

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE DEFESA**

LEONARDO DE MELLO BARBOSA

**ESTRUTURAÇÃO DE LINGUAGEM NATURAL PARA DOCUMENTAÇÃO DE
REQUISITOS DE SISTEMAS E MATERIAIS DE EMPREGO MILITAR NO
IDIOMA PORTUGUÊS**

**RIO DE JANEIRO
2024**

LEONARDO DE MELLO BARBOSA

ESTRUTURAÇÃO DE LINGUAGEM NATURAL PARA DOCUMENTAÇÃO
DE REQUISITOS DE SISTEMAS E MATERIAIS DE EMPREGO MILITAR
NO IDIOMA PORTUGUÊS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências em Engenharia de Defesa.

Orientador(es): Antonio Eduardo Carrilho da Cunha,
D.Eng.
Christopher Shneider Cerqueira, Ph.D.

Rio de Janeiro

2024

©2024

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

Barbosa, Leonardo de Mello.

Estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de sistemas e materiais de emprego militar no idioma português / Leonardo de Mello Barbosa. – Rio de Janeiro, 2024.

261 f.

Orientador(es): Antonio Eduardo Carrilho da Cunha e Christopher Shneider Cerqueira.

Tese (doutorado) – Instituto Militar de Engenharia, Engenharia de Defesa, 2024.

1. Engenharia de Requisitos. 2. Documentação de requisitos. 3. Estruturação de linguagem natural. i. Cunha, Antonio Eduardo Carrilho da (orient.) ii. Cerqueira, Christopher Shneider (orient.) iii. Título

LEONARDO DE MELLO BARBOSA

Estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de sistemas e materiais de emprego militar no idioma português

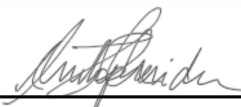
Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências em Engenharia de Defesa.

Orientador(es): Antonio Eduardo Carrilho da Cunha e Christopher Shneider Cerqueira.

Aprovada em 6 de novembro de 2024, pela seguinte banca examinadora:



Cel R/1 Antonio Eduardo Carrilho da Cunha - D.Eng. do IME - Presidente



Prof Christopher Shneider Cerqueira - Ph.D. do ITA



Gen Bda R/1 Mauro Guedes Ferreira Mosqueira Gomes - D.Sc. da ANE



Cel Tércio Brum - D.Sc. do EME



Cel R/1 Eduardo Borba Neves - Ph.D. da EsAO



TC Paulo Henrique Coelho Maranhão - D.Sc. do IME



TC Humberto Henriques de Arruda - D.Sc. do IME

Rio de Janeiro

2024

*Senhor, a Vós, que nos formastes, devemos todo o sentido de nossas vidas.
Por isso, dedicamos a Vós o que em Vosso serviço fizemos,
a fim de que o efeito volte a sua causa.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, fim último ao qual devem se dirigir todos os projetos humanos, por cada bom propósito, afeto e inspiração concedidos para que eu pudesse realizar este trabalho.

À minha esposa Magdalena, alicerce de companheirismo, serenidade e fé, por cada palavra, ato, carinho e silêncio, sem os quais eu jamais teria condições de suportar o esforço de cada dia.

Aos meus familiares e amigos, pelo constante apoio e incentivo, fundamentais para que eu mantivesse a determinação e encontrasse forças renovadas.

A todos os meus familiares falecidos, em especial minha avó Constância, finada logo ao início deste processo, pelos bons exemplos deixados e pela intercessão eterna.

Ao meu orientador, Cel R/1 Carrilho, pela inquestionável confiança em minha capacidade e pelos direcionamentos simultaneamente objetivos e plenos de liberdade, conduzindo-me por trilhas mais edificantes que trilhos.

Ao meu coorientador, Prof Christopher Cerqueira, pelo alerta inicial e imediata disposição em ajudar, auxiliando-me a transformar uma massa informe de ideias em um trabalho científico.

Ao meu supervisor militar, TC Marcelo, pelo estímulo a perseguir este projeto, auxílio operacional e parceria, na esperança de que haja frutos úteis para as fainas futuras.

Aos docentes que, generosamente, compartilharam com este aluno seus conhecimentos e experiências, pelo exemplo de compromisso com o saber e pela fundamentação desta pesquisa.

Aos colegas discentes do, ainda informal, grupo de pesquisas em Gestão de Engenharia de Defesa, pela camaradagem, confiança, críticas construtivas e, sobretudo, ânimo, quando tudo parecia ruir.

Aos subordinados, pares e superiores que tive ao longo da carreira, por todos os ensinamentos, conselhos e exemplos que me prepararam profissional, intelectual e emocionalmente para os desafios do doutorado.

Ao Exército Brasileiro, por valorizar o trabalho árduo e favorecer a capacitação constante dos colaboradores, sendo exemplo de instituição dedicada à ordem e ao progresso da Nação Brasileira.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a consecução deste trabalho.

Non nobis solum nati sumus

*“Chega mais perto e contempla as palavras.
Cada uma
tem mil faces secretas sob a face neutra
e te pergunta, sem interesse pela resposta,
pobre ou terrível que lhe deres:
Trouxeste a chave?”*

(Carlos Drummond de Andrade)

RESUMO

A tese desenvolve uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de sistemas e materiais de emprego militar, no idioma português, para uso no Exército Brasileiro. Conforme o paradigma da *Design Science Research*, o problema foi definido de forma precisa, e justificado em termos de sua relevância acadêmica, industrial e governamental. A conscientização do problema ocorreu por intermédio da exposição dos fundamentos teóricos da engenharia de sistemas e da engenharia de requisitos, e da consecução de uma revisão integrativa de literatura. Após estabelecimento dos objetivos do artefato, este foi construído sob uso da técnica de catálogo de soluções, resultando em uma estruturação composta por 69 blocos constituintes. O artefato foi avaliado artificialmente, conforme um modelo matemático-linguístico baseado na gramática de dependências. Mediante o processamento de 696 sentenças, foi estatisticamente comprovado que a utilização da estruturação proposta é capaz de reduzir a complexidade textual dos requisitos em três métricas pertinentes ao modelo. Uma avaliação naturalista, executada pela análise da percepção de um grupo de usuários típicos, demonstrou que ele cumpre metas relacionadas ao uso em meio militar, ao melhoramento da redação de sentenças, à identificação de termos estruturantes e ao Modelo de Aceitação de Tecnologia. Encontrou-se evidências de que, mesmo sendo incerta a facilidade de aprendizado, os possíveis usuários estão dispostos a empregar o artefato no dia-a-dia profissional.

Palavras-chave: Engenharia de Requisitos. Documentação de requisitos. Estruturação de linguagem natural.

ABSTRACT

The thesis outlines a structured natural language for the documentation of requirements for military systems and employment materials, in the Portuguese language, for use in the Brazilian Army. Following the Design Science Research paradigm, the problem was precisely defined and justified in terms of its academic, industrial, and governmental relevance. Awareness of the problem arose through the exposition of the theoretical foundations of systems engineering and requirements engineering, and through the achievement of an integrative literature review. After establishing its objectives, the artifact was constructed using the design catalog of solutions method, resulting in a structure made up of 69 individual blocks. The artifact was artificially evaluated using a mathematical-linguistic model, based on dependency grammar. By processing 696 sentences, it was statistically proven that the use of the proposed structure is capable of reducing the textual complexity of requirements in three metrics relevant to the model. A naturalistic evaluation, conducted through the analysis of the perception of a group of typical users, demonstrated that it meets goals related to military use, sentence writing improvement, identification of structuring terms, and the Technology Acceptance Model. Evidence was found that, even though the ease of learning is uncertain, potential users are willing to employ the artifact in their professional daily routine.

Keywords: Requirements Engineering. Requirements documentation. Structured natural language.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática dos elementos de definição da pesquisa . . .	23
Figura 2 – Camadas de justificativa da pesquisa	23
Figura 3 – Representação esquemática de um sistema	37
Figura 4 – Crescimento da complexidade do <i>software</i> embarcado em aeronaves militares	38
Figura 5 – Representação simplificada da gestão do ciclo de vida de SMEM pelo EB	40
Figura 6 – Papel dos requisitos no modelo Vee da Engenharia de Sistemas	42
Figura 7 – Processo de comunicação de necessidades e requisitos	43
Figura 8 – Utilização de métodos de documentação de requisitos pelas empresas .	50
Figura 9 – Representação do processo de seleção de trabalhos	57
Figura 10 – Número de trabalhos selecionados indexados na Scopus, por área de interesse	59
Figura 11 – Domínio de aplicação dos trabalhos selecionados	60
Figura 12 – Tipo de requisitos aos quais os <i>boilerplates</i> são destinados.	61
Figura 13 – Atributos de qualidade visados pelos trabalhos selecionados	62
Figura 14 – Forma de apresentação dos <i>boilerplates</i> pelos trabalhos selecionados .	64
Figura 15 – Taxonomia dos métodos de avaliação	68
Figura 16 – Parametrização numérica para as classificações de cada dimensão ta- xonômica de avaliação	70
Figura 17 – Dendrograma de agrupamento hierárquico dos métodos de avaliação dos trabalhos selecionados	73
Figura 18 – Classificação de métodos para geração de ideias	81
Figura 19 – Diagrama representativo do Bloco 0 - Sentença de requisito	84
Figura 20 – Diagrama representativo do Bloco 1.1 - Estrutura condicional	86
Figura 21 – Cálculo do número de variantes da estruturação de linguagem natural .	91
Figura 22 – Metamodelo em SysML da estruturação de linguagem natural	96
Figura 23 – Representação do processo de avaliação artificial do artefato	103
Figura 24 – Dendrograma de agrupamento hierárquico dos métodos de avaliação dos trabalhos selecionados, acrescentando a avaliação artificial	104
Figura 25 – Exemplos de identificação de dependências, com cálculo de comprimen- tos de dependência, comprimentos totais de dependências e comprimen- tos médios de dependências	107
Figura 26 – Estruturas sintáticas que fazem variar a complexidade interveniente, mas não o comprimento da dependência	109
Figura 27 – Exemplos de identificação de níveis hierárquicos, com cálculo de distân- cias hierárquicas totais e distâncias hierárquicas médias	111

Figura 28 – Exemplo de identificação de dependências no formato CoNLL	115
Figura 29 – Histogramas dos valores de CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas	117
Figura 30 – Gráficos Q-Q e resultados de teste S-W, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas	118
Figura 31 – Distribuições de probabilidade acumulada, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas	120
Figura 32 – Diagramas de caixas e resultados de teste M-W, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas	121
Figura 33 – Diagramas de caixas e resultados de teste M-W, em CMD, CIM e DHM, para as sentenças divididas em grupos	122
Figura 34 – Gráficos de Gardner-Altman e informações de tamanho do efeito sobre o δ de Cliff, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas	124
Figura 35 – Gráficos de Gardner-Altman e informações de tamanho do efeito sobre δ de Cliff, em CMD, CIM e DHM, para as sentenças divididas em grupos	125
Figura 36 – Dendrograma de agrupamento hierárquico dos métodos de avaliação dos trabalhos selecionados, acrescentando a avaliação naturalista	128
Figura 37 – Histograma das respostas em cada item objetivo do questionário de avaliação naturalista	136

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Correspondência entre as etapas do processo Peffers e os Capítulos da tese	33
Quadro 2 – Matrizes textuais de estruturação EARS de linguagem natural para documentação de requisitos	52
Quadro 3 – Classificação dos artefatos	77
Quadro 4 – Reescrita das sentenças dos requisitos operacionais da Pistola de Combate 9mm do Sistema Combatente Brasileiro	97
Quadro 5 – Correspondência entre os itens do questionário de avaliação naturalista e os objetivos do artefato, com descrição sintética	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– <i>Prompts</i> de busca e número de resultados em cada base de dados . . .	56
Tabela 2	– Número de trabalhos selecionados indexados na Dimensions, por divisão e grupo de pesquisa	60
Tabela 3	– Resumo dos métodos de construção de <i>boilerplates</i> encontrados na ILR	65
Tabela 4	– Resumo dos métodos de avaliação de <i>boilerplates</i> encontrados na ILR .	66
Tabela 5	– Distribuição taxonômica dos métodos de avaliação de <i>boilerplates</i> encontrados na ILR	69
Tabela 6	– Dados parametrizados de cada método de avaliação representado nos documentos selecionados	72
Tabela 7	– Coeficiente de correlação cofenética, para os dados parametrizados dos métodos de avaliação	72
Tabela 8	– Comparação da modularidade de seis estruturas de linguagem natural para documentação de requisitos	92
Tabela 9	– Número de sentenças originais e de sentenças reescritas, por sistema e por natureza do requisito	114
Tabela 10	– Interpretação classificatória da magnitude do efeito, conforme o valor absoluto do d de Cohen	123
Tabela 11	– Questionário de avaliação naturalista - 1 ^a parte	129
Tabela 12	– Questionário de avaliação naturalista - 2 ^a parte	130
Tabela 13	– Respostas parametrizadas dos participantes aos itens objetivos do questionário de avaliação naturalista	137
Tabela 14	– Interpretação qualitativa do grau de atendimento do artefato ao objetivo, em avaliação naturalista	138
Tabela 15	– Interpretação qualitativa do índice de concordância interavaliadores, em avaliação naturalista	139
Tabela 16	– Desempenho do artefato no atendimento aos objetivos, em avaliação naturalista	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AED	Ação Estratégica de Defesa
BID	Base Industrial de Defesa
CIM	Complexidade Interveniente Média
CMD	Comprimento Médio de Dependências
COBRA	Combatente Brasileiro
CoNLL	<i>Conference on Computational Natural Language Learning</i>
DHM	Distância Hierárquica Média
DSR	<i>Design Science Research</i>
END	Estratégia Nacional de Defesa
EB	Exército Brasileiro
FAB	Força Aérea Brasileira
IC	Intervalo de confiança
ID	Identificação (de requisito)
IME	Instituto Militar de Engenharia
INCOSE	<i>International Council On Systems Engineering</i>
IREB	<i>International Requirements Engineering Board</i>
MD	Ministério da Defesa
ME	Magnitude de efeito
NCE	Necessidade de Conhecimento Específico
OM	Organização Militar
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PND	Política Nacional de Defesa
REPUBLEX	Relação das Publicações do Exército
RO	Requisitos Operacionais

RTL	Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais
SD	Sistema de Defesa
SMEM	Sistemas e Materiais de Emprego Militar
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Número de pontos de uma escala tipo-Likert
CL	Tamanho de efeito em linguagem comum
D_i	Comprimento da dependência i
DT_F	Comprimento total de dependências da sentença F
\overline{D}_F	Comprimento médio de dependências da sentença F
dC	d de Cohen
HT_F	Distância hierárquica total da sentença F
\overline{H}_F	Distância hierárquica média da sentença F
IT_F	Complexidade interveniente total da sentença F
\overline{I}_F	Complexidade interveniente média da sentença F
J	Número de itens relacionados ao aspecto de interesse
\overline{OA}	Grau de atendimento do artefato ao objetivo
p_i	Proporção dos dados oriundos da amostra i em relação ao total
$\text{Pr}(x)$	Probabilidade de ocorrência do evento x
$r_{WG(J)}$	Índice de concordância interavaliadores
s_i	Desvio-padrão dos valores obtidos na amostra i
s_i^2	Variância dos valores obtidos na amostra i
$\overline{s_i^2}$	Média aritmética das variâncias s_i^2 em um grupo de amostras
X_i	i -ésimo <i>token</i> de uma sentença
X_{iC}	Cabeça do i -ésimo <i>token</i> de uma sentença
δ	Delta de Cliff
Φ	Função probabilidade acumulada para uma distribuição normal
σ_{EU}^2	Variância de uma distribuição aleatória de valores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	20
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	21
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	21
1.4	JUSTIFICATIVA	22
1.4.1	A DEFESA NACIONAL	24
1.4.2	PAPEL DOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS NO EXERCÍCIO DA DEFESA	24
1.4.3	ENGENHARIA DE SISTEMAS, ENGENHARIA DE REQUISITOS E OBTENÇÃO DE SMEM	25
1.4.4	ESTRUTURAÇÃO DE LINGUAGEM NATURAL PARA DOCUMENTAÇÃO DE REQUISITOS	28
1.5	ESTRUTURA METODOLÓGICA	29
1.5.1	A <i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	29
1.5.2	O PROCESSO PEFFERS	31
1.5.2.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO	31
1.5.2.2	DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS PARA UMA SOLUÇÃO	32
1.5.2.3	PROJETO E DESENVOLVIMENTO	32
1.5.2.4	DEMONSTRAÇÃO	32
1.5.2.5	AVALIAÇÃO	32
1.5.2.6	COMUNICAÇÃO	33
1.5.3	ESTRUTURA DE CAPÍTULOS DA TESE	33
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	35
2.1	SISTEMAS	35
2.1.1	ENGENHARIA DE SISTEMAS	36
2.1.2	CICLO DE VIDA DE SISTEMAS	39
2.2	REQUISITOS	41
2.2.1	TIPOS DE REQUISITOS	42
2.2.2	REQUISITOS E COMUNICAÇÃO	43
2.2.3	ENGENHARIA DE REQUISITOS	44
2.2.3.1	DOCUMENTAÇÃO DE REQUISITOS	46
2.2.3.2	ESTRUTURAÇÃO DE LINGUAGEM NATURAL	50
3	REVISÃO DE LITERATURA	54
3.1	QUESTÕES DE PESQUISA	54
3.2	BASES DE DADOS E <i>PROMPTS</i> DE BUSCA	55

3.3	COLETA E FILTRAGEM DE TRABALHOS	56
3.4	ANÁLISE	58
3.4.1	IDIOMA	58
3.4.2	DOMÍNIO DE APLICAÇÃO	58
3.4.3	TIPO DE REQUISITOS	61
3.4.4	ATRIBUTOS DE QUALIDADE	62
3.4.5	FORMA DE APRESENTAÇÃO	63
3.4.6	CONSTRUÇÃO DE <i>BOILERPLATES</i>	64
3.4.7	AVALIAÇÃO DE <i>BOILERPLATES</i>	65
3.4.7.1	AGRUPAMENTO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	70
3.5	PUBLICAÇÃO	74
4	CONSTRUÇÃO DO ARTEFATO	75
4.1	ELENCO DE OBJETIVOS DO ARTEFATO	75
4.1.1	CLASSIFICAÇÃO DO ARTEFATO	77
4.2	PROJETO E DESENVOLVIMENTO	78
4.2.1	EXPLORAÇÃO DE CRIAÇÃO POR CODIFICAÇÃO VERBAL	78
4.2.2	CRIAÇÃO POR CATÁLOGO DE SOLUÇÕES	79
4.2.2.1	CATÁLOGO DE SOLUÇÕES	79
4.2.2.2	FORMA DE APRESENTAÇÃO	80
4.2.2.3	DESCRITORES	82
4.2.2.4	SISTEMATICIDADE DO ARTEFATO	83
4.2.2.5	RESULTADO	84
4.2.2.5.1	MODULARIDADE DO ARTEFATO	90
4.3	DEMONSTRAÇÃO	92
5	AVALIAÇÃO	102
5.1	AVALIAÇÃO ARTIFICIAL	102
5.1.1	MODELO MATEMÁTICO-LINGUÍSTICO	105
5.1.1.1	GRAMÁTICA DE DEPENDÊNCIAS	105
5.1.1.2	COMPRIMENTO MÉDIO DE DEPENDÊNCIAS	106
5.1.1.2.1	PUBLICAÇÃO	108
5.1.1.3	COMPLEXIDADE INTERVENIENTE MÉDIA	108
5.1.1.4	DISTÂNCIA HIERÁRQUICA MÉDIA	110
5.1.2	EXECUÇÃO	111
5.1.2.1	SELEÇÃO DE REQUISITOS E EXTRAÇÃO DE SENTENÇAS	112
5.1.2.2	REESCRITA DAS SENTENÇAS ORIGINAIS	113
5.1.2.3	PRÉ-PROCESSAMENTO	114
5.1.2.4	APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO-LINGUÍSTICO	115
5.1.2.5	RESULTADOS E COMPARAÇÕES	116

5.1.2.5.1	TESTE DE NORMALIDADE	117
5.1.2.5.2	TESTE DE HIPÓTESES	119
5.1.2.5.3	TAMANHO DE EFEITO	121
5.1.3	CONCLUSÃO PARCIAL	125
5.2	AVALIAÇÃO NATURALISTA	126
5.2.1	QUESTIONÁRIO	128
5.2.2	EXECUÇÃO	131
5.2.2.1	RESULTADOS	134
5.2.2.1.1	QUESTÕES FECHADAS	134
5.2.2.1.2	QUESTÕES ABERTAS	141
5.2.2.2	CONCLUSÃO PARCIAL	143
5.3	CONCLUSÃO DA AVALIAÇÃO	143
6	CONCLUSÃO	145
6.1	COMUNICAÇÃO	146
6.2	LIMITAÇÕES	147
6.3	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	148
6.4	CONCLUSÃO FINAL	150
	REFERÊNCIAS	152
	APÊNDICE A – LISTA DE TRABALHOS SELECIONADOS NA ILR167	
	APÊNDICE B – DIMENSÕES TAXONÔMICAS E CLASSIFICAÇÕES DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ARTEFATOS	173
	APÊNDICE C – DIAGRAMAS DE DEFINIÇÃO E DESCRITORES DE BLOCOS DO ARTEFATO	175
	APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	259
	ANEXO A – REGRAS INCOSE PARA REDAÇÃO DE SENTENÇAS DE REQUISITOS	261

1 INTRODUÇÃO

“Se você não definir corretamente os requisitos, teu projeto fracassará, não importa quão bem o restante dele for executado” (MORE; SAPRE; CHAWAN, 2017). A frase, bastante assertiva em sua mensagem, é lugar comum entre os praticantes da Engenharia de Requisitos. Este ramo tecnológico visa justamente empregar uma abordagem estruturada e disciplinada para descobrir e gerir as necessidades da organização que intenciona obter certo sistema, elencando quais devem ser suas capacidades e propriedades, a fim de minimizar o risco de desenvolvimento ou aquisição de produtos e serviços que não atendam o fim a que se destinam (GLINZ et al., 2022).

A importância dos requisitos para a correta obtenção de um sistema é inquestionável, posto que eles formam o próprio alicerce do desenvolvimento, descrevendo e desdobrando as expectativas operacionais, delineando arquiteturas, servindo de base de entendimento entre técnicos, adquirentes e usuários, e fundamentando a verificação e validação dos trabalhos realizados (YOUNG, 2004). Comprova tal afirmação a pesquisa feita por Montequín et al. (2018), junto a 611 gerentes de projeto de 63 países, que, ao classificarem 26 possíveis causas de fracasso em projetos, elencaram como as duas principais “requisitos do cliente imprecisos, incompletos ou não definidos” e “mudanças contínuas ou dramáticas nos requisitos iniciais”. Em quarto lugar ainda se destaca “requisitos de projeto documentados de forma inadequada”, reforçando a criticidade deste elemento.

A documentação de requisitos, supracitada, se refere à tarefa de inventariar os requisitos previamente descobertos (ou “elicitados”, na nomenclatura comum dos profissionais da área), facilitando-lhes a comunicação e o acesso (POHL; RUPP, 2015). Seu valor é corroborado pela análise dos resultados de outra pesquisa, esta relatada por Fernández et al. (2017) e dedicada exclusivamente aos problemas empresariais relativos à Engenharia de Requisitos: as falhas de comunicação entre clientes e desenvolvedores são tidas como a principal causa de falhas em projetos, destacando-se também a fragilidade da comunicação entre os próprios desenvolvedores, assim como as dificuldades de acesso à informação, como dentre os 10 problemas mais críticos no contexto dos requisitos.

Dentre as diversas formas de documentar os requisitos, a mais empregada, tanto por conta da expressividade quanto da facilidade de uso, é a linguagem natural¹(KASSAB; LAPLANTE, 2022), em sua modalidade escrita. Em contrapartida, requisitos descritos em texto corrente são frequentemente ambíguos, incompletos e inconsistentes (POHL; RUPP, 2015), dificultando o entendimento comum entre as partes. Para sistemas e materiais de

¹ Por *linguagem natural*, entenda-se a forma de comunicação humana não construída artificialmente, que é organicamente aprendida pelos usuários como parte do processo de maturação intelectual e socialização (LYONS, 1991), como é o caso do português, do inglês etc.

emprego militar (SMEM) essa é uma ameaça particularmente danosa, dada a criticidade de uso desses produtos e os vultosos montantes financeiros costumeiramente envolvidos.

