriores, foi possível definir “entes” como um conjunto de dois ou mais agentes de *hardware* ou de *software*, de diversos domínios de aplicação, que interagem entre si dentro de um sistema executando um trabalho comum por meio do compartilhamento de dados e operações.

5.3.2 Restrição do sistema

O código “Restrição do sistema” não foi promovido a categoria por aglutinar em si mais de um código inicial, mas sim por conta da alta frequência de suas ocorrências. Os trechos assim codificados deixam explícito que todos os sistemas descritos estão restringidos pelos interesses das instituições nos quais estão inseridos, conjunto de símbolos e protocolos comuns a todos os entes e quanto ao tipo de entes que o compõem.

5.3.3 Provedor de interoperabilidade

São necessários para prover a interoperabilidade as propriedades dos ecossistemas (ou sistemas de sistemas?): O ente, seus símbolos, os protocolos e o meio que permitem a troca de símbolos e manipulações de funções.

5.3.4 Finalidade

A finalidade dos ditos sistemas interoperáveis também variavam com respeito ao tipo de sistema. No caso do tipo ecossistema (sistema de sistemas?), a finalidade é sempre dar suporte a uma atividade institucional ou produtiva. No caso do tipo ente a finalidade é sempre estar pronto para operar utilizando diferentes fontes de dados do ecossistema (sistema de sistemas?) ou provendo dados para o mesmo. Ainda que estes entes sejam heterogêneos tanto na sua forma quanto na sua função.

5.3.5 Problema

O problema, do ecossistema (ou sistemas de sistemas), a ser resolvido pela interoperabilidade é a solução para um problema não técnico, produtivo e a integração de ponto a ponto

entre os entes que possuam um vocabulário comum é o meio para tal. Desde que, a mesma compreensão sobre o mesmo conjunto de símbolos ou uma compatibilização entre conjuntos distintos entre os entes ocorra. Essa compatibilização pode ser inviabilizada por falta de recursos.

5.3.6 Interoperabilidade

Por aglutinação de descrições de problemas e objetivos de sistemas chegou-se ao seguinte conceito de interoperabilidade: Trabalho efetivo realizado por entes distintos, com interfaces padronizadas ou não, em prol de um objetivo em comum, através da transferência de símbolos. Sendo que diversas condições são impostas para que a interoperabilidade ocorra.

5.3.7 Condição

Frequentemente, os entrevistados relatavam as condições para que a interoperabilidade ocorra não só na resposta à pergunta com essa finalidade, mas também nas descrições dos sistemas com os quais interagiram e nos relatos de obstáculos enfrentados nessa interação. De modo que, essa categoria passou a integrar 3 códigos iniciais, que se influenciam mutuamente: condições organizacionais/institucionais, fatores técnicos e fatores humanos. Essas condições estão dispostas na forma de asserções nas listagens à seguir.

Condições Organizacionais/ Institucionais:

- Um sistema interoperável pode ter todos os entes dentro de uma mesma instituição ou em instituições diferentes;
- Um ente precisa ser planejado com uma visão do domínio de negócio e das regras de negócio onde ele está inserido;
- A decisão sobre quais operações e unidades de informação serão compartilhadas está atrelada ao planejamento organizacional;
- Regulações que pesem sobre a instituição podem afetar o funcionamento do ente ou do sistema.

109

Fatores Técnicos:

- Para construção
 - Compatibilização semântica de unidades de informações de entes distintos com a utilização de conversores para unidades de informação de formatos distintos;
 - Visão arquitetural como a que ocorre em sistemas-de-sistemas;
 - Planejamento prévio da semântica das unidades de informações envolvidas nas interoperações.
- Para operação
 - Conjunto de conceitos comuns (unidades de informação) entre os entes do sistema;
 - Transparência na utilização de dados e funções de outros entes;
 - Troca de unidades de informações em redes de dados.

Fatores Humanos:

- Diálogo é uma condição para a existência de um sistema interoperável.
- O diálogo é o viabilizador para solução de problemas políticos, interesses organizacionais conflitantes e alinhamento de soluções técnicas.
- A política é patrocinadora da construção de um sistema interoperável
- A governança se faz necessário para o sucesso de um projeto de sistema interoperável.
- Quando não há, no domínio de negócios, a adoção de um padrão para as unidades de informação, é necessário utilizar o diálogo para resolver conflitos de adaptação de unidades de informação.

5.3.8 Símbolos

Essa categoria emergiu dos dados ao final da segunda rodada de análise e foi descrita na rodada posterior. A primeira menção a símbolos surge ainda na primeira rodada no código de Condição. Posteriormente, percebe-se que o código “Estrutura de dados” fazia parte da descrição dos símbolos. Surge então o entendimento de que um símbolo mantém um significado e é composto por uma estrutura, uma unidade de informação e por um meio onde trafega.

Estruturas de dados são o arranjo que dá corpo a um símbolo compreendido pelos entes de um ecossistema (sistemas de sistemas?). Esse arranjo pode conter metadados. É plausível supor que nem todos os entes de um sistema compreendam todos os símbolos que eventualmente um outro ente do mesmo sistema compreenda. Estes arranjos podem ser definidos por regulamentações e boas práticas. Essas, por sua vez, podem reger os símbolos e entes como forma desses últimos estarem prontos para uma possível futura interoperabilidade.

O código inicial “meio” refere-se ao espaço pelo qual o símbolo trafega entre um ente e outro. Em caso de entes que sejam algum tipo de sistema computacional, o meio é uma rede de dados ou *middleware* e os protocolos que viabilizam a operação nesse espaço, além de construtos que regem essa comunicação. No entanto, outros meios são possíveis para entes de outras naturezas, como sistemas elétricos e mecânicos.

Por fim, o código inicial “unidades de informação” refere-se ao conteúdo de um símbolo em determinado grau de abstração. Ex.: sinal, dado, informação ou representação de conhecimento.

5.4 CODIFICAÇÃO TEÓRICA

Como discutido no Capítulo 3, a codificação teórica busca dar contornos buscando relacionar as categorias identificadas na codificação focalizada. Charmaz (2006) e Stol, Ralph e Fitzgerald (2016) falam da possibilidade de uso de esquemas para ajudar na tarefa de racionalizar esse contorno. Nesse sentido, a Figura 7 apresenta a relação entre as categorias da seção anterior.

Essa figura pode ser descrita a partir de qualquer uma das categorias que estão na forma de elipses. Uma dessas descrições é:

A interoperabilidade é algo que ocorre em ecossistemas (ou sistemas-de-sistemas) que agrupam entes com finalidades distintas do conjunto. Só podendo ocorrer mediante a satisfação de condições que, por sua vez, restringem o próprio ecossistema (ou sistema-de-sistemas). Essas condições influenciam-se mutuamente e subdividem-se em três grupos: organizacionais/institucionais, fatores humanos e fatores técnicos. Os fatores humanos e técnicos influenciam o problema a ser resolvido pela interoperabilidade e que incide sobre as condições organizacionais. Os fatores humanos tem parte na conciliação do uso de símbolos, ponderando as questões organizacionais e técnicas. E, são provedores de interoperabilidade, fazem uso de símbolos e são frutos de negociações humanas em um ambiente organizacional.

custo-benefício e visam alcançar mercados globais. Enquanto SoS se concentra na integração de sistemas independentes para cumprir missões, SECO se concentra na colaboração de atores e artefatos para produzir valor em uma plataforma comum.

Ainda segundo os mesmo autores, existem condições que precisam ser satisfeitas para que um sistemas seja considerado um SoS ou um SECO.

Condições para um SoS:

- Sistemas de *software* independentes gerencial e operacionalmente;
- Focados na realização de missões (trabalhos específicos);
- Integração e interoperabilidade são necessários para a realização de missões.

Condições para um SECO:

- São formados por atores, artefatos e suas relações
- Foco em produzir valor
- Os entes estão em uma plataforma tecnológica comum

Voltando aos dados coletados, são muitos os exemplos de sistemas de entes que não são exclusivamente de *software* e existem tantos outros entrevistados que deixaram clara a interdependência gerencial e operacional dos entes. O caso do entrevistado nxn0z215i82gal6btbj4 é um dos vários casos representativos que relatam sistemas de *software* operacionalmente independentes que interoperam. De outro lado, o caso do entrevistado av126q90i2mhlakri2nrbr é um dos vários casos representativos de um sistema operacionalmente dependente. Portanto, a categoria “ecossistemas (ou sistema-de-sistemas)” não pode ser equiparada a um SoS.

Por outro lado, os artefatos de um SECO, segundo Santos et al. (2023), são elementos que dão suporte à programação de sistemas de *software*, não se aproximando, na maioria das vezes, com as descrições de entes dos dados coletados. Portanto, essa explicação também não serve para essa categoria.

Partindo para definições mais amplas, “um sistema é um conjunto de partes coordenadas para realizar um conjunto de finalidades”(CHURCHMAN, 2015). Em um passo reflexivo mais aprofundado, o mesmo autor defende que minimamente um sistema deve conter:

- objetivos totais do sistema e, mais especificamente, as medidas de rendimento do sistema inteiro;

- o ambiente do sistema: as coações fixas;
- os recursos do sistema;
- os componentes do sistema, suas atividades, finalidades e medidas de rendimento;
- a administração do sistema.

Ainda assim, não é possível caracterizar o código “ecossistemas (ou sistema-de-sistemas)” como um sistema da teoria geral dos sistemas como definido, minimamente, por Churchman (2015). Ainda que, nos dados coletados, fique claro que os entes operam em conjunto em prol de um objetivo comum, não existe o indício de uma obrigatoriedade de um objetivo total, coordenação global, gestão compartilhada de recursos e medidas de rendimentos. No entanto, fica claro que em sistemas interoperáveis da área de saúde e aeroespacial, cada ente está preocupado exclusivamente com a sua parte do trabalho e a única preocupação com a coordenação de atividades se dá pelo atendimento ao conjunto de símbolos.

Mesmo que essas três definições importadas da literatura não sejam suficientes para descrever adequadamente o que fora identificado nos dados, não é possível afirmar que não exista definição capaz de fazê-lo. Contudo, a busca por uma possível definição suficientemente explicativa para o código “ecossistemas (ou sistema-de-sistemas)” é um trabalho exaustivo que tem o potencial de desviar essa investigação de seus objetivos. Por hora, é suficiente para a reflexão sobre o contorno teórico dos dados coletados abandonar o código *in vivo* “ecossistemas (ou sistema-de-sistemas)”, por sua própria descrição, chamando essa categoria de “conjunto.”

5.4.2 Relação dos entes dentro dos conjuntos e as finalidades dos sistemas

Alegar que a interoperabilidade é algo que ocorre em conjuntos de entes é uma lacuna nesse contorno teórico criado pela relação entre as categorias codificadas. Ainda que o termo “algo” seja bem sucedido em fazer uma alusão à natureza abstrata, ainda que observável do termo. Do ponto de vista linguístico, o termo interoperabilidade é uma qualidade daquilo que é interoperável. Sob essa perspectiva, também pode-se dizer que interoperável é aquele que pode operar com algum outro. Interoperar é o funcionamento, ação, execução, operação ou trabalho conjunto. E, interoperante é aquilo que está operando com outro em determinado momento. Dado esse panorama, pode-se buscar a definição da qualidade descrita por interoperabilidade pelo significado de operação ou funcionamento daquilo que é interoperante.

São os entes de um conjunto que tornam-se interoperantes em determinado momento. Essa limitação temporal não é explicitamente relatada pelos entrevistados, mas está implícita nos relatos que levam à descrição da finalidade do sistema do tipo ente: sempre estar pronto para operar utilizando dados oriundos de outro ente do conjunto ou provendo dados para um outro ente do mesmo. Deduz-se dessa definição de categoria que um ente pode não exercer trabalho a todo momento e que apenas uma parte do trabalho exercido o torna interoperante. Esse comportamento operante, porém não interoperante, é mais comum em conjuntos não coordenados de entes que não são gerenciados diretamente por uma mesma instituição/organização. Nesses conjuntos todos os entes são interoperáveis, mas atuam com a promessa de serem interoperantes.

A título de ilustração, supondo dois entes de um conjunto como sistemas de prontuário eletrônico do paciente. Esses dois sistemas de informação são regidos pelas mesmas condições institucionais, ainda que desenvolvidos e geridos diretamente por dois hospitais distintos. Agora, supondo que um paciente tenha dado entrada no primeiro hospital e um conjunto de registros tenham sido anotados em seu prontuário eletrônico relativos à sua enfermidade. Até esse ponto, o ente apenas realizou um conjunto de operações, pois não fez uso de unidades de informação previamente existentes, oriundas de nenhum outro ente do conjunto. Também não existe garantia de que, até esse ponto, este ente se tornará interoperante, afinal o paciente pode não consumir serviços de hospitais que possuam entes desse conjunto de entes.

Esse primeiro ente só se tornará interoperante, quando o ente do segundo hospital requisitar o prontuário eletrônico desse mesmo paciente. Essa interoperação durará, por exemplo, até que ocorra o faturamento das custas do tratamento do paciente no segundo hospital, afinal, como descrito na categoria “Finalidade”, a finalidade de um conjunto de entes é sempre dar suporte a uma atividade institucional ou produtiva. Desse modo, ambos os sistemas de prontuário eletrônico foram interoperantes à partir de algum momento da operação do primeiro ente até o fim da operação do segundo. Essa restrição temporal é o que torna o ente em interoperável, no sentido de a interoperação ser uma possibilidade que pode concretizar-se ou não.

Esse comportamento mantém-se em conjuntos de entes produzidos e geridos diretamente por uma mesma instituição/organização, como o relatado pelo entrevistado neea6n7lajtybzsxnxiu7 que relata um conjunto de entes composto por sistemas de suporte a atividades de negócio todos pertencentes à mesma organização, cada um com responsabilidades operacionais como faturamento, cobrança, mediação de parceiros e gestão de cliente. Nesse caso, apenas aumenta-se a possibilidade de que uma interoperação ocorra e reduz-se o espaço de tempo

entre o fim da operação de um ente para o início da operação de outro. Podendo haver, inclusive, interoperação com operações simultâneas.

Desse modo, pode-se dizer a interoperabilidade é a qualidade observável, caracterizada por um conjunto de possibilidades de interoperações que suporta uma atividade institucional ou produtiva, de um conjunto intra-operável de entes interoperáveis. Essa dedução teórica é condizente com os dados coletados expressos na forma de descrição da categoria “Interoperabilidade”, uma vez que interoperações comportam a noção de trabalho efetivo realizado por entes distintos por intermédio de trocas de símbolos estruturados em unidades de informação. E, o suporte a uma atividade institucional ou produtiva contempla a noção de condições impostas ao conjunto de entes.

5.4.3 Implicações sobre a decisão de fazer parte de um conjunto intra-operável

A existência de conjuntos intra-operáveis pressupõe a existência de um problema não técnico, produtivo pertencente a uma organização/instituição ou grupo social. Os entes interoperáveis são meios para a solução desse problema. Ainda que a escolha por essa solução possa ser natural ou não refletida, é aconselhável uma análise de viabilidade que sustente a condição da necessidade de uma política patrocinadora da construção de um ente interoperável (Categoria condição - Fatores humanos).

Talvez por uma grande variabilidade de áreas de aplicação ou pelo perfil dos respondentes, ainda que não tenham sido identificados nos dados, é evidente que outros fatores têm parte na análise de viabilidade para a solução de um problema com interoperabilidade. Contudo, ressalta-se a existência de entes que são ou contém *software*. Portanto, a análise da viabilidade de construir um conjunto intra-operável, construir um ente interoperável ou adequar um sistema para fazer parte de um conjunto é composto pelo custo do *software*.

Desse modo, tal decisão necessita da mensuração do custo, escopo e prazo para a conclusão do *software*, além de ponderações sobre a sua manutenibilidade. E essa mensuração precisa levar em conta os fatores técnicos, humanos e organizacionais expressos na categoria “Condição”. Essas condições aliadas aos fatos de que houve um crescimento na adoção de interoperabilidade em diversos setores econômicos a uma taxa de 49% em dois anos (ACCENTURE, 2022) e que estima-se que o mercado de tecnologias interoperáveis cresça a uma taxa anual de 13,59% entre os anos de 2022 e 2027 (INTELLIGENCE, 2023), somente no setor de saúde, pressionam o setor desenvolvimento de *software* com respeito à sua produtividade.

Essa pressão é particularmente desafiante, uma vez que o mercado de continua carente de desenvolvedores. Então, faz-se necessário pensar em fatores de aumento de produtividade como a garantia de ambientes de trabalho adequados (JOHNSON; ZIMMERMANN; BIRD, 2019) para a redução do *Turnover* para retenção de profissionais e de seus respectivos conhecimentos, e relações.

Outro fator limitante da entrada de novos entes em um conjunto intra-operável é a existência de padrões com custo de refatoração inviabilizante para entes que foram construídos previamente ao surgimento do conjunto. Isso é particularmente verdade para conjuntos que não aceitam símbolos traduzidos ou onde o custo de tradução desses símbolos é muito alto para a interoperação. Ou ainda, para conjuntos que usam padrões que forçam o armazenamento das unidades de informação de tal maneira a influenciar na arquitetura de *software* do ente.

5.4.4 Controle social do conjunto de entes

Todo conjunto de entes sofre um controle social implícito ou explícito. Esse controle é relativo às condições impostas ao conjunto e pode ser de quatro tipos: por imposição, por liderança, regulação ou por comensalismo. Esse controle é motivado por um valor subjacente à existência dos entes.

Por exemplo, o entrevistado neea6n7lajtybzsxnxiu7 relatou trabalhar a interoperabilidade em sistemas de suporte a negócios, que são de propriedade de uma mesma instituição: “*Charging, Billing, Mediation, and Customer Partnership and Management*”. Nesse caso, o valor subjacente a existência desses entes é o suporte às atividades da instituição que os detém. Qualquer atividade desses entes que não atenda a esse valor pode acarretar na retirada desse ente do conjunto. Logo, existe um controle social dos entes por imposição, onde uma única instituição dita qual ente pode ou não estar no conjunto. O valor está intimamente ligado às condições Organizacionais/Institucionais do conjunto.

O controle se dá por liderança quando o valor subjacente à existência dos entes é simplesmente a possibilidade de compartilhamento de dados. Esses conjuntos intra-operáveis surgem e admitem novos membros de forma não gerenciada. É o caso relatado pelo entrevistado iq794i9q2y3gl6pj8k4q:

“Actually, I’ve designed quite more than one. Examples: - KnetMiner, a platform

for exploratory research in molecular biology, focused on plant biology, providing knowledge graphs based on standards like bioschemas and OBO ontologies - EBI RDF, an RDF version of many data published by the European Bioinformatics Institute. [...]"

Ou seja, a inclusão do novo ente no conjunto se dá exclusivamente pelo fato da repetição da exportação de dados em um formato já adotado previamente por outros entes dentro de um mesmo domínio. Sobressaindo-se um fator técnico relativo ao valor da possibilidade de compartilhamento.

Quando existe uma regulação externa às instituições detentoras dos entes, ou um acordo entre essas instituições sobre algum fator técnico que caracterize os entes de um conjunto, ocorre o controle social por regulação. Nesse contexto, o valor reside no resultado do fator técnico regulado como o significado dos símbolos compartilhados em unidades de informação. Esse tipo de controle foi evidenciado pelo entrevistado cc7f8bbbyzb1rbdImtttd: *"community based development, agreement, adoption"*.

Há também o controle social do conjunto por comensalismo. Ocorre como no caso retratado pelo entrevistado nxn0z215i82gal6btbj4 que fez um longo relato do desenvolvimento de um ente que necessitava de dados de sistemas de entes em esferas distintas de Governo. O ente em desenvolvimento se beneficiava dos dados dos demais sem fornecer nenhum benefício em troca.

5.4.5 A influência da manutenção das relações para solução de problemas via diálogo.

A fala do entrevistado cc7f8bbbyzb1rbdImtttd a respeito do desenvolvimento baseado em comunidade introduz um importante fator humano para a criação, entrada e permanência de um ente em um sistema interoperável: o diálogo. Esse fator também foi citado na forma da palavra *"polítia"* por outros entrevistados (wr7ofm0lfn2uoen7hjjc, nxn0z215i82gal6btbj4, nxn0z215i82gal6btbj4).

Em conjuntos socialmente regulados o diálogo ocorre também com a porção não-técnica das partes interessadas na interoperabilidade. E, pode ocorrer com tomadores de decisões, reguladores e legisladores que estão muito longe da operação de qualquer conjunto. É o caso da regulação sobre os registros eletrônicos de saúde nacionais. A Portaria 2.073 de 2011 do

Ministério da Saúde (BRAZIL, 2011) é um exemplo de um diálogo que começa com a sociedade civil organizada, envolvendo produtores de *software* e pesquisadores de interoperabilidade da área de informática em saúde.

O diálogo é condição existente até mesmo em conjuntos socialmente impositivos ainda que em menor grau. Pois, dependem do “modelo organizacional subjacente” (fj3swwg5km3pq5w3bve5) e podem requerer a interoperabilidade entre entes “mesmo tendo sido concebidos utilizando conceitos organizacionais distintos” (fj3swwg5km3pq5w3bve5). Esse modelo organizacional é o reflexo do diálogo preexistente na organização para a estruturação dos próprios processos organizacionais. Possuem portanto, um caminho de solução para os problemas institucionais que restringem as adoções tecnológicas, como expresso pelo entrevistado wr7ofm0lfn2uoen7hjjc: “Governança, consenso e vontade política. Tecnologia já é abundante.”.

Com relação aos conjuntos socialmente liderados, o diálogo ocorre na forma de aprovação explícita ou tácita entre as partes interessadas nos entes. Por exemplo, um determinado ente resolve exportar os seus dados em formato xml compartilhando o modelo com uma comunidade. A comunidade reconhecendo a importância ou liderança do ente passa a importar e exportar dados obedecendo ao mesmo modelo.

Por fim, em conjuntos onde um ente exerce comensalismo, o diálogo surge no sentido de pedido ou articulação para que os detentores dos outros entes possam facilitar o acesso aos produtos de trabalho. Ou, pode não existir diálogo algum quando os demais entes já oferecem formas de acesso aos seus produtos de trabalho previamente à existência do ente comensalista.

5.5 CONCLUSÕES

Dados os argumentos apresentados nas subseções anteriores, o contorno teórico analisado passa a ser: a interoperabilidade é a qualidade observável, caracterizada por um conjunto de possibilidades de interoperações que suporta uma atividade institucional ou produtiva, de um conjunto intra-operável de entes interoperáveis, só podendo ocorrer mediante a satisfação de condições que, por sua vez, restringem o próprio conjunto. Essas condições influenciam-se mutuamente e subdividem-se em três grupos: organizacionais/institucionais, fatores humanos e fatores técnicos.

Os fatores humanos e técnicos influenciam o problema a ser resolvido pela interoperabilidade e que incide sobre as condições organizacionais. Os fatores humanos têm parte na conciliação do uso de símbolos, ponderando as questões organizacionais e técnicas. E, são

provedores de interoperabilidade, fazem uso de símbolos e são frutos de negociações humanas em um ambiente organizacional.

Ainda, os conjuntos intra-operáveis possuem 4 tipos de organização e controle social: por imposição, regulação, liderança ou comensalismo. O diálogo tem um papel central na formação dos conjuntos e sua intensidade é variável de acordo com o tipo de controle social exercido, como resumido na Tabela 10.

Tabela 10 – Controle social e intensidade do diálogo em conjuntos. Fonte: O autor(2024).

Controle social dos entes	Qualidade do diálogo
Regulação	Amplo, envolvendo pessoas não relacionadas diretamente ao conjunto de entes.
Liderança	Amplo, feito por terceiros que compactuam com a forma de compartilhamento do líder.
Imposição	Restrito, realizado internamente à instituição detentora dos entes.
Comensalismo	Restrito, podendo não existir.

6 AVALIAÇÃO

A avaliação dos resultados da análise deu-se de três formas, abaixo descritas: pela auto-avaliação e critérios descritos por Charmaz (2006). Também contra as condições descritas por Diallo et al. (2011) para a existência de uma teoria de interoperabilidade (ambos descritos no Capítulo 3) .

6.1 CONDIÇÕES PARA A EXISTÊNCIA DE UMA TEORIA SOBRE A INTEROPERABILIDADE

Na perspectiva de Diallo et al. (2011), uma teoria de interoperabilidade deve ser capaz de:

1. Conhecer os requisitos necessários e suficientes para a interoperabilidade;
2. Definir dado, informação, informação útil e contexto;
3. Explicar a dualidade da interoperabilidade, que leva ao paradoxo da necessidade infinita de interfaces;
4. Explicar a interoperabilidade sem cair em uma recursão infinita;
5. Explicar a interoperabilidade como um todo.

Partindo da análise de quadro definições de interoperabilidade Diallo et al. (2011) conclui que existem duas condições suficientes e necessárias para que a interoperabilidade ocorra: troca de informações e a utilidade da informação. O contorno teórico resultado da análise fundamentada em dados contempla essas duas condições ainda na sua primeira sentença: a interoperabilidade é a qualidade observável, caracterizada por um conjunto de possibilidades de interoperações que suporta uma atividade institucional ou produtiva.

A utilidade da informação está expressa no suporte a uma atividade institucional ou produtiva. Já a noção de troca de informações está embutida no conjunto de possibilidades de interoperações, ainda que a noção de interoperação vá mais a fundo do que somente a mera troca de informações. Assim, sendo, o contorno teórico atenderia as condições necessárias e suficientes especificadas pelo autor.

Mas, realmente somente essas duas condições são necessárias para que a interoperabilidade ocorra? Um dos trabalhos relacionados debate a interoperabilidade de forma ampla e pode

contribuir diretamente para a avaliação do contorno teórico alcançado no capítulo anterior e para julgar as condições apontadas. Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), resumiram 33 definições distintas de interoperabilidade, transcritas integralmente para a Tabela 11.

Tabela 11 – Definições de Interoperabilidade elencados por (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007)

ID Definition

- 1 The ability of systems, units, or forces to provide services to and accept services from other systems, units, or forces and to use the services so exchanged to enable them to operate effectively together.
- 2 The ability of one system to receive and process intelligible information of mutual interest transmitted by another system.
- 3 Electronic Interoperability. A special form of interoperability whereby two or more electronic equipments, especially communications equipments, can be linked together, usually through common interface characteristics and so operate the one to the other.
- 4 Logistic Interoperability. A form of interoperability whereby the service to be exchanged is assemblies, components, spares, or repair parts. Logistic interoperability will often be achieved by making such assemblies, components, spares, or repair parts interchangeable, but can sometimes be a capability less than interchangeability when a degradation of performance or some limitations are operationally acceptable.
- 5 The effort required to couple one system with another.
- 6 Interoperability means the ability of two or more parties, machine or human, to make a perfect exchange of content. Perfect means no perceptible distortions or unintended delays between content origin, processing and use.
- 7 The ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged.
- 8 Interoperability among components of large-scale, distributed systems is the ability to exchange services and data with one another.
- 9 The ability to communicate with peer systems and access their functionality.
- 10 Operational Interoperability. The ability of systems, units, or forces to provide services to or access services from other systems, units, or forces, and to use the services to operate effectively together.
- 11 Technical Interoperability. Interoperability is the ability of systems to provide dynamic interactive information and data exchange among C4I nodes for planning, coordination, integration, and execution of Theater Air Missile Defense operations.
- 12 Technical Interoperability. The condition achieved among communications-electronics systems or items of communications- electronics equipment when information or services can be exchanged directly and satisfactorily between them and/or their users. The degree of interoperability should be defined when referring to specific cases.
- 13 JCS defines interoperability as the condition achieved between systems when information or services are exchanged directly and satisfactorily between the systems and/or their users.
- 14 The ability of two or more systems of elements to exchange information and to use the information that has been exchanged.
- 15 The capability for units of equipment to work together to do useful functions.

- 16 The capability, promoted but not guaranteed by joint conformance with a given set of standards, that enables heterogeneous equipment, generally built by various vendors, to work together in a network environment.
- 17 The ability of two or more systems or components to exchange information in a heterogeneous network and use that information.
- 18 The ability of systems to work together.
- 19 The ability of different types of computers, networks, operating systems, and applications to work together effectively, without prior communication, in order to exchange information in a useful and meaningful manner. There are three aspects of interoperability: semantic, structural, and syntactical.
- 20 (1) Ability of information systems to communicate with each other and exchange information. (2) Conditions, achieved in varying levels, when information systems and/or their components can exchange information directly and satisfactorily among them. (3) The ability to operate software and exchange information in a heterogeneous network (i.e., one large network made up of several different local area networks). (4) Systems or programs capable of exchanging information and operating together effectively.
- 21 Programmatic Interoperability. Programmatic interoperability encompasses the activities related to the management of one program in the context of another program.
- 22 Constructive Interoperability. Constructive interoperability addresses those activities related to construction and maintenance of one system in the context of another system. Constructive interoperability includes the common use of architecture, standards, data specifications, communication protocols, languages, and COTS products to build interoperable systems.
- 23 Operational Interoperability. Operational Interoperability refers to the activities related to the operation of a system in the context of other systems. These activities include: doctrine governing the way the system is used, conventions for how the user interprets information derived from interoperating systems (i.e., the semantics of interoperation), and strategies for training personnel in the use of interoperating systems.
- 24 The ability of systems to work together.
- 25 The ability of systems to exchange and use services.
- 26 The degree to which a set of communicating systems are (i) able to exchange specified state data, and (ii) operate on that state data according to specified, agreed to, operational semantics.
- 27 The ability to integrate data, functionality and processes with respect to their semantics.
- 28 Ability to achieve "cooperation" is generally termed "interoperability."
- 29 The ability of one services' system to receive and process intelligible information of mutual interest transmitted by another service's system.
- 30 The ability of a set of communicating entities to (1) exchange specified state data and (2) operate on that state data according to specified, agreed-upon, operational semantics.
- 31 Interoperability is defined as the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged.
- 32 IDEAS Project defines interoperability as the ability of interaction between enterprise software applications. The interoperability is considered achieved if interactions can, at least, take place at three levels: data, application, and business process with the semantics defined in a business concept.
- 33 Ability of two or more devices to work together in one or more applications.
- 34 The ability to operate in synergy in the execution of assigned tasks.

Dentre as definições dessa tabela, é possível encontrar algumas que não possuem a noção de informação útil, como é caso das definições de lds 5, 9 e 18. E outras definições que não

possuem a troca de informações como elemento necessário à interoperabilidade, com é o caso das definições de Ids 3, 15 e 18. Porém, todas as definições apresentam elementos que são úteis à explicação da interoperabilidade nos moldes do contorno teórico encontrado.

A Tabela 12 apresenta quais elementos dessas definições correspondem a quais categorias teóricas demonstradas na Figura 7. Nessa tabela, a primeira coluna apresenta um ID de correspondências com a tabela de definições apresentada anteriormente. As demais colunas representam categorias teóricas apresentadas no Capítulo 5. As células marcadas com “X” indicam quais definições (linhas) contemplam as categorias teóricas das respectivas colunas. De modo análogo, as células marcadas com “-” indicam quais definições contemplam parcialmente, ou possuem potencial de contemplar as categorias teóricas das respectivas colunas. As células em branco são um indicativo da incompletude da definição de interoperabilidade analisada com relação às categorias teóricas.

Dessas observações, é possível concluir que:

- Todas as definições analisadas por (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007) e (DIALLO et al., 2011) são hipossuficientes para descrever a interoperabilidade;
- Existem mais requisitos necessários à interoperabilidade do que os defendidos no estudo de Diallo et al. (2011).