Como forma de mitigar os riscos inerentes à utilização de linguagem natural, as melhores práticas de Engenharia de Requisitos indicam sua estruturação, sob forma de padrões de sintaxe que tornam a escrita de requisitos similar ao preenchimento de um formulário (ISO, 2018b). O *International Council On Systems Engineering* (INCOSE) enumera como primeira, dentre 42 regras para a boa escrita de requisitos, o seguimento a um padrão de linguagem estruturada (INCOSE, 2023). Como consequência, há, na comunidade anglófona, quantidade considerável de estruturações de linguagem natural para documentação de requisitos, já desenvolvidas e testadas (HALLIGAN, 2022). Para o idioma português, contudo, tais ferramentas são praticamente inexistentes, sendo que o aproveitamento das similares em inglês para outras línguas não deve ocorrer sem uma análise criteriosa de seus elementos constituintes (THONGGLIN; CARDEY; GREENFIELD, 2012; APAZA et al., 2018).

É sobre o contexto narrado que se constrói a presente pesquisa.

1.1 Problema de pesquisa

Dentre as diversas acepções existentes, o problema de pesquisa pode ser definido como a situação indesejada, ou o hiato entre o estado atual e o estado almejado pelo pesquisador (HEVNER et al., 2004; JOHANNESON; PERJONS, 2014). Por Gil (2002), sua formulação tanto pode ser de *ordem intelectual*, quando evidencia uma lacuna do saber humano a partir de referenciais teórico-literários; quanto de *ordem prática*, quando a experiência empírica se mostra, ela mesma, condição que facilita a síntese do problema.

É neste último caso que se classifica o problema de pesquisa ora enfrentado, esclarecido a partir da observação da realidade vivenciada pelo autor:

O Exército Brasileiro não possui uma estruturação de linguagem natural formalizada para documentação dos requisitos de sistemas e materiais de emprego militar.

A Seção 1.4 fornece maiores detalhes a respeito do ambiente institucional que torna evidente o problema. Pode-se, para o momento, ressaltar que documentos oficiais, como a Política Nacional de Defesa e a Estratégia Nacional de Defesa, tornam pública a opção por sistemas tecnológicos como ferramenta de proteção da soberania nacional (BRASIL, 2020c), e que estes sistemas se caracterizam pela elevada complexidade e dificuldades específicas de obtenção (BRASIL, 2020a). Esta configuração recomendaria, por certo, a existência de procedimentos detalhados de elicitação, documentação, verificação e gestão

dos requisitos (POHL; RUPP, 2015) que guiam a obtenção dos SMEM. O que se observa no Exército Brasileiro (EB), porém, é que o único documento em vigor que regula de forma específica a redação de requisitos data da década de 1990 (BRASIL, 1991), sendo, ainda assim, bastante lacônico em suas determinações. Portanto, o problema descrito destaca a necessidade de atualização e complementação da normatização existente, sendo a tarefa de padronização do inventário de requisitos uma das mais prementes.

1.2 Questões de pesquisa

Formulado o problema, pode-se, tendo-o por base, redigir a questão de pesquisa. Esta facilita a interpretação e análise do problema e direciona os esforços no sentido de prover uma resposta que o solucione (SORDI, 2013). Para a pesquisa em tela, idealizou-se a seguinte **questão principal**:

Quais componentes definem uma solução satisfatória para estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM de interesse do Exército Brasileiro?

Como é visto na Seção 2.2.3.2, uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos é composta, majoritariamente, por um conjunto de matrizes textuais, expressões-chave e marcadores de posição. A questão principal da pesquisa indaga quais são tais matrizes, expressões e marcadores que fundamentam uma solução individual que atenda às necessidades do EB. Ressalta-se que, na classificação de Thuan, Drechsler e Antunes (2019), é uma questão dirigida às características internas do produto-solução, que pode ser complementada por **questões secundárias**, que, no caso, analisariam processos de suporte à construção desejada. Enxertam-se, assim, duas questões secundárias à questão principal, a primeira voltada a um aspecto operacional, a segunda a um aspecto avaliativo:

- *Como pode ser construída uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos?*
- *Como pode ser avaliada uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos?*

1.3 Objetivos da pesquisa

A partir do problema e das questões de pesquisa, podem-se declarar objetivos que indiquem a intenção concreta do trabalho do pesquisador, o “para quê?” de seu esforço

(SORDI, 2013). De forma alinhada ao que foi enunciado nas Seções 1.1 e 1.2, sugere-se o seguinte **objetivo geral** para o trabalho:

Desenvolver uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM, adequada aos interesses do EB.

O uso do verbo “desenvolver”, como ação do objetivo geral da pesquisa, visa indicar, de forma bem fundamentada e validada, uma resolução à situação-problema enfrentada. O produto, portanto, precisa ser projetado e ter sua eficácia comprovada, podendo estas atividades constituírem-se metas parciais da pesquisa, ou **objetivos específicos** (SORDI, 2013), que contribuem para que o objetivo geral seja atingido. Tais são, por consequência, os objetivos específicos propostos:

- *Construir uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM no idioma português.*
- *Avaliar a estruturação de linguagem natural desenvolvida.*

Uma representação esquemática da relação entre os elementos de definição da pesquisa (problema, questões e objetivos) pode ser vista na Figura 1. Nota-se que o objetivo geral é consequência direta da questão principal e esta, por sua vez, do problema de pesquisa. As questões secundárias derivam da questão principal. Já os objetivos específicos podem ser interpretados tanto como divisões do objetivo geral, quanto como desdobramentos das questões secundárias.

1.4 Justificativa

Justificar o valor de uma solução motiva o pesquisador e o público interessado na busca e aceitação da resposta, ao mesmo tempo em que auxilia o entendimento do raciocínio empregado pelo cientista no tratamento do problema (PEFFERS et al., 2007). Com isso, fica evidente o valor da exposição das razões que fundamentam a importância da presente pesquisa e fomentam sua persecução.

Em atenção a esta demanda, a justificativa do presente trabalho se alicerça em uma estrutura que parte do geral para o particular, abrangendo a Defesa Nacional, a opção política e estratégica por sistemas tecnológicos, a Engenharia de Sistemas, a documentação de requisitos e a necessidade de estruturação da linguagem natural. Tal estrutura em camadas encontra-se representada na Figura 2.

Cada uma destas camadas é detalhada a seguir.

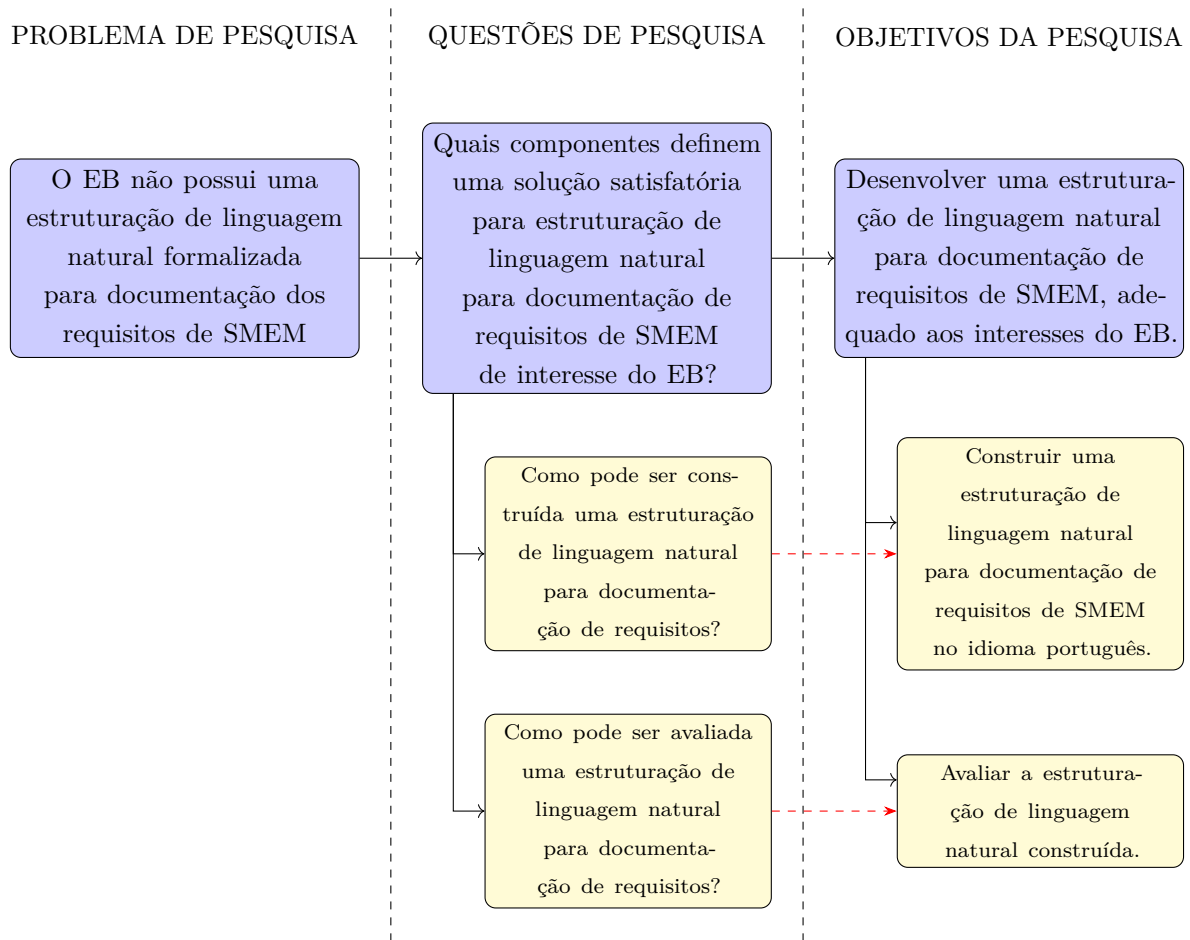


Figura 1 – Representação esquemática dos elementos de definição da pesquisa. Fonte: o autor.

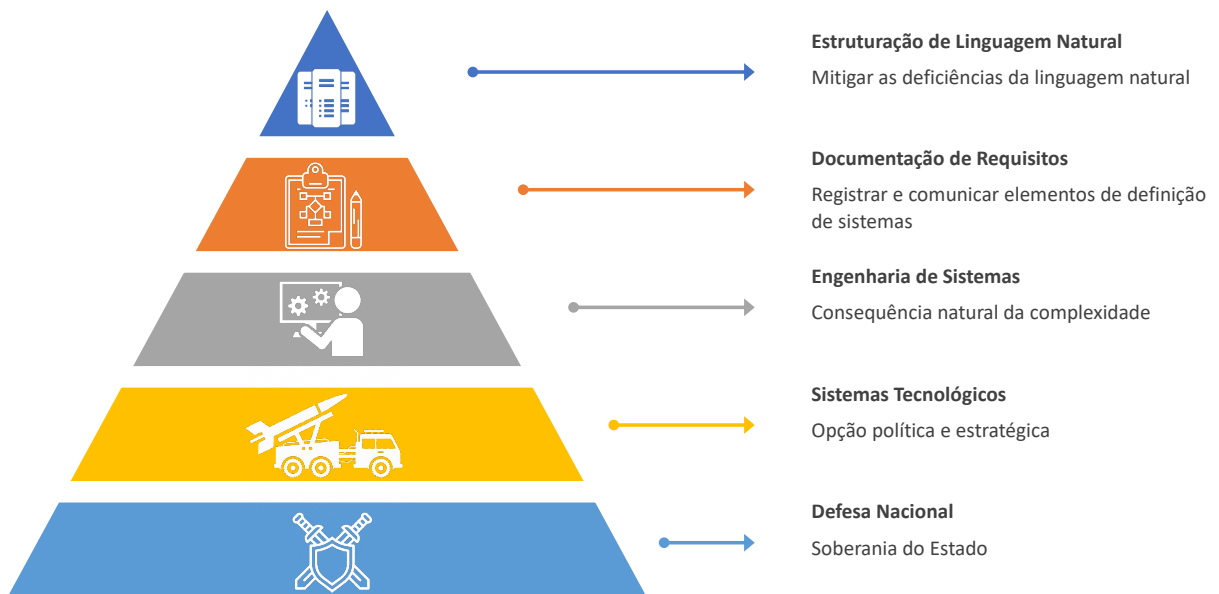


Figura 2 – Camadas de justificativa da pesquisa. Fonte: o autor.

1.4.1 A Defesa Nacional

A soberania do Estado é o primeiro dos fundamentos elencados no artigo 1º da Constituição da República Federativa do Brasil, e sua defesa é incumbência das Forças Armadas e de seus membros, os militares, conforme artigo 142 da mesma Carta (BRASIL, 2016). A Política Nacional de Defesa (PND) é o documento de mais alto nível a harmonizar iniciativas intervenientes à Defesa Nacional, e ressalta que a extensão territorial do Brasil, sua economia, a ampla gama de recursos naturais, bem como seu potencial tecnológico e industrial, são fatores que projetam o País internacionalmente e lhe dão papel de destaque no concerto das Nações, atraindo possíveis conflitos de interesses com atores de diversas naturezas e evidenciando a necessidade de desenvolvimento de condições para garantia da soberania. A PND concebe a Defesa Nacional a partir de 15 pressupostos, sendo o primeiro deles “manter as Forças Armadas adequadamente motivadas, preparadas e equipadas” (BRASIL, 2020c).

A pesquisa relatada, portanto, ao tratar de vantagens para a Defesa, justifica sua pertinência aos maiores interesses do País.

1.4.2 Papel dos sistemas tecnológicos no exercício da Defesa

Outro dos pressupostos listados pela PND, que possui inquestionável afinidade ao primeiro, é o quinto: “priorizar os investimentos em [...] Ciência, Tecnologia e Inovação aplicados a produtos de defesa de uso militar e/ou dual, visando o fortalecimento da Base Industrial de Defesa - BID e a autonomia tecnológica do País”. Esta opção política pelos sistemas tecnológicos no exercício da Defesa é coerente com todo o Título III, Capítulo IV da Constituição Federal, que trata da promoção e incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2016). Sua importância resta ainda mais evidente quando a PND descortina os Objetivos Nacionais de Defesa e relaciona “Promover a autonomia tecnológica e produtiva na área de defesa” entre estes, esclarecendo que se trata de busca pelo desenvolvimento de tecnologias autóctones com fito na redução da defasagem tecnológica das Forças Armadas (BRASIL, 2020c).

A PND fundamenta a Estratégia Nacional de Defesa (END), documento que desdobra os Objetivos Nacionais de Defesa em ações necessárias para efetivamente dotar o Estado da capacidade de resguardar a soberania da Nação. Aqui, a opção política pelas tecnologias militares revela faceta inserida na concepção estratégica de defesa e é valorizada a ponto de constituir uma das Capacidades Nacionais de Defesa: a Capacidade de Desenvolvimento Tecnológico de Defesa. Tal Capacidade é aquela que proporciona sinergia entre Estado, indústria e meio acadêmico para atualização e independência tecnológica em termos de Produtos de Defesa (PRODE) e Sistemas de Defesa (SD), ademais mantendo a Base Industrial de Defesa (BID) no estado da arte das práticas e conhecimentos correlatos (BRASIL, 2020c).

Mais uma publicação oficial que versa a respeito desta preferência pela vertente científico-tecnológica da Defesa é o Livro Branco de Defesa Nacional (BRASIL, 2020a). Assim como seus congêneres internacionais, tal obra reflete sobre o papel das Forças Armadas no contexto das prioridades nacionais (ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS, 2002), e observa que, para além das ações diretas, as Forças Armadas contribuem ao engrandecimento nacional pelo fomento à pesquisa e ao desenvolvimento de tecnologias variadas, que invariavelmente resultam em produtos que elevam a autonomia tecnológica da Nação, fortalecem a BID e são de alto valor agregado (BRASIL, 2020a).

De fato, em um mundo no qual se projeta um faturamento global relacionado a produtos de defesa superior a US\$ 550 bilhões em 2025, a indústria a eles referente pode representar um componente muito proveitoso à expressão econômica do Poder Nacional (GALDINO; SCHONS, 2022). Ainda no âmbito das cifras, o Departamento de Defesa norte-americano solicitou, para o ano de 2024, ao Congresso daquele país, o orçamento destinado à pesquisa e desenvolvimento de aplicações militares ou duais mais alto da história: US\$ 145 bilhões (EUA, 2024), comprovando a imprescindibilidade de atenção a esta área, capaz de movimentar valores comparáveis ao Produto Interno Bruto de diversos países.

A tese apresentada, que busca contribuir para o aprimoramento do processo de delinear sistemas e materiais complexos a serem utilizados no contexto da Defesa Nacional, mostra, assim, sua importância científico-tecnológica e econômica. Justifica-se pela opção oficial, seja na esfera política, seja na estratégica, pelo desenvolvimento autônomo de produtos militares ou de uso dual.

1.4.3 Engenharia de Sistemas, Engenharia de Requisitos e obtenção de SMEM

No Exército Brasileiro (EB), em particular, é notório o crescimento, nos últimos anos, do esforço de modernização de armamentos e equipamentos em geral. Registra-se, como exemplo, a implantação do Programa Estratégico do Exército Obtenção da Capacidade Operacional Plena, pelo qual se busca a manutenção ou obtenção de capacidades por intermédio da substituição de SMEM defasados tecnologicamente ou em final de ciclo de vida (BRASIL, 2020a). As capacidades operativas de maior interesse do EB encontram-se elencadas no Catálogo de Capacidades do Exército (BRASIL, 2015a), documento que pode ser interpretado como uma grande relação de aptidões e necessidades requeridas para o cumprimento das missões constitucionais da Força Terrestre, muitas das quais relacionadas a SMEM, tais como CO01 - Mobilidade Estratégica, CO14 - Planejamento e Condução e CO16 - Consciência Situacional. O direcionamento das atividades baseadas em tais capacidades é feito por intermédio do Plano Estratégico do Exército (BRASIL, 2019a), que, sob o Objetivo Estratégico de aperfeiçoar o sistema de ciência, tecnologia e inovação, determina as Atividades 9.2.1.1 (Realizar a pesquisa, o desenvolvimento, o teste

e a avaliação de PRODE, de acordo com os planos do EB) e 9.2.1.2 (Capacitar engenheiros e pesquisadores para o desenvolvimento de tecnologias, de acordo com os planos do EB). Estabelece, ainda, um Plano de Obtenção de Capacidades Materiais, composto por 27 projetos de SMEM a serem obtidos por desenvolvimento interno e outros 29 por aquisição ou contratação de serviços.²

Ocorre que a natureza de sistemas tecnológicos vem evoluindo de tal forma em integração de componentes, dados, comunicações, controle cibernético e outras modernidades, que campos tradicionais da engenharia, isolados, não são capazes de acompanhar este progresso. Torna-se imprescindível uma abordagem transdisciplinar³, que lhes assegure desempenho, confiabilidade, segurança, baixo custo e, acima de tudo, atendimento às necessidades da instituição. Este é o papel da Engenharia de Sistemas (INCOSE, 2021). O próprio Plano Estratégico do Exército reconhece a importância da Engenharia de Sistemas neste contexto, ordenando-a em 6º lugar dentre as 34 áreas de pesquisa prioritárias ao investimento de curto prazo (BRASIL, 2019a).

A perfeita sinergia entre usuários do sistema e seus desenvolvedores é uma das maiores preocupações da Engenharia de Sistemas. Como consequência, desenvolveu-se toda uma técnica que lhe é associada: a Engenharia de Requisitos, responsável por gerar um conjunto de requisitos que defina o sistema de interesse, registre o acordo entre as partes interessadas, seja validado com relação às necessidades operativas, esteja apto à implementação e sirva de referência à atividade de avaliação (POHL; RUPP, 2015). A Engenharia de Requisitos evidenciou-se tão fundamental ao desenvolvimento de sistemas, que, para além das boas práticas de engenharia, tornou-se alvo de normas internacionais, como a ISO/IEC/IEE 29148 (ISO, 2018b), a qual regulamenta a documentação de requisitos e suas atividades afins.

Os SMEM, em especial, carecem de atenção minuciosa da Engenharia de Sistemas e da Engenharia de Requisitos. Segundo Razzak e Islam (2020), tratam-se de itens de essência singular, pois os usuários são de tipo especial (soldados ou outros profissionais de defesa), utilizados em contexto específico (ambiente de guerra ou de outras operações militares), para propósitos característicos (aumentar o desempenho geral em operações militares de compromisso), em aplicações multicanal ou multiplataforma (necessidade de sinergia com diversos outros sistemas) e, acima de tudo, sob risco de altíssima gravidade em caso de falha (potencial de morte a numerosas vidas humanas). Sob o ponto de vista econômico-industrial, o Livro Branco de Defesa Nacional também lhes distingue de outros produtos

² No momento da redação desta Justificativa, o Plano Estratégico do Exército para o quadriênio 2024-2027 ainda não se encontra oficialmente publicado. Utiliza-se o documento formulado para o período 2020-2023, ainda presente em REBUBLEX (BRASIL, 2024c).

³ A *transdisciplinaridade*, neste trabalho, deve ser entendida como o paradigma que utiliza as disciplinas de forma sistêmica, holística, construindo uma rede de comunicação no campo disciplinar. Complementa a *multidisciplinaridade* (mera justaposição de disciplinas) e a *interdisciplinaridade* (integração de disciplinas) (PIRES, 1998).

em diversos aspectos: necessidade de grande escala produtiva, alto custo de pesquisa e desenvolvimento, longo prazo de maturação de projetos, curto ciclo de vida, dependência de compras governamentais e exportações restringidas por exigências legais e presença de grandes competidores (BRASIL, 2020a). Com isso, os SMEM revestem-se de imperiosa necessidade de desenvolvimento ordenado e metódico. Confirma o fato a existência de um grupo de trabalho específico para sistemas de defesa no *International Council On Systems Engineering* (INCOSE), maior conselho profissional do mundo dedicado à Engenharia de Sistemas e suas subáreas (INCOSE, 2024).

Atos normativos no Ministério da Defesa (MD) fazem coro com este ponto de vista do caráter indispensável da Engenharia de Requisitos. O Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa, documento que se presta à subsidiar processos de implantação de atividades correlatas à Engenharia de Sistemas nas Forças Armadas, dispõe que “o Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa inicia-se na fase de concepção a partir de requisitos operacionais preliminares”, e que estes “devem conter informações suficientes que permitam a modelagem do Ciclo de Vida do Sistema de Interesse” (BRASIL, 2019c). Outra legislação do MD, a Diretriz de Obtenção Conjunta de Produtos de Defesa e Sistemas de Defesa, declara Requisitos Operacionais e, em determinadas situações, Requisitos Operacionais Conjuntos como documentos obrigatórios em processos de aquisição de equipamentos voltados à área finalística, esclarecendo que “a elaboração de requisitos é uma atividade complexa, mas fundamental” (BRASIL, 2021).

O EB também normatiza o assunto, sobretudo nas Instruções Gerais para Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar (IG-01.018), quando define os Elementos Definidores de SMEM como sendo os requisitos operacionais, os requisitos técnicos e industriais, e os requisitos logísticos (BRASIL, 2024a).

Convém ressaltar que a iniciativa legisladora em prol da Engenharia de Sistemas e Engenharia de Requisitos por parte das Forças Armadas é acompanhada de diligências para formação de recursos humanos capazes de a fazerem cumprir. A Força Aérea Brasileira (FAB), em contribuição ao Plano Nacional de Pós-Graduação, elenca a Engenharia de Sistemas como área de pesquisa de especial interesse, fazendo menção específica à gestão de requisitos como uma de suas derivações (BRASIL, 2010). O Departamento de Ciência e Tecnologia do EB, por sua vez, em seu Plano de Governança e Gestão Setorial (BRASIL, 2024b), relaciona como ameaça o “pouco conhecimento, por parte de órgãos do próprio EB e também por órgãos externos à Força Terrestre, sobre a gestão do ciclo de vida dos SMEM, particularmente na fase da formulação conceitual (elaboração de requisitos e avaliação)” e, como fraqueza, a “baixa maturidade em engenharia de sistemas”. Nesse contexto, efetiva ações como a aprovação da Necessidade de Conhecimento Específico (NCE) 22D022, que, elencada em 1º lugar para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia (IME), visa justamente a formação de um doutor

especialista em Engenharia de Sistemas e de Requisitos (BRASIL, 2020b).

O presente trabalho se dirige a uma pesquisa no campo da Engenharia de Requisitos, especialmente dedicada a SMEM, e realizada em restrito enquadramento à NCE 22D022. Fica, assim, justificado em seus interesses.