A primeira conclusão merece ser desdobrada para um aprofundamento da importância das categorias teóricas elencadas. Trabalho que é realizado na Seção 6.2 abaixo. Já a segunda, tem um potencial dismantelador das demais características de uma pretensa teoria listada pelo autor, uma vez que a primeira característica foi utilizada como premissa para as demais. Ainda assim, cabem alguns comentários breves.

Diallo et al. (2011) afirma que no estado da arte atual, a determinação do que é útil é completamente dependente do sistema que recebe dados e o sistema que envia dados não tem a capacidade de compreender se os dados enviados foram úteis ou não. Essa afirmação não é falsa no contexto de premissas e proposta de solução buscadas pelo autor.

No entanto, não condiz com a realidade dos dados coletados e analisados nessa tese. Em primeiro lugar, por considerar sistemas, suas respectivas comunicações e consequências da interoperabilidade como algo isolado, auto-suficiente e capaz de ser operado sem interferências não técnicas.

Segundo, por ignorar que a utilidade atribuída a um dado ou informação parte inicialmente de um problema organizacional/institucional, donde sai o valor que determina a utilidade da

Tabela 12 – Análise comparativa do contorno teórico alcançado com os conceitos listados por (Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, 2007)

ID	Tipo de Sistema		Finalidade	Condição			Símbolos
	Ente	Conjunto		Fatores humanos	Fatores organizacionais/institucionais	Fatores técnicos	
1	X	X					
2	X			-			-
3	X	X				X	
4						-	X
5	X						
6	X	X	X	-		-	-
7	X	X	X				-
8	X	X				-	-
9	X	X					
10	X	X					
11	X	X	X		-	X	-
12	X	X	X	-		-	-
13	X	X	-				-
14	X	X	-				-
15	X	X	X				
16	X			-		-	X
17	X	-	-			-	-
18	X						
19	X	X	-	-		X	X
20	X	X	-			-	-
21	X	-	X			-	
22	X	X	X			X	X
23	X	X	X	X	X	-	-
24	X						
25	X						-
26	X	X		X		-	X
27				X			X
28			-	X			
29	X	X		-			-
30	X	X		X	-	X	X
31	X	X	-				-
32	X	X	X	X	X		-
33	X	X					
34			X				

unidade de informação compartilhada. E, ainda que cite o contexto sem maiores explicações de seu significado, não considera que o valor também deriva do diálogo que é um fator humano conciliador do sentido de utilidade da informação no contexto dos entes intra-operáveis.

Sendo assim, somente considerando as condições expressas em fatores organizacionais, técnicos e humanos, como descrito no contorno teórico das conclusões do Capítulo 5 é possível definir instâncias de dado, informação, informação útil e contexto para conjuntos intra-operáveis.

O que Diallo et al. (2011) chama de dualidade da interoperabilidade é o argumento de que é necessária uma sequência infinita de interfaces quando um modelo é uma interface entre modelos. O autor, critica esse argumento e apresenta soluções técnicas para que esse paradoxo não ocorra. Essa preocupação é relevante no contexto argumentativo do autor que buscava um conciliação automatizada entre modelos de dados distintos oferecendo um modelo como serviço “*broker*” entre modelos de dados distintos de sistemas distintos.

No contexto do contorno teórico fundamentado nos dados analisados, essa preocupação recai e pode ser explicada mais uma vez na forma de um conjunto de condições organizacionais e técnicas. Além disso, em consonância com as críticas do referido autor, tanto a dualidade quanto o paradoxo deixam de existir em conjuntos de controle social por regulação ou liderança.

Por fim, a própria conclusão de um estudo posterior (DIALLO, 2016) é consonante com essas afirmações. Ao tentar teorizar a interoperabilidade de forma computável, o autor percebeu que não é possível que ela seja resolvida por uma Máquina de Turing e afirmou que o julgamento sobre a interoperabilidade deve ocorrer dependendo caso a caso de acordo com contextos, objetivos e métricas.

6.2 OUTRAS DEFINIÇÕES PRESENTES NA LITERATURA

Até então, pode-se observar que as categorias teóricas são suficientes para descrever todas as definições analisadas. No entanto, existem outros trabalhos que foram indicados nos resultados da análise bibliométrica do Capítulo 4. Portanto, é relevante também analisá-los como forma de avaliação contínua do contorno teórico encontrado.

Dentre os trabalhos encontrados e classificados como discussões conceituais na revisão bibliométrica, apenas os elencados na última coluna da Tabela 13 apresentam definições distintas das já sumarizadas por Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007). Os demais estudos discutem questões relativas à interoperabilidade sem propriamente defini-la,

Tabela 13 – Outras definições encontradas na literatura

ID	Definição	Utilizada
35	Generally speaking, interoperability is the ability for two systems to understand one another and to use functionality of one another.	(CHEN; DOUMEINGTS; VER-NADAT, 2008)
36	E-Government interoperability is the technical capability for e-Government interoperation.	(SCHOLL; KLISCHEWSKI, 2007)
37	Interoperability refers to a property of diverse systems and organizations which enables them to work together.	(SCHOLL; KLISCHEWSKI, 2007)
38	Interoperability is the ability of government organizations to share information and integrate information and business processes by use of common standards and work practices.	(GOTTSCHALK, 2009)
39	Interoperability is more than “digital plumbing”—making sure that computers talk so that bits of data flow properly. Fundamentally, interoperability is people talking and sharing information. Sharing information reduces the “paperwork burden” on the citizen, streamlines work processes, and enriches the formulation, implementation, and evaluation of policy.	(LANDSBERGEN; WOLKEN, 2001)

Tabela 14 – Comparação com outras definições encontradas na literatura

ID	Tipo de Sistema		Finalidade	Condição			Símbolos
	Ente	Conjunto		Fatores humanos	Fatores organizacionais/institucionais	Fatores técnicos	
35	X	X					-
36							
37	X	X					
38					-	-	X
39			X	-	-		-

com exceção do artigo de Mensh, Kite e Darby (1989) que utiliza a definição de ID 1 da Tabela 11. A Tabela 14 avalia essas outras definições e de sua análise observa que, nem todas apresentam a noção de troca de informação e de informação útil. E também é possível concluir que são hipossuficientes para descrever a interoperabilidade.

Como a revisão bibliométrica (Capítulo 4) contém estudos publicados até o ano de 2020, se fez necessário buscar na literatura estudos recentes com o potencial de conter outras definições de interoperabilidade. A Tabela 15 apresenta o resultado dessa busca. Ao todo foram encontrados 19 novos estudos dos quais 9 apresentaram definições iguais às definições previamente analisadas. Não foi possível ter acesso aos outros 10 por limitações do acordo institucionais. Sendo assim, não foi possível encontrar evidências de que o contorno teórico encontrado não seja suficiente para descrever as definições de interoperabilidade presentes na literatura.

Essa nova busca retornou um novo estudo (TORRES et al., 2023) que trata da construção de uma teoria de interoperabilidade. Nesse artigo os autores propõem uma teoria axiomática derivada de frameworks de interoperabilidade retirados da literatura. A teoria gerada contém 7 axiomas (partes da interoperabilidade) com a função de descrição do funcionamento da interoperabilidade em sistemas de software.

Tabela 15 – Resultado da busca por novas definições entre os anos 2021 e 2024

Referência	Citação
(LIU et al., 2023)	Não foi possível ter acesso
(KIM; JUNG; CHOI, 2022)	Não foi possível ter acesso
(AKBAR et al., 2022)	Não foi possível ter acesso
(BENNING; DUMOULIN, 2023)	Não foi possível ter acesso
(NILSSON et al., 2024)	Não foi possível ter acesso
(KABANOV; KRAMAR, 2022)	Não foi possível ter acesso
(CHARLEBOIS et al., 2023)	Não foi possível ter acesso
(HELMANN et al., 2023)	Não foi possível ter acesso
(LEMUS-ZÚÑIGA et al., 2022)	Não foi possível ter acesso
(FITSILIS; KALOGIROU, 2021)	Não foi possível ter acesso
(DHANDAYUTHAPANI, 2024)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(YUSDIAN et al., 2023)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(GIEREND et al., 2023)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(WAHYUNI et al., 2024)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(RAMOS et al., 2023)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(PRADHAN; MANSO; MICHAELIS, 2021)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(HELMANN et al., 2023)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(CHARLEBOIS et al., 2023)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas
(DIAS et al., 2022)	Não possui nenhuma definição diferente das já analisadas

O estudo de Torres et al. (2023) difere-se da presente epistemologicamente, metodologicamente e com relação aos resultados pretendidos. Epistemologicamente assume um viés positivista em contraste com o viés construtivista aqui adotado. Metodologicamente, se baseia em uma revisão da literatura e não de dados fundamentados em realidades descritas por sujeitos. Com relação aos resultados pretendidos, o estudo de Torres et al. (2023) foca em uma teoria de interoperabilidade para sistemas de software, enquanto essa tese objetiva uma teoria de interoperabilidade que possa explicar qualquer tipo de sistema interoperável. Ainda, do ponto de vista de completude quanto à capacidade descritiva da teoria pretendida, o estudo

de Torres et al. (2023) possui apenas 7 axiomas descritivos, enquanto o contorno teórico aqui defendido possui 19 códigos e categorias descritivas da interoperabilidade.

6.3 UMA TEORIA FUNDAMENTADA SOBRE A INTEROPERABILIDADE

Uma vez que o contorno teórico apresentado possui categorias capazes de conter todas as 39 definições de interoperabilidade analisadas, este pode ser considerado como uma teoria sobre a interoperabilidade? Essa pergunta pode ser respondida por dois caminhos que se reforçam: o das reflexões de de (DIALLO et al., 2011) e o da natureza metodológica desse estudo.

É logicamente aceitável assumir que uma teoria sobre a interoperabilidade deve: conhecer os requisitos necessários e suficientes para a interoperabilidade, e explicar a interoperabilidade como um todo. Partindo desse primeiro ponto, a análise das definições presentes na literatura não só aponta a hipossuficiência dessas, mas a necessidade das categorias teóricas para explicar todas as definições ao mesmo tempo. E, também, nenhuma definição apresenta qualquer elemento que não possa ser explicado pelas categorias teóricas. Logo, existe um indicativo de que o contorno teórico é necessário e suficiente para explicar a interoperabilidade pela necessidade e suficiência das suas categorias para explicar as definições de interoperabilidade encontradas na literatura.

Na perspectiva de (DIALLO et al., 2011), uma teoria de interoperabilidade pode explicar a interoperabilidade como um todo se além de reconhecer os elementos suficientes e necessários, descrevê-la ocorrendo em níveis. É aparente a falsidade dessa premissa ao se observar que: nenhuma definição presente na literatura trata sobre níveis de interoperabilidade mesmo que alguns autores discutam esses níveis conceitualmente; apenas um dos entrevistados cita a existência de níveis, não sendo possível alcançar a saturação do código relativo a essa observação; e, a estratificação da interoperabilidade por níveis parece uma arranjo não natural da categoria teórica de restrições do contorno teórico.

Por outro lado, em uma perspectiva metodológica, o presente estudo seguiu o paradigma pragmático da pesquisa científica. Onde epistemologicamente, “O conhecimento é derivado da experiência. O pesquisador restaura o significado subjetivamente atribuído e ‘objetivo’ de outras ações.” (ŽUKAUSKAS; VVEINHARDT; ANDRIUKAITIENÈ, 2018). Assumiu-se também uma perspectiva teórica interacionista simbólica que é uma faceta do construcionismo social inerente ao método de GT de Charmaz (2006), onde se pressupõe que as pessoas criam

realidades sociais em uma determinada época e em um determinado espaço (Premissa 1).

A saturação teórica foi atingida em todas as categorias presentes no contorno teórico final, por exaustão das definições oriundas das respostas coletadas durante as cinco rodadas de coleta (Premissa 2). A GT é “um método de condução da pesquisa qualitativa que se concentra na criação de esquemas conceituais de teorias por meio da construção da análise indutiva dos dados” (CHARMAZ, 2006) (Premissa 3). Então, pode-se deduzir que o contorno teórico resultante do processo de análise é: necessário e suficiente para explicar a interoperabilidade, explica a interoperabilidade por completo e é uma teoria fundamentada nos dados.

Uma vez que há uma teoria e, como demonstrado, trata aspectos humanos, sociais e organizacionais como parte do próprio sistema (SOMMERVILLE et al., 2012), ela serve para responder positivamente à provocação inicial dessa pesquisa: qual é a teoria de interoperabilidade de bases sócio-técnicas, que possa servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida? E, por consequência, o atendimento ao objetivo geral de formular uma teoria de interoperabilidade de bases sócio-técnicas, que possa servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida.

6.4 CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Uma auto-avaliação de qualidade quanto a avaliação da condução de uma pesquisa utilizando o método de GT é proposta por Charmaz (2006) em termos de credibilidade, originalidade, ressonância e utilidade. As perguntas dessa avaliação estão expressas no Capítulo 3.

Quanto à credibilidade, durante a pesquisa foi possível alcançar uma familiaridade íntima com o tópico a partir dos relatos dos participantes. Tal familiaridade está expressa na discussão dos códigos no capítulo anterior. Também, foi possível coletar dados suficientes para satisfazer todas as afirmações. Estas, estão intimamente ligadas aos dados de modo que toda afirmação é acompanhada de uma citação direta de ao menos uma entrevista.

Ainda, foram realizadas comparações sistemáticas entre as observações e entre as categorias. As categorias cobrem uma ampla variedade de observações empíricas, de modo que, foram ao todo, 479 observações na forma de excertos de texto. As categorias são códigos promovidos a categoria por volume de observações ou surgiram para organizar sub-categorias

com as mesmas características. Cabe elencar que há conexões lógicas fortes entre os dados coletados, o seu argumento e a sua análise. Por fim, a pesquisa está descrita de forma a permitir que um leitor formule uma avaliação independente.

Do ponto de vista da originalidade, pode-se afirmar que as categorias são novas e oferecem novos *insights*, estando isso expresso em alguns pontos da análise: a noção temporal que trata a interoperabilidade como uma possibilidade, ao tratar o controle social da interoperabilidade, ao restringir a interoperabilidade a um conjunto intra-operável de entes, ao trazer à tona a centralidade do diálogo no controle social dos entes.

A análise apresenta uma nova interpretação conceitual dos dados. Além de chamar a atenção para elementos totalmente ou parcialmente desconsiderados nas definições de interoperabilidade utilizados pela comunidade acadêmica.

Com respeito à ressonância, as categorias retratam a plenitude da experiência estudada, permitindo revelar tanto os significados pressupostos quase imperceptíveis quanto os inicialmente instáveis. Também foi possível esboçar conexões entre casos específicos de uma observação e experiências coletivas. Ademais, a análise pode oferecer sentidos novos para os participantes e pessoas que compartilham as mesmas circunstâncias.

Também é possível afirmar a utilidade da teoria gerada para pessoas interessadas, envolvidas ou que pretendem participar da construção de um sistema interoperável. Os processos gerais sugeridos pelas categorias analíticas permitem a utilização da teoria em diversos domínios.

6.5 CONCLUSÕES

Após decorrido o caminho de avaliação do contorno teórico apresentado no Capítulo 5, é possível concluir que:

1. a troca de informações e a utilização da informação trocada não são suficientes para descrever a interoperabilidade;
2. as definições de interoperabilidade presentes na literatura revisada são hipossuficientes para descrever a interoperabilidade;
3. o contorno teórico resultante da análise realizada contém as categorias suficientes e necessárias para descrever a interoperabilidade, como discutido nas Seções 6.1 e 6.2;

4. o contorno teórico resultante da análise realizada descreve a interoperabilidade completamente. Pela presença de categorias teóricas mais do que suficientes para explicar as definições de interoperabilidade já existentes;
5. por dedução, o contorno teórico é uma teoria de interoperabilidade fundamentada em dados;
6. essa teoria tem bases sócio-técnicas;
7. essa teoria serve de explicação para a interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese foi construída assumindo-se uma carência de visões teóricas sobre a interoperabilidade de sistemas. Diante disso, tomou como objetivo geral formular uma teoria de interoperabilidade de bases sócio-técnicas, que possa servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida.