1.4.4 Estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos

O único instrumento normativo em vigor, conforme a Relação das Publicações do Exército (REPUBLEX) atualizada em 20 de setembro de 2024 (BRASIL, 2024c), que regula de forma mais específica a redação de requisitos no âmbito do EB são as Normas para Elaboração dos Requisitos Técnicos Básicos, de 1991. Para além da defasagem temporal com os dias correntes, deve-se observar que as orientações práticas contidas em tal norma para efetiva documentação de requisitos são bastante lacônicas. Há ditames para observar que cada requisito deva “ser redigido em linguagem simples, precisa e concisa” e que “devem ser evitadas expressões imprecisas” (BRASIL, 1991), mas, ainda assim, o responsável pela redação das sentenças deve buscar em outras fontes informações que, somadas à sua experiência, resultem em um trabalho adequado à criticidade do fim a que se destina.⁴

O fato se reveste de especial gravidade quando se nota que, conforme resta esmiuçado na Subseção 2.2.3.1, a utilização da linguagem natural para documentação de requisitos é, simultaneamente, o método mais utilizado (inclusive no Exército Brasileiro) para tal, e o mais problemático quanto a diversas das boas características de requisitos individuais, elencadas no item 5.2.5 da ISO/IEC/IEEE 29148 (ISO, 2018b). Destas, destacam-se, para o fim desta justificativa, a não ambiguidade (possibilidade única de interpretação), a completude (abrangência de todas as informações necessárias ao entendimento) e a singularidade (estabelecimento de fator único de definição).

Como forma de mitigar esta falibilidade da linguagem natural, a própria ISO 29148 determina uma última boa característica individual dos requisitos: a conformidade, declarando que estes “devem ser conformes a um padrão aprovado de modelo e estilo de escrita de requisitos, quando aplicável”. Exemplifica ainda, ao longo do item 5.2.4, algumas regras de utilização de linguagem natural (como uso da voz ativa e diferenciação entre criticidades de obrigação) e até uma estruturação rudimentar de linguagem natural no idioma inglês (ISO, 2018b).

Ao tratar da mesma característica, o *Guide to Writing Requirements* (GtWR),

⁴ Destaque-se que a FAB possui manual relativamente recente que orienta a confecção de Requisitos Operacionais: o MCA 16-9 (BRASIL, 2019b). O nível de detalhamento dessa legislação, entretanto, é apenas similar ao das Normas Para Elaboração dos Requisitos Técnicos Básicos (BRASIL, 1991) no que se refere à redação propriamente dita dos requisitos, manifestando que estes “devem ser apresentados sob a forma de uma sentença afirmativa” e que “devem ser redigidos em discurso direto, ou seja, sem inversões frasais”.

manual de boas práticas elaborado pelo grupo de trabalho da INCOSE dedicado ao estudo de requisitos de sistemas, ressalta o valor da estruturação da linguagem natural, afirmando que “assegurar que os requisitos sejam conformes a padrões pré-acordados e estar apto a identificar elementos específicos em uma sentença de requisito contribui para a habilidade de verificar se os requisitos estão bem formados e se têm as características de conformidade às regras discutidas no Guia” (INCOSE, 2023).

A investigação exaustiva do estado da arte da estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos é etapa da pesquisa à qual ora apenas se alude, posto que é executada no Capítulo 3. Por outro lado, a experiência do autor, que trabalha com Engenharia de Requisitos no Exército Brasileiro desde o ano de 2008, permite observar, ainda que de forma preliminar, que não há artefato desta natureza formalmente constituído na instituição em tela, e que mesmo artefatos similares são raros ou incipientes no idioma português.

Com isso, ao sugerir a prescrição de uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM no idioma português, a tese apresentada converge ao aperfeiçoamento do processo de gestão de requisitos no EB, e contribui para que os produtos obtidos de fato satisfaçam as necessidades do usuário final. Aflui, portanto, como absolutamente justificada em suas intenções e enquadrada nas diretrizes político-estratégicas em vigor.

1.5 Estrutura metodológica

A pesquisa científica deve ser executada em um padrão sistemático, sendo conduzida de forma planejada, e com registro tanto dos processos seguidos quanto dos resultados alcançados (OECD, 2015). Daí a necessidade de se destacar o arranjo metodológico empregado para a consecução deste trabalho, a sequência lógica que norteou tanto a execução do empreendimento quanto a estrutura física da tese. Para a obra aqui relatada, seguiu-se a abordagem conhecida como *Design Science Research* (DSR).

1.5.1 A *Design Science Research*

Formalizada por Vaishnavi e Kuechler (2015), a **DSR** é a abordagem “que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Um **artefato**, por sua vez, é um objeto, físico ou conceitual, especificamente projetado para ser uma solução a um problema de pesquisa (PEFFERS et al., 2007). No presente trabalho, o artefato almejado é a estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM no idioma português.

A DSR foi a abordagem escolhida por cumprir, simultaneamente, três exigências consideradas fundamentais para garantir a robustez da pesquisa e a confiabilidade dos resultados (DRESCH, 2013):

1. **Capacidade de responder ao problema de pesquisa formulado.** Considerando o exposto nas Seções 1.1, 1.2 e 1.3, verifica-se que a pesquisa em tela reveste-se de um caráter que a diferencia de pesquisas tradicionais voltadas às definições, descrições, explicações ou mesmo predições. Seu foco é desenvolver e indicar um artefato que soluciona um problema real, prático, gerando “conhecimento prescritivo” (JOHANNESSON; PERJONS, 2014). A DSR objetiva, justamente, utilizar o rigor científico no projeto, avaliação e comunicação destes artefatos (ÇAĞDAŞ; STUBKJÆR, 2011), tornando-a plenamente adequada e capaz ao trabalho ofertado.
2. **Reconhecimento pela comunidade científica.** Em suas origens, tanto a DSR quanto suas metodologias-bases, a *Design Science* e a *Design Research*, foram alvos de severas críticas da comunidade científica (CHAKRABARTI, 2010; PEFTERS; TUUNANEN; NIEHAVES, 2018). Nos últimos anos, porém, as muitas contribuições aumentaram a maturidade da DSR e a tornaram um campo sólido para o desenvolvimento rigoroso de soluções a problemas do mundo real (BROCKE; GAU; MÄDCHE, 2021). A partir de uma busca rápida na base de dados Scopus pela expressão “*design science research*”, nos títulos, resumos e palavras-chave de todas as publicações registradas até o último ano completo (2023)⁵, encontram-se 3648 documentos, com mais de 500 publicações por ano em 2022 e 2023 (ELSEVIER, 2024), permitindo concluir que a DSR é, hoje, um método de pesquisa muito empregado pela Academia.
3. **Estruturação que evidencia de forma clara os procedimentos de pesquisa.** O desenvolvimento da DSR levou-a a dotar seus usuários de um arcabouço de diretrizes, *frameworks* e conjuntos regulatórios que atuam como procedimentos para condução de pesquisas. Comprova esta assertiva a revisão de literatura feita por Nagle et al. (2022), que, ao analisarem 111 artigos que se propunham à solução de problemas por intermédio da DSR, encontraram menções a 26 referências, explicitamente elencadas pelos autores como estruturas de condução da pesquisa. Praticamente todos, porém, optam por estratégias que envolvem uma adequada definição do problema a ser estudado e etapas de sugestão e desenvolvimento do artefato, com a grande maioria deliberando, igualmente, pela avaliação do artefato desenvolvido (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Daí, segue que esta poderia ser considerada a estrutura mínima de procedimentos no método.

⁵ Busca realizada em 9 de fevereiro de 2024, com uso do *prompt* [TITLE-ABS-KEY ("design science research") AND PUBYEAR < 2024].

1.5.2 O processo Peffers

Propôs-se para a presente pesquisa seguimento à estrutura DSR formalizada por Peffers et al. (2007), doravante denominada “processo Peffers”. Trata-se de um dos modelos de DSR mais empregados pela comunidade científica, detendo robustez e flexibilidade que permitem seu ajuste a diferentes configurações de pesquisa, pesquisadores e tempos, sem perda de confiabilidade (BASKERVILLE; KAUL; STOREY, 2017). A ordem sequencial de atividades que forma o núcleo principal do processo Peffers acabou por determinar, da mesma forma, o fluxo das etapas que fundamentaram esta pesquisa e a própria distribuição dos Capítulos e Seções desta tese, sendo detalhadas a seguir:

1.5.2.1 Identificação do problema e motivação

Peffers et al. (2007) recomendam que a primeira etapa da DSR seja dedicada à definição do problema específico de pesquisa e justificativa do valor de uma solução. Para maior detalhamento desta etapa, e visando soluções às dúvidas provenientes do encadeamento lógico das ideias, optou-se por complementar e coadunar esta diretriz geral com uma mais pormenorizada, estabelecida por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015). A etapa de identificação do problema e motivação, passou, assim, a ser composta pelas seguintes subetapas:

1. **Definição do problema.** Qualquer que seja a modalidade metodológica escolhida, toda investigação científica deve se iniciar pela descoberta e colocação precisa do problema (MARCONI; LAKATOS, 2017). Daí a necessidade desta subetapa, na qual busca-se identificar o problema de forma inequívoca, desdobrando-o nas consequentes questões e objetivos de pesquisa. Neste trabalho, tal tarefa encontra-se corporificada nas **Seções 1.1, 1.2, e 1.3**.
2. **Justificativa.** Johannesson e Perjons (2014) sugerem que os problemas a serem tratados pela DSR sejam de significância prática, interesse geral, e que constituam um desafio. Tais exigências são verificadas, via de regra, pela justificativa da pesquisa. A **Seção 1.4** cumpre este papel, explicitando a importância da obra.
3. **Conscientização do problema.** Nesta subetapa, o pesquisador busca a maior quantidade de informações possível a respeito das facetas, causas e contexto das questões estudadas, num esforço de compreensão das mesmas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Dentre as diversas abordagens possíveis, optou-se por estudar os fundamentos teóricos que regem a estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos (**Capítulo 2**), seguindo-se uma revisão integrativa de literatura, que esclareceu o estado da arte nesta seara (**Capítulo 3**).

1.5.2.2 Definição de objetivos para uma solução

Após a perfeita identificação do problema, e com conhecimento a respeito do que é viável para solucioná-lo, advindo da subetapa de Conscientização do problema, pode-se direcionar esforços para a definição de objetivos de desempenho para a solução. Peffers et al. (2007) recomendam que a segunda etapa da DSR seja dedicada a inferir as características de efetividade do artefato de interesse, seja por intermédio de objetivos quantitativos, como métricas que o comparem a soluções semelhantes, seja por objetivos qualitativos, como a capacidade de dar suporte inédito a alguma faceta das questões.

Neste trabalho, o elenco de objetivos a serem atingidos pela estruturação a ser prescrita encontra-se disposto na **Seção 4.1**.

1.5.2.3 Projeto e desenvolvimento

A etapa de projeto e desenvolvimento do artefato é o coração da *Design Science Research* (PEFFERS et al., 2007), podendo ser definida como aquela na qual se constrói o artefato destinado à solução do problema previamente definido, atendendo às exigências dos objetivos elencados (JOHANNESSON; PERJONS, 2014). Consideram-se as características internas necessárias, o contexto de operação, os componentes, os relacionamentos, as fronteiras e as interfaces do artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015).

Ainda que “o processo de proposição de artefatos [seja] essencialmente criativo” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015), é importante que o pesquisador descreva pormenorizadamente os passos para a construção do artefato, a fim de garantir o rigor da pesquisa. Neste trabalho, a construção da estruturação de linguagem natural deu-se pelo uso de um “catálogo de soluções”, conforme é relatado na **Seção 4.2.2**.

1.5.2.4 Demonstração

Esta etapa consiste, basicamente, em provar que o artefato construído funciona, mediante seu uso na solução de um caso particular do problema (PEFFERS et al., 2007). Pode-se dizer que é uma espécie de teste-piloto, quando, a fim de evitar um possível desempenho desastroso na fase seguinte (com participação de membros externos à pesquisa e procedimentos mais rígidos), executa-se um experimento em escala menor, que pode revelar questões de viabilidade do processo, de estimativa de recursos, de dificuldades gerenciais ou impropriedades científico-tecnológicas (THABANE et al., 2010).

Nesta tese, a demonstração do artefato é reportada na **Seção 4.3**.

1.5.2.5 Avaliação

Nesta etapa, observa-se e mede-se quão bem o artefato desenvolvido apoia a solução do problema, mediante a comparação dos objetivos do artefato com o desempenho

demonstrado (PEFFERS et al., 2007). De fato, a DSR não se preocupa apenas com o desenvolvimento do artefato, mas também com o fornecimento de evidências de que ele soluciona o problema real, sendo a avaliação crucial para melhor execução desta atividade (TREMBLAY; HEVNER; BERNDT, 2010).

A avaliação, neste trabalho, é dividida em duas vertentes, uma “avaliação artificial” e uma “avaliação naturalista”. Ambas são detalhadas e executadas ao longo do **Capítulo 5**.

1.5.2.6 Comunicação

Esta é a última etapa do processo Peffers, segundo Peffers et al. (2007). Tais autores a definem como sendo aquela na qual o problema, sua importância, o artefato, sua utilidade e inovação, o rigor do projeto e sua efetividade são comunicados a outros pesquisadores, profissionais da área e demais audiências de interesse.

Toda esta tese é, por certo, um esforço de comunicação, visto que consiste no necessário registro pormenorizado e completo da execução do processo Peffers, da fundamentação teórica empregada e das características do artefato desenvolvido. No **Capítulo 6**, porém, tal vertente é mais evidente, já que ali são sintetizados os aprendizados adquiridos e elencadas as atividades e artigos que manifestaram a difusão do conhecimento.

1.5.3 Estrutura de Capítulos da tese

Como indicado nas Subseções anteriores, a estrutura de Capítulos da tese guarda correspondência sequencial com as diversas etapas de condução da DSR, dentro do processo Peffers. O Quadro 1 resume tal correspondência.

Quadro 1 – Correspondência entre as etapas do processo Peffers e os Capítulos da tese.

Processo Peffers	Tese
Identificação do problema e motivação	Capítulo 1. Introdução
	Capítulo 2. Fundamentação teórica
	Capítulo 3. Revisão da literatura
Definição de objetivos	Capítulo 4. Construção do artefato
Projeto e desenvolvimento	
Demonstração	
Avaliação	Capítulo 5. Avaliação
Comunicação	Capítulo 6. Conclusão

Fonte: o autor.

Após os Capítulos que formam o corpo textual deste documento, são elencadas as **Referências** citadas, bem como os **Apêndices** e **Anexos** que detalham aspectos mencionados ao longo do trabalho.

Houve deliberada opção por omitir o Capítulo tradicionalmente denominado “Materiais e métodos”. Conforme foi observado na Seção 1.5.2, a DSR é composta por etapas individualmente já complexas, cada uma dotada de procedimentos de pesquisa próprios. Em experiência realizada quando da proposta da presente pesquisa, o relato sequencial dos detalhes de todos os procedimentos tornou o texto pouco fluido, com baixo aproveitamento dos leitores. Escolheu-se, assim, por perfazer, de pronto, esta breve exposição geral dos fundamentos da DSR, sendo que as particularidades metodológicas de cada etapa aplicável são expostas ao longo dos Capítulos, imediatamente antes da execução propriamente dita da atividade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo são apresentadas as teorias e conceitos que agiram como referência para a consecução da pesquisa realizada. O Capítulo é estruturado em duas Seções principais. A primeira Seção contextualiza a seara de aplicação dos requisitos: os **sistemas**, sua definição, constituição e abordagem conforme à Engenharia de Sistemas. A segunda Seção volta-se aos **requisitos** propriamente ditos, assunto principal do trabalho, bem como à Engenharia de Requisitos e suas atividades, até a estruturação da linguagem natural para documentação de requisitos.

2.1 Sistemas

Um **sistema** é uma combinação de elementos que interagem entre si, organizada de forma a cumprir propósitos preestabelecidos (ISO, 2015). A partir desta definição formal, pode-se refletir a respeito de algumas características básicas dos sistemas:

O sistema é composto por **elementos**, normalmente classificados entre **componentes**, **atributos** e **relacionamentos**, cada qual com suas características próprias (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013).

Os **componentes** são os elementos que dão forma ao sistema, tanto física quanto conceitualmente. São tidos como **componentes estruturais**, se forem partes estáticas; **componentes operativos**, se partes que atuam no processo desempenhado pelo sistema; ou **componentes de fluxo**, se consistirem no material, energia ou informação sendo processada pelo sistema (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013). De acordo com o princípio da **sistematicidade**, cada componente pode ser visto como uma entidade única ou como uma coleção de outros componentes, situação na qual é dito **subsistema** do sistema maior (MOBUS; KALTON, 2015).

Os **atributos** são as propriedades inatas aos componentes, particularizando suas características, configurações, qualidades, potências, restrições, estados e demais fatores que individualizam suas contribuições aos propósitos do sistema como um todo (o qual possui seus próprios atributos) (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013). Em sistemas típicos de engenharia, como os de interesse da pesquisa proposta, os atributos de um sistema remetem, de certa forma, aos seus *requisitos*.

Os **relacionamentos** são os elementos do sistema que traduzem a interação existente entre seus componentes. Um relacionamento fundamental para o funcionamento do componente, sem o qual ele deixa de existir ou tem seu funcionamento severamente comprometido, é denominado **relacionamento de primeira ordem**. Há também os

relacionamentos de segunda ordem ou **sinérgicos**, os quais, ainda que complementares, auxiliam ao desempenho do sistema como um todo (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013). Os canais de atuação dos relacionamentos são usualmente chamados de **interconexões** (FAULCONBRIDGE; RYAN, 2015).

Dado que o sistema é **organizado**, ele deve se distinguir do ambiente operativo no qual se insere, bem como diferenciar seus próprios componentes de componentes externos, e isso é feito por intermédio de uma **fronteira** (FAULCONBRIDGE; RYAN, 2015). As fronteiras podem ser **concretas**, se, completamente delimitadas no espaço e no tempo, tornarem discreto o evento de passagem de dentro para fora do sistema e vice-versa; **porosas**, quando permitirem a importação e exportação controladas de materiais, energia e informação; **nebulosas**, quando houver um gradiente de pertencimento à região interna ou externa ao sistema; ou **conceituais**, quando sua definição for arbitrária ou fruto de mera conveniência (MOBUS; KALTON, 2015). Em todos estes casos, para que o sistema não seja inócuo ao ambiente operativo, há necessidade de interconexões com elementos externos, que atravessam a fronteira de forma particular. Tais interconexões são denominadas **interfaces** (FAULCONBRIDGE; RYAN, 2015).

A Figura 3 apresenta, de forma esquemática, um sistema representado conforme às definições anteriores. Os círculos em preto indicam componentes internos do sistema, relacionados entre si por interconexões. Os círculos em cinza são componentes externos, inseridos em certo ambiente operativo, que comunicam matéria, energia e informações com o sistema por meio de interfaces. Tais interfaces atravessam o sistema por pontos específicos de sua fronteira, também representada pela elipse tracejada.

Os **propósitos** de um sistema relacionam-se diretamente à sua missão (FAULCONBRIDGE; RYAN, 2015), podendo ser interpretados como o objetivo mais alto do processo desempenhado pelo sistema, ou mesmo como o resultado de sua implementação (ISO, 2015). Ao executar um processo, o sistema recebe certas entradas, mais uma vez, sob forma de matéria, energia ou informação, e as altera, fornecendo saídas de uma ou mais dessas naturezas. Esta função não pode ser desempenhada por quaisquer subconjuntos dos elementos do sistema em isolado, de tal forma que o sistema é maior do que a soma de seus elementos (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013).

2.1.1 Engenharia de Sistemas

Os sistemas tecnológicos atuais são caracterizados por uma grande complexidade, que cresce continuamente, em termos de número de componentes, interconexões, interfaces e funções desempenhadas. A Figura 4 ilustra o fato a partir do tamanho do *software* embarcado em aeronaves militares de projeto norte-americano, desde a segunda metade do Século XX. Nota-se crescimento exponencial, com a quantidade de linhas de código dobrando a cada 4 anos, aproximadamente, a fim de poder gerenciar adequadamente todos

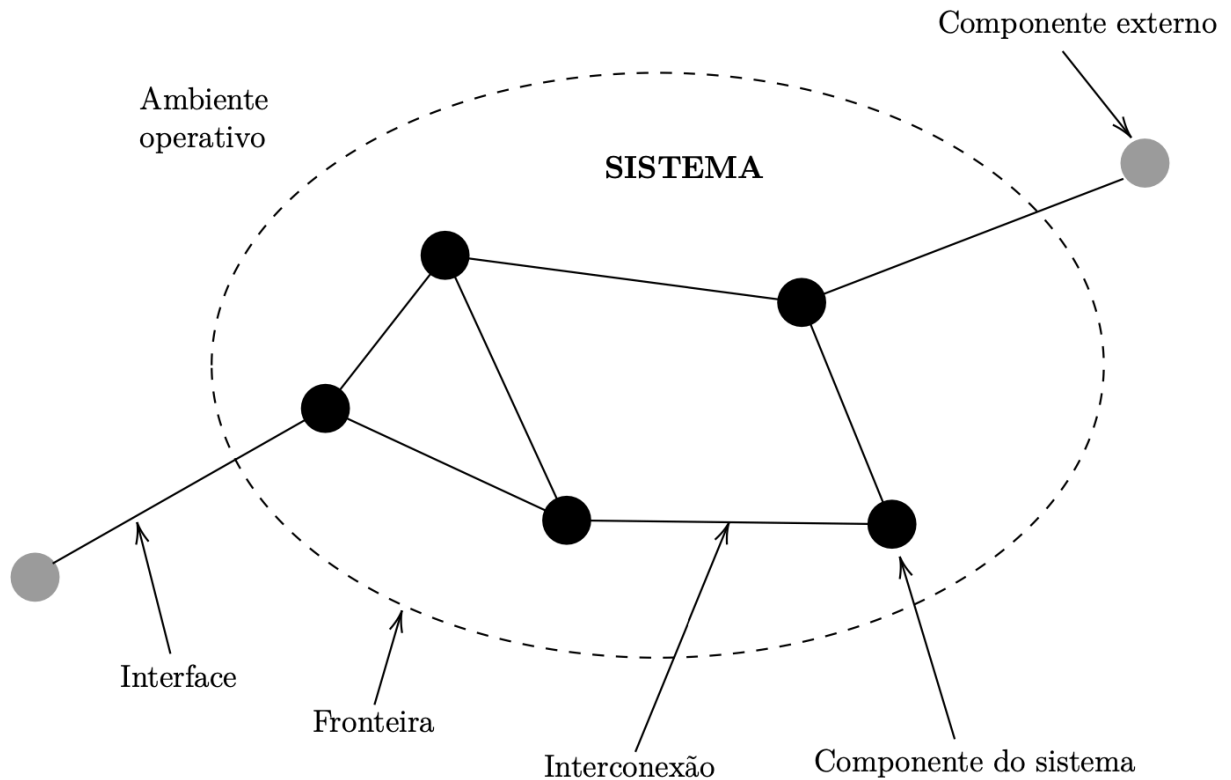


Figura 3 – Representação esquemática de um sistema. Fonte: adaptado de Faulconbridge e Ryan (2015).

os elementos da aeronave construída (AEROSPACE VEHICLE SYSTEMS INSTITUTE, 2022).

Ressalta-se, ainda, que a tecnologia hodierna deve também lidar com outros desafios e tendências globais, como a priorização da sustentabilidade ambiental, a interdependência dos sistemas, a necessidade de modelos e representações digitais de produtos físicos, a alvorada da indústria 4.0 e da sociedade 5.0, bem como o crescimento da cibernética e dos sistemas inteligentes (INCOSE, 2021). A partir daí, surge a necessidade de ferramentas que dotem a engenharia da capacidade de melhor responder a tais demandas, sendo a Engenharia de Sistema uma delas.