Tendo também como objetivos específicos: identificar quais são os artigos, autores, revistas e disciplinas que mais influenciaram a pesquisa sobre interoperabilidade; e, delimitar uma amostra não probabilística de sujeitos que aleguem ter trabalhado, construído ou interagido em sistemas interoperáveis.

O percurso metodológico adotado foi de posicionamento pragmático, multi-metodológico, utilizando-se de métodos quantitativos bibliométricos visando alcançar os objetivos específicos e a utilização do método de GT visando o objetivo geral. Seguindo os procedimentos propostos, os objetivos puderam ser alcançados integralmente.

A etapa quantitativa da metodologia utilizada resultou nas seguintes conclusões:

1. a investigação sobre interoperabilidade é, de fato, interdisciplinar;
2. não há predomínio de publicações sobre a interoperabilidade em veículos de uma área específica do conhecimento;
3. estudos de pesquisa em interoperabilidade são aplicações de técnicas de interoperabilidade em problemas de múltiplas áreas do conhecimento;
4. os autores analisados tendem a publicar uma solução para um problema relacionado à interoperabilidade com aplicação em alguma área específica do conhecimento e não se sentem estimulados a contribuir de forma mais aprofundada para a interoperabilidade em si;
5. há predominância de publicações que tratam a interoperabilidade como um recurso existente ou desejável em um sistema de *software*;
6. administração e Ciência Sociais são as áreas do conhecimento onde predominam as discussões conceituais sobre interoperabilidade;
7. os conceitos de interoperabilidade encontrados são de 15 a 41 anos atrás;

8. a proposição de soluções com interoperabilidade não se fundamenta, pelo menos explicitamente, em conceitos de interoperabilidade ou se fundamenta em conceitos antigos e potencialmente ultrapassados.

Essa etapa da pesquisa gerou outros resultados que fogem ao escopo da tese como um artigo que foi aceito e está aguardando publicação em uma edição especial do *Journal of Health Informatics*. Além disso, um recorte dos dados permitiu a publicação de uma outra revisão bibliométrica voltada para a interoperabilidade em Learning Management Systems (LMS) (??) no Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Um terceiro que discute a inclusão de uma disciplina de engenharia de *software* voltada para a interoperabilidade de sistemas em cursos de graduação e pós-graduação de computação está sob avaliação em um evento internacional. Esse último utilizou não só o método de contagem de citações, mas o de co-palavras e de acoplamento bibliográfico.

Afora essa produção científica tangível, orientações de trabalhos de conclusão de curso, iniciações científicas e tecnológicas também foram derivadas e executadas com a mesma temática e métodos quantitativos dessa tese. Um trabalho de conclusão abordou o problema da correção ortográfica de dados bibliométricos, uma iniciação tecnológica abordou a integração de algoritmos e ferramentas de construção de *strings* de busca e condução de pesquisa bibliométrica. E, outro projeto de iniciação tecnológica abordou a criação de *clusters* de contêineres para o processamento paralelo de dados bibliométricos.

A exploração da base de dados gerada nessa etapa também permitiu a orientação de uma iniciação científica e de um trabalho de conclusão de curso sobre as arquiteturas de sistemas de *software* interoperáveis. E, uma pesquisa de iniciação científica sobre premissas e técnicas de testes utilizadas em sistemas interoperáveis que está sob avaliação em um evento de abrangência nacional.

A etapa quantitativa da metodologia permitiu compreender que a interoperabilidade é a qualidade observável, caracterizada por um conjunto de possibilidades de interoperações que suporta uma atividade institucional ou produtiva, de um conjunto intra-operável de entes interoperáveis. Só podendo ocorrer mediante a satisfação de condições que, por sua vez, restringem o próprio conjunto. Essas condições influenciam-se mutuamente e subdividem-se em três grupos: organizacionais/institucionais, fatores humanos e fatores técnicos.

Que os fatores humanos e técnicos influenciam o problema a ser resolvido pela interoperabilidade e que incide sobre as condições organizacionais. Os fatores humanos tem parte na

conciliação do uso de símbolos, ponderando as questões organizacionais e técnicas. E, são provedores de interoperabilidade, pois fazem uso de símbolos e são frutos de negociações humanas em um ambiente organizacional.

Também permitiu compreender que os conjuntos intra-operáveis possuem 4 tipos de organização e controle social: por imposição, regulação, liderança ou comensalismo. O diálogo tem uma papel central na formação dos conjuntos e sua intensidade é variável de acordo com o tipo de controle social exercido. Então a avaliação desses achados teóricos permitiu as seguintes conclusões:

1. a troca de informações e a utilização da informação trocada não são suficientes para descrever a interoperabilidade;
2. as definições de interoperabilidade presentes na literatura revisada são hipossuficientes para descrever a interoperabilidade;
3. o contorno teórico resultante da análise realizada contém as categorias suficientes e necessárias para descrever a interoperabilidade;
4. o contorno teórico resultante da análise realizada descreve a interoperabilidade completamente;
5. por dedução, o contorno teórico é uma teoria de interoperabilidade fundamentada em dados;
6. essa teoria tem bases sócio-técnicas;
7. essa teoria serve de explicação para a interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Existe um conjunto grande de possibilidades de pesquisas futuras partindo dessa tese. Há espaço para uma análise mais profunda dos dados recolhidos, centrando-se em áreas de investigação ou domínios de aplicação específicos. Portanto, a execução de outras análises bibliométricas como a co-citação, o acoplamento bibliográfico, a análise de co-palavras podem buscar uma compreensão mais aprofundada da área de estudos sobre interoperabilidade.

Investigar a base teórica das soluções tendo a interoperabilidade como característica e a partir de ambientes interoperáveis também é uma oportunidade para pesquisas futuras. Nesse sentido cabe buscar a classificação desses ambientes interoperáveis de acordo com a teoria aqui proposta. Além disso, também cabe aprofundar a dualidade excludente aparente entre as condições para que a interoperabilidade ocorra e os níveis de interoperabilidade defendidos por alguns autores e *frameworks*.

Há também oportunidades de pesquisa para o desenvolvimento de ferramentas de automação para o processo de construção de *strings* de busca e ferramentas que auxiliem na higienização da base bibliométrica, principalmente no pré-processamento de referências citadas e na eliminação de estudos com versões atualizadas e ampliadas já publicadas.

As discussões sobre a tomada de decisão à respeito da entrada de um novo ente em um conjunto intra-operável abre espaço para pesquisas que subsidiem análises de viabilidade e considerações sobre a produtividade de times de *software*. Também estudos que explorem o diálogo dentro dos aspectos humanos da engenharia de *software*.

7.2 LIMITAÇÕES

Vale ressaltar que a análise de citações se concentra apenas nos artigos mais citados, levantando o debate entre sociólogos da ciência e pesquisadores bibliométricos sobre se a soma dos artigos menos citados não pode ser mais significativa do que a influência dos artigos mais citados. Além disso, uma discussão exaustiva foi conduzida por Cole e Cole (1972), Macroberts e Macroberts (1987) e Martin (2012). Van Raan (1996), alerta para o risco de viés na análise de citações provocado por autocitações e citações “*in-house*”. Mesmo com resultados não tão expressivos, como abordado por Garfield (1979) e Zupic e Čater (2015), em algumas citações mais incomuns, a intenção é refutar ou criticar o artigo citado.

Contudo, Coombes e Nicholson (2013) afirmam que é impossível identificar as motivações por trás de uma citação, o que pode afetar qualquer estudo. Portanto, para fortalecer esse ponto, estas situações devem ser consideradas limitações inerentes aos estudos bibliométricos. Além disso, devido ao volume significativo de dados esperados para análise, a desambiguação e a verificação da correção ortográfica dos nomes dos autores não podem ser feitas. Dessa forma, qualquer interpretação que leve a uma lista de eventuais autores influentes dependerá da justificada redução do volume de dados analisados.

Criado inicialmente para classificar programas instrucionais, este estudo utilizou os códigos

CIP para uma função diferente. Contudo, era necessário um parâmetro de classificação em áreas de conhecimento, e a classificação do CIP cumpria o papel de classificação para tal finalidade na ausência de outra mais adequada. Vale ressaltar que a CIP é mantida por órgão governamental e revisada periodicamente sem perder a retrocompatibilidade entre suas versões.

Dentro dos artigos que figuram entre os mais citados historicamente e em suas respectivas áreas do conhecimento existem alguns exemplares identificados como mal classificados na avaliação de seus resumos. Portanto, foram retirados os artigos de Yang *et al.* (YANG *et al.*, 2009), Walters *et al.* (WALTERS *et al.*, 2017) e Francillon (FRANCILLON, 1974) a partir da classificação feita na seção 4.1. Contudo, essa situação não pode ser considerada como prova crítica da ineficiência do processo de composição da base de dados bibliométrica. Finalmente, utilizando outros métodos de seleção de artigos, números superiores de artigos serão, sem dúvida, excluídos durante a leitura dos resumos.

O volume de respostas recebidas no formulário eletrônico enviado, apesar de baixo (4,5%) não figura como uma limitação significativa. Isso, dado que, o método de análise empregado é de viés qualitativo e busca a construção de evidências não pela sumarização de dados que se repetem, mas pela identificação da construção social em volta dos termos presentes nas respostas analisadas. Essa construção foi verificada até a saturação teórica, que é quando não surgem novos sinificados para os termos encontrados.

A GT não exige uma validação externa por poder ser modificada, como afirma Tarozzi (2011), podendo assim se auto-corriger. Essa modificabilidade assegura que, para casos onde novos elementos que não confirmem a teoria surjam, a teoria não passa a ser falsificada, mas passa a requerer novas amostragens teóricas para atingir novamente a saturação. Portanto, a surgimento eventual de novas definições de interoperabilidade ou de eventuais novas categorias teóricas não torna a teoria encontrada nessa tese falsa, apenas desatualizada.

REFERÊNCIAS

- A COS study of OSI interoperability. *Computer Standards and Interfaces*, v. 9, n. 3, p. 217–237, 1989. ISSN 09205489.
- ACCENTURE. *Value Untangled: Accelerating radical growth through interoperability*. 2022. Disponível em: <<https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/capabilities/technology/software-engineering/document/Accenture-Report-ITL-IPS.pdf>>.
- AKBAR, P.; NURMANDI, A.; IRAWAN, B.; LOILATU, M. J. Research trends in e-government interoperability: mapping themes and concepts based on the scopus database. *JeDEM-eJournal of eDemocracy and Open Government*, v. 14, n. 2, p. 83–108, 2022.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, Elsevier, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>>.
- BALTES, S.; RALPH, P. Sampling in software engineering research: A critical review and guidelines. *Empirical Software Engineering*, Springer, v. 27, n. 4, p. 94, 2022.
- BARD, G. V. Spelling-error tolerant, order-independent pass-phrases via the Damerau-Levenshtein string-edit distance metric. *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*, v. 68, p. 117–124, 2007. ISSN 14451336.
- BASTIN, L.; CORNFORD, D.; JONES, R.; HEUVELINK, G. B.; PEBESMA, E.; STASCH, C.; NATIVI, S.; MAZZETTI, P.; WILLIAMS, M. Managing uncertainty in integrated environmental modelling: The UncertWeb framework. *Environmental Modelling and Software*, Elsevier Ltd, v. 39, p. 116–134, 2013. ISSN 13648152. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.02.008>>.
- BAXTER, G.; SOMMERVILLE, I. Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, v. 23, n. 1, p. 4–17, 2011. ISSN 09535438.
- BAYARDO, R. J.; BOHRER, W.; BRICE, R.; CICHOCKI, A.; FOWLER, J.; HELAL, A.; KASHYAP, V.; KSIEZYK, T.; MARTIN, G.; NODINE, M.; RASHID, M.; RUSINKIEWICZ, M.; SHEA, R.; UNNIKRISSNAN, C.; UNRUH, A.; WOELK, D. InfoSleuth: Agent-Based Semantic Integration of Information in Open and Dynamic Environments. *SIGMOD Record (ACM Special Interest Group on Management of Data)*, v. 26, n. 2, p. 195–206, 1997. ISSN 01635808.
- BEALE, T. Archetypes: Constraint-based Domain Models for Future-proof Information Systems. *OOPSLA 2002 workshop on behavioural semantics*, n. 21, p. 1–69, 2001. Disponível em: <http://www.openehr.org/publications/archetypes/archetypes{_}beale{_}web{_}>.
- BENNING, P.; DUMOULIN, C. Interoperability through standards: Ifc, concepts and methods. *Building Information Modeling: Shared Modeling, Mutual Data, the New Art of Building*, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA, p. 51–75, 2023.
- BERNARD, L.; KANELLOPOULOS, I.; ANNONI, A.; SMITS, P. The European geoportal - One step towards the establishment of a European Spatial Data Infrastructure. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 29, n. 1 SPEC.ISS., p. 15–31, 2005. ISSN 01989715.

- BERRETTA, G.; AGOSTINI, A. D.; DICKINSON, A. The European Data Relay System: Present Concept and Future Evolution. *Proceedings of the IEEE*, v. 78, n. 7, p. 1152–1164, 1990. ISSN 15582256.
- BERTINE, H. V.; EISNER, W. B.; VERMA, P. K.; TEWANI, K. T. Overview of Protocol Testing Programs, Methodologies, and Standards. *AT&T Technical Journal*, v. 69, n. 1, p. 7–16, 1990. ISSN 15387305.
- BETSOU, F.; LEHMANN, S.; ASHTON, G.; BARNES, M.; BENSON, E. E.; COPPOLA, D.; DESOUZA, Y.; ELIASON, J.; GLAZER, B.; GUADAGNI, F.; HARDING, K.; HORSFALL, D. J.; KLEEBERGER, C.; NANNI, U.; PRASAD, A.; SHEA, K.; SKUBITZ, A.; SOMIARI, S.; GUNTER, E. Standard preanalytical coding for biospecimens; Defining the sample PREanalytical code. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, v. 19, n. 4, p. 1004–1011, 2010. ISSN 10559965.
- BIOCCA, A.; FRESCHI, G.; FORCINA, A.; MELEN, R. Architectural issues in the interoperability between MANs and the ATM network. *International Symposium on Switching: "Innovations in Switching Technology", ISS 1990*, v. 2, n. October, p. 23–28, 1990.
- BOSCH, J. From software product lines to software ecosystems. In: *SPLC*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 9, p. 111–119.
- BRAZIL, G. F. *PORTARIA Nº 2.073, DE 31 DE AGOSTO DE 2011*. 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2073/_31_08_2011.html>.
- BRICK, D.; ELLEERSICK, F. Future Air Force Tactical Communications. *IEEE Trans. Commun.*, v. 28, n. 9, p. 1551–1572, 1980. ISSN 1879-0542. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25127774>>.
- BUYYA, R.; ABRAMSON, D.; GIDDY, J. Nimrod/G: An architecture for a resource management and scheduling system in a global computational grid. *Proceedings - 4th International Conference/Exhibition on High Performance Computing in the Asia-Pacific Region, HPC-Asia 2000*, v. 1, p. 283–289, 2000.
- BYNUM, P.; ISSA, R. R. A.; OLBINA, S. Building Information Modeling in Support of Sustainable Design and Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 139, n. 1, p. 24–34, 2013. ISSN 0733-9364.
- CATARINUCCI, L.; De Donno, D.; MAINETTI, L.; PALANO, L.; PATRONO, L.; STEFANIZZI, M. L.; TARRICONE, L. An IoT-Aware Architecture for Smart Healthcare Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 2, n. 6, p. 515–526, 2015. ISSN 23274662.
- CECCAGNOLI, M.; FORMAN, C.; HUANG, P.; WU, D. J. Cocreation of value in a platform ecosystem! The case of enterprise software. *MIS quarterly*, JSTOR, p. 263–290, 2012.
- CERF, V. G.; CAIN, E. The DoD internet architecture model. *Computer Networks (1976)*, v. 7, n. 5, p. 307–318, 1983. ISSN 03765075.
- CHARLEBOIS, D.; HENDERSON, G.; MOFFATT, F.; CARRUTHERS, B. Information mesh concepts in support of multi-organizational interoperability. In: *Safety and Security Science and Technology: Perspectives from Practice*. [S.l.]: Springer, 2023. p. 219–243.

- CHARMAZ, K. *Constructing grounded theory: A practical guide through qualitative analysis*. [S.l.]: sage, 2006.
- CHAU, P. Y. K.; TAM, K. Y.; TAM, K. Y. Factors Affecting the Adoption of Open Systems : An Exploratory. v. 21, n. 1, p. 1–24, 1997.
- CHEN, D.; DOUMEINGTS, G.; VERNADAT, F. Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future. *Computers in Industry*, v. 59, n. 7, p. 647–659, 2008. ISSN 01663615.
- CHURCHMAN, C. W. *Introdução à teoria dos sistemas*. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2015. 293 p. ISBN 978-85-326-5131-0.
- COBO, M. J.; LÓPEZ-HERRERA, A. G.; HERRERA-VIEDMA, E.; HERRERA, F. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of Informetrics*, Elsevier Ltd, v. 5, n. 1, p. 146–166, 2011. ISSN 17511577. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>>.
- COHEN, D. M.; DALAL, S. R.; FREDMAN, M. L.; PATTON, G. C. The AETG system: an approach to testing based on combinatorial design. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 23, n. 7, p. 437–444, 1997. ISSN 00985589.
- COLE, J. R.; COLE, S. Citation analysis suggests that only a few. v. 178, p. 368 – 376, 1972.
- COOMBES, P. H.; NICHOLSON, J. D. Business models and their relationship with marketing: A systematic literature review. *Industrial Marketing Management*, Elsevier Inc., v. 42, n. 5, p. 656–664, 2013. ISSN 00198501. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2013.05.005>>.
- CORBET, S.; DOWLING, M.; GAO, X.; HUANG, S.; LUCEY, B.; VIGNE, S. A. An analysis of the intellectual structure of research on the financial economics of precious metals. *Resources Policy*, Elsevier, v. 63, p. 101416, 2019.
- CORBIN, J.; STRAUSS, A. *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. [S.l.]: Sage publications, 2014.
- COVIC, G. A.; BOYS, J. T. Modern trends in inductive power transfer for transportation applications. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, v. 1, n. 1, p. 28–41, 2013. ISSN 21686785.
- DAVID, O.; ASCOUGH, J. C.; LLOYD, W.; GREEN, T. R.; ROJAS, K. W.; LEAVESLEY, G. H.; AHUJA, L. R. A software engineering perspective on environmental modeling framework design: The Object Modeling System. *Environmental Modelling and Software*, Elsevier Ltd, v. 39, p. 201–213, 2013. ISSN 13648152. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.03.006>>.
- De Lucia, A.; FRANCESE, R.; PASSERO, I.; TORTORA, G. Development and evaluation of a virtual campus on Second Life: The case of SecondDMI. *Computers and Education*, Elsevier Ltd, v. 52, n. 1, p. 220–233, 2009. ISSN 03601315. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2008.08.001>>.

- DEMCHENKO, Y.; MAKKES, M. X.; STRIJKERS, R.; LAAT, C. D. Intercloud Architecture for Interoperability and Integration. *Proceedings of IEEE CloudCom 2012*, IEEE, p. 666–674, 2012.
- DHANDAYUTHAPANI, V. B. Advancing healthcare: Ai integration, interoperability and sustainability challenges. *Digital Health*, p. 64, 2024.
- DIALLO, S. Y. On the complexity of interoperability. *Simulation Series*, v. 48, n. 5, p. 73–78, 2016. ISSN 07359276.
- DIALLO, S. Y.; HERENCIA-ZAPANA, H.; PADILLA, J. J.; TOLK, A. Understanding interoperability. *Emerging M and S Applications in Industry and Academia Symposium 2011, EAIA 2011 - 2011 Spring Simulation Multiconference*, p. 84–91, 2011.
- DIAS, C. da C.; BARROSO, J. M. de C.; ROSADO, K. M. L.; SANTOS, S. R. de O. Soc e interoperabilidade: desafios e tendências no âmbito da conferência internacional da isko. *Fronteiras da Representação do Conhecimento*, Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.
- DILLON, T.; WU, C.; CHANG, E. Cloud computing: Issues and challenges. *Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA*, p. 27–33, 2010. ISSN 1550445X.
- DING, K.; CHAN, F. T.; ZHANG, X.; ZHOU, G.; ZHANG, F. Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 57, n. 20, p. 6315–6334, 2019. ISSN 1366588X. Disponível em: <<https://doi.org/00207543.2019.1566661>>.
- DUCQ, Y.; CHEN, D.; DOUMEINGTS, G. A contribution of system theory to sustainable enterprise interoperability science base. *Computers in Industry*, Elsevier B.V., v. 63, n. 8, p. 844–857, 2012. ISSN 01663615. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2012.08.005>>.
- EKUNDAYO, T. C.; OKOH, A. I. A global bibliometric analysis of plesiomonas-related research (1990–2017). *PLoS One*, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 13, n. 11, p. e0207655, 2018.
- FARQUHAR, A.; FIKES, R.; RICE, J. The Ontolingua Server: a tool for collaborative ontology construction. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 46, n. 1, p. 707–727, 1997. ISSN 16740769.
- FILHO, O. K. *Pesquisa e Análise Estatística*. [S.l.]: Fundo de Cultura, 2005.
- FITSILIS, F.; KALOGIROU, V. Interoperability legal patterns: a concept for greece. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 485–487.
- FOSTER, I. Globus toolkit version 4: Software for service-oriented systems. *Journal of Computer Science and Technology*, v. 21, n. 4, p. 513–520, 2006. ISSN 10009000.
- FOSTER, I.; KESSELMAN, C.; TUECKE, S. The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations. *International Journal of High Performance Computing Applications*, v. 15, n. 3, p. 200–222, 2001. ISSN 10943420.

FRANCILLON, H. Développement de la partie antérieure de la mandibule de *Salmo trutta fario* L. (Pisces, Teleostei, Salmonidae). *Zoologica Scripta*, v. 6, n. 3, p. 245–251, 1974. ISSN 14636409.

GARFIELD, E. Is citation analysis a legitimate evaluation tool? *Scientometrics*, v. 1, n. 4, p. 359–375, 1979. ISSN 01389130.

GARLAN, D.; ALLEN, R.; OCKERBLOOM, J. Architectural Mismatch of Why it's hard to build systems out of existing. p. 179–185, 1995.

GIANNOZZI, P.; ANDREUSSI, O.; BRUMME, T.; BUNAU, O.; Buongiorno Nardelli, M.; CALANDRA, M.; CAR, R.; CAVAZZONI, C.; CERESOLI, D.; COCOCCIONI, M.; COLONNA, N.; CARNIMEO, I.; Dal Corso, A.; De Gironcoli, S.; DELUGAS, P.; DISTASIO, R. A.; FERRETTI, A.; FLORIS, A.; FRATESI, G.; FUGALLO, G.; GEBAUER, R.; GERSTMANN, U.; GIUSTINO, F.; GORNI, T.; JIA, J.; KAWAMURA, M.; KO, H. Y.; KOKALJ, A.; KÜCÜKBENLI, E.; LAZZERI, M.; MARSILI, M.; MARZARI, N.; MAURI, F.; NGUYEN, N. L.; NGUYEN, H. V.; OTERO-DE-LA-ROZA, A.; PAULATTO, L.; PONCÉ, S.; ROCCA, D.; SABATINI, R.; SANTRA, B.; SCHLIPF, M.; SEITSONEN, A. P.; SMOGUNOV, A.; TIMROV, I.; THONHAUSER, T.; UMARI, P.; VAST, N.; WU, X.; BARONI, S. Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO. *Journal of Physics Condensed Matter*, v. 29, n. 46, 2017. ISSN 1361648X.

GIBBS, G. *Análise de dados qualitativos: coleção pesquisa qualitativa*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009.

GIEREND, K.; WALTEMATH, D.; GANSLANDT, T.; SIEGEL, F. Traceable research data sharing in a german medical data integration center with fair (findability, accessibility, interoperability, and reusability)-geared provenance implementation: Proof-of-concept study. *JMIR Formative Research*, JMIR Publications Toronto, Canada, v. 7, p. e50027, 2023.

GLASER, B.; STRAUSS, A. *Discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. [S.l.]: Routledge, 2017.

GLEESON, P.; CROOK, S.; CANNON, R. C.; HINES, M. L.; BILLINGS, G. O.; FARINELLA, M.; MORSE, T. M.; DAVISON, A. P.; RAY, S.; BHALLA, U. S.; BARNES, S. R.; DIMITROVA, Y. D.; SILVER, R. A. NeuroML: A language for describing data driven models of neurons and networks with a high degree of biological detail. *PLoS Computational Biology*, v. 6, n. 6, p. 1–19, 2010. ISSN 1553734X.

GONÇALVES, M. A.; FOX, E. A.; WATSON, L. T.; KIPP, N. A. Streams, structures, spaces, scenarios, societies (5S): A formal model for digital libraries. *ACM Transactions on Information Systems*, v. 22, n. 2, p. 270–312, 2004. ISSN 10468188.

GOTTSCHALK, P. Maturity levels for interoperability in digital government. *Government Information Quarterly*, Elsevier Inc., v. 26, n. 1, p. 75–81, 2009. ISSN 0740624X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.giq.2008.03.003>>.

GRÖGER, G.; PLÜMER, L. CityGML - Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 71, p. 12–33, 2012. ISSN 09242716.

GUHA, R.; HOWARD, M. T.; HUTCHISON, G. R.; MURRAY-RUST, P.; RZEPA, H.; STEINBECK, C.; WEGNER, J.; WILLIGHAGEN, E. L. The blue obelisk - Interoperability in

chemical informatics. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 46, n. 3, p. 991–998, 2006. ISSN 15499596.

GÜRDÜR, D.; ASPLUND, F. A systematic review to merge discourses: Interoperability, integration and cyber-physical systems. *Journal of Industrial Information Integration*, Elsevier, v. 9, n. December 2017, p. 14–23, 2018. ISSN 2452414X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.12.001>>.

HAIBACH, M. C.; KUNDU, S.; BROOKHART, M.; GOLDMAN, A. S. Alkane metathesis by tandem alkane-dehydrogenation-olefin-metathesis catalysis and related chemistry. *Accounts of Chemical Research*, v. 45, n. 6, p. 947–958, 2012. ISSN 00014842.

HARDING, S. D.; SHARMAN, J. L.; FACCENDA, E.; SOUTHAN, C.; PAWSON, A. J.; IRELAND, S.; GRAY, A. J.; BRUCE, L.; ALEXANDER, S. P.; ANDERTON, S.; BRYANT, C.; DAVENPORT, A. P.; DOERIG, C.; FABBRO, D.; LEVI-SCHAFFER, F.; SPEDDING, M.; DAVIES, J. A. The IUPHAR/BPS Guide to PHARMACOLOGY in 2018: Updates and expansion to encompass the new guide to IMMUNOPHARMACOLOGY. *Nucleic Acids Research*, Oxford University Press, v. 46, n. D1, p. D1091–D1106, 2018. ISSN 13624962.

HAWKING, S. *A brief history of time: from big bang to black holes*. [S.l.]: Random House, 2009.

HELMANN, A.; JUNIOR, R. P. L.; CAMARGO, L. R. G. de; TIEPOLO, L. M.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. de F. R. Interoperability assessment model in industrial maintenance according to digital twin concept based on multicriteria decision support methods. In: SPRINGER. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. [S.l.], 2023. p. 52–59.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. M.; VERCHER, J. B.; MUÑOZ, L.; GALACHE, J. A.; PRESSER, M.; GÓMEZ, L. A. H.; PETTERSSON, J. Smart cities at the forefront of the future internet. In: *Future internet assembly*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 447–462.

HEROUX, M. A.; BARTLETT, R. A.; HOWLE, V. E.; HOEKSTRA, R. J.; HU, J. J.; KOLDA, T. G.; LEHOUCQ, R. B.; LONG, K. R.; PAWLOWSKI, R. P.; PHIPPS, E. T.; SALINGER, A. G.; THORNQUIST, H. K.; TUMINARO, R. S.; WILLENBRING, J. M.; WILLIAMS, A.; STANLEY, K. S. An overview of the trinos project. *ACM Transactions on Mathematical Software*, v. 31, n. 3, p. 397–423, 2005. ISSN 00983500.

HODA, R. Socio-technical grounded theory for software engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering*, IEEE, v. 48, n. 10, p. 3808–3832, 2021.

HODAPP, D.; HANELT, A. Interoperability in the era of digital innovation: An information systems research agenda. *Journal of Information Technology*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 37, n. 4, p. 407–427, 2022.

HONG, T.; D'OCA, S.; TURNER, W. J.; TAYLOR-LANGE, S. C. An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework. *Building and Environment*, Elsevier Ltd, v. 92, p. 764–777, 2015. ISSN 03601323. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.019>>.

HUBER, W.; CAREY, V. J.; GENTLEMAN, R.; ANDERS, S.; CARLSON, M.; CARVALHO, B. S.; BRAVO, H. C.; DAVIS, S.; GATTO, L.; GIRKE, T.; GOTTARDO, R.; HAHNE, F.; HANSEN, K. D.; IRIZARRY, R. A.; LAWRENCE, M.; LOVE, M. I.; MACDONALD, J.;

OBENCHAIN, V.; OLES, A. K.; PAGÈS, H.; REYES, A.; SHANNON, P.; SMYTH, G. K.; TENENBAUM, D.; WALDRON, L.; MORGAN, M. Orchestrating high-throughput genomic analysis with Bioconductor. *Nature Methods*, v. 12, n. 2, p. 115–121, 2015. ISSN 15487105.

IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. *IEEE Std 610*, p. 1–217, 1990.

INTELLIGENCE, M. *Healthcare Interoperability Solutions Market Size Share Analysis - Growth Trends Forecasts (2023 - 2028)*. 2023. Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/healthcare-interoperability-solutions-market>>.

ISO, T. 20514: 2005 health informatics-electronic health record definition, scope and context standard. *International Organization for Standardization (ISO)*, Geneva Switzerland, 2005.

JOHNSON, B.; ZIMMERMANN, T.; BIRD, C. The effect of work environments on productivity and satisfaction of software engineers. *IEEE Transactions on Software Engineering*, IEEE, v. 47, n. 4, p. 736–757, 2019.

KABANOV, A.; KRAMAR, V. Marine internet of things platforms for interoperability of marine robotic agents: An overview of concepts and architectures. *Journal of Marine Science and Engineering*, MDPI, v. 10, n. 9, p. 1279, 2022.

KELLY, S.; LYYTINEN, K.; ROSSI, M. MetaEdit+ A fully configurable multi-user and multi-tool CASE and CAME environment. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 1080, p. 1–21, 1996. ISSN 16113349.

KIM, H.; JUNG, J.; CHOI, J. Developing a dietary lifestyle ontology to improve the interoperability of dietary data: Proof-of-concept study. *Jmir Formative Research*, JMIR Publications Toronto, Canada, v. 6, n. 4, p. e34962, 2022.

KIRCHER, K. A.; BRAUN, J. J.; MEYER, D. R.; MEYER, P. M. Equivalence of simultaneous and successive neocortical ablations in production of impairments of retention of black-white habits in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, v. 71, n. 3, p. 420–425, 1970. ISSN 00219940.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. *Guidelines for performing Systematic Literature reviews in Software Engineering Version 2.3*. [S.l.], 2007. v. 45, n. 4ve, 65 p. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Guidelines+for+performing+Systematic+Literature+Reviews+in+Software+Engineering%5Cnhttp://www.dur.ac.uk/ebse/resources/Systematic-rev>>.

KUHN, T. S. *The structure of scientific revolutions*. [S.l.]: University of Chicago press Chicago, 1997. v. 962.