A Engenharia de Sistemas consiste numa abordagem transdisciplinar de governo do esforço gerencial e técnico requerido para transformar um conjunto de necessidades de partes interessadas, expectativas e restrições numa solução, e no suporte a esta solução durante toda sua vida (ISO, 2015). Esta não é uma definição estanque ou mesmo de aceitação universal. Na verdade, há uma miríade de definições para a Engenharia de Sistemas, largamente influenciadas pela experiência e ambiente de trabalho do autor (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013), e já foi até dito que “Engenharia de Sistemas é aquilo que os engenheiros de sistemas fazem” (BODE, 1967). Em todo o caso, algumas características parecem consensuais na comunidade interessada (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013):

Tamanho do *software* embarcado em aeronaves militares específicas ao longo do tempo (em milhares de linhas de código)

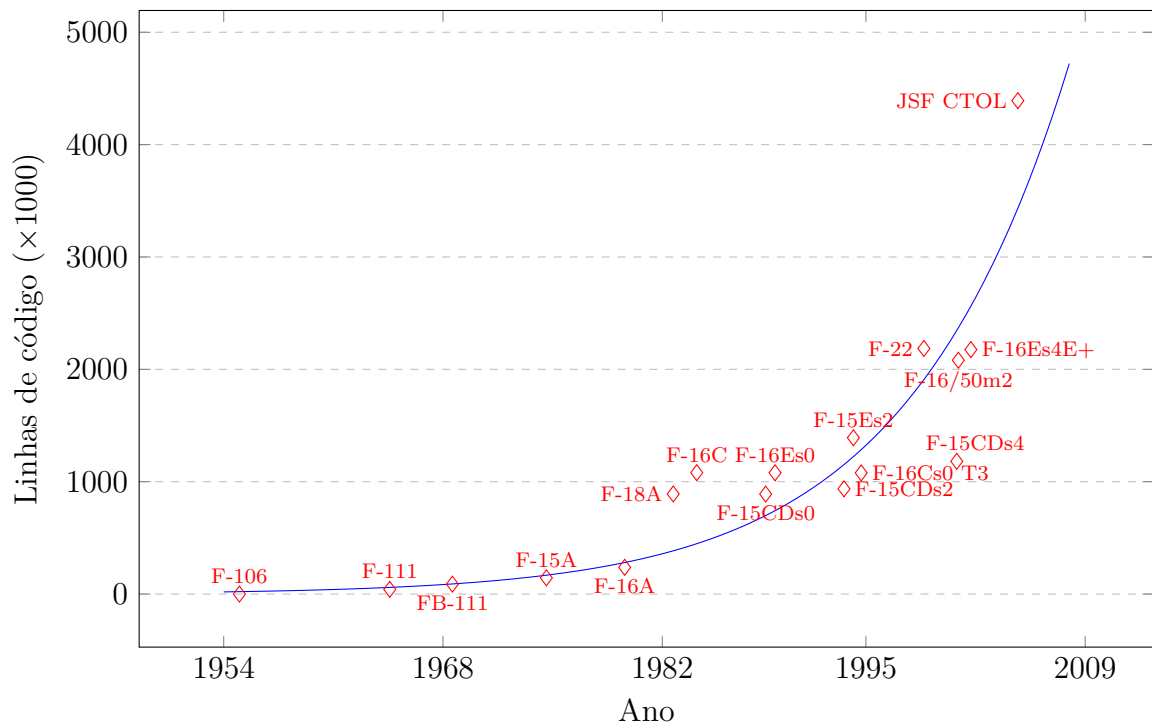


Figura 4 – Crescimento da complexidade do *software* embarcado em aeronaves militares. Fonte: adaptado de Aerospace Vehicle Systems Institute (2022).

1. **A abordagem *top-down*.** A Engenharia de Sistemas se preocupa mais com a visão geral do conjunto e da compreensão de como os componentes atuam de forma sinérgica do que com o projeto dos detalhes de cada elemento.
2. **A orientação ao ciclo de vida.** Se o foco das engenharias tradicionais está no projeto e obtenção dos componentes, a Engenharia de Sistemas busca identificar antecipadamente riscos à produção, operação, manutenção, suporte e descarte de todo o sistema de interesse.
3. **A definição inicial dos requisitos do sistema.** A Engenharia de Sistemas se preocupa com a descoberta e especificação dos reais requisitos do sistema, bem como da rastreabilidade destes até as necessidades do usuário e, noutro sentido, às decisões de projeto.
4. **A transdisciplinaridade.** A Engenharia de Sistemas prevê que a equipe responsável pelo projeto e desenvolvimento do sistema seja proficiente em diferentes disciplinas e nas suas inter-relações, empregando métodos, técnicas e ferramentas para facilitar a associação de conhecimentos.

2.1.2 Ciclo de vida de sistemas

O emprego da Engenharia de Sistemas ao longo das décadas evidenciou a necessidade de uma **engenharia simultânea** (do inglês *concurrent engineering*), que leve em consideração, desde a concepção do produto, questões relacionadas aos seus projetos gerais e detalhados, produção ou construção, distribuição, utilização, suporte, e mesmo retirada do mercado e descarte, mantendo-o efetivo e economicamente viável durante todo seu **ciclo de vida** (BLANCHARD; FABRYCKY, 2013).

O ciclo de vida é formalmente definido como “a evolução de um sistema, produto, serviço, projeto ou outro artefato construído pelo homem, da concepção à desativação” (ISO, 2015). Quando aplicado à Engenharia de Sistemas, surge da constatação de que todo sistema artificial tem uma certa sequência de fases mais ou menos semelhantes ao longo da existência: em determinado instante no tempo ele ainda não existe, depois é construído, utilizado, e, então, quando não mais cumpre os propósitos para o qual foi criado, é descartado (FAULCONBRIDGE; RYAN, 2015).

Há numerosos modelos detalhados de ciclo de vida dos sistemas e, visando ordenar e descrever os principais processos, atividades e eventos que ocorrem durante a subsistência do material, as instituições interessadas concebem padrões de gerenciamento adequados às suas necessidades, ou mesmo singularizam modelos genéricos. O modelo de gestão do ciclo de vida dos SMEM adotado pelo Exército Brasileiro encontra-se consubstanciado nas IG-01.018 (BRASIL, 2024a). Trata-se de um modelo bastante completo e complexo, composto por dezenas de atividades, distribuídas em 4 grandes fases. Uma representação simplificada de suas prescrições encontra-se registrada na Figura 5.

A Reunião Decisória Inicial (RDI) ocorre imediatamente antes do início do ciclo de vida do SMEM. Esta é, via de regra, convocada para apreciar demandas relativas à manutenção, melhoria ou preenchimento de lacunas de capacidades operativas.

Quando a RDI decide pelo prosseguimento do processo, mediante obtenção de SMEM de prateleira ou desenvolvimento de SMEM, tem início a **Fase de Concepção**. A partir da Diretriz de Concepção, documento-base que orienta a concepção do SMEM, um grupo de trabalho especialmente nomeado torna-se responsável pela consolidação dos Elementos Definidores do SMEM (EDS). Os EDS são compostos pelo Requisitos Operacionais (RO); Requisitos Técnicos e Industriais (RTI); e pelos Requisitos Logísticos (RL). RO, RTI e RL são documentos individuais, porém articulados entre si, de forma a definir claramente as expectativas com relação ao SMEM que se pretende obter. A 1ª Reunião Decisória marca a passagem da Fase de Concepção para a Fase de obtenção, ao decidir pela forma de obtenção do SMEM ou decretar a revisão ou encerramento prematuro de seu ciclo de vida.

O SMEM será de fato obtido durante a **Fase de Obtenção**. Isto pode ocorrer por

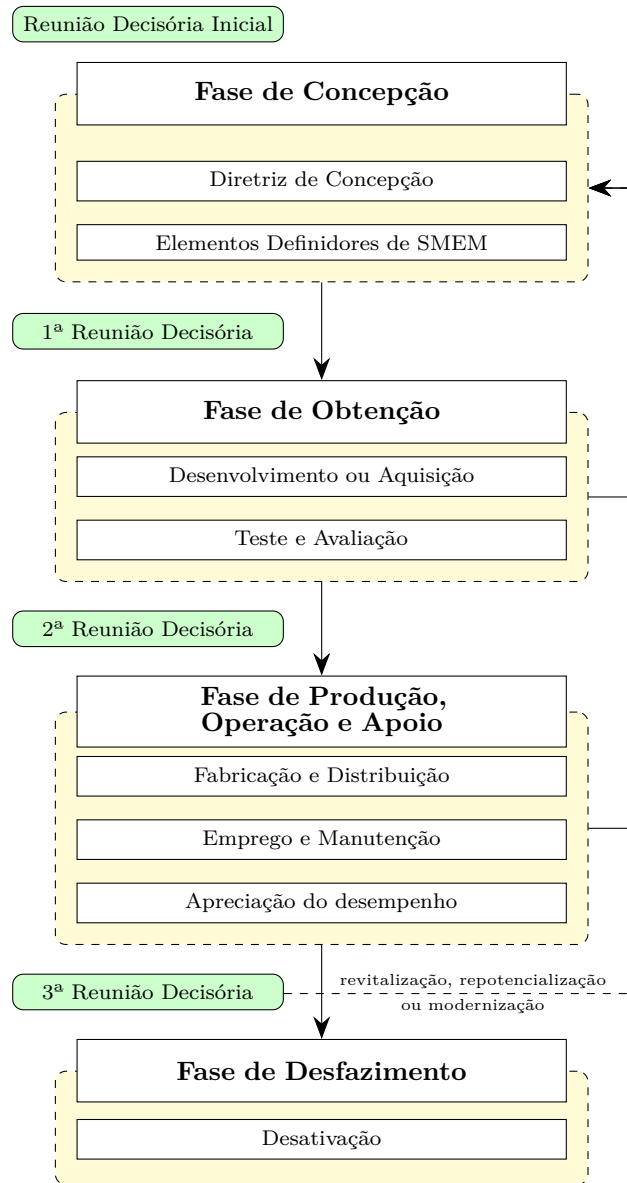


Figura 5 – Representação simplificada da gestão do ciclo de vida de SMEM pelo EB. Fonte: o autor, a partir do prescrito pelas IG-01.018 (BRASIL, 2024a).

desenvolvimento de SMEM gerido pelo EB, ou por aquisição de produtos já disponibilizados pelo mercado, com ou sem previsão de testes e avaliações - T&A¹. Quando há previsão de T&A, amostras do SMEM deverão passar por atividades de avaliação, nas quais será verificada a conformidade do mesmo aos requisitos preestabelecidos. A 2ª Reunião Decisória, de posse dos resultados da avaliação, determinará o prosseguimento do ciclo de vida do sistema, mediante adoção do material, ou o retorno do processo ao demandante, para novos estudos ou revisões, conforme deliberações. Durante a Fase de Obtenção, são previstos mecanismos de iteração do processo, ajustes de desenvolvimento e mesmo retorno

¹ Ao início do processo, a RDI também pode decidir por algumas formas especiais de obtenção, como a aquisição emergencial, a obtenção para remodelação, evolução ou customização, e a obtenção de materiais para estudo e experimentação (BRASIL, 2024a).

à fase anterior, caso haja necessidade de adequação de requisitos.

A **Fase de Produção, Operação e Apoio** contempla todo o período de vida útil operacional do SMEM. Conforme ocorre a fabricação do mesmo nas quantidades adequadas, o sistema ou material é distribuído à tropa e por ela empregado nas diversas missões. A equipe responsável pelo suporte executa as atividades de manutenção preventiva e corretiva do material, de acordo com as orientações de projeto. Durante toda esta fase deve ocorrer, seja pelo usuário final, seja pelos órgãos de logística, seja por elementos técnicos, o monitoramento do desempenho do SMEM, com vistas a identificar oportunidades de melhoria, a evolução das necessidades ou o momento em que seu uso deixa de ser viável logística, técnica ou operacionalmente. Nesta situação é convocada uma 3ª Reunião Decisória, que poderá optar pela revitalização, repotencialização ou modernização do SMEM (remetendo-o a um novo ciclo de concepção), ou, ainda, por seu desfazimento.

Finalmente, a **Fase de Desfazimento** é aquela na qual o material é desativado e despatrimonializado, sendo descartado da maneira apropriada (transferência, cessão, alienação ou inutilização) e tendo encerrado de forma definitiva seu ciclo de vida.

2.2 Requisitos

Requisitos são declarações que traduzem ou expressam uma necessidade e suas restrições e condicionantes associadas (ISO, 2018b), sendo que as necessidades relacionam-se diretamente às expectativas de desempenho em funções e características do sistema, imprescindíveis para atingimento dos objetivos das partes interessadas (RYAN et al., 2014). Dentro do Exército Brasileiro, e de sua diretriz de Planejamento Baseado em Capacidades, as necessidades são normalmente relativas ao preenchimento de lacunas de capacidades e à manutenção destas, registradas na Pesquisa Preliminar, nas Necessidades Operacionais Gerais e no Documento de Formalização de Demanda (BRASIL, 2024a).

Os requisitos formalizam as necessidades, explicitando suas **restrições** - os limites de operação impostos ao sistema, ao seu projeto, ou à sua implementação - bem como as **condicionantes** - atributos quantitativos ou qualitativos que indicam a circunstância em que a necessidade se aplica (ISO, 2018b).

A Figura 6 situa os requisitos nas diversas camadas presentes no modelo Vee da Engenharia de Sistemas (por vezes também chamado de “modelo em V”). Observa-se que existem conjuntos de requisitos pertencentes a cada um dos níveis do produto, desde requisitos de *stakeholders* (partes interessadas), passando pelos requisitos do sistema em si, dos variados subsistemas e dos componentes. Da mesma forma, o produto também é testado em diversos níveis: componentes, subsistemas, sistema e, por fim, validação final, sempre de acordo com o conjunto de requisitos correspondente (HULL; JACKSON; DICK, 2011). O objetivo último, via de regra, será responder duas perguntas fundamentais: “O

produto está sendo construído certo?” (verificação) e “Está sendo construído o produto certo?” (validação) (FAULCONBRIDGE; RYAN, 2015).

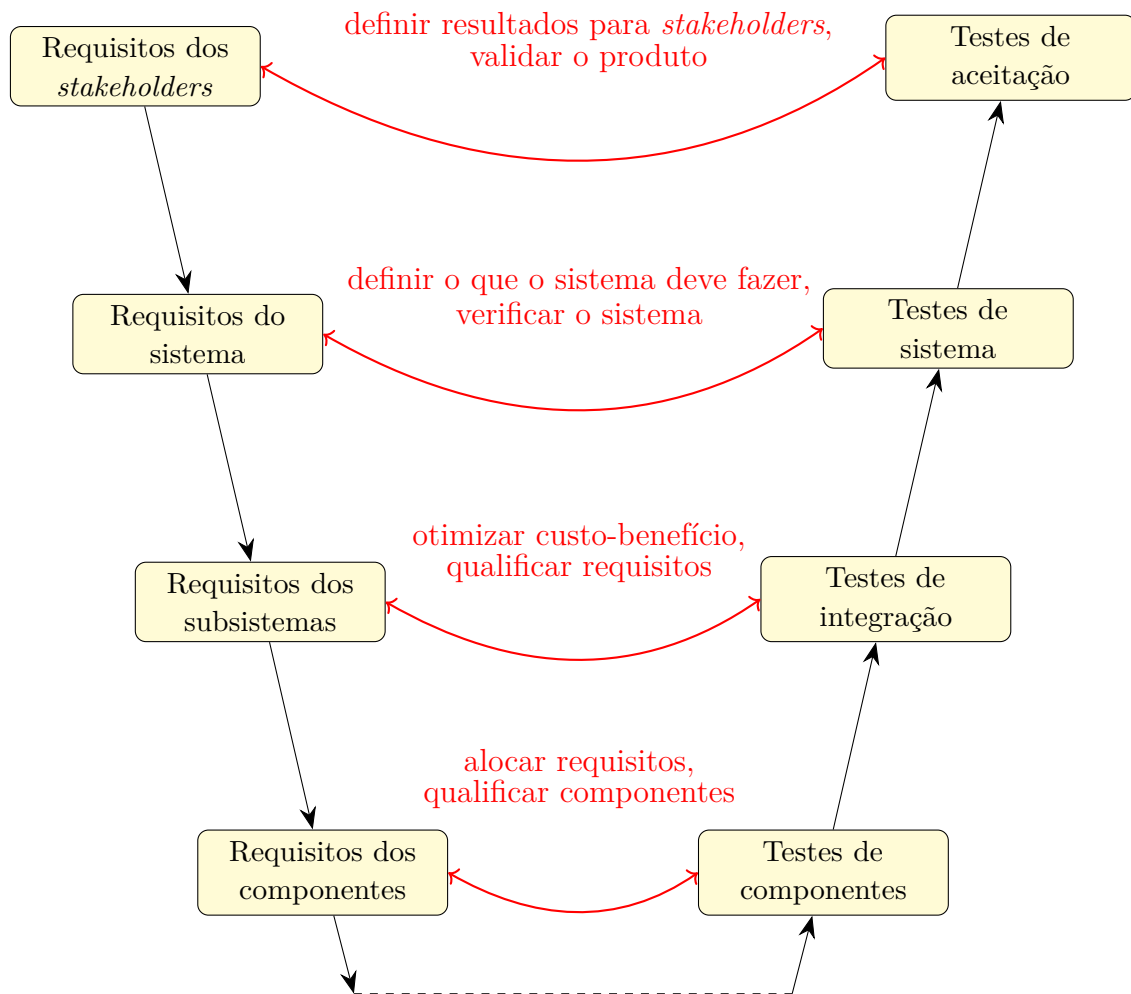


Figura 6 – Papel dos requisitos no modelo Vee da Engenharia de Sistemas. Fonte: adaptado de Hull, Jackson e Dick (2011).

2.2.1 Tipos de requisitos

Dentre as variadas formas de se classificar os requisitos, uma das mais empregadas é a classificação destes em funcionais, de qualidade e de restrições (POHL; RUPP, 2015):

Requisitos funcionais dizem respeito a um resultado ou a um comportamento que deve ser fornecido ou apresentado pelo sistema, podendo incluir a forma de interação com o ambiente. Podem fazer menção à estrutura e dados dos elementos, como um *layout* de tela ou suas dimensões físicas; às funções e fluxos do sistema, determinando os processos a serem executados; ou ainda abordar uma perspectiva comportamental, indicando os diversos estados possíveis do sistema e os eventos que provocam suas transições.

Requisitos de qualidade definem fatores que, apesar de serem implementados no sistema, não são abordados pelos requisitos funcionais. A norma ISO/IEC 25010:2011,

por exemplo, determina um modelo de qualidade baseado em requisitos relativos à adequação funcional, desempenho, compatibilidade, usabilidade, confiabilidade, segurança, manutenibilidade e portabilidade (ISO, 2011).

Requisitos de restrições, por fim, são cumpridos, mas não implementados, no sistema, servindo justamente para limitar o espaço da solução além do que é necessário para atender os requisitos funcionais e de qualidade. Normalmente atendem uma demanda expressa pelos *stakeholders*, ou são devidos a exigências legais, organizacionais, culturais ou ambientais.

2.2.2 Requisitos e comunicação

Requisitos e comunicação são assuntos intimamente relacionados, e este vínculo encontra-se no núcleo do trabalho aqui relatado.

A **comunicação** pode ser entendida como a troca intencional de informações, provocada pela produção e percepção de estímulos extraídos de um sistema compartilhado de sinais convencionais (RUSSELL; NORVIG, 2004). No caso dos requisitos, o emissor primário das informações é, na maioria das vezes, o cliente do sistema que ora se deseja desenvolver, quer sejam usuários finais, quer sejam partes interessadas, pertencentes a postos mais altos da hierarquia da organização. Este cliente tem suas necessidades e a intenção de comunicá-las aos desenvolvedores. Para tanto, necessita codificar suas ideias e conceitos de acordo com certa convenção de sinais, denominada **linguagem**. A mensagem é, então, transmitida por um canal de comunicação até chegar aos destinatários, que a decodificam e registram. Tal processo é representado de forma esquemática na Figura 7.

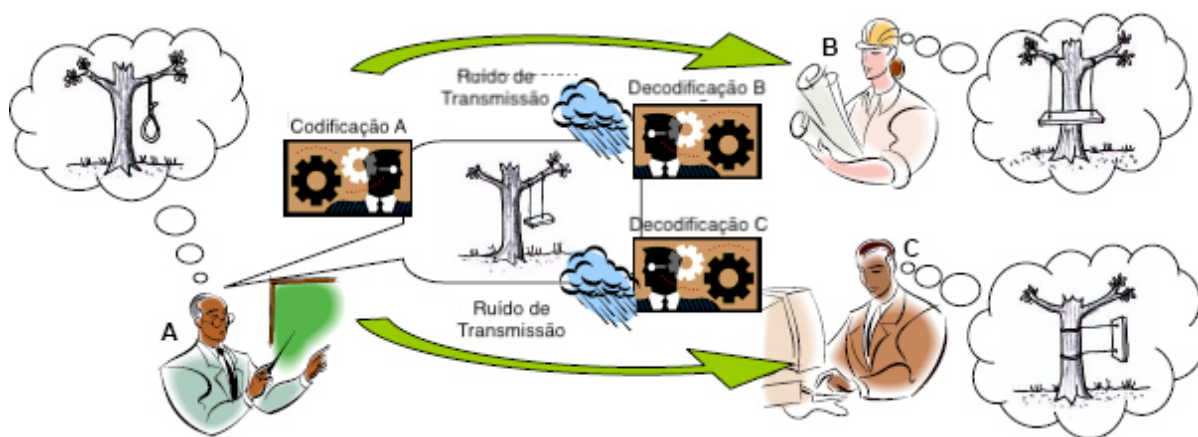


Figura 7 – Processo de comunicação de necessidades e requisitos. Fonte: adaptado de Gerosa (2008).

Ocorre que, conforme mostra a própria Figura 7, o processo de comunicação raramente ocorre sem falhas. Uma série de barreiras, cognominadas **ruído**, interpõem-se nas dimensões física, social, psicológica e temporal dos envolvidos, degradando a qualidade

da comunicação (PA; ZIN, 2011). A forma como o cliente percebe suas necessidades é largamente influenciada por suas expectativas, experiências pregressas, ambiente de trabalho e outros fatores individuais que enviam a realidade vivenciada e a maneira como codifica a informação que deseja enviar (WHEATCRAFT; RYAN, 2018), resultando em uma mensagem que já parte dele imperfeita em relação ao que era de fato pretendido. Os destinatários, engenheiros e demais responsáveis pela entrega do sistema, por sua vez, sofrem interferência da visão que têm do emissor, da pressão do tempo, de suas próprias expectativas e outras distrações, resultando em decodificações e interpretações múltiplas da mensagem transmitida (GEROSA, 2008). Ainda, o uso perfeito da linguagem como código comum exige que emissor e destinatário tenham a mesma competência cultural e educacional, sejam proficientes em campos do saber similares e mesmo que vivenciem dia a dia profissional semelhante, o que raramente acontece. Agrava tal falha o fato de que a comunicação técnica escrita (canal mais comum) é normalmente transmitida com um mínimo de redundância, dificultando a interpretação unívoca dos requisitos (POHL; RUPP, 2015).

A pesquisa desenvolvida por Fernández et al. (2017) indica com clareza esta questão. Os autores, ao analisarem dados obtidos junto a 228 empresas de 10 países (incluindo 78 empresas brasileiras), concluíram que “falhas de comunicação entre a equipe de projeto e o cliente” é, no contexto dos requisitos, o segundo maior problema enfrentado pelas organizações (citado por 41% dos entrevistados), sendo que “falhas de comunicação dentro da equipe de projeto” também foi elencado por 27% dos respondentes.

Surge daí a necessidade de uma atividade metódica que mitigue os lapsos inatos à comunicação humana, apresentando-se a Engenharia de Requisitos como candidata a este papel.

2.2.3 Engenharia de Requisitos

A norma ISO 29148:2018 define Engenharia de Requisitos como a “função interdisciplinar que intermedia os domínios do adquirente e do fornecedor para estabelecer e manter os requisitos a serem atendidos pelo sistema, *software* ou serviço de interesse” (ISO, 2018b). O *International Requirements Engineering Board* (IREB), por sua vez, afirma que a Engenharia de Requisitos consiste na “abordagem sistemática e disciplinada à especificação e gerenciamento dos requisitos” (GLINZ et al., 2022). Ao cumprir bem suas tarefas, a Engenharia de Requisitos auxilia na compreensão e registro das expectativas e necessidades das partes interessadas, de forma a minimizar o risco de entrega de um sistema que não satisfaz o cliente (POHL; RUPP, 2015).

A Engenharia de Requisitos age por intermédio de quatro atividades principais (POHL; RUPP, 2015):

1. **Elicitação.** Consiste no uso de técnicas sistematizadas para identificar e registrar, de forma proativa, as necessidades do cliente e do usuário final (ISO, 2018b). Para além de técnicas tradicionais, como as entrevistas e aplicação de questionários, também são empregados métodos colaborativos (como grupos focais e *brainstormings*), prototipagem, técnicas de modelagem (cenários e casos de uso), métodos cognitivos e contextuais (ontologia e etnografia, por exemplo) e procedimentos típicos de desenvolvimento ágil (PACHECO; GARCÍA; REYES, 2018).
2. **Documentação.** Consiste na representação sistemática dos requisitos elicitados, permitindo que estes sejam adequadamente comunicados e estejam acessíveis a todos os envolvidos no desenvolvimento do sistema (POHL; RUPP, 2015). Dada a importância desta atividade para a pesquisa em tela, ela é detalhada no item 2.2.3.1 desta proposta.
3. **Validação e negociação.** Consiste na certificação de que os requisitos documentados satisfazem os critérios de qualidade predefinidos, bem como no tratamento de conflitos que surgem em função da necessidade de corrigir os requisitos (POHL; RUPP, 2015). A norma ISO 29148:2018 subdivide esta etapa em verificação de requisitos - “confirmação por exame de que os requisitos (individualmente e como conjunto) são bem formados” - e validação de requisitos - “confirmação por exame de que os requisitos (individualmente e como conjunto) definem o sistema correto, como pretendido pelas partes interessadas” (ISO, 2018b). De acordo com a INCOSE, para que um requisito, considerado individualmente, seja de boa qualidade, ele deve possuir as seguintes características (INCOSE, 2023):
 - a) **Necessário** - o enunciado do requisito define uma capacidade, característica, restrição ou fator de qualidade essencial para satisfazer um conceito, uma necessidade para o sistema, ou um requisito superior.
 - b) **Apropriado** - a razão de ser do requisito e seu detalhamento devem estar de acordo com o nível de abstração da entidade (sistema, subsistema ou componente) à qual se refere.
 - c) **Não ambíguo** - o enunciado do requisito deve ser descrito de tal forma que permita uma única interpretação por todos os leitores pretendidos.
 - d) **Completo** - o enunciado do requisito descreve a necessária capacidade, característica, restrição ou fator de qualidade do sistema sem que haja necessidade de qualquer outra informação para sua compreensão.
 - e) **Singular** - o enunciado do requisito descreve uma única capacidade, característica, restrição ou fator de qualidade.
 - f) **Factível** - o requisito pode ser implementado sob as restrições pertinentes de custo, prazo, técnica, legalidade, ética, segurança, etc., com risco aceitável.