KUMAR, R. *Research methodology: A step-by-step guide for beginners*. [S.l.]: Sage Publications Limited, 2011.

KUMAR, S. V.; PETERS-LIDARD, C. D.; TIAN, Y.; HOUSER, P. R.; GEIGER, J.; OLDEN, S.; LIGHTY, L.; EASTMAN, J. L.; DOTY, B.; DIRMEYER, P.; ADAMS, J.; MITCHELL, K.; WOOD, E. F.; SHEFFIELD, J. Land information system: An interoperable framework for high resolution land surface modeling. *Environmental Modelling and Software*, v. 21, n. 10, p. 1402–1415, 2006.

LANDSBERGEN, D.; WOLKEN, G. Realizing the promise: Government information systems and the fourth generation of information technology. *Public Administration Review*, v. 61, n. 2, p. 206–220, 2001. ISSN 00333352.

LEMUS-ZÚÑIGA, L.-G.; FÉLIX, J. M.; FIDES-VALERO, A.; BENLLOCH-DUALDE, J.-V.; MARTINEZ-MILLANA, A. A proof-of-concept iot system for remote healthcare based on interoperability standards. *Sensors*, MDPI, v. 22, n. 4, p. 1646, 2022.

LEVINSON, J.; ASKELAND, J.; BECKER, J.; DOLSON, J.; HELD, D.; KAMMEL, S.; KOLTER, J. Z.; LANGER, D.; PINK, O.; PRATT, V.; SOKOLSKY, M.; STANEK, G.; STAVENS, D.; TEICHMAN, A.; WERLING, M.; THRUN, S. Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, IEEE, n. Iv, p. 163–168, 2011.

LIU, G.; SONG, S.; YU, X.; XUE, G. Uciim: An unmanned system concept-level cross-domain interoperability implementation method based on shared data models. In: SPRINGER. *International Conference on Autonomous Unmanned Systems*. [S.l.], 2023. p. 538–545.

LOTKA, A. J. The frequency distribution of scientific productivity Author (s): Alfred J . Lotka Source : Journal of the Washington Academy of Sciences , Vol . 16 , No . 12 (June 19 , 1926) , Published by : Washington Academy of Sciences Stable URL : <https://www.jst. Journal of the Washington Academy of Sciences>, v. 16, n. 12, p. 317–323, 1926.

MACFADYEN, L. P.; DAWSON, S. Mining LMS data to develop an "early warning system" for educators: A proof of concept. *Computers and Education*, Elsevier Ltd, v. 54, n. 2, p. 588–599, 2010. ISSN 03601315. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.008>>.

MACROBERTS, M. H.; MACROBERTS, B. R. Testing the Ortega hypothesis: Facts and artifacts. *Scientometrics*, v. 12, n. 5-6, p. 293–295, 1987. ISSN 01389130.

MADEIRA, F.; PARK, Y. M.; LEE, J.; BUSO, N.; GUR, T.; MADHUSOODANAN, N.; BASUTKAR, P.; TIVEY, A. R.; POTTER, S. C.; FINN, R. D.; LOPEZ, R. The EMBL-EBI search and sequence analysis tools APIs in 2019. *Nucleic Acids Research*, v. 47, n. W1, p. W636–W641, 2019. ISSN 13624962.

MARCOS-PABLOS, S.; GARCÍA-PEÑALVO, F. J. Decision support tools for SLR search string construction. *ACM International Conference Proceeding Series*, p. 660–667, 2018.

MARTIN, B. R. The evolution of science policy and innovation studies. *Research Policy*, Elsevier B.V., v. 41, n. 7, p. 1219–1239, 2012. ISSN 00487333. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.012>>.

MCDONALD, D.; CLEMENTE, J. C.; KUCZYNSKI, J.; RIDEOUT, J. R.; STOMBAUGH, J.; WENDEL, D.; WILKE, A.; HUSE, S.; HUFNAGLE, J.; MEYER, F.; KNIGHT, R.; CAPORASO, J. G. The Biological Observation Matrix (BIOM) format or: How I learned to stop worrying and love the ome-ome. *GigaScience*, v. 464, n. 1, p. 1–6, 2012.

MCKINLEY, P. K.; SADJADI, S. M.; KASTEN, E. P.; CHENG, B. H. Composing adaptive software. *Computer*, v. 37, n. 7, p. 56–64, 2004. ISSN 00189162.

MEDINA, A.; LAKHINA, A.; MATTA, I.; BYERS, J. BRITE: An approach to universal topology generation. *IEEE International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems - Proceedings*, p. 346–353, 2001.

MEHTA, N. R.; MEDVIDOVIC, N.; PHADKE, S. Towards a taxonomy of software connectors. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, p. 178–187, 2000. ISSN 02705257.

MENG, E. C.; PETTERSEN, E. F.; COUCH, G. S.; HUANG, C. C.; FERRIN, T. E. Tools for integrated sequence-structure analysis with UCSF Chimera. *BMC Bioinformatics*, v. 7, p. 1–10, 2006. ISSN 14712105.

MENSH, D. R.; KITE, R. S.; DARBY, P. H. The Quantification of Interoperability. *Naval Engineers Journal*, v. 101, n. 3, p. 251–259, 1989. ISSN 15593584.

MICHALAKES, J.; DUDHIA, J.; GILL, D.; HENDERSON, T.; KLEMP, J.; SKAMAROCK, W.; WANG, W. The weather research and forecast model: software architecture and performance. In: *Use of high performance computing in meteorology*. [S.l.]: World Scientific, 2005. p. 156–168.

M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma; HERRERA, F. Science Mapping Software Tools: Review, Analysis, and Cooperative Study Among Tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 62, n. July, p. 1382–1402, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asi.22883/abstract>>.

NAUDET, Y.; LATOUR, T.; GUEDRIA, W.; CHEN, D. Towards a systemic formalisation of interoperability. *Computers in Industry*, v. 61, n. 2, p. 176–185, 2010. ISSN 01663615.

NAVIGLI, R.; VELARDI, P. Structural semantic interconnection: A knowledge-based approach to word sense disambiguation. *Proceedings of the SENSEVAL@ACL 2004: 3rd International Workshop on the Evaluation of Systems for the Semantic Analysis of Text - Held in cooperation with ACL 2004*, v. 27, n. 7, p. 179–182, 2004.

NECHES, R.; FIKES, R.; FININ, T.; GRUBER, T.; PATIL, R.; SENATOR, T.; SWARTOUT, W. R. Enabling technology for knowledge sharing. *AI Magazine*, v. 12, n. 3, p. 36–56, 1991. ISSN 07384602.

NETELER, M.; MITASOVA, H. *OPEN SOURCE GIS: A GRASS GIS APPROACH*. Second edi. [S.l.]: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2005. ISBN 1402080654.

NILSSON, J.; JAVED, S.; ALBERTSSON, K.; DELSING, J.; LIWICKI, M.; SANDIN, F. Ai concepts for system of systems dynamic interoperability. *Sensors*, MDPI, v. 24, n. 9, p. 2921, 2024.

PANETTO, H. Towards a classification framework for interoperability of enterprise applications. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, v. 20, n. 8, p. 727–740, 2007.

PARASKEVA, F.; MYSIRLAKI, S.; PAPAGIANNI, A. Multiplayer online games as educational tools: Facing new challenges in learning. *Computers and Education*, Elsevier Ltd, v. 54, n. 2, p. 498–505, 2010. ISSN 03601315. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.001>>.

PARRISH, R. M.; BURNS, L. A.; SMITH, D. G.; SIMMONETT, A. C.; DEPRINCE, A. E.; HOHENSTEIN, E. G.; BOZKAYA, U.; SOKOLOV, A. Y.; Di Remigio, R.; RICHARD, R. M.; GONTHIER, J. F.; JAMES, A. M.; MCALEXANDER, H. R.; KUMAR, A.; SAITOW, M.; WANG, X.; PRITCHARD, B. P.; VERMA, P.; SCHAEFER, H. F.; PATKOWSKI, K.; KING, R. A.; VALEEV, E. F.; EVANGELISTA, F. A.; TURNEY, J. M.; CRAWFORD, T. D.;

SHERRILL, C. D. Psi4 1.1: An Open-Source Electronic Structure Program Emphasizing Automation, Advanced Libraries, and Interoperability. *Journal of Chemical Theory and Computation*, v. 13, n. 7, p. 3185–3197, 2017.

PARRISH, R. M.; BURNS, L. A.; SMITH, D. G. A.; SIMMONETT, A. C.; EUGENE, A.; HOHENSTEIN, E. G.; BOZKAYA, U.; SOKOLOV, A. Y.; DI, R.; RICHARD, R. M.; GONTHIER, J. F.; JAMES, A. M.; HARLEY, R. PSI4 1.1: An Open-Source Electronic Structure Program Emphasizing Automation, Advanced Libraries, and Interoperability. v. 13, n. 7, p. 3185–3197, 2020.

POPPER, K. *The logic of scientific discovery*. [S.I.]: Routledge, 2005.

POPPER, K. *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. [S.I.]: routledge, 2014.

PRADHAN, M.; MANSO, M.; MICHAELIS, J. R. Concepts and directions for future iot and c2 interoperability. In: IEEE. *MILCOM 2021-2021 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*. [S.I.], 2021. p. 231–236.

PRICE-WHELAN, A. M.; SIPŐCZ, B. M.; GÜNTHER, H. M.; LIM, P. L.; CRAWFORD, S. M.; CONSEIL, S.; SHUPE, D. L.; CRAIG, M. W.; DENCHEVA, N.; GINSBURG, A.; VANDERPLAS, J. T.; BRADLEY, L. D.; PÉREZ-SUÁREZ, D.; VAL-BORRO, M. de; ALDCROFT, T. L.; CRUZ, K. L.; ROBITAILLE, T. P.; TOLLERUD, E. J.; ARDELEAN, C.; BABEJ, T.; BACH, Y. P.; BACHETTI, M.; BAKANOV, A. V.; BAMFORD, S. P.; BARENTSEN, G.; BARMBY, P.; BAUMBACH, A.; BERRY, K. L.; BISCANI, F.; BOQUIEN, M.; BOSTROEM, K. A.; BOUMA, L. G.; BRAMMER, G. B.; BRAY, E. M.; BREYTENBACH, H.; BUDELMEIJER, H.; BURKE, D. J.; CALDERONE, G.; RODRÍGUEZ, J. L. C.; CARA, M.; CARDOSO, J. V. M.; CHEEDELLE, S.; COPIN, Y.; CORRALES, L.; CRICHTON, D.; D'AVELLA, D.; DEIL, C.; DEPAGNE, É.; DIETRICH, J. P.; DONATH, A.; DROETTBOOM, M.; EARL, N.; ERBEN, T.; FABBRO, S.; FERREIRA, L. A.; FINETHY, T.; FOX, R. T.; GARRISON, L. H.; GIBBONS, S. L. J.; GOLDSTEIN, D. A.; GOMMERS, R.; GRECO, J. P.; GREENFIELD, P.; GROENER, A. M.; GROLLIER, F.; HAGEN, A.; HIRST, P.; HOMEIER, D.; HORTON, A. J.; HOSSEINZADEH, G.; HU, L.; HUNKELER, J. S.; IVEZIĆ, Ž.; JAIN, A.; JENNESS, T.; KANAREK, G.; KENDREW, S.; KERN, N. S.; KERZENDORF, W. E.; KHVALKO, A.; KING, J.; KIRKBY, D.; KULKARNI, A. M.; KUMAR, A.; LEE, A.; LENZ, D.; LITTLEFAIR, S. P.; MA, Z.; MACLEOD, D. M.; MASTROPIETRO, M.; MCCULLY, C.; MONTAGNAC, S.; MORRIS, B. M.; MUELLER, M.; MUMFORD, S. J.; MUNA, D.; MURPHY, N. A.; NELSON, S.; NGUYEN, G. H.; NINAN, J. P.; NÖTHE, M.; OGAZ, S.; OH, S.; PAREJKO, J. K.; PARLEY, N.; PASCUAL, S.; PATIL, R.; PATIL, A. A.; PLUNKETT, A. L.; PROCHASKA, J. X.; RASTOGI, T.; JANGA, V. R.; SABATER, J.; SAKURIKAR, P.; SEIFERT, M.; SHERBERT, L. E.; SHERWOOD-TAYLOR, H.; SHIH, A. Y.; SICK, J.; SILBIGER, M. T.; SINGANAMALLA, S.; SINGER, L. P.; SLADEN, P. H.; SOOLEY, K. A.; SORNARAJAH, S.; STREICHER, O.; TEUBEN, P.; THOMAS, S. W.; TREMBLAY, G. R.; TURNER, J. E. H.; TERRÓN, V.; KERKWIJK, M. H. van; VEGA, A. de la; WATKINS, L. L.; WEAVER, B. A.; WHITMORE, J. B.; WOILLEZ, J.; ZABALZA, V. The Astropy Project: Building an Open-science Project and Status of the v2.0 Core Package. *The Astronomical Journal*, v. 156, n. 3, p. 123, 2018. ISSN 0004-6256.

RAAN, A. F. van. Measuring Science. Capita Selecta of Current Main Issues. *Handbook of Quantitative Science and Technology Research: The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems*, p. 19–50, 2004.

RAJKOMAR, A.; OREN, E.; CHEN, K.; DAI, A. M.; HAJAJ, N.; HARDT, M.; LIU, P. J.; LIU, X.; MARCUS, J.; SUN, M.; SUNDBERG, P.; YEE, H.; ZHANG, K.; ZHANG, Y.; FLORES, G.; DUGGAN, G. E.; IRVINE, J.; LE, Q.; LITSCH, K.; MOSSIN, A.; TANSUWAN, J.; WANG, D.; WEXLER, J.; WILSON, J.; LUDWIG, D.; VOLCHENBOUM, S. L.; CHOU, K.; PEARSON, M.; MADABUSHI, S.; SHAH, N. H.; BUTTE, A. J.; HOWELL, M. D.; CUI, C.; CORRADO, G. S.; DEAN, J. Scalable and accurate deep learning with electronic health records. *npj Digital Medicine*, Springer US, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2018. ISSN 2398-6352. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41746-018-0029-1>>.

RAMOS, L. F. P.; LOURES, E. de F. R.; DESCHAMPS, F.; VENÂNCIO, A. L. A. C.; LEAL, G. da S. S. Assessment framework for proof of concept (poc) in industry 4.0—an interoperability approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Taylor & Francis, v. 36, n. 10, p. 1482–1506, 2023.

RASURE, J.; ARGIRO, D.; SAUER, T.; WILLIAMS, C. Visual language and software development environment for image processing. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, v. 2, n. 3, p. 183–199, 1990. ISSN 10981098.

RAZZAQUE, M. A.; MILOJEVIC-JEVRIC, M.; PALADE, A.; CLA, S. Middleware for internet of things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 1, p. 70–95, 2016. ISSN 23274662.

REILLY, L. M.; STONEY, R. J.; GOLDSTONE, J.; EHRENFELD, W. K. Improved management of aortic graft infection: The influence of operation sequence and staging. *Journal of Vascular Surgery*, v. 5, n. 3, p. 421–431, 1987. ISSN 07415214.

RUEDEN, C. T.; SCHINDELIN, J.; HINER, M. C.; DEZONIA, B. E.; WALTER, A. E.; ARENA, E. T.; ELICEIRI, K. W. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*, BMC Bioinformatics, v. 18, n. 1, p. 1–26, 2017. ISSN 14712105.

SANTOS, R.; CONSTANTINOU, E.; ANTONINO, P.; BOSCH, J. *Software engineering for systems-of-systems and software ecosystems*. [S.l.]: Elsevier, 2023. 107335 p.

SCHANTZ, R. E. The architecture of the Cronus distributed operating system. In: *Proc. 6th Int. Conf. Distributed Computing Systems*. [S.l.: s.n.], 1986. p. 250–259.

SCHMIDT, J. W.; MATTHES, F. *Language technology for post-relational data systems*. 1990. 81–114 p.

SCHOLL, H. J.; KLISCHEWSKI, R. E-government integration and interoperability: Framing the research agenda. *International Journal of Public Administration*, v. 30, n. 8-9, p. 889–920, 2007. ISSN 01900692.

SCHREIBER, W. F. Advanced Television Systems for Terrestrial Broadcasting: Some Problems and Some Proposed Solutions. *Proceedings of the IEEE*, v. 83, n. 6, p. 958–981, 1995. ISSN 1558254X.

SHENG, Q. Z.; QIAO, X.; VASILAKOS, A. V.; SZABO, C.; BOURNE, S.; XU, X. Web services composition: A decade's overview. *Information Sciences*, v. 280, p. 218–238, 2014. ISSN 00200255.

SILVA, J.; SILVA, F.; FREITAS, E.; SILVA, E. R.; VIEIRA, C.; GARCIA, V. C. Uma análise bibliométrica de 50 anos de pesquisa em interoperabilidade. *Journal of Health Informatics*, v. 16, n. Especial, 2024.

SILVA, J. R. F. da; DOURADO, R. A.; FORTES, S. R.; GARCIA, V. C. Interoperabilidade em Imss: Uma revisão bibliométrica do estado da arte. *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, SBC, p. 473–485, 2023.

SMITH, B.; ASHBURNER, M.; ROSSE, C.; BARD, J.; BUG, W.; CEUSTERS, W.; GOLDBERG, L. J.; EILBECK, K.; IRELAND, A.; MUNGALL, C. J.; LEONTIS, N.; ROCCA-SERRA, P.; RUTTENBERG, A.; SANSONE, S. A.; SCHEUERMANN, R. H.; SHAH, N.; WHETZEL, P. L.; LEWIS, S. The OBO Foundry: Coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. *Nature Biotechnology*, v. 25, n. 11, p. 1251–1255, 2007. ISSN 10870156.

SMULDERS, P. Exploiting the 60 GHz band for local wireless multimedia access: Prospects and future directions. *IEEE Communications Magazine*, v. 40, n. 1, p. 140–147, 2002. ISSN 01636804.

SOMMERVILLE, I.; CLIFF, D.; CALINESCU, R.; KEEN, J.; KELLY, T.; KWIATKOWSKA, M.; MCDERMID, J.; PAIGE, R. Large-scale Complex IT Systems. *Communications of the ACM*, v. 55, n. 7, p. 71–77, 2012. ISSN 00010782.

SPEK, A. L. CheckCIF validation ALERTS: What they mean and how to respond. *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications*, International Union of Crystallography, v. 76, p. 1–11, 2020. ISSN 20569890.

STAJICH, J. E.; BLOCK, D.; BOULEZ, K.; BRENNER, S. E.; CHERVITZ, S. A.; DAGDIGIAN, C.; FUELLEN, G.; GILBERT, J. G.; KORF, I.; LAPP, H.; LEHVÄSLAIHO, H.; MATSALLA, C.; MUNGALL, C. J.; OSBORNE, B. I.; POCOCK, M. R.; SCHATTNER, P.; SENGER, M.; STEIN, L. D.; STUPKA, E.; WILKINSON, M. D.; BIRNEY, E. The Bioperl toolkit: Perl modules for the life sciences. *Genome Research*, v. 12, n. 10, p. 1611–1618, 2002. ISSN 10889051.

STOL, K. J.; RALPH, P.; FITZGERALD, B. Grounded theory in software engineering research: A critical review and guidelines. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, ACM, v. 14-22-May-2016, n. Aug 2015, p. 120–131, 2016. ISSN 02705257.

SUDARSAN, R.; FENVES, S. J.; SRIRAM, R. D.; WANG, F. A product information modeling framework for product lifecycle management. *CAD Computer Aided Design*, v. 37, n. 13, p. 1399–1411, 2005. ISSN 00104485.

SUI, D. Z.; MAGGIO, R. C. Integrating GIS with hydrological modeling: Practices, problems, and prospects. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 23, n. 1, p. 33–51, 1999. ISSN 01989715.

TAROZZI, M. *O Que é a grounded theory?: Metodologia de pesquisa e de teoria fundamentada nos dados*. [S.l.]: Vozes, 2011.

TEECE, D. J. Profiting from innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world. *Research Policy*, Elsevier, v. 47, n. 8, p. 1367–1387, 2018. ISSN 00487333. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.01.015>>.

Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, D. R. J. A Survey on Interoperability Measurement. *Twelfth International Command and Control Research and Technology Symposium (12th ICCRTS)*, p. 28, 2007.

THOMAS, I.; NEJMEH, B. A. Definitions of tool integration for environments. *IEEE Software*, v. 9, n. 2, p. 29–35, 1992. ISSN 07407459.

Thomson Reuters. Using Bibliometrics: A Guide To Evaluating Research Performance With Citation Data. 2008. ISSN 2931.

TORRES, D. M.; CHEN, D.; VILLAVICENCIO, M. ; ZAPATA, C. M. Towards a theory of interoperability of software systems. *Ingeniería e Investigación*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia., v. 43, n. 3, p. 1, 2023.

U.S., D. o. E. *The Classification Of Instructional Programs*. National Center for Education Statistics, 2020. Disponível em: <<https://nces.ed.gov/ipeds/cipcode/resources.aspx?y=56>>.

Van Raan, A. Advanced Bibliometric Methods As Quantitative. *Science*, v. 36, n. 3, p. 397–420, 1996. ISSN 0138-9130.

VERMA, K.; SIVASHANMUGAM, K.; SHETH, A.; PATIL, A.; OUNDHAKAR, S.; MILLER, J. METEOR-S WSDI : A Scalable P2P Infrastructure of Registries. *Information Technology and Management*, p. 17–39, 2005. ISSN 1385-951X.

WAHYUNI, H.; MUTIARIN, D.; PRIBADI, U.; ISMAIL, N. S. A.; PURNOMO, E. P.; KUMOROTOMO, W. Maturity of data interoperability cross-organizations in supporting the concept of one employment data at the ministry and regional government levels. *Cogent Social Sciences*, Taylor & Francis, v. 10, n. 1, p. 2407936, 2024.

WALTERS, D.; BOUTLE, I.; BROOKS, M.; MELVIN, T.; STRATTON, R.; VOSPER, S.; WELLS, H.; WILLIAMS, K.; WOOD, N.; ALLEN, T.; OTHERS. *The Met Office Unified Model Global Atmosphere 6.0/6.1 and JULES Global Land 6.0/6.1 configurations*, *Geosci. Model Dev.*, 10, 1487–1520. 2017.

WASSERMAN, A. L. Tool integration in software engineering environments. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 467 LNCS, p. 137–149, 1990. ISSN 16113349.

WAZLAWICK, R. S. *Metodologia de pesquisa para ciência da computação*. [S.l.]: Elsevier, 2009.

WENTZ, L. K.; HINGORANI, G. D. NATO Communications in Transition. *IEEE Transactions on Communications*, v. 28, n. 9, p. 1524–1539, 1980. ISSN 00906778.

WHEELER, S.; YEOMANS, P.; WHEELER, D. The good, the bad and the wiki: Evaluating student-generated content for collaborative learning. *British Journal of Educational Technology*, v. 39, n. 6, p. 987–995, 2008. ISSN 00071013.

WICKS, M. N.; DEWAR, R. G. A new research agenda for tool integration. *Journal of Systems and Software*, v. 80, n. 9, p. 1569–1585, 2007. ISSN 01641212.

WIDJAJA, T.; GREGORY, R. W. Monitoring the complexity of it architectures: Design principles and an it artifact. *Journal of the Association for Information Systems*, 2020.

WILLIAMSON, P. O.; MINTER, C. I. Exploring PubMed as a reliable resource for scholarly communications services. *Journal of the Medical Library Association*, v. 107, n. 1, p. 16–29, 2019. ISSN 15589439.

XIA, X. DAMBE5: A comprehensive software package for data analysis in molecular biology and evolution. *Molecular Biology and Evolution*, v. 30, n. 7, p. 1720–1728, 2013. ISSN 07374038.

YANG, Y. Progress, contribution and challenges of Compass/Beidou satellite navigation system. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, v. 39, n. 1, p. 1–6, 2010.

YANG, Y.; HU, H.; XU, J.; MAO, G. Relay technologies for WiMAX and LTE-Advanced mobile systems. *IEEE Communications Magazine*, v. 47, n. 10, p. 100–105, 2009.

YUSDIAN, M. F.; PUTRA, A. B.; ANANDARI, A. A.; SUPRIYADI, A. A.; ARIEF, S.; HARYANTO, A. et al. Concept design of military and civilian interoperability based on sensing technology to support defense systems in the malacca strait region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Elsevier, v. 32, p. 101034, 2023.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015. ISSN 15527425.

Zur Muehlen, M.; NICKERSON, J. V.; SWENSON, K. D. Developing web services choreography standards - The case of REST vs. SOAP. *Decision Support Systems*, v. 40, n. 1 SPEC. ISS., p. 9–29, 2005. ISSN 01679236.

ŽUKAUSKAS, P.; VVEINHARDT, J.; ANDRIUKAITIENÈ, R. Philosophy and paradigm of scientific research. In: _____. [S.l.]: InTech, 2018.

APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE COLETA

1. Eu, após a leitura do **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO** e de ter tido a oportunidade de esclarecer minhas dúvidas com o pesquisador, concordo em participar da pesquisa sobre percepções teóricas sobre interoperabilidade de sistemas, como voluntário(a) bem como, autorizo a divulgação e a publicação de toda informação por mim transmitida, exceto dados pessoais, em publicações e eventos de caráter científico. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade (ou interrupção de meu acompanhamento/ assistência/tratamento). Por isso, ao clicar em “sim” abaixo, declaro que desejo prosseguir.

2. Por favor, informe um e-mail para contato. Essa informação será utilizada apenas para os fins dessa pesquisa, portanto não se preocupe com recebimento de spans da nossa parte.

Resposta de texto

3. Qual é a sua nacionalidade?

Capturado automaticamente pelo sistema de entrevistas

4. Como você interagiu com um sistema interoperável? (múltipla escolha)

1. Eu não interagi
2. Eu projetei
3. Eu construí
4. Eu utilizei
5. Eu estive inserido em um
6. Envolveu-se de outra maneira ou com mais de uma das maneiras acima. (Caso essa opção seja marcada, responder à questão 5)

5. Por favor, descreva com tantos detalhes quantos forem possíveis como era a sua interação com o sistema interoperável.

Resposta em texto ou áudio

6. Por favor, descreva com tantos detalhes quantos forem possíveis o sistema interoperável com o qual você interagiu.

Resposta em texto ou áudio

7. Como você define interoperabilidade?

Resposta em texto ou áudio

8. O quê você considera necessário para que a interoperabilidade ocorra?

Resposta em texto ou áudio

9. Você poderia indicar outra(s) pessoa(s) que tenha(m) interagido junto com você em um sistema interoperável para participar dessa pesquisa? Por favor, responda com nome e e-mail ou telefone da pessoa indicada.

Resposta em texto

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) de uma pesquisa sobre percepções teóricas sobre interoperabilidade de sistemas, que está sob a responsabilidade do (a) pesquisador (a) Vinicius Cardoso Garcia e seu orientando, Jackson Raniel Florencio da Silva.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- **JUSTIFICATIVA:** Apesar de ser razoável considerar a utilidade de sistemas e elementos que funcionam isolados em alguns ambientes, existe o desejo, dentro de outras circunstâncias, de que esses comuniquem-se em redes analógicas ou digitais. Prova disso é que o conceito de integração de ferramentas é estudado desde a década de 1970 (GÜRDÜR; ASPLUND, 2018), e a conceituação dos termos de integração e interoperabilidade na área de engenharia de software, vem sendo revisada com o passar das décadas (WASSERMAN, 1990; THOMAS; NEJMEH, 1992; WICKS; DEWAR, 2007). Além de padronizações de como interoperar em determinadas áreas (ISO/EN_13606-1, 2008) e da existência de iniciativas continentais para o entendimento e o provimento de (eco)sistemas interoperáveis (GÜRDÜR; ASPLUND, 2018; NAUDET et al., 2010).

Afora a necessidade por interoperar, como consequência dela, tem-se uma diversidade de termos sinônimos tendo, cada um deles, múltiplas definições. DIALLO et al. (2011) listaram quatro definições de interoperabilidade, como ponto de partida para o seu trabalho. Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham (2007), encontraram outras trinta e quatro definições distintas sobre o mesmo termo. Além das diversas definições de integração.

A discussão a respeito de uma teoria da interoperabilidade tende a contribuir para: a) nortear a discussões teóricas em meio à essa diversidade de termos e conceitos; b) extrair das discussões de modelos de dados parte das discussões de alinhamento conceitual; c) entender o papel dos requisitos sócio-técnicos nos projetos de software interoperáveis; d) auxiliar no provimento de soluções de TI em nuvem e névoa com o entendimento de quais seriam as necessidades de interoperabilidade entre sistemas de provedores distintos.

- **OBJETIVOS:** O objetivo principal desta pesquisa é investigar as bases sócio-técnicas teóricas, que possam servir como explicação para interoperabilidade em sistemas atuais e como fonte de referência para sistemas nos quais deseja-se que a capacidade de interoperar seja desenvolvida.
- **PROCEDIMENTOS DE COLETA:** A coleta de dados será realizada virtualmente por meio de questionário virtual e eventualmente por meio de entrevista em profundidade por web-conferência. Os voluntários serão abordados por e-mail com o convite para a resposta do questionário virtual no formato de texto e áudio.

Havendo a necessidade de saturação teórica, alguns voluntários que responderam ao questionário serão convidados para uma entrevista em profundidade com duração aproximada de uma hora realizada por web-conferência. Essa entrevista em profundidade será gravada para que os dados possam ser coletados da transcrição do áudio.

- **ESCLARECIMENTO DO PERÍODO DE PARTICIPAÇÃO DO VOLUNTÁRIO NA PESQUISA:** A participação do voluntário nesta pesquisa se estenderá apenas durante a resposta ao questionário virtual e eventualmente durante as entrevistas em profundidade. Os dados coletados serão em serviços de nuvem privadas e mantidos em posse do pesquisador principal por ao menos cinco anos após a coleta, sendo utilizados apenas exclusivamente para análise. Não havendo, no entanto, compartilhamento dos dados com terceiros.
- **RISCOS:** Para o participante da pesquisa, possíveis riscos incluem:
 - Possíveis desconfortos de ordem psíquica durante a entrevista, por receio de constrangimento ligado a expressão de ideias ou perguntas feitas pelos pesquisadores;
 - Possíveis desconfortos de ordem intelectual em função do não entendimento de algumas perguntas ou de informações compartilhadas;
 - Possíveis desconfortos de ordem psíquica por receio de constrangimento resultante de discordâncias sobre eventuais dados apresentados pelos pesquisadores.
- Como **MEDIDAS PREVENTIVAS**, considera-se: os voluntários possuem o direito de não responder ou de se retirarem da entrevista, sem penalidades. O moderador será claro, explicando qualquer termo ou ideia que seja desconhecida ou má interpretada pelos participantes e agirá de forma mediadora em caso de conflito.

REFERÊNCIAS:

- DIALLO, S. Y. et al. Understanding interoperability. Emerging M and S Applications in Industry and Academia Symposium 2011, EAIA 2011 - 2011 Spring Simulation Multiconference, [S.l.], p.84–91, 2011.