- g) Verificável - o requisito é estruturado de tal forma que seu atendimento pode ser provado (verificado) no nível de abstração ao qual se refere.
- h) Correto - o requisito deve ser uma representação precisa da necessidade que traduz.
- i) Conforme - o requisito deve estar de acordo com padrões e estilos de redação pré-aprovados.

Também há fatores de qualidade relacionados ao conjunto de requisitos como um todo (INCOSE, 2023):

- a) Completo - o conjunto de requisitos descreve as necessárias capacidades, características, restrições ou fatores de qualidade da entidade sem que haja necessidade de consulta a outro conjunto de requisitos naquele nível de abstração.
 - b) Consistente - o conjunto de requisitos contém requisitos individuais que são únicos, não entram em conflito nem se sobrepõem a outros requisitos no conjunto, com homogeneidade na linguagem utilizada e em unidades e sistemas de medida.
 - c) Factível - o conjunto de requisitos pode ser implementado sob as restrições pertinentes de custo, prazo, técnica, legalidade, ética, segurança etc., com risco aceitável.
 - d) Compreensível - o conjunto de requisitos deve ser descrito de forma tal a que seja claro o que se espera da entidade e sua relação com o sistema do qual é parte.
 - e) Apto à validação - deve ser possível provar que a implementação do conjunto de requisitos leva à satisfação das necessidade e dos requisitos de nível mais alto, sob as restrições pertinentes de custo, prazo, técnica, legalidade, ética, segurança, etc., com risco aceitável.
4. **Gestão.** Trata-se de atividade transversal às demais, que consiste na definição de atributos dos requisitos, priorização e rastreamento destes, bem como na gestão de mudanças, versionamento e outros itens correlatos ao gerenciamento do ciclo de vida dos requisitos em si (POHL; RUPP, 2015). Um atributo é uma propriedade ou característica do requisito, que deve acompanhá-lo em seu repositório, auxiliando sua identificação, compreensão e gestão (ISO, 2018b). A INCOSE elenca 49 atributos pertinentes aos requisitos, destacando, dentre os mais importantes, Justificativa, Método Primário de Verificação ou Validação. Rastreabilidade, Identificador Único, Autor, Proprietário, Prioridade, Risco etc. (INCOSE, 2023).

2.2.3.1 Documentação de requisitos

Formalmente, a documentação de requisitos é definida como a atividade que resulta em “uma coleção sistematicamente representada de requisitos, tipicamente para um sistema

ou componente, que satisfaz os critérios planejados” (GLINZ, 2022). Nos diversos níveis em que atua, a documentação de requisitos inventaria os objetivos gerais do sistema, suas funcionalidades, interações com o ambiente, relacionamento entre entradas e saídas, restrições e características não funcionais (ISO, 2018b).

Dentre as principais razões para alocação de esforços na atividade de documentação de requisitos, podem-se citar (POHL; RUPP, 2015):

1. **Requisitos são a base do desenvolvimento do sistema.** A documentação de requisitos tem papel fundamental como elo de comunicação entre o adquirente e a equipe responsável pelo desenvolvimento do sistema, influenciando a análise, o projeto, a implementação e a avaliação do produto. Como consequência, a qualidade da documentação gerada impacta todo o projeto.
2. **Requisitos têm valor legal.** Os documentos gerados pelo registro de requisitos frequentemente são usados como elementos de definição em contratos e outros meios de ajuste entre clientes e fornecedores. Escriturações ambíguas ou de difícil compreensão, portanto, podem ser fonte de conflitos que levam a disputas legais.
3. **Requisitos são complexos.** Conforme os sistemas atuais crescem em complexidade, sendo compostos por elementos de diversas naturezas e formando relacionamentos mais e mais intrincados, os requisitos também se tornam mais sofisticados e numerosos. A escolha e execução corretas da forma de documentá-los pode diminuir os efeitos desta dificuldade.
4. **Requisitos devem estar acessíveis a todas as partes envolvidas.** Documentos de requisitos obscuros ou de consulta pouco prática dificultam o entendimento comum das necessidades dentre todos os participantes do processo. Os documentos que registram os requisitos devem estar sempre atualizados e seu conteúdo deve servir como fonte única de informação para a totalidade dos interessados.

Em categorização ampla, os métodos de documentação de requisitos dividem-se entre três classes: métodos **formais**, **semiformais** e **informais**, conforme o rigor lógico-matemático imposto (LAPLANTE, 2018), que se revela na definição da sintaxe — estrutura gramatical — e da semântica — interpretação de significado — da linguagem utilizada (ZAKI-ISMAIL et al., 2021). A escolha pela utilização de um ou outro tipo de método se dá pela análise de fatores como tamanho, complexidade e classificação do projeto, volatilidade dos requisitos, restrições de tempo e custo, bem como criticidade da segurança (JIANG; EBERLEIN, 2007); podendo-se também levar em consideração a maturidade da técnica específica que será empregada, sua complexidade, a proficiência da equipe de desenvolvimento e a cultura própria da organização (LAPLANTE, 2018).

Os métodos **formais** podem ser definidos como aqueles que empregam uma sólida base matemática (em especial a Teoria dos Conjuntos) para especificar os requisitos sob uma linguagem formal, de sintaxe e semântica rigorosamente concisas e não ambíguas (KAUR; GULATI; SINGH, 2012). Nos dias atuais, tais métodos são utilizados sob duas abordagens principais: a *abordagem algébrica*, que traduz os requisitos em termos das operações do sistema e suas relações, tendo como técnicas exemplificativas Larch, OBJ e LOTOS; e a *abordagem baseada em modelos*, que usa ferramentas similares a máquinas de estado para especificar o sistema, como feito por Redes de Petri e por linguagens como Z, VDM, B e CSP (MISHRA; MUSTAFA, 2022). Métodos formais são conhecidos pela precisão, pela possibilidade de tratar as características dos sistemas como entidades matemáticas, e pela consistência; mas, em contrapartida, muitos os consideram custosos em termos de tempo de elaboração e difíceis de comunicar, dado o nível de treinamento necessário para compreender a documentação registrada, além de dificultarem a concepção de arquiteturas e projetos alternativos ao inicialmente imaginado (LAPLANTE, 2018).

Quando a linguagem utilizada para documentação de requisitos possui sua sintaxe completamente definida, mas não sua semântica, trata-se da utilização de um método **semiformal** (ISO, 2018a). Dentre as técnicas semiformais mais conhecidas, podem-se citar i^* , UML e SysML (LANA et al., 2019). Como, via de regra, as linguagens semiformais fazem uso de técnicas gráficas para representar os requisitos, elas detêm forte apelo cognitivo, facilitando a compreensão das informações por parte do leitor, com uma curva de aprendizado relativamente suave (ZAKI-ISMAIL et al., 2021). Entretanto, ao perderem, em relação aos métodos formais, a completa precisão semântica, permitem multiplicidade de interpretações e, mesmo que sejam adequadas à cada vez mais presente Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE), dificultam o uso de ferramentas automatizadas para validação de requisitos (LANA et al., 2019).

Por fim, os métodos **informais** não têm sintaxe completamente determinada, o que os leva a também possuir liberdade semântica (ISO, 2018a). Fluxogramas e diagramas *ad hoc* são exemplos de técnicas informais (LAPLANTE, 2018), mas, seguramente, a representante mais típica desta classe, que leva à produção de textos correntes e de estilo livre, é a **linguagem natural** (ZAKI-ISMAIL et al., 2021). Esta pode ser definida como aquela que não foi construída artificialmente para qualquer fim, mas que é adquirida pelos usuários como parte do processo natural de maturidade e socialização, como o português, o inglês, o espanhol etc (LYONS, 1991). Dentre as principais vantagens dos métodos informais, e da linguagem natural, em particular, podem-se citar (WHEATCRAFT; RYAN, 2018):

1. **Comunicação.** A universalidade da linguagem natural permite que ela seja compreendida sem grandes esforços pela maior parte da audiência, sem que haja necessidade de treinamento específico (salvo pela utilização de jargões ou terminologia própria da especialidade de engenharia em tela). Torna-se, assim, um meio eficaz de comunicação

entre as partes interessadas do cliente e a equipe de desenvolvimento do fornecedor.

2. **Poder de expressão.** Tanto métodos formais quanto semiformais têm dificuldade de representar requisitos não funcionais, características físicas ou qualidades do sistema proposto (como manutenibilidade, usabilidade, confiabilidade, etc.). Isto não ocorre com os métodos informais, posto que requisitos textuais herdam todo o poder de expressão da linguagem natural, sendo aplicáveis a todo tipo de requisitos.
3. **Acessibilidade.** Ainda que todos os envolvidos na elaboração e consulta de requisitos documentados por métodos formais e semiformais sejam adequadamente proficientes na linguagem escolhida, tais requisitos podem tornar-se inacessíveis por indisponibilidade de ferramentas de produção e visualização dos arquivos. Os *softwares* utilizados para tal são, frequentemente, custosos em suas licenças e de difícil compartilhamento entre organizações. Isto não ocorre com requisitos redigidos em linguagem natural, para os quais bastam um editor de texto, um leitor de pdf, ou mesmo um documento impresso para garantir a acessibilidade.
4. **Atributos.** Métodos formais e semiformais têm dificuldade de incorporar em suas estruturas os atributos citados na descrição da atividade de Gestão, no *caput* da Subseção 2.2.3. Requisitos em forma de texto, porém, podem facilmente serem integrados a formulários com campos específicos para quaisquer atributos preestabelecidos.
5. **Legalidade.** Requisitos textuais podem ser diretamente utilizados em contratos ou outros instrumentos legais de compromisso entre partes, em virtude serem mais facilmente compreendidos por elementos não técnicos do que representações gráficas ou instruções de programação.

Destaque-se, ainda, que mesmo a mais abrangente técnica de documentação formal ou semiformal de requisitos não pode prescindir de elementos informais em sua execução, dada a necessidade de complementaridade de informações (LAPLANTE, 2018).

Kassab e Laplante perfizeram quatro *surveys* exploratórias, entre 2003 e 2020, visando identificar o estado da prática de engenharia de requisitos em empresas de diversos ramos de atuação (KASSAB; LAPLANTE, 2022). Um dos questionamentos versou a respeito dos métodos de documentação de requisitos utilizados pelas organizações, com resultado exposto na Figura 8. Observa-se a popularidade dos métodos informais, com quase 70% dos usuários declarando sua adesão na pesquisa mais atual, ao passo que os métodos formais são sempre os de menor voga. É razoável supor que a praticidade de uso da linguagem natural em muito contribua para esta estima dos utilizadores pelo método correlato.

Apesar da popularidade relatada, as vantagens da utilização dos métodos informais e da linguagem natural na documentação de requisitos podem revelar-se fonte de seus

Utilização de métodos de documentação de requisitos

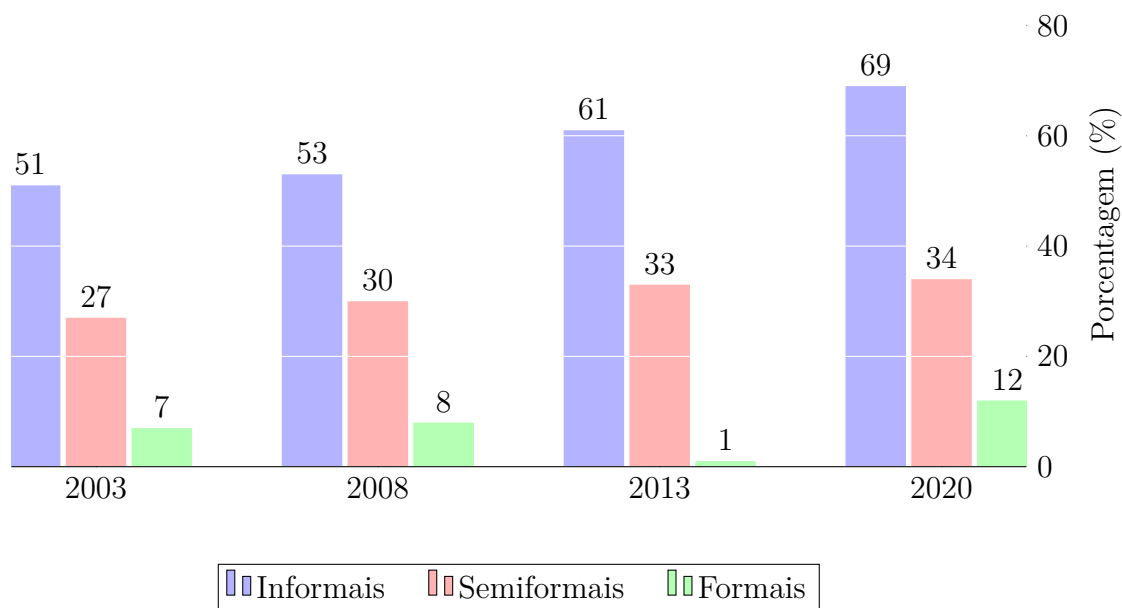


Figura 8 – Utilização de métodos de documentação de requisitos pelas empresas. A soma não totaliza 100%, posto que a mesma empresa pode utilizar mais de um método, ou não ter declarado usar quaisquer deles. Fonte: Kassab e Laplante (2022).

pontos mais fracos. O poder de expressão e a liberdade, por exemplo, acabam por permitir introdução de erros de consistência e correção. A ambiguidade também é uma falha típica da linguagem natural, dada a falta de definição semântica, o que leva a interpretações múltiplas, de acordo com o leitor. A falta de sintaxe, igualmente, dificulta o reuso dos requisitos entre projetos (ZAKI-ISMAIL et al., 2021).

Como forma de mitigar tais defeitos, órgãos normativos e grupos profissionais costumemente estabelecem boas práticas para documentação de requisitos em linguagem natural. São exemplos o item 5.2.4 da ISO 29148:2018, que recomenda o uso de voz ativa e que se evitem sentenças negativas (ISO, 2018b), bem como o *Guide for Writing Requirements* (GtWR), da INCOSE, que sugere seguimento a 42 regras de boa escrita (INCOSE, 2023). Outra abordagem consiste na prescrição de diretrizes mais limitantes de redação: a estruturação de linguagem natural.

2.2.3.2 Estruturação de linguagem natural

Uma linguagem natural estruturada² pode ser definida como aquela que tem as seguintes características (KUHN, 2014):

² Neste trabalho, “estruturada”, no contexto de aplicação à linguagem natural, será utilizado como sinônimo de “controlada”, “restrita”, “padronizada”, ou “*boilerplates*”, termos presentes (no idioma inglês) em fontes como (INCOSE, 2023), (ISO, 2018b) e (KUHN, 2014).

1. É baseada em uma única linguagem natural (sua “linguagem base”).
2. A mais importante diferença entre ela e sua base, ainda que não seja a única, é o fato de ser mais restritiva em relação a léxico, sintaxe e/ou semântica.
3. Preserva a maior parte das características da linguagem base, de forma tal que indivíduos proficientes nesta última podem compreender e interpretar de forma intuitiva textos escritos na linguagem natural estruturada.
4. É uma linguagem construída, no sentido ser explícita e deliberadamente definida, ao invés de ser produto de um processo implícito e natural de evolução.

Destaque-se que guias de estilo ou meras recomendações práticas de redação, como as relatadas ao final da Subseção 2.2.3.1, não são consideradas estruturações de linguagem natural, posto que não criam uma nova linguagem (KUHN, 2014).

O'Brien (2003) classifica as regras que conduzem a estruturação de linguagem natural entre aquelas *lexicais* (quando influenciam a seleção de palavras ou o significado destas), *sintáticas* (quando influenciam a estrutura funcional das sentenças), *estruturantes de texto* (influenciam a disposição gráfica ou a carga de informação) e as *pragmáticas* (influenciam o propósito do texto ou a resposta do leitor). Daí, argumenta por uma subdivisão mais complexa em 61 categorias, com uma taxonomia bastante abrangente.

A estruturação de linguagem natural na documentação de requisitos normalmente ocorre sob a apresentação de uma paleta de matrizes textuais (em inglês, *boilerplates*), cada uma apropriada para um tipo de requisito, comportando um conjunto de marcadores de posição para os elementos que o definem. Documentar o requisito, assim, passa a ser um processo de escolha da matriz apropriada e preenchimento dos tais elementos (HULL; JACKSON; DICK, 2011). Um exemplo elucidativo encontra-se registrado no Quadro 2, onde estão dispostas as matrizes textuais referentes à estruturação EARS de linguagem natural para documentação de requisitos (MAVIN et al., 2009), uma das mais populares para o idioma inglês. Observa-se que os autores elencaram seis tipos de requisitos, cada um com seus elementos de definição característicos e marcadores de posição. A estruturação de linguagem natural acaba sendo composta, também, pelas instruções de uso, que delimitam de forma mais criteriosa os tipos de requisitos e detalham seus elementos de definição.³

Dick e Llorens (2012) enumeram as seguintes vantagens da utilização de linguagem natural estruturada para documentação de requisitos:

³ Optou-se por manter no idioma original os termos fixos das matrizes, visto que a tradução poderia fazer com que certas nuances linguísticas, como o uso de *shall*, ao invés de *must* ou *ought to*, por exemplo, fossem perdidas.

Quadro 2 – Matrizes textuais de estruturação EARS de linguagem natural para documentação de requisitos.

Tipo de requisito	Matriz
Genérico	<precondições opcionais> <gatilho opcional> <i>the</i> <nome do sistema> <i>shall</i> <resposta do sistema>
Onipresente	<i>The</i> <nome do sistema> <i>shall</i> <resposta do sistema>
Dirigido por evento	<i>When</i> <precondições opcionais> <gatilho> <i>the</i> <nome do sistema> <i>shall</i> <resposta do sistema>
Comportamento indesejado	<i>If</i> <precondições opcionais> <gatilho>, <i>then the</i> <nome do sistema> <i>shall</i> <resposta do sistema>
Dirigido por estado	<i>While</i> <em um estado específico> <i>the</i> <nome do sistema> <i>shall</i> <resposta do sistema>
Característica opcional	<i>Where</i> <característica é inclusa> <i>the</i> <nome do sistema> <i>shall</i> <resposta do sistema>

Fonte: Mavin et al. (2009).

- **Auxílio à articulação.** A possibilidade de escolha de padrões em um rol organizado de matrizes facilita a ordenação das ideias. Ajuda, ainda, a encontrar a melhor maneira de registrar certo tipo de exigência ou restrição.
- **Uniformidade gramatical.** A padronização das matrizes faz com que tipos semelhantes de requisitos sejam expressados de forma semelhante, levando a um uso coerente da linguagem na documentação dos requisitos.
- **Uniformidade lexical.** A indicação dos marcadores de posição pode servir para padronização semântica e definição ontológica de determinados elementos. Por exemplo, pode haver um glossário que liste e defina todos os possíveis eventos a serem inseridos em <gatilho>.
- **Garantia de cumprimento de qualidades essenciais.** A utilização de padrões de redação pode auxiliar na confiabilidade de que os requisitos sejam documentados de forma não ambígua, quantificada, testável e outras características importantes.
- **Facilidade de identificação de requisitos repetidos ou conflituosos.** Como os requisitos são documentados de forma uniforme, torna-se possível perceber com facilidade, ou mesmo de forma automatizada, a repetição de requisitos ou a definição da mesma característica em mais de uma sentença, de forma incoerente.
- **Controle facilitado sobre expressões.** Com a utilização de ferramentas apropriadas, pode-se aproveitar os marcadores de posição e alterar a expressão padrão de todos os requisitos de determinado tipo de forma praticamente automática. Por exemplo, poder-se-ia substituir, na estruturação contida no Quadro 2, todos os termos *shall* por *will*.

- **Proteção de informações classificadas.** Se determinados dados qualitativos ou quantitativos presentes nos marcadores de posição consistirem em informações de acesso restrito ou que devam ser protegidas, estes marcadores podem facilmente ser obliterados sem que se perca o sentido geral do requisito.

Deve-se ressaltar que a primeira das características das estruturações linguagem natural enunciadas por Kuhn (2014) é o fato destas serem baseadas em *uma única* língua base. Isso é explicável pela variedade de estruturas gramaticais e características linguísticas existentes entre os diversos idiomas (CANCHO et al., 2022; HAHN; XU, 2022), o que torna inviável a aplicação irrefletida de regras sintáticas rígidas em um contexto multilinguístico. Com isso advém a necessidade de escolha criteriosa de elementos como verbos modais e ordem das palavras quando do aproveitamento de *boilerplates* anglófonos em outros idiomas (THONGGLIN; CARDEY; GREENFIELD, 2012; APAZA et al., 2018).

Ainda que sob uma aparência pouco prática, o investimento de tempo e esforço na aquisição de conhecimento a respeito das teorias subjacentes ao problema enfrentado é de extrema importância. Apenas consciente dos conceitos envolvidos, o pesquisador é capaz de compreender como se apresenta o estado da arte das soluções relacionadas e vislumbrar as oportunidades de melhoria.

Os próximos Capítulos utilizarão de forma intensiva as teorias e conceitos apresentados ao longo das últimas Seções.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A fim de descrever o estado da arte da estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos (doravante denominada *boilerplates*, por brevidade), identificando as publicações ora acessíveis aos profissionais interessados, a natureza e principais características dos *boilerplates* já desenvolvidos, as práticas comuns e as principais lacunas metodológicas ou de conhecimento nesta área, o autor efetuou uma revisão integrativa de literatura (ILR - do inglês *integrative literature review*).

A ILR constitui-se num gênero específico de revisão de literatura, apropriado à percepção de novas ideias ou pontos de vista sobre o assunto estudado, o que se consegue pelo exame, crítica e integração das publicações relevantes (TORRACO, 2005). Comparada a métodos congêneres, a ILR possui considerável liberdade investigativa, podendo, sem prejuízo ao rigor científico, combinar diferentes fontes (como artigos, *papers* de conferências, livros e relatórios industriais) para expandir os fundamentos teóricos da área e elicitare novas perspectivas (SNYDER, 2019).

A ILR realizada nesta pesquisa seguiu as quatro etapas básicas sugeridas por Snyder (2019): planejamento, condução, análise e registro.

3.1 Questões de pesquisa

Para melhor conscientização a respeito das facetas, particularidades e contexto no qual o desenvolvimento de *boilerplates* se insere, foram propostas as seguintes questões de pesquisa para a ILR:

- Q1:** Quantos conjuntos de *boilerplates* foram publicados?
- Q2:** Para quais idiomas os conjuntos de *boilerplates* foram desenvolvidos?
- Q3:** Em quais domínios de aplicação os *boilerplates* são utilizados?
- Q4:** Quais tipos de requisitos podem ser documentados com auxílio de *boilerplates*?
- Q5:** Quais defeitos em requisitos podem ser mitigados pelo uso de *boilerplates*?
- Q6:** Como os conjuntos de *boilerplates* são apresentados?
- Q7:** Como os conjuntos de *boilerplates* são construídos?
- Q8:** Como os conjuntos de *boilerplates* são avaliados?

3.2 Bases de dados e *prompts* de busca

Três bases de dados foram escolhidas como fontes primárias na ILR:

B1: Scopus, gerida pela Elsevier;

B2: Web of Science (WoS), gerida pela Clarivate; e

B3: Dimensions, gerida pela Digital Science.

A inclusão da Scopus e da WoS se justifica pela consolidação de ambas como bases de dados respeitadas no meio acadêmico, com tradição de uso em revisões de literatura, sobretudo nas áreas de Engenharia e Ciências Naturais (MONGEON; PAUL-HUS, 2016). A Dimensions, por sua vez, vem, desde sua criação em 2018, ganhando espaço na pesquisa científica. Isto é explicado não apenas pela facilidade de inserção de filtros de busca, mas, sobretudo, por sua ampla cobertura de periódicos. Esta chega a ser, aproximadamente, 80% maior que a da WoS e 50% maior que a da Scopus (SINGH et al., 2021; STAHLSCHEMIDT; STEPHEN, 2022). É certo que cobertura tão abrangente pode resultar na inclusão de fontes menos confiáveis (como, nas palavras de Singh et al. (2021), trabalhos destinados ao “jogo das citações manipulativas”), mas, para os fins da presente pesquisa, crê-se que este é um risco ainda aceitável.

Os *prompts* de busca foram determinados a partir da seleção de quatro grupos de palavras ou expressões, enumerados de **G1** a **G4**, a serem simultaneamente encontrados ou no título, ou no resumo, ou no campo próprio de palavras-chave das obras indexadas.

G1: requirements

G2: engineering OR development OR industry

G3: structured OR constrained OR controlled OR pattern OR template OR syntax OR syntactic OR boilerplate OR blueprint

G4: “natural language”

O primeiro grupo especifica o campo de estudo em tela: os requisitos. O grupo **G2** indica a área geral de aplicação que se almeja, evitando estudos puramente linguísticos ou de área de conhecimento alheias à engenharia¹. O terceiro grupo liga-se ao tema particular de interesse, acrescentando sinônimos encontrados em (INCOSE, 2023), (ISO, 2018b), (GLINZ et al., 2022) e (KUHN, 2014). **G4**, por fim, insere a restrição da linguagem natural como forma de documentação de requisitos.

¹ Em análise prévia, chegou-se a testar “requirements engineering”, como uma expressão. A atitude, entretanto, revelou-se limitante, excluindo obras consagradas no meio.

Para maior amplitude de pesquisa, e como tentativas preliminares mostraram que o número de resultados não inviabilizaria a análise, não houve limitação de período de publicação.

A busca propriamente dita foi realizada nos três bancos de dados em 27 de fevereiro de 2023. Atendendo às particularidades de cada sistema, foram inseridos *prompts* de busca específicos para cada base acadêmica, conforme registrado na Tabela 1. Note-se o uso do símbolo “*” como coringa para algumas palavras nos sistemas Scopus e WoS, ao passo que isso não é permitido no Dimensions.

Tabela 1 – *Prompts* de busca e número de resultados em cada base de dados, como realizado em 27 de fevereiro de 2023.

Base de dados	<i>Prompt</i> de busca	Resultados
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((requirements) AND (engineering OR development OR industr*) AND (structured OR constrained OR controlled OR pattern* OR template* OR syntax OR syntactic OR boilerplate OR blueprint) AND (“natural language”))	825
Web of Science	TS=((requirements) AND (engineering OR development OR industr*) AND (structured OR constrained OR controlled OR pattern* OR template* OR syntax OR syntactic OR boilerplate OR blueprint) AND (“natural language”))	562
Dimensions	requirements AND (engineering OR development OR industry OR industries OR industrial) AND (structured OR constrained OR controlled OR pattern OR template OR syntax OR syntactic OR boilerplate OR blueprint) AND “natural language”	565
TOTAL		1952

Fonte: o autor.

3.3 Coleta e filtragem de trabalhos

As informações bibliográficas correspondentes ao resultado das buscas em cada uma das bases de dados foram exportadas no formato *BibTex* e combinadas com auxílio da ferramenta *bibliometrix*, de código aberto (ARIA; CUCCURULLO, 2017). O procedimento resultou em 1952 trabalhos, no total, conforme disposto na Tabela 1. A mesma ferramenta foi utilizada para remover as 798 entradas duplicadas, ou seja, aquelas advindas de mais de uma base de dados, repercutindo em 1154 trabalhos diferentes.

Após tal segregação inicial, as publicações restantes foram analisadas em seus títulos, resumos e, quando necessário, textos completos, em um processo sequencial de filtragem que buscou descartar documentos que estivessem abrangidos pelos seguintes critérios de exclusão:

- não foram redigidos em inglês, português ou francês (idiomas de proficiência do pesquisador);
- não propuseram ou disponibilizaram um conjunto completo de *boilerplates* para ao menos um domínio de aplicação ou tipo de requisito;
- não definiram os *boilerplates* utilizando linguagem natural;
- definiram o conjunto de *boilerplates* como aplicável apenas ao formato “estórias de usuários” ou “casos de uso”;
- apenas reanalisaram um conjunto prévio de *boilerplates*, sem qualquer adição ao mesmo; ou
- eram similares a outro trabalho do mesmo autor (quando foram encontrados dois ou mais trabalhos do mesmo autor, relativos ao mesmo conjunto de *boilerplates*, apenas o considerado mais completo foi aproveitado).

Os 34 documentos que passaram por todos os filtros foram, então, submetidos ao processo de *snowballing*², acrescentando 20 novas publicações ao conjunto. Destes novos trabalhos, 14 advieram de “literatura cinza” (livros, teses acadêmicas, relatórios industriais etc.), sendo aceitos por conta do caráter inclusivo da ILR e ao interesse fabril e comercial na Engenharia de Requisitos.

Tal processo de coleta e filtragem de trabalhos, que resultou nas 54 publicações listadas no Apêndice A desta tese, encontra-se representado na Figura 9.

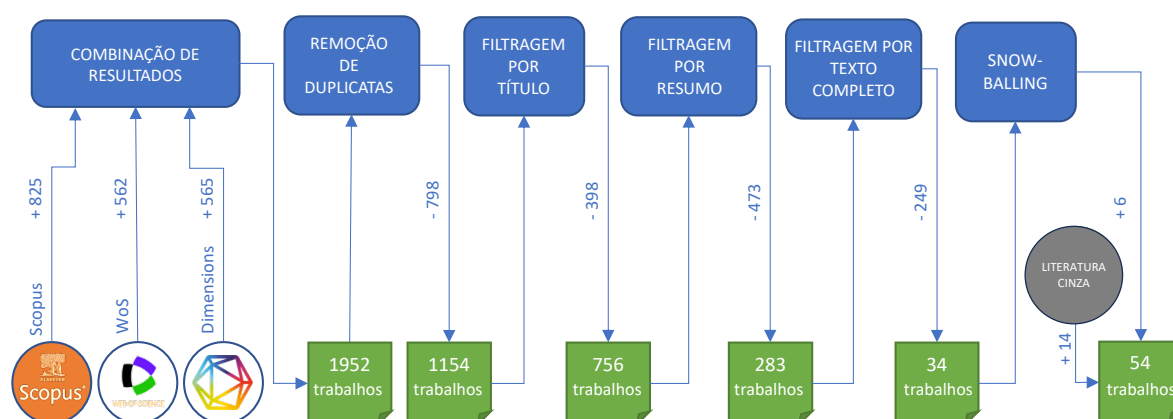


Figura 9 – Representação do processo de seleção de trabalhos. Fonte: o autor.

Concluindo esta etapa inicial, pode-se responder à primeira questão de pesquisa da ILR (Q1): foram encontradas publicações relativas a 54 conjuntos de *boilerplates*.

² Procedimento que consiste na inspeção da lista de referências de cada trabalho, bem como na de trabalhos que o citam (normalmente disponibilizadas nas bases de dados), dispondo-se a identificar novas publicações de interesse (WOHLIN, 2014).

3.4 Análise

Neste passo, aspectos estruturais das obras anteriormente selecionadas foram identificados e processados, mediante categorização, para resposta às questões **Q2** a **Q8**.

3.4.1 Idioma

Com objetivo de responder **Q2**, cada trabalho presente no Apêndice A teve seu texto completo analisado. Pôde-se, assim, identificar o idioma base estruturado para formar o conjunto de *boilerplates*.

Preliminarmente, observou-se que, independentemente do país de origem dos pesquisadores, todas as 54 obras foram publicadas em língua inglesa, ainda que o processo de filtragem permitisse a seleção de trabalhos também em português ou francês. O fato remete à hegemonia do idioma inglês como meio de divulgação científica na atualidade.

O exame dos documentos revelou que, à exceção de [A.06] e [A.22]³, todos os *boilerplates* encontrados foram desenvolvidos para uso sobre o idioma inglês. A criação presente em [A.06] estrutura a língua tailandesa para documentação de requisitos, e também é apresentada em tailandês na publicação (com versão adicional em inglês, para fins didáticos). Os autores de [A.22] afirmam no documento que desenvolveram o conjunto de *boilerplates* para uso sobre o espanhol, mas apresentam apenas uma versão em inglês na obra listada.

Destaque-se o caso de [A.53], que desenvolveu e apresentou uma estruturação da língua inglesa, fazendo, porém, comentários sucintos a respeito de explorações do uso do artefato no idioma chinês.

Percebe-se que a ampla utilização da língua inglesa ocorre não apenas na comunicação dos resultados, mas também na própria concepção e uso dos *boilerplates*. Nota-se, ainda, que nenhuma das estruturações de linguagem natural encontradas foi redigida tendo em mente o idioma português, comprovando o valor do presente trabalho.

3.4.2 Domínio de aplicação

Foi realizada uma análise em duas etapas para responder quais são as áreas mais frequentemente tratadas nas pesquisas dirigidas à construção de *boilerplates*. Na primeira etapa, foram quantificadas as categorizações feitas pela própria Scopus e Dimensions. Já na segunda etapa, os textos dos trabalhos foram estudados de forma direta.

As 37 publicações indexadas pela Scopus listadas entre os trabalhos selecionados foram classificadas por aquele banco de dados de acordo com a área de interesse. Esta

³ O formato [A.XX] é usado ao longo de todo este documento para citar as obras referenciadas no Apêndice A.

classificação é baseada nos objetivos e escopo da fonte (a conferência, revista, ou outro meio que tenha originalmente publicado o trabalho), de acordo com os códigos previstos na *All Science Journal Classification*. Isto é feito por especialistas da Elsevier no momento em que a fonte passa a integrar o banco de dados, e o mesmo título pode ser classificado em mais de um código (SCOPUS, 2023). Foi verificado o número de trabalhos selecionados indexados pela Scopus em cada uma das áreas de interesse, e o resultado encontra-se registrado na Figura 10.

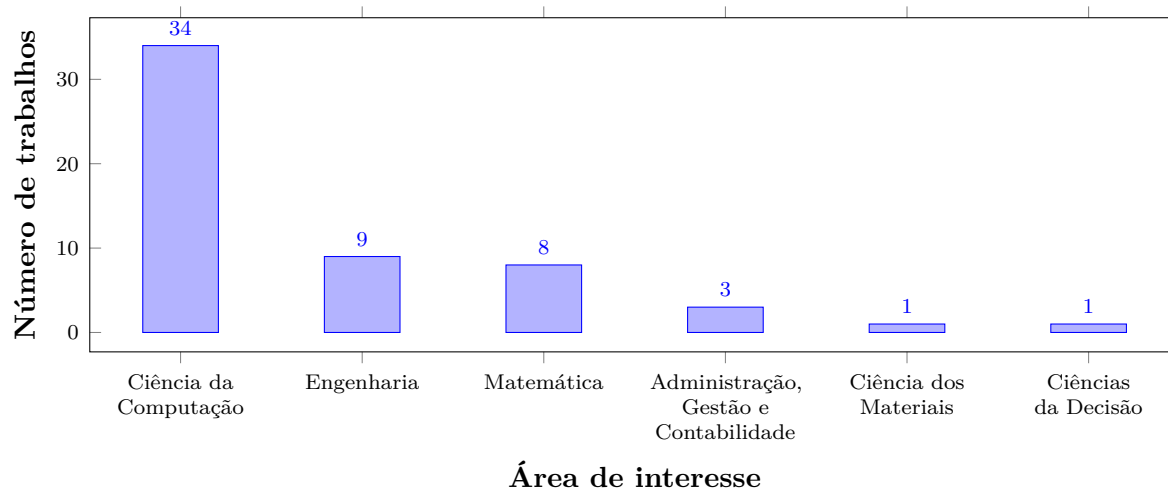


Figura 10 – Número de trabalhos selecionados indexados na Scopus, por área de interesse. Total de 37 documentos. Codificações não são mutuamente excludentes. Fonte: o autor.

A Dimensions também categoriza os documentos indexados. Porém, alternativa-mente ao que ocorre na Scopus, a classificação pela Dimensions é executada conforme as particularidades de cada documento em si, não da fonte. Tal categorização é feita de forma automatizada, por mecanismos de linguística computacional e aprendizado de máquina (DIMENSIONS, 2022b). As categorias consultadas para a presente ILR são baseadas nos dois primeiros níveis da *Australian and New Zealand Standard Research Classification* (ANZSRC), que compreendem as divisões de pesquisa mais abrangentes e os grupos de nível intermediário (DIMENSIONS, 2022a). O mesmo trabalho pode estar classificado em mais de uma divisão de pesquisa, e mesmo em mais de um grupo de pesquisa na mesma divisão. As categorizações foram extraídas a partir de relatórios disponibilizados pela Dimensions, sintetizadas, e registradas na Tabela 2.

Visando comparar as categorizações da Scopus e da Dimensions com o domínio de aplicação de fato pretendido pelos autores, cada um dos 54 trabalhos selecionados teve seu conteúdo completo analisado pessoalmente pelo pesquisador. A leitura atenta dos textos revelou que a maioria dos profissionais deixou claro qual seria o público de interesse e para qual gênero de sistemas foram desenvolvidos os *boilerplates* apresentados. O resultado desta análise é exibido na Figura 11. Por simplificação, alguns usos muito

Tabela 2 – Número de trabalhos selecionados indexados na Dimensions, por divisão e grupo de pesquisa. Total de 38 documentos. Codificações não são mutuamente excludentes.

Divisão de pesquisa	Resultados por divisão
Grupo de pesquisa	Resultados por grupo
Ciências da Computação e da Informação	38
Engenharia de <i>Software</i>	35
Inteligência Artificial	3
Teoria da Computação	3
Cibersegurança e Privacidade	2
Sistemas de Informação	2
Gestão de Dados e Ciência de Dados	1
Engenharia	1
Prática de Engenharia e Educação	1
Linguagem, Comunicação e Cultura	1
Linguística	1
Artes Criativas e Redação	1
Redação Profissional e Redação Criativa	1

Fonte: o autor.

próximos foram agrupados sob o mesmo domínio de aplicação (por exemplo: *fly-by-wire*, aviônicos e aviação militar foram agrupados em sistemas de aviação). Nas ocasiões em que os autores não expressaram uma aplicação em particular, seja de forma explícita ou latente, seus trabalhos foram categorizados como planejados para sistemas gerais.

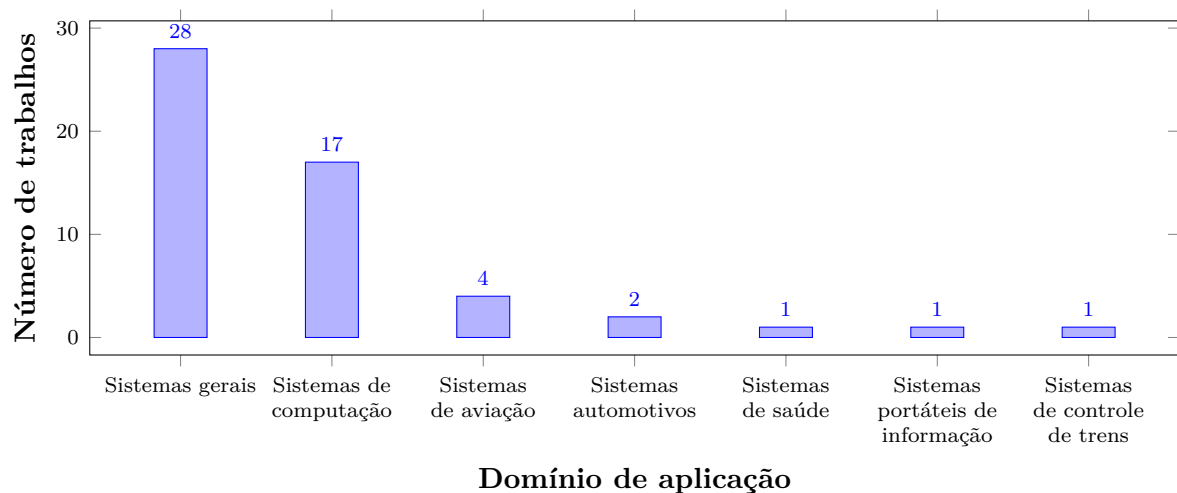


Figura 11 – Domínio de aplicação dos trabalhos selecionados. Total de 54 documentos. Codificações mutuamente excludentes. Fonte: o autor.

Como resposta à **Q3**, observa-se que, para as bases de dados, a Ciência da Computação é área de interesse praticamente unânime entre os desenvolvedores de *boilerplates*, já que nesta categoria estão classificados 34 dos 37 trabalhos indexados pela Scopus e a totalidade dos 38 trabalhos indexados pela Dimensions. A análise mais pormenorizada realizada nesta ILR, porém, permite concluir que, ainda que os sistemas de computação sejam o domínio de aplicação específico mais citado (17 dos 54 documentos), a maioria dos autores pretende que seus artefatos sejam utilizados por todo tipo de sistemas, já que 28 documentos foram catalogados como direcionados a sistemas gerais. Este resultado é favorável à presente pesquisa, já que os SMEM (domínio de aplicação ora visado) têm por característica a variedade de disciplinas e técnicas necessárias para concepção e emprego.

3.4.3 Tipo de requisitos

Os documentos selecionados foram analisados a fim de concluir a respeito dos tipos de requisitos aos quais os conjuntos de *boilerplates* são destinados, conforme a classificação do *International Requirements Engineering Board* (IREB) em requisitos funcionais, de qualidade e de restrições, visto na Seção 2.2.1.

Após estudo do texto completo de cada um dos trabalhos, percebeu-se que a maior parte das obras (61% das mesmas) desenvolveu um conjunto versátil de *boilerplates*, voltado a todo tipo de requisitos. Dentre os autores de trabalho mais especializado, 22% se dirigiram a requisitos funcionais e 15% a requisitos de qualidade. Uma única publicação [A.29] foi tida como dedicada apenas a requisitos de restrição, tratando de *boilerplates* para exigências legais. A Figura 12 registra tais resultados.

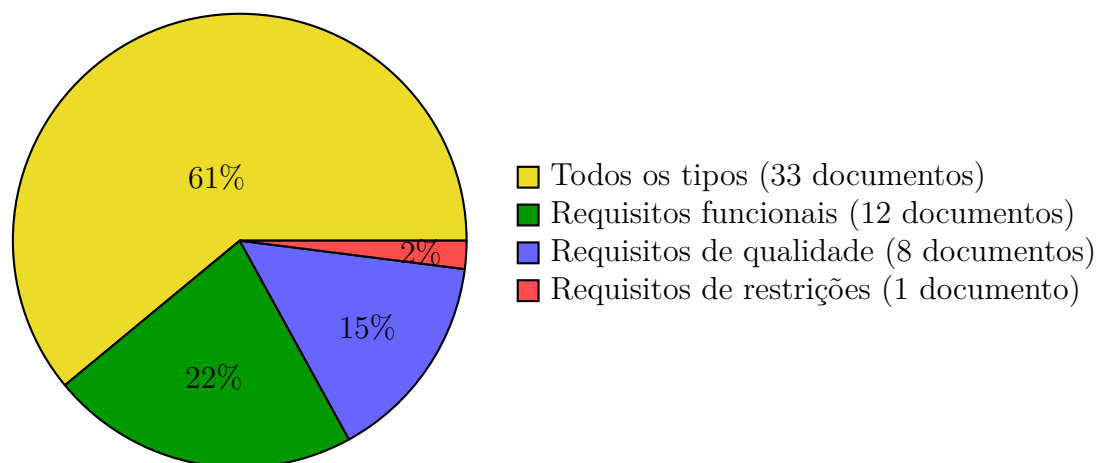


Figura 12 – Tipo de requisitos aos quais os *boilerplates* são destinados. Classificações mutuamente excludentes. Fonte: o autor.

Esta análise responde **Q4**, e dela se pode observar que a versatilidade dos *boilerplates* os torna adequados neste aspecto à documentação dos requisitos de SMEM no EB, já que a instituição não segrega os diferentes tipos de requisitos em suas especificações.

3.4.4 Atributos de qualidade

Com vistas a identificar os atributos de qualidade de requisitos mais citados pelos autores como sendo valorizados pela utilização de *boilerplates*, e, por consequência, responder **Q5**, cada um dos documentos selecionados teve seu texto analisado. No total, os pesquisadores se dirigiram a mais de 30 atributos de qualidade, que foram agrupados em 12 grupos, conforme a classificação de Montgomery et al. (2022). A Figura 13 ilustra os resultados quantitativos desta análise, registrando o número de trabalhos conforme o atributo de qualidade visado. Observe-se que o mesmo trabalho pode se dirigir a mais de um atributo de qualidade, de sorte que as classificações não são mutuamente excludentes.

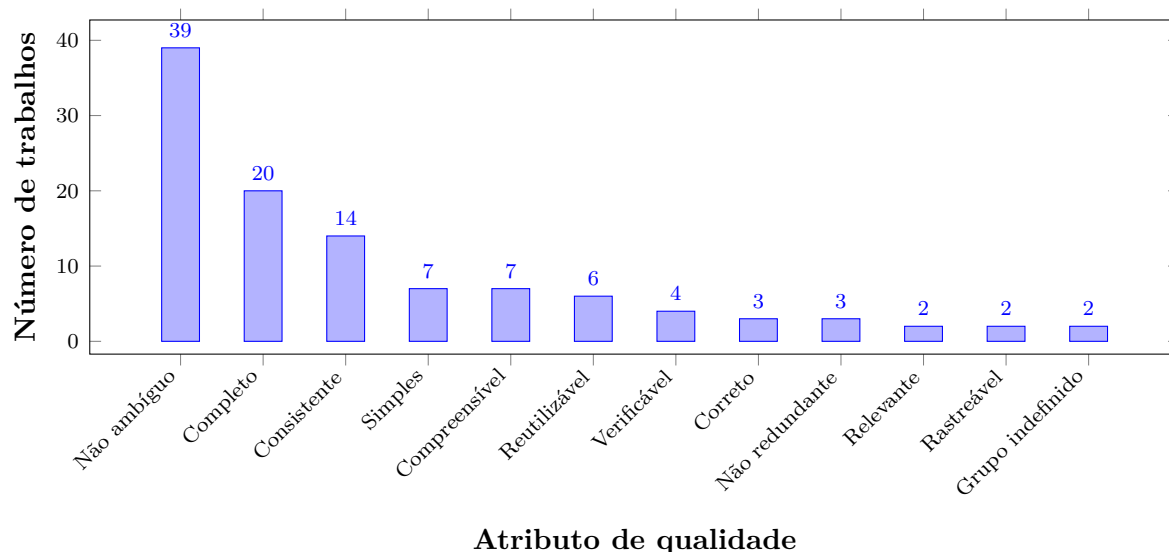


Figura 13 – Atributos de qualidade visados pelos trabalhos selecionados. Total de 54 documentos. Atribuições não são mutuamente excludentes. Fonte: o autor.

A não ambiguidade é o atributo mais comumente citado, sendo-o feita por 39 trabalhos, seguida pela completude e pela consistência (20 e 14 trabalhos, respectivamente). Tal resultado vai ao encontro do obtido por Palomares, Quer e Franch (2016), que, após pesquisa junto a praticantes de Engenharia de Requisitos (no contexto da indústria de *software*), igualmente concluíram que os maiores problemas que poderiam ser mitigados pelo uso de *boilerplates* seriam a incompletude, a falta de uniformização, a inconsistência (estas duas agrupadas no atributo Consistente) e a ambiguidade. O fato indica que a literatura a respeito da estruturação de linguagem natural é coerente com a expectativa dos profissionais, neste aspecto.

A ordem dos três principais atributos de qualidade nos trabalhos a respeito de *boilerplates* também coincide com o equivalente para estudos de qualidade de requisitos em geral, como foi mapeado por Montgomery et al. (2022). A rastreabilidade, por outro lado, decai do 6º lugar, na pesquisa de Montgomery et al. (2022), para o empate com as últimas nesta ILR, demonstrando que a identificação das relações entre requisitos de

diversos níveis e produtos não é algo a ser usualmente melhorado pelo uso de *boilerplates*.

Tal cenário de pontos visados na estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos é importante para consolidação da lista de objetivos para o artefato a ser prescrito, conforme é explicitado na Seção 4.1.

3.4.5 Forma de apresentação

A análise dos documentos selecionados comprovou que os conjuntos de *boilerplates* podem ser definidos ou apresentados de diversos modos. As **sentenças textuais** são a forma mais comum, respondendo por 31 dos 54 trabalhos. Neste modo, cada *boilerplate* é caracterizado como uma proposição, com a indicação de marcadores de posição entre os termos de uma frase. O EARS [A.03], exposto no Quadro 2, é um exemplo típico de *boilerplate* em sentença textual.