- GÜRDÜR, D.; ASPLUND, F. A systematic review to merge discourses: interoperability, integration and cyber-physical systems. *Journal of Industrial Information Integration*, [S.l.], v.9, n.December 2017, p.14–23, 2018.
- ISO/EN_13606-1. Health informatics—electronic health record communication—part 1: reference model. , [S.l.], 2008.
- Thomas C. Ford, John M. Colombi, Scott R. Graham, D. R. J. A Survey on Interoperability Measurement. Twelfth International Command and Control Research and Technology Symposium (12th ICCRTS), [S.l.], p.28, 2007.
- THOMAS, I.; NEJMEH, B. A. Definitions of tool integration for environments. *IEEE Software*, [S.l.], v.9, n.2, p.29–35, 1992.
- WASSERMAN, A. L. Tool integration in software engineering environments. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, [S.l.], v.467 LNCS, p.137–149, 1990.
- WICKS, M. N.; DEWAR, R. G. A new research agenda for tool integration. *Journal of Systems and Software*, [S.l.], v.80, n.9, p.1569–1585, 2007.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação.

Nada lhe será pago ou cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária. Fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial.

Em caso de dúvidas, você pode procurar o pesquisador responsável por esta pesquisa, por meio dos seguintes contatos: vcg@cin.ufpe.br e jrfs@cin.ufpe.br.

Ao responder ao questionário virtual você automaticamente concorda com os termos aqui expostos.

Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIA

Eu, após a leitura do **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO** e de ter tido a oportunidade de esclarecer minhas dúvidas com o pesquisador, concordo em participar da pesquisa sobre percepções teóricas sobre interoperabilidade de sistemas, como voluntário(a) bem como, autorizo a divulgação e a publicação de toda informação por mim transmitida, exceto dados pessoais, em publicações e eventos de caráter científico. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

APÊNDICE C – CADERNO DE CÓDIGOS

Caderno de códigos Taguette

Contratante ou patrocinador

3 destaques

Aquele que paga por um sistema interoperável

Construtor

1 destaque

Aquele que foi contratado para construir um sistema ou tecnologia relacionada à interoperabilidade

Provedor de interoperabilidade (Categoria)

25 destaques

Entidade qual a interoperabilidade surge ou torna a interoperabilidade possível

Finalidade do sistema (Categoria)

16 destaques

Razão pela qual um sistema existe

Restrição do sistema(Categoria)

11 destaques

Fator de limitação de uma característica do sistema

Símbolos>Unidades de informação

12 destaques

Dados estruturados para armazenamento ou comunicação

Símbolos>Estrutura de dados

26 destaques

Forma com os dados são armazenados ou estruturado

Projetista da informação

12 destaques

Responsável por projetar as unidades de informação

Tipo de sistema (Catagoria)

56 destaques

A qual classe de sistemas o referido "sistema" pertence

Interoperabilidade (Categoria)

27 destaques

A quê a interoperabilidade se destina

Qualidade da interoperabilidade

5 destaques

Qualificador do objetivo da interoperabilidade

Condição (Categoria)

41 destaques

Condição para que a interoperabilidade ocorra

Problema

12 destaques

Problema que a interoperabilidade resolve

Tipo de interoperabilidade

7 destaques

Condição>Fatores humanos

10 destaques

Fatores humanos, políticos ou sociais que afetaram o sucesso ou o insucesso na construção de um sistema interoperável

Tipo de sistema>Ente

44 destaques

Nó que compõe um sistema interoperável

Instituição

10 destaques

Instituição que faz uso de um ente de um sistema interoperável

Benefício da Interoperabilidade

7 destaques

Papel

9 destaques

Papel do ente no sistema. Ex.: Consumo, Provimento ou ambos

Tempo

1 destaque

Tipo de sistema>Ecosistema (ou sistema de sistemas?)

16 destaques

Símbolos (Categoria)

49 destaques

Um símbolo é composto por uma unidade de informação e sua respectiva estrutura. Os símbolos são enviados e recebidos pelos entes por um meio de comunicação.

Símbolos>Meio

13 destaques

Condição>Organizacional/Institucional

12 destaques

Condição>Fatores técnicos

27 destaques

Consequência

4 destaques

Símbolos>Significado

22 destaques

Usuário

1 destaque

APÊNDICE D – ÁREAS DE CONHECIMENTO

Tabela 16 – Tabela de Organização das Áreas de Conhecimento.

Áreas	Disciplinas da Scopus	Disciplinas da WoS
Ciências AAPV e áreas afins	Ciências Agrárias e Biológicas, Veterinária	Agricultura Multidisciplinar, Tecnologia de Ciência de Alimentos, Agronomia, Ciência do Solo, Horticultura, Mineralogia, Ciências de Plantas, Agricultura de Laticínios, Zootecnia, Política de Economia Agrícola, Ciências Veterinárias
Ciências Naturais	Ciências Ambientais	Ciências Ambientais, Pública, Saúde Ocupacional Ambiental, Tecnologia Científica Sustentável Verde, Recursos Hídricos, Estudos Ambientais, Silvicultura, Pesca
Arquitetura	NA	Planejamento Urbano Regional, Arquitetura, Estudos Urbanos, Ergonomia
Estudos AECG	NA	Estudos culturais, Estudos de área
Comunicação	NA	Comunicação
Computação	Ciência da Computação, Ciências da Decisão	Informação da Ciência da Computação, Métodos de Teoria da Ciência da Computação, Aplicações Interdisciplinares da Ciência da Computação, Inteligência Artificial da Ciência da Computação, Engenharia de Software da Ciência da Computação, Arquitetura de Hardware da Ciência da Computação, Ciência da Computação e Cibernética
Educação	NA	Educação em Pesquisa Educacional, Educação em Disciplinas Científicas

Continua...

Áreas	Disciplinas da Scopus	Disciplinas da WoS
Engenharia	Engenharia Química, Energia, Engenharia	Engenharia Elétrica Eletrônica, Telecomunicações, Sistemas de Controle de Automação, Gestão de Pesquisa Operacional, Engenharia Industrial, Sensoriamento Remoto, Engenharia de Manufatura, Engenharia Multidisciplinar, Engenharia Civil, Engenharia Aeroespacial, Engenharia Biomédica, Instrumentos/Instrumentação, Combustíveis Energéticos, Engenharia Mecânica, Tecnologia de Construção Civil, Robótica, Engenharia Ambiental, Engenharia Marinha, Engenharia Oceânica, Engenharia Química, Nanociência e Nanotecnologia, Tecnologia de Ciência Nuclear, Física Atômica e Química Molecular, Engenharia Agrícola, Engenharia Metalúrgica, Mineração, Processamento Mineral, Engenharia Geológica, Engenharia de Petróleo
Linguística	NA	Linguística, Linguística de Idiomas
Desenvolvimento	NA	Estudos de Desenvolvimento
Direito	NA	Direito
Humanas	Artes e Humanas	Humanas Multidisciplinares
Informação	NA	

Continua...

Áreas	Disciplinas da Scopus	Disciplinas da WoS
Ciências Biológicas	Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, Profissões da Saúde, Odontologia, Imunologia e Microbiologia, Medicina, Neurociências, Enfermagem, Farmacologia, Toxicologia e Farmacêutica	Informática Médica, Serviços de Ciências da Saúde, Biologia Computacional Matemática, Radiologia e Medicina Nuclear, Métodos de Pesquisa Bioquímica, Microbiol Aplicado à Biotecnologia, Oceanografia, Serviços de Polícia Sanitária, Bioquímica e Biologia Molecular, Neurociências, Medicina Interna Geral, Ecologia, Pesquisa em Medicina Experimental, Hereditariedade Genética, Enfermagem, Oncologia, Biologia Celular, Cirurgia, Farmacologia e Farmácia, Sistemas Cardiovasculares Cardíacos, Biologia, Tecnologia de Laboratórios Médicos, Reabilitação, Odontologia e Cirurgia Oral, Biologia Evolutiva, Imunologia, Obstetrícia e Ginecologia, Biodiversidade, Gastroenterologia e Hepatologia, Doenças Infecciosas, Neuroimagem, Doença Vascular Periférica, Zoologia, Neurologia Clínica, Endocrinologia e Metabolismo, Biologia Marinha de Água Doce, Química Médica, Biofísica, Medicina Legal, Microbiologia, Pediatria, Fisiologia, Psiquiatria, Gerontologia, Hematologia, Ética Médica, Otorrinolaringologia, Toxicologia, Urologia e Nefrologia, Alergia, Anatomia e Morfologia, Anestesiologia, Medicina Intensiva
		Biologia do Desenvolvimento, Audiologia e Fonoaudiologia, Nutrição Dietética, Sistema Respiratório, Transplante, Medicina Tropical, Dermatologia, Medicina de Emergência, Entomologia, Medicina Complementar Integrativa, Química Física, Geriatria Gerontológica, Patologia

Continua...

Áreas	Disciplinas da Scopus	Disciplinas da WoS
Matemática	Matemática	Lógica, Matemática, Matemática Aplicada, Aplicações Interdisciplinares de Matemática
Ciências Multi-disciplinares	Ciências Multi-disciplinares	Ciências Multidisciplinares, Ciências do Comportamento
Lazer	artes e Humanas	Arte, Música
Filosofia	NA	Ética
Ciências Físicas	Química, Ciências da Terra e Planetárias, Ciência dos Materiais, Física e Astronomia	Geociências Multidisciplinares, Óptica, Ciência dos Materiais Multidisciplinar, Física Aplicada, Astronomia e astrofísica, Química Analítica, Química Multidisciplinar, Acústica, Meteorologia e Ciências Atmosféricas, Mecânica, Física Multidisciplinar, Física Nuclear, Física PaperFields, Geoquímica Geofísica, Termodinâmica, Caracterização da Ciência dos Materiais, Física da Matéria Condensada, Química Aplicada, Geologia, Cristalografia, Química Inorgânica Nuclear, Ciência dos Materiais e Biomateriais, Ciência dos Materiais, Física Fluidos Plasmas, Física Matemática, Química Orgânica, Eletroquímica
Psicologia	Psicologia	Psicologia Multidisciplinar, Psicologia Experimental, Psicologia Educacional, Psicologia, Psicologia Aplicada, Psicologia Social
Ciências Sociais	Economia, Econometria e Finanças, Ciências Sociais	Geografia Física, Economia, Geografia, Ciências Sociais Interdisciplinares, Ciência Política, Relações Internacionais, Questões Sociais, Arqueologia, Espectroscopia, Ciências Sociais Matemática, Ciências Sociais Biomédicas, Sociologia
Transporte	NA	Transporte Ciência e Tecnologia, Transporte

Continua...

Áreas	Disciplinas da Scopus	Disciplinas da WoS
Ciências Visuais	Artes e Humanas	Ciência da Imagem e Tecnologia Fotográfica, Filme, Rádio e Televisão
Administração	Administração, Gestão e Contabilidade	Administração, Gestão, Finanças Empresariais, Hotelaria Lazer Esporte e Turismo
História	NA	História, História Filosofia da Ciência, História das Ciências Sociais

Fonte: Autoria própria

ANEXO A – TIPOS DE INTEROPERABILIDADE

Interoperability Types

#	Interoperability Type	Source
1	Communications	(LaVean, 1980, p. 1448), (Kasunic & Anderson, 2004, p. 34)
2	Electronic	(DoDD 2010.6, 1980, Encl. 2, p. 2)
3	Logistics	(DoDD 2010.6, 1980, Encl. 2, p. 3)
4	Peacetime	(LaVean, 1980, p. 1450)
5	Systems	(LaVean, 1980, p. 1449), (Clothier, 1996, 1997), (Leite, 1998, p. 1), (Curts, 1999, p. 3), (GIG, 2001, p. 32), (Clark, 2001, p. 2), (Kasunic, 2004, p. 1)
6	Telecommunications	(LaVean, 1980, p. 1449)
7	Multidatabase	(Litwin & Abdellatif, 1986, p. 1)
8	Specification Level	(Wileden, et al., 1989, p. 1)
9	Object Oriented	(Konstantas, 1993, p. i)
10	High-Level	(Konstantas, 1993, p. 2)
11	Procedure Oriented	(Konstantas, 1993, p. 4)
12	Semantic	(Heiler, 1995, p. 1)
13	Process	(Clothier, 1996, 1997), (Clark, 2001, p. 2)
14	System-to-System	(Amanowicz, 1996, p. 280), (Kasunic & Anderson, 2004, p. 17)
15	Information	(Mathwick, 1997), (Curts, 1999, p. 4), (DSP, 2001, p. B4-7)
16	Isolated	(C4ISR, 1998), (Larsen, 2006, p. 2)
17	Connected	(C4ISR, 1998), (Larsen, 2006, p. 2)
18	Functional	(C4ISR, 1998), (GIG, 2001, p. 22), (Clark, 2001, p. 2), (Larsen, 2005, p. 2)
19	Domain	(C4ISR, 1998), (Larsen, 2006, p. 2)
20	Enterprise	(C4ISR, 1998), (Blanc, 2005, p. 3), (Kosanke, 2005, p. 8), (Larsen, 2006, p. 2)
21	Data	(ITSG, 1998), (Curts, 1999, p. 4), (GIG, 2001, p. 30), (Kasunic & Anderson, 2004, p. 4, 7, 34)
22	Joint	(Leite, 1998, p. 1), (GIG, 2001, p. 49), (DSP, 2001, p. B4-18), (Kasunic & Anderson, 2004, p. 13-14)
23	Architecture	(Curts, 1999, p. 10)
24	Organizational	(Clark, 1999, p. 1), (Clark, 2001, p. 1)
25	Technical	(Clark, 1999, p. 4), (GIG, 2001, p. 22), (Clark, 2001, p. 1), (Kinder, 2002, p. 25), (Carney, 2004, p. 16), (Kasunic & Anderson, 2004, p. 2)
26	Total	(Curts, 1999, p. 1)
27	Joint Information	(Nutwell, 2000)
28	Secure-Voice	(GIG, 2001, p. 33)
29	Non-GIG	(GIG, 2001, p. 29)
30	“Plug-and-Play”	(GIG, 2001, p. 47)
31	Coalition	(GIG, 2001, p. 48), (Fewell, 2003, p. 1)
32	Information Systems	(DSP, 2001, p. B4-iii)
33	Materiel	(DSP, 2001, p. B4-iii)
34	Doctrine	(DSP, 2001, p. B4-iii)
35	Domain-Centered	(DSP, 2001, p. B4-iii)
36	Mission-Centered	(DSP, 2001, p. B4-iii)
37	International	(DSP, 2001, p. B4-2)
38	Cultural	(Clark, 2001, p. 2)
39	Flexible	(Clark, 2001, p. 2)
40	Force	(Clark, 2001, p. 1)
41	Model	(Clark, 2001, p. 1)
42	Non-technological	(Clark, 2001, p. 1)
43	Planned	(Clark, 2001, p. 3)
44	Responsive	(Clark, 2001, p. 2)
45	Cities	(Kinder, 2002, p. 18)
46	Horizontal	(Kinder, 2002, p. 27)
47	Intra-organisational	(Kinder, 2002, p. 23)
48	Public Administration	(Kinder, 2002, p. 6)
49	Public Service	(Kinder, 2002, p. 7)
50	Vertical	(Kinder, 2002, p. 27)
51	Constructive	(Levine, 2003, p. 5), (Carney, 2004, p. 19), (Morris, et al., 2004, p. 11)
52	Operational	(Levine, 2003, p. 6), (Carney, 2004, p. 19), (Kasunic & Anderson, 2004, p. 2), (Morris, et al., 2004, p. 11)
53	Transitive	(Morris, et al., 2004, p. 28)
54	Programmatic	(Levine, 2003, p. 4), (Carney, 2004, p. 19), (Morris, et al., 2004, p. 11)
55	System-of-Systems	(Morris et al., 2004, p. Cover)
56	Conceptual	(Carney, 2004, p. 18)
57	C4I	(Kasunic & Anderson, 2004, p. 9)
58	Lower-layer	(Kasunic & Anderson, 2004, p. 34)
59	Higher-layer	(Kasunic & Anderson, 2004, p. 34)
60	Application	(Kasunic & Anderson, 2004, p. 34), (Kosanke, 2005, p. 4)
61	Product-to-Product	(Kasunic & Anderson, 2004, p. 37)
62	Programmatic	(Morris, et al., 2004, p. 33)
63	Constructive	(Morris, et al., 2004, p. 35)
64	Coalition C2	(Larsen, 2006, p. 1)