Em algumas situações os pesquisadores empregaram as sentenças textuais de forma especial, desejando abarcar exaustivamente todos os aspectos específicos de um domínio de aplicação ou de um tipo de requisito. Com isso, auxiliam os usuários a elicitar e documentar um conjunto completo de requisitos, mesmo que sob a dificuldade de registrar um número de *boilerplates* individuais anormalmente grande. O autor desta tese optou por nomear esta técnica como **biblioteca** de *boilerplates*. Na ILR, sete trabalhos foram considerados como de apresentação sob forma de biblioteca, sendo o de Withall [A.38] e os *Joint Service Specification Guides* [A.52] exemplos característicos.

Uma forma mais complexa, mas também bastante empregada, de apresentar os *boilerplates* é pelo uso do **formalismo de Backus-Naur** (BNF). O BNF é uma metassintaxe utilizada para definir gramáticas livres de contexto por intermédio de regras lógicas, aumentando o formalismo de frases ainda legíveis por partes interessadas fora da área técnica, mas que permite análise automatizada (*parsing*) (ISO, 1996). Dentre as obras listadas, 13 empregam BNF ou sua versão estendida, como Castro, Bezerra e Hirata [A.17]. Schraps e Peters [A.13] usaram outra linguagem metassintática, uma **gramática de Chomsky** de tipo 2 (HAYS, 2003); ao passo que outros dois documentos empregaram **gramáticas específicas**, desenvolvidas *ad hoc* pelos autores.

Alguns autores, como pode ser visto em Eckhardt et al. [A.45], apresentaram os *boilerplates* propostos de forma pictórica, com uso de **diagramas**. Oito deles foram encontrados.

A Figura 14 resume tal quantificação, devendo-se observar que cada trabalho pode apresentar seus resultados sob mais de uma forma, o que leva à soma dos valores ser superior ao número total de obras.

Como resposta à **Q6**, a variedade de formas de apresentação encontradas evidencia o amplo espectro de ferramentas disponibilizadas aos desenvolvedores de *boilerplates*.

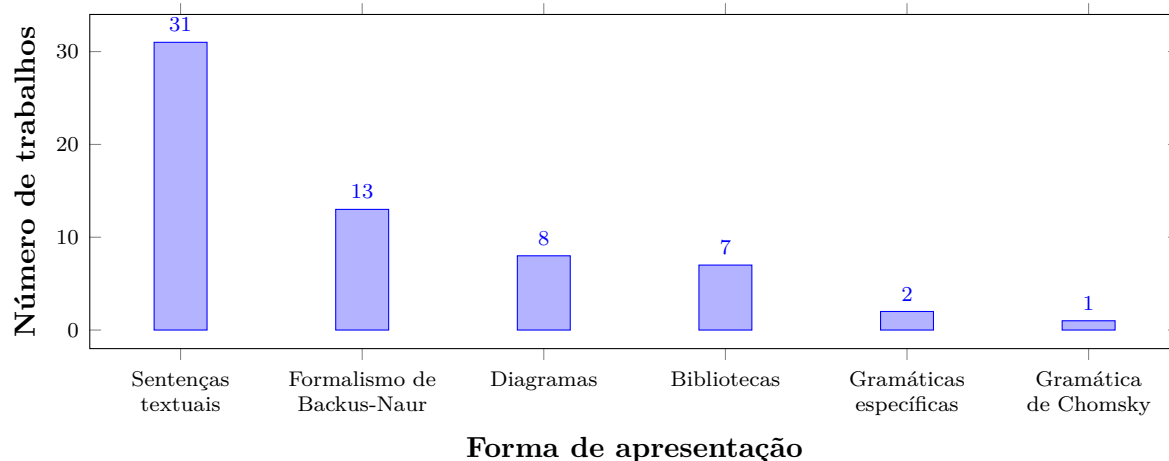


Figura 14 – Forma de apresentação dos *boilerplates* pelos trabalhos selecionados. Total de 54 documentos. Apresentações não são mutuamente excludentes. Fonte: o autor.

Apesar das sentenças textuais serem a implementação mais utilizada, provavelmente por conta de sua simplicidade, autores em busca de métodos mais formais ou preocupados com ontologias podem utilizar BNF ou outras gramáticas, permitindo o desenvolvimento de ferramentas computacionais sem prejuízo à compreensão geral do leitor. Para a presente tese, fica também sugerido o emprego de diagramas, notórios pela facilidade de comunicar ideias complexas com agilidade e compreensibilidade.

3.4.6 Construção de *boilerplates*

Nos dias atuais, mesmo os ambientes mais pragmáticos de engenharia e gestão não podem prescindir de certo rigor científico e metodológico para consecução de suas atividades (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Ainda assim, a análise dos trabalhos listados revelou que apenas 13% destes (7, dos 54 documentos) relataram sistematicamente as etapas de construção do artefato, apontando preocupações com a repetibilidade e reprodutibilidade das etapas percorridas.

Objetivando responder à **Q7** e conhecer melhor as características da construção sistemática de estruturações de linguagem natural para requisitos, os sete documentos que registraram seus métodos neste aspecto foram examinados. Um resumo do que cada um relatou a respeito do desenvolvimento do artefato encontra-se disposto na Tabela 3.

É possível perceber que [A.35] e [A.45] seguiram técnicas similares, desenvolvendo conjuntos de *boilerplates* a partir de modelos, com descrição textual de seus elementos e relações. [A.12] e [A.32], por outro lado, dedicaram-se a encontrar estruturas comuns em sentenças de requisitos, agrupando estes conforme às semelhanças. [A.25], [A.54] e [A.30] fizeram uso intensivo da opinião de especialistas; mas os dois primeiros foram muito mais dependentes de conselhos profissionais do que o último, que complementou as entrevistas

com uma análise dedutiva de princípios.

Tabela 3 – Resumo dos métodos de construção de *boilerplates* encontrados na ILR.

Documento	Resumo do método de construção
[A.12]	Classificação de requisitos de segurança a partir de uma lista baseada na literatura de objetivos de segurança. Identificação de semelhanças baseadas em padrões estruturais, palavras-chaves e agrupamentos (“clusterização”).
[A.25]	Pesquisa-ação a partir de uma situação <i>as-is</i> , a qual empregava um conjunto consagrado de <i>boilerplates</i> (SOPHIST). Dois grandes ciclos e algumas iterações de aplicação de <i>boilerplates</i> em projetos reais, com identificação de falhas por um especialista. Melhorias incrementais pela importação de <i>boilerplates</i> individuais encontrados na literatura e sugestões de participantes.
[A.30]	Análise dedutiva dos princípios de resiliência encontrados na literatura. Análise indutiva de requisitos-padrão de resiliência e entrevistas com especialistas. A partir das duas abordagens, identificação de informações essenciais que devem estar presentes num requisito ideal de resiliência: entidades, seus atributos e suas relações.
[A.32]	Teoria fundamentada (<i>Grounded theory</i>), com análise de quase 2800 sentenças de requisitos e <i>protocol coding</i> destas sentenças, empregando a base de dados linguísticos VerbNet como conjunto de códigos. Agrupamento dos requisitos de acordo com os códigos e geração iterativa de <i>boilerplates</i> pelo desenvolvimento de regras gramaticas genéricas para cada grupo, complementadas pela importação de conjuntos estruturais encontrados na literatura (sobretudo EARS).
[A.35]	A partir da modelagem i^* de um sistema de gestão de tráfego aéreo, identificação de suas dependências, atores e objetivos. Os <i>boilerplates</i> foram gerados pela descrição textual de cada dependência prevista no modelo e do mapeamento dos atores.
[A.45]	Geração de um modelo ideal de requisitos de desempenho a partir de uma revisão de literatura. Os <i>boilerplates</i> foram gerados pela descrição textual de cada elemento do modelo e de suas relações.
[A.54]	Teoria fundamentada (<i>Grounded theory</i>), empregando requisitos publicados, entrevistas com especialistas e revisão de literatura, para desenvolver um meta-modelo de requisitos. Construção do conjunto de <i>boilerplates</i> por instanciação do metamodelo, com refinamentos sucessivos a partir da observação de aplicações reais e avaliação por profissionais.

Fonte: o autor.

A preservação destas três abordagens gerais é conveniente para a obtenção de ideias e diretrizes que guiem a definição do método de construção do artefato nesta tese.

3.4.7 Avaliação de *boilerplates*

O cenário da avaliação sistemática de *boilerplates* é menos crítico do que aquele da construção sistemática dos artefatos, já que o exame das obras citadas constatou que 41% dos trabalhos (22 documentos) apresentaram com detalhes a comparação entre os objetivos

da estruturação de linguagem natural e o desempenho obtido. Os demais trabalhos ou não executaram qualquer tipo de verificação e validação dos *boilerplates* ou o fizeram de forma muito rudimentar, mais semelhante à uma demonstração de uso do que a uma avaliação real. Um resumo dos métodos de avaliação utilizados pelos pesquisadores encontra-se registrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo dos métodos de avaliação de *boilerplates* encontrados na ILR.

Documento	Resumo do método de avaliação
[A.01]	Reescrita de 42 requisitos pelos próprios autores. Verificação manual de atendimento a critérios de qualidade.
[A.02]	Criação de uma ferramenta computacional (RAT) de análise léxica e análise sintática.
[A.03]	Reescrita de “um número relativamente pequeno de requisitos” por um grupo de participantes. Verificação manual de atendimento a critérios de qualidade.
[A.06]	Redação de 15 requisitos pelos próprios autores. Submissão de questionário a 70 participantes a respeito do entendimento dos requisitos.
[A.10]	Redação de 182 requisitos por um grupo de participantes. Análise léxica e sintática dos requisitos por ferramenta computacional (QuARS).
[A.16]	Avaliação de custos associados aos processos de verificação e mudanças de requisitos produzidos conforme os <i>boilerplates</i> ao longo de nove meses na Boeing.
[A.20]	Redação de mais de três mil requisitos pelos autores. Submissão de questionário a 17 participantes a respeito de critérios de qualidade.
[A.24]	Reescrita de requisitos de sete projetos e verificação da redução de necessidade de intervenção humana na análise.
[A.25]	Avaliação contínua durante os ciclos de desenvolvimento dos <i>boilerplates</i> , conforme opiniões de participantes a respeito de critérios de qualidade.
[A.26]	Reescrita de requisitos de dois projetos. Submissão de questionário a 18 participantes a respeito de critérios de qualidade.
[A.27]	Tentativa de reescrever 74 requisitos de um projeto. Registro da proporção de requisitos passível se ser reescrita.
[A.29]	Avaliação do processo de escolha do <i>boilerplate</i> correto, em 1400 requisitos. Confronto, pelos autores, da escolha “manual” com a efetuada por um algoritmo.
[A.31]	Com auxílio computacional, um estudante experiente escreveu requisitos para dois sistemas, conforme os <i>boilerplates</i> . Verificação automatizada de qualidades ontológicas.
[A.32]	Reescrita de 460 requisitos pelos autores. Avaliação estatística da possibilidade de se representar qualquer requisito pelo conjunto de <i>boilerplates</i> .
[A.34]	Reescrita de requisitos por cinco participantes, com auxílio de ferramenta computacional. Avaliação subjetiva (por questionário) e objetiva (pela aplicação de métricas ontológicas).

(continua)

(conclusão)

Documento	Resumo do método de avaliação
[A.37]	Reescrita de requisitos de cinco projetos. Verifica-se se a aplicação dos <i>boilerplates</i> suprime a inobservância de regras de boa escrita.
[A.40]	Análise de 110 requisitos e quantificação de falhas de completude e especificidade que poderiam ser evitadas pela utilização dos <i>boilerplates</i> .
[A.41]	Reescrita de 245 requisitos. Registro da impossibilidade de aplicação dos <i>boilerplates</i> , conforme opinião de um participante. Análise da incidência de uso de cada <i>boilerplate</i> desenvolvido e da possibilidade de utilização em ferramentas de análise lógica.
[A.42]	Seis participantes escreveram requisitos com e sem uso dos <i>boilerplates</i> . Comparação de resultados por métricas de qualidade (tanto “manuais” quanto computacionais), tempo gasto e aplicação de questionário subjetivo.
[A.45]	Reescrita de 58 requisitos. Registro da eventual impossibilidade de aplicação de <i>boilerplates</i> e verificação objetiva de completude.
[A.49]	Identificação de ambiguidades e inconsistências em dois grupos de cinco requisitos (um redigido com, outro sem uso de <i>boilerplates</i>), por 39 estudantes. Escrita de requisitos pelos estudantes e verificação de atendimento a critérios de qualidade. Aplicação de questionário subjetivo.
[A.54]	Submissão do conjunto de <i>boilerplates</i> a um grupo de especialistas, para discussão a respeito de suas características. Posteriormente, uso dos <i>boilerplates</i> na documentação de requisitos de dois projetos reais, com verificação de tempo gasto, índice de utilização dos <i>boilerplates</i> e atendimento a critérios gerais de qualidade.

Fonte: o autor.

O número maior de trabalhos sistematizados no aspecto avaliativo, quando comparado à ínfima proporção daqueles que sistematizaram a construção, dificulta a descoberta direta de padrões gerais de execução da atividade, como foi feito na Seção 3.4.6 para responder **Q7**. Para responder **Q8**, foi necessário categorizar as avaliações a partir de critérios mais específicos, e optou-se por utilizar uma versão simplificada da taxonomia desenvolvida por Prat, Comyn-Wattiau e Akoka (2015). A taxonomia simplificada é baseada em cinco dimensões (técnica avaliativa, forma de avaliação, participantes secundários, nível de avaliação, e relatividade de avaliação), cada uma com suas próprias possibilidades de classificação, conforme a Figura 15. A descrição pormenorizada das dimensões taxonômicas e suas classificações encontra-se apresentada no Apêndice B.

Cada avaliação sistematicamente reportada nos trabalhos selecionados foi classificada pelo pesquisador nas cinco dimensões. Os resultados quantitativos desta análise encontram-se registrados na Tabela 5. Destaque-se que o número total de avaliações (28)

é maior do que o número de documentos que apresentaram avaliações (22). Isso ocorre porque alguns dos trabalhos empregaram mais de um método de avaliação para verificar ou validar o conjunto de *boilerplates* construído.

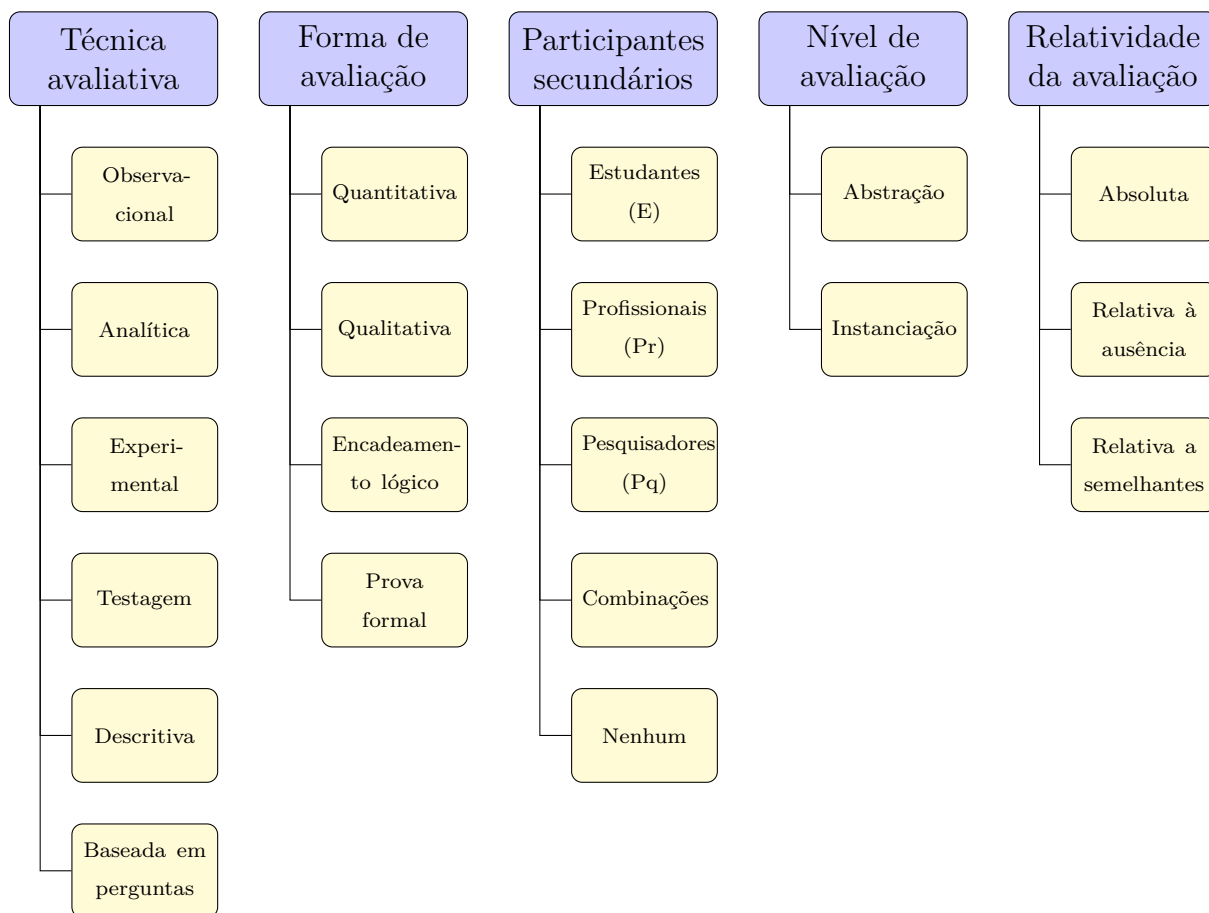


Figura 15 – Taxonomia dos métodos de avaliação. Fonte: adaptado de Prat, Comyn-Wattiau e Akoka (2015).

Pode ser observado que a maior parte das avaliações (71%) empregou os experimentos como técnica avaliativa. Pode-se concluir que a motivação para tal é a possibilidade de fazer uma crítica do artefato a partir de dados concretos, sem pôr em risco projetos reais em ambientes reais. Quase todas as avaliações dividiram-se entre classificações quantitativas e qualitativas para a forma de avaliação (com pequena vantagem para a primeira), já que tais métodos são os mais relacionados às técnicas experimentais e observacionais. Não por coincidência os únicos dois trabalhos que utilizaram encadeamento lógico ([A.40] e [A.54a]⁴) são também os únicos a empregar técnicas avaliativas dos tipos descritiva e baseada em perguntas.

Em relação aos participantes secundários, a maioria das avaliações contou com profissionais, estejam eles isolados (54%), com estudantes (7%), ou com pesquisadores

⁴ As nomenclaturas [A.XXa] e [A.XXb] foram utilizadas quando o documento [A.XX] fez uso de dois métodos de avaliação.

Tabela 5 – Distribuições taxonômicas dos métodos de avaliação de *boilerplates* encontrados na ILR.

Dimensão		
Classificação	Avaliações	Proporção
Técnica avaliativa		
Experimental	20	71%
Observacional	6	21%
Descritiva	1	4%
Baseada em perguntas	1	4%
Forma de avaliação		
Quantitativa	15	54%
Qualitativa	11	39%
Encadeamento lógico	2	7%
Participantes secundários		
Profissionais	15	54%
Nenhum	7	25%
Estudantes	2	7%
Estudantes e Profissionais	2	7%
Pesquisadores	1	4%
Pesquisadores e Profissionais	1	4%
Nível de avaliação		
Instanciação	28	100%
Relatividade da avaliação		
Relativa à ausência	14	50%
Absoluta	11	39%
Relativa a semelhantes	3	11%

Fonte: o autor.

(7%). Isto também é evidência a intenção majoritária em ser autêntico nos experimentos e observações, já que os profissionais são os usuários mais naturais dos artefatos (PRAT; COMYN-WATTIAU; AKOKA, 2015). Por outro lado, sete das avaliações (25%) não utilizou participantes secundários, sendo fundamentadas apenas pelas atividades dos próprios autores ou equipe diretamente relacionada. Isto pode ser indicativo de avaliações extremamente objetivas, que prescindem de auxílio humano, ou da necessidade de ser célere, ainda que sob pena de artificialização.

Não é surpreendente que todas as avaliações estejam no nível de instanciação. Um dos critérios para que os estudos fossem incluídos nesta ILR é a construção de uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos. Supõe-se, portanto, que a avaliação ocorra sobre o artefato de fato construído, e não sobre uma abstração.

Por fim, grande parte dos autores escolheu demonstrar a utilidade de seus artefatos

comprovando como seu uso aumentava o desempenho, seja em relação à linguagem natural livre (avaliação relativa à ausência de artefato - 50%), seja em relação a outro conjunto de *boilerplates* (avaliação relativa a artefatos semelhantes - 11%). O restante das avaliações (39%) concluíram de forma absoluta, verificando as características dos artefatos por si mesmos.

3.4.7.1 Agrupamento dos métodos de avaliação

Dando sequência à ILR, optou-se por realizar um agrupamento (*clustering*) dos métodos de avaliação encontrados nos documentos selecionados. Isto é um complemento natural à descrição taxonômica, permitindo a simplificação de dados (análise de grupos, ao invés de observações individuais) e identificação de relações (HAIR et al., 2019). Foi empregada a abordagem hierárquica, devido ao pequeno tamanho da amostra e ignorância com relação ao número de grupos ou às sementes iniciais.

Inicialmente, foi necessário atribuir valores numéricos (parametrizar) às classificações de cada dimensão taxonômica, de acordo com o representado na Figura 16.

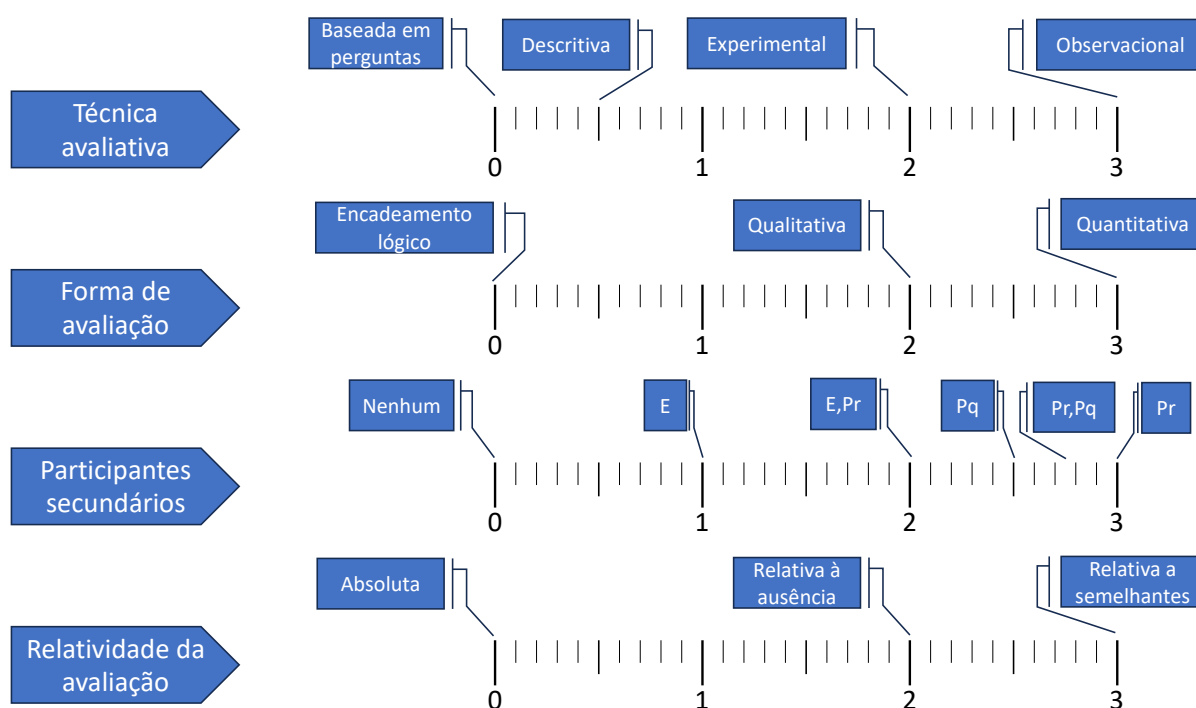


Figura 16 – Parametrização numérica para as classificações de cada dimensão taxonômica de avaliação. Fonte: o autor.

Apesar de, na presente pesquisa, ser impossível desenvolver uma parametrização livre de toda subjetividade, o autor preservou as seguintes coerências:

- *Técnica avaliativa:* a técnica baseada em perguntas é a de abordagem mais teórica, já que não requer qualquer aplicação real do artefato, seguida pela descritiva. A

observacional é a mais empírica. A experimental foi considerada mais próxima da observacional do que das duas primeiras.

- *Forma de avaliação*: as formas encadeamento lógico e quantitativa foram consideradas extremas, respectivamente, quanto à subjetividade e quanto à objetividade das propostas. A forma qualitativa foi tida como mais próxima à quantitativa do que do encadeamento lógico.
- *Participantes secundários*: a ausência de participantes secundários é o elemento menos adequado à simulação de usuários reais, ao passo que o emprego de profissionais é o mais adequado. Pesquisadores foram considerados quase similares a profissionais, enquanto que a falta de experiência dos estudantes os torna menos autênticos neste aspecto. As combinações de participantes secundários foram numericamente parametrizadas como a média aritmética dos valores atribuídos aos constituintes.
- *Relatividade da avaliação*: a absoluta se mostra como total ausência de caráter comparativo, e a relativa a semelhantes vai no sentido oposto. A comparação com a ausência de artefato foi tida como mais próxima à comparação com artefatos semelhantes do que com a total ausência de comparação.

Apenas os valores encontrados nas avaliações das obras selecionadas foram parametrizados, e a dimensão nível de avaliação foi descartada, já que todos os métodos empregaram o nível instanciação.

Cada método de avaliação foi classificado nas quatro dimensões, e lhes foram atribuídos os quatro parâmetros numéricos correspondentes. Assim, cada um deles ficou caracterizado por um vetor quadrimensional, cujos valores ordenados correspondem, respectivamente, à técnica avaliativa, forma de avaliação, participantes secundários, e relatividade de avaliação. Tais dados encontram-se registrados na Tabela 6.

Como etapas do procedimento típico para agrupamento hierárquico, foi necessário escolher uma combinação de métrica de distância entre vetores (dentre distância euclidiana, *city-block*, e distância de Mahalonobis) e algoritmo de agrupamento (dentre simples, completo, média, centroide, e Ward), como definidos por Hair et al. (2019). Esta escolha foi feita de acordo com os coeficientes de correlação cofenética para cada par (SARAÇLI; DOĞAN; DOĞAN, 2013). O cálculo dos coeficientes de correlação cofenética foi efetuado por intermédio das funções apropriadas no *software* MATLAB (THE MATHWORKS INC, 2023), e os resultados são exibidos na Tabela 7. As combinações omitidas são aquelas julgadas inadequadas, de acordo com as melhores práticas (THE MATHWORKS INC, 2023).

A combinação de métrica de distância e algoritmo de agrupamento que levou ao coeficiente de correlação cofenética mais próximo de seu valor ideal (1,0) foi a euclidiana-

Tabela 6 – Dados parametrizados de cada método de avaliação representado nos documentos selecionados.

Avaliação	Parâmetros				Avaliação	Parâmetros			
[A.01]	2	2	0	2	[A.31]	2	3	2,5	0
[A.02]	3	3	3	2	[A.32]	2	3	3	0
[A.03]	2	2	3	2	[A.34a]	2	3	3	0
[A.06]	2	2	3	0	[A.34b]	2	2	3	0
[A.10]	2	3	2,75	2	[A.37]	2	2	0	2
[A.16]	3	3	3	2	[A.40]	0,5	0	0	2
[A.20a]	3	2	3	0	[A.41]	2	3	0	3
[A.20b]	3	3	3	2	[A.42a]	2	3	3	2
[A.24]	2	3	0	3	[A.42b]	2	2	3	2
[A.25]	3	2	3	3	[A.45]	2	3	0	0
[A.26a]	2	2	2	0	[A.49a]	2	3	1	2
[A.26b]	2	3	2	2	[A.49b]	2	2	1	2
[A.27]	2	2	0	0	[A.54a]	0	0	3	0
[A.29]	2	3	3	2	[A.54b]	3	3	3	0

Fonte: o autor.

Tabela 7 – Coeficiente de correlação cofenética, para os dados parametrizados dos métodos de avaliação.

		ALGORITMO DE AGRUPAMENTO				
		Simplex	Completo	Média	Centroide	Ward
MÉTRICA DE DISTÂNCIA	Euclideana	0,7538	0,8814	0,8645	0,8815	0,7900
	City-block	0,7506	0,8210	0,8323	-	-
	Mahalonobis	0,7942	0,6810	0,8544	-	-

Fonte: o autor.

centroide. Ocorre, no entanto, que, nos dados da Tabela 6, esta combinação resultou uma árvore de grupos não-monotônica (interceptação de grupos). Optou-se, assim, pela combinação euclidiana-completo, com coeficiente de correlação cofenética praticamente equivalente.

O dendrograma de agrupamentos hierárquicos resultante, conforme obtido junto ao *software* MATLAB, com distância de corte para definição de grupos igual a 2,0 unidades, encontra-se registrado na Figura 17. Nesta distância, há seis grupos claramente definidos, mas dois deles são monocomponentes, formados apenas por [A.40] e por [A.54a]. Por

consequência, estas duas avaliações podem ser consideradas discrepantes (note-se que [A.40] e [A.54a] são os únicos métodos que não são nem observacionais nem experimentais, e que foram os únicos a empregar o encadeamento lógico como forma de avaliação).

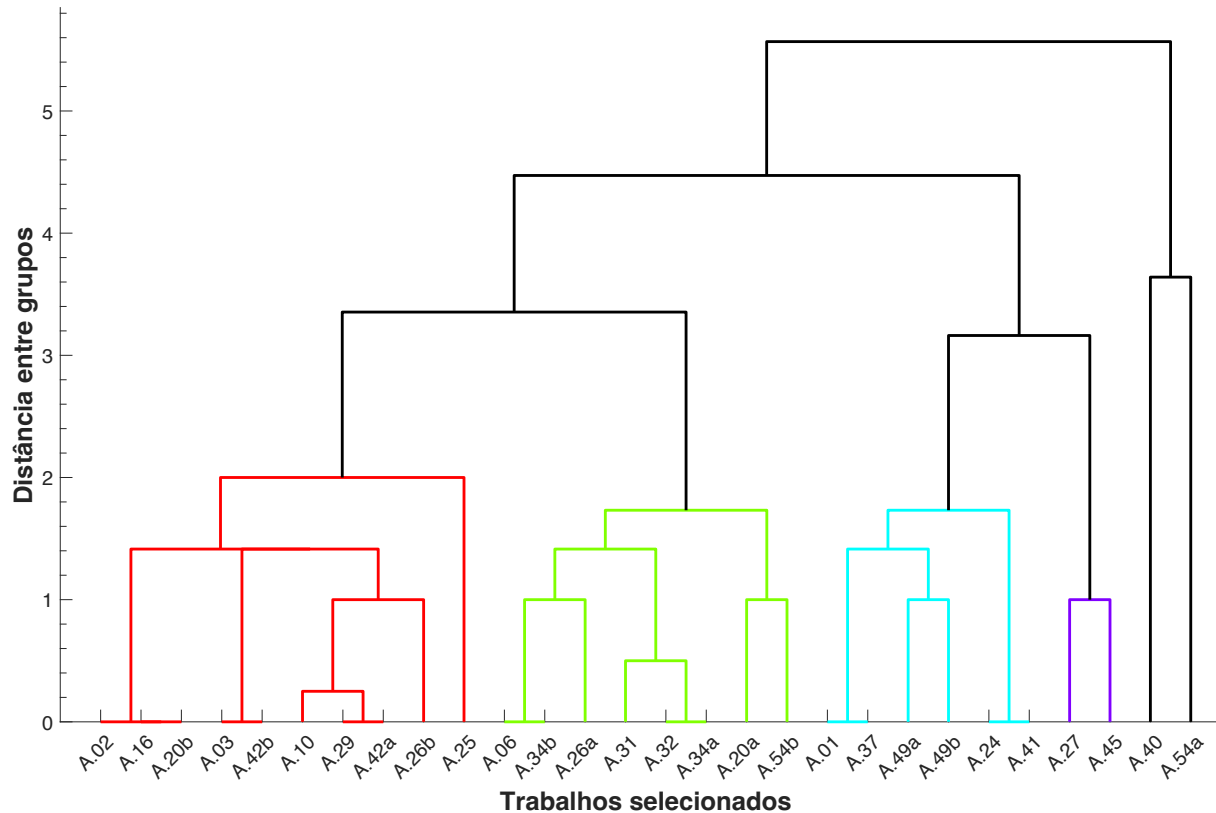


Figura 17 – Dendrograma de agrupamento hierárquico dos métodos de avaliação dos trabalhos selecionados. Fonte: o autor.

Os métodos de avaliação com a menor distância média a seus companheiros de grupo, considerando os três grupos mais populados, são [A.29]/[A.42a] (para o grupo em vermelho), [A.32]/[A.34a] (grupo em verde), e [A.01]/[A.37] (grupo em azul). Assim, verificando seus dados parametrizados na Tabela 6, é possível eleger três métodos típicos de avaliação de *boilerplates*, complementando a resposta a **Q8**:

- 2 3 3 2: avaliação experimental, criticando uma instanciação do artefato quantitativamente, com profissionais atuando como participantes secundários, e comparando o desempenho com relação à ausência do artefato.
- 2 2 3 0: avaliação experimental, criticando uma instanciação do artefato qualitativamente, com profissionais atuando como participantes secundários, sem compará-lo com outros.
- 2 2 0 2: avaliação experimental, criticando uma avaliação do artefato qualitativamente, sem participantes secundários, e comparando o desempenho com relação à ausência do artefato.

Sem que haja impedimento a abordagens específicas ou inovadoras, estes três métodos típicos podem servir como diretrizes para o planejamento de avaliações de artefatos semelhantes a *boilerplates*, e serão considerados por ocasião do projeto da avaliação da estruturação de linguagem natural desenvolvida nesta própria pesquisa.

3.5 Publicação

Como forma de disponibilizar o conhecimento produzido nesta ILR ao público interessado, o trabalho relatado neste Capítulo foi registrado não apenas na presente tese, mas também sob forma de um artigo publicado na GeSec - Revista de Gestão e Secretariado, indexado nas bases de dados Web of Science e Dimensions, entre outras (BARBOSA; CERQUEIRA; CUNHA, 2023).

BARBOSA, L. M.; CERQUEIRA, C. S.; CUNHA, A. E. C. Natural language requirements boilerplates: an integrative literature review. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, South Florida Publishing LLC, v. 14, n. 8, p. 13444–13476, ago. 2023.

4 CONSTRUÇÃO DO ARTEFATO

Todo o esforço de identificação do problema e motivação realizado nos Capítulos 1, 2 e 3 resultou na formação de uma sólida base de conhecimento a respeito das estruturações de linguagem natural para documentação de requisitos. Foi a partir desta base que se pôde transformar a ideia do artefato em realidade, ou seja, construí-lo. As atitudes relativas a tal parcela do empreendimento da pesquisa são relatadas ao longo do presente Capítulo.

4.1 Elenco de objetivos do artefato

A definição de objetivos é a primeira etapa do processo Peffers voltada diretamente à construção do artefato, sendo que os objetivos do artefato constituem as características que este deve apresentar para se mostrar uma solução satisfatória ao fim a que se destina. Alguns autores chamam tais objetivos de meta-requisitos (WALLS; WIDMEYER; SAWY, 1992) ou mesmo requisitos (HEVNER et al., 2004) do artefato. Muito embora o que se trata aqui seja uma entidade apenas genericamente similar à definição de requisitos feita na Seção 2.2 desta tese, pode-se, para os fins deste Capítulo, considerá-las paralelas. Deve-se, porém, manter consciência de que a declaração de objetivos em uma DSR é item menos formalizado do que a elicitación e documentação de requisitos na Engenharia de Sistemas e de Requisitos.

Os objetivos para a estruturação de linguagem natural ora intencionada foram elencados a partir das extensivas identificação do problema e motivação feitas nos capítulos anteriores. Assim, a definição do problema guiou o conhecimento das necessidades, a justificativa as contextualizou, e a conscientização do problema trouxe à luz as ferramentas disponíveis e os limites da viabilidade.

Este é o elenco definido para os objetivos do conjunto de *boilerplates*, como artefato:

- OA1:** O artefato deverá ser expresso no idioma português.
- OA2:** O artefato deverá ser aplicável a requisitos de sistemas gerais.
- OA3:** O artefato deverá ser aplicável a todos os tipos de requisitos.
- OA4:** O artefato deverá reduzir a ambiguidade textual dos requisitos por ele documentados.
- OA5:** O artefato deverá aumentar a completude funcional dos requisitos por ele documentados.

- OA6:** O artefato deverá reduzir a complexidade textual dos requisitos por ele documentados.
- OA7:** O artefato deverá aumentar a reusabilidade dos requisitos por ele documentados.
- OA8:** O artefato deverá possibilitar a imediata identificação estrutural dos termos constituintes dos requisitos por ele documentados.
- OA9:** O artefato deverá aumentar a efetividade do esforço de usuários treinados na documentação de requisitos.
- OA10:** O artefato deverá ser de fácil aplicação por usuários treinados.
- OA11:** O artefato deverá ser compatível com as práticas de documentação de requisitos atualmente em uso no EB.

Os **OA1** a **OA3** são consequência direta dos objetivos da pesquisa, se justificando pela necessidade de aplicação no Exército Brasileiro. Este emprega o português como língua oficial em seus documentos, e especifica sistemas de diversas naturezas conforme requisitos de todos os tipos (funcionais, de qualidade, e restrições).

Os **OA4** a **OA7** referem-se à primeira metade do rol de atributos de qualidade mais citados pelos autores como de interesse no desenvolvimento de *boilerplates*, conforme observado na análise de ILR constante da Subseção 3.4.4. Os atributos de qualidade em tela devem ser interpretados em coerência com o utilizado por Montgomery et al. (2022) e, por opção didática, as questões de consistência, simplicidade, e compreensibilidade de requisitos foram agrupadas na classe “complexidade textual”.

O **OA8** é citado no Apêndice C de (INCOSE, 2023) como uma das principais características dos *boilerplates* que levam à possibilidade de automatização de processos relativos à Engenharia de Requisitos, além de facilitar a tradução em linguagens formais (GIANNAKOPOULOU et al., 2021).

Finalmente, os **OA9** a **OA11** têm relação com o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM — do inglês *Technology Acceptance Model*). Esta técnica, desenvolvida ao final da década de 1980 na Universidade de Michigan (DAVIS, 1989), e complementada para a DSR por Puro e Storey (2008), prevê que a probabilidade de adoção de um artefato por novos usuários se dá a partir de suas percepções a respeito da utilidade do mesmo (melhoria de desempenho nos afazeres a partir do uso da solução), facilidade de aplicação (possibilidade de emprego da solução sem grandes dificuldades), e flexibilidade (compatibilidade da solução proposta com as práticas correntes do usuário).

4.1.1 Classificação do artefato

Na tradição da DSR, as taxonomias, ao segregarem os tipos de indivíduos dentro de conjuntos, são consideradas fundamentais para compreensão de fenômenos (SIMON, 2019). Por assim ser, é conveniente, ainda dentro das atividades iniciais de construção, expor os gêneros de artefatos já estabelecidos e classificar a estruturação de linguagem natural pretendida dentre eles. Vaishnavi e Kuechler (2015) expandiram a taxonomia clássica criada por March e Smith (1995), chegando a um rol de espécies de artefatos reproduzido no Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação dos artefatos.

Tipo do artefato	Descrição
Construtos	Vocabulário conceitual de um domínio
Modelos	Conjuntos de proposições ou enunciados que expressam relações entre construtos
Estruturas (<i>Frameworks</i>)	Instruções reais ou conceituais que servem de suporte ou guia
Arquiteturas	Estruturas de sistemas em alto nível
Princípios de <i>design</i>	Núcleo de princípios e conceitos para guiar projetos
Métodos	Conjuntos de passos utilizados para desempenhar tarefas - <i>know-how</i>
Instanciações	Implementações situadas em certos ambientes que operacionalizam ou não construtos, modelos, métodos e outros artefatos abstratos; no último caso tal conhecimento resta tácito.
Teorias de <i>design</i>	Um conjunto prescritivo de sentenças a respeito de como fazer algo para atingir certo objetivo. Uma teoria normalmente inclui outros artefatos abstratos, como construtos, modelos, estruturas, arquiteturas, princípios de <i>design</i> e métodos.

Fonte: Vaishnavi e Kuechler (2015).

O artefato prescrito como resultado da presente aplicação da DSR pode ser considerado uma *instanciação*. Ele parte de modelos linguísticos e os operacionaliza no ambiente de documentação de requisitos de SMEM no idioma português, consistindo numa implementação particular e prática. Johannesson e Perjons (2014) elencam como preocupação específica na construção de instanciações o cuidado que se deve ter com a interoperabilidade, autonomia, robustez e resiliência da solução. Nas definições destes fatores pelos autores, nota-se inquestionável afinidade com as percepções de utilidade, facilidade e flexibilidade previstas no TAM, comprovando o valor dos **OA8** a **OA10**.

4.2 Projeto e desenvolvimento

O projeto e desenvolvimento, na DSR, é o processo que recebe o delineamento geral do artefato (no caso deste trabalho, advindo dos esforços de definição do problema, fundamentação teórica e revisão de literatura), bem como de seus objetivos (vistos na Seção anterior), e retorna à pesquisa uma solução desenvolvida, pretensamente capaz de satisfazer às necessidades do problema (JOHANNESSON; PERJONS, 2014).

Apesar de sua fundamentalidade para o sucesso da DSR, esta é uma etapa carente de diretrizes metodológicas claras na literatura. Não há um roteiro de atividades universalmente aplicável para sua conclusão. “Crie o artefato.”, afirmam laconicamente Peffers et al. (2007). Confirma a assertiva o alerta de Hevner et al. (2004), a respeito da dependência crítica por parte da DSR de habilidades humanas cognitivas — criatividade, em especial — para a produção de soluções efetivas. Também valorizam a criatividade dentro da DSR Hevner e Chatterjee (2010), bem como Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), os quais declaram que “o processo de proposição de artefatos é essencialmente criativo”.

4.2.1 Exploração de criação por codificação verbal

Mesmo considerando sua importância, a criatividade é um processo cognitivo ainda mal compreendido, dificilmente ensinável (VAISHNAVI; KUECHLER, 2015) e, como consequência, frequentemente acusado de introduzir não repetibilidades na pesquisa científica, sobretudo na DSR (VAISHNAVI; KUECHLER, 2021). Assim, houve, por parte do pesquisador, uma tentativa inicial de criação do artefato por abordagem linguístico-computacional, menos sujeita a variações.

A fim de apoiar-se em experiências anteriores presentes na literatura, fez-se uso da análise apresentada na Seção 3.4.6, que elencou sete métodos utilizados na construção das estruturações de linguagem natural. Observou-se que o documento [A.32] é único entre seus pares, ao desenvolver *boilerplates* voltados a ampla variedade de requisitos (mesmo que apenas do tipo funcionais), documentados na especificação de sistemas gerais, usando etapas pouco dependentes da ação subjetiva humana. Tal documento evidenciou-se, portanto, como bom candidato à exploração.

De forma resumida, [A.32] construiu *boilerplates* por teoria fundamentada (*grounded theory*). A parte mais objetiva de seu método envolveu a técnica *protocol coding*, mediante coleta automatizada de 2755 requisitos de 11 sistemas. A partir daí, codificou os verbos de ação presentes nos requisitos, conforme as categorias elencadas no banco léxico VerbNet (CLEAR, 2018), complementando-o, quando necessário, com outro banco léxico, o WordNet (PRINCETON UNIVERSITY, 2024). Os requisitos foram agrupados conforme estes códigos e as partes dos *boilerplates* voltadas às ações dos requisitos foram definidas a partir da generalização das regras sintáticas de cada código. Outras partes da estruturação de

linguagem natural foram incorporadas diretamente do EARS (MAVIN et al., 2009). Houve, ainda, etapa construtiva iterativa e incremental junto a profissionais de uma empresa, mediante encontros quinzenais por um ano.

A tentativa de adaptação do método de [A.32] para o idioma português envolveu o pré-processamento de um conjunto de 117 sentenças de requisitos técnicos de um sistema de informações da FAB presentes no documento RTLI 03/SDTE/2015 (BRASIL, 2015b). Os verbos presentes em cada uma dessas sentenças foram extraídos com uso do *web service* da ferramenta LX-DepParser (ANTÓNIO et al., 2011), totalizando 94 verbos. Uma aplicação MATLAB foi desenvolvida para listar todas as classes verbais representadas por estes verbos, conforme a codificação do paralelo lusófono do VerbNet, o VerbNet.BR (SCARTON, 2014). Para os verbos não representados no VerbNet.BR, houve busca automatizada por sinônimos, conforme encontrados no banco léxico WordNet.BR (SILVA; SCARTON, 2009).

A continuidade do processo, entretanto, restou prejudicada quando houve necessidade de individualizar os sentidos semânticos dos verbos, dadas algumas limitações do VerbNet.BR com relação ao VerbNet. O verbo “permitir”, por exemplo, um dos mais utilizados nos requisitos tratados, encontra-se listado no VerbNet.BR apenas sob a codificação *conjecture-29.5*, quando, para o sentido no qual ele é mais empregado nos casos presentes, é certamente ligado à classe *allow-64*. Mesmo na pequena amostra tratada, foram observados diversos casos semelhantes ao do verbo “permitir”. Mostrou-se, então, impossível seguir às etapas seguintes sem que houvesse confiabilidade nas codificações verbais, tendo em vista que a criação das regras gramaticais seria baseada nos *frames* típicos de cada código.

Tal limitação, aliado à lembrança de que o esforço linguístico-computacional, ainda que completamente frutífero, resultaria apenas em uma pequena parte dos *boilerplates* (aquela correspondente às frases de ação presentes nas sentenças dos requisitos), motivou o abandono da empreitada conforme a ideia exposta nesta Subseção.

4.2.2 Criação por catálogo de soluções

Retornando às técnicas de construção de artefatos mais baseadas na ideação e na criatividade, tornaram-se necessárias diretrizes que as incorporassem aos procedimentos de tal forma aliadas simultaneamente ao rigor científico e à utilidade, que permitissem o caráter inovador das soluções, sem que isso lhes roubasse a validade e a confiabilidade (BASKERVILLE et al., 2019).

4.2.2.1 Catálogo de soluções

Neste esforço de metodização da criatividade, convém observar a taxonomia de métodos formais de geração e análise de ideias efetuada por Shah, Kulkarni e Vargas-Hernandez (2000), representada na Figura 18. Em apertado resumo, os autores perfazem

uma avaliação qualitativa e quantitativa de tais métodos, classificando-os em intuitivos (estimulantes de processos subconscientes) e lógicos (relacionados à decomposição sistemática de problemas). Os primeiros podem ser germinais (voltados à geração inicial de ideias), transformacionais (modificação de ideias preexistentes), progressivos (melhoria iterativa de ideias), organizacionais (agrupamento de ideias) ou híbridos (aqueles que revelam uma mescla dos anteriores). Já os lógicos podem ser baseados em histórico (que envolvem o uso de alguma catalogação de soluções obtidas anteriormente) ou analíticos (geração sistemática de ideias a partir de primeiros princípios). Shah, Kulkarni e Vargas-Hernandez (2000) fornecem exemplos de métodos de cada um dos tipos citados, indicando suas respectivas fontes.

Para as intenções do trabalho relatado, os métodos lógicos, baseados em histórico, se mostraram bastante adequados por sua sistematicidade. De fato, a lista de trabalhos selecionados na ILR, presente no Apêndice A, pode ser interpretada como uma espécie de catálogo de soluções conhecidas e demonstradas para problemas com média ou grande afinidade à estruturação de linguagem natural estudada. A lista conta, ainda, com a vantagem de ter sido montada a partir de procedimentos plenos de rigor científico, relatados ao longo das Seções 3.2 e 3.3.

Ainda que os catálogos de soluções estejam normalmente relacionados a elementos de máquina ou componentes padronizados, não há qualquer empecilho a concebê-los também como coleções de artefatos mais abstratos (PAHL et al., 2007), tais como conjuntos de *boilerplates*. Ressalte-se, ainda, que ter à disposição uma miríade de soluções congêneres à almejada certamente facilita a construção da solução própria, pois o desenvolvedor pode identificar padrões, combinar componentes e gerar novas ideias a partir das heurísticas registradas (YILMAZ et al., 2016).

Dadas tais condições, optou-se por desenvolver o artefato pelo método lógico, baseado em histórico, do catálogo de soluções, tendo a lista apresentada no Apêndice A como repositório.

4.2.2.2 Forma de apresentação

A análise feita na Seção 3.4.5 classificou as formas de apresentação ou registro dos conjuntos de *boilerplates* encontrados na ILR entre sentenças textuais, bibliotecas, gramáticas (sejam BNF, Chomsky, ou específicas) e diagramas. É evidente que cada uma destas formas possui suas vantagens e desvantagens, especialmente quando propostas para uso na presente tese.

Sentenças textuais são afins à linguagem natural, têm grande poder de expressão e acessibilidade (WHEATCRAFT; RYAN, 2018). A multiplicidade de combinações possíveis, porém, de domínio de aplicação, tipo de requisito, eventuais condicionantes dos requisitos e variedade de respostas esperadas dos sistema ou componentes especificados, podem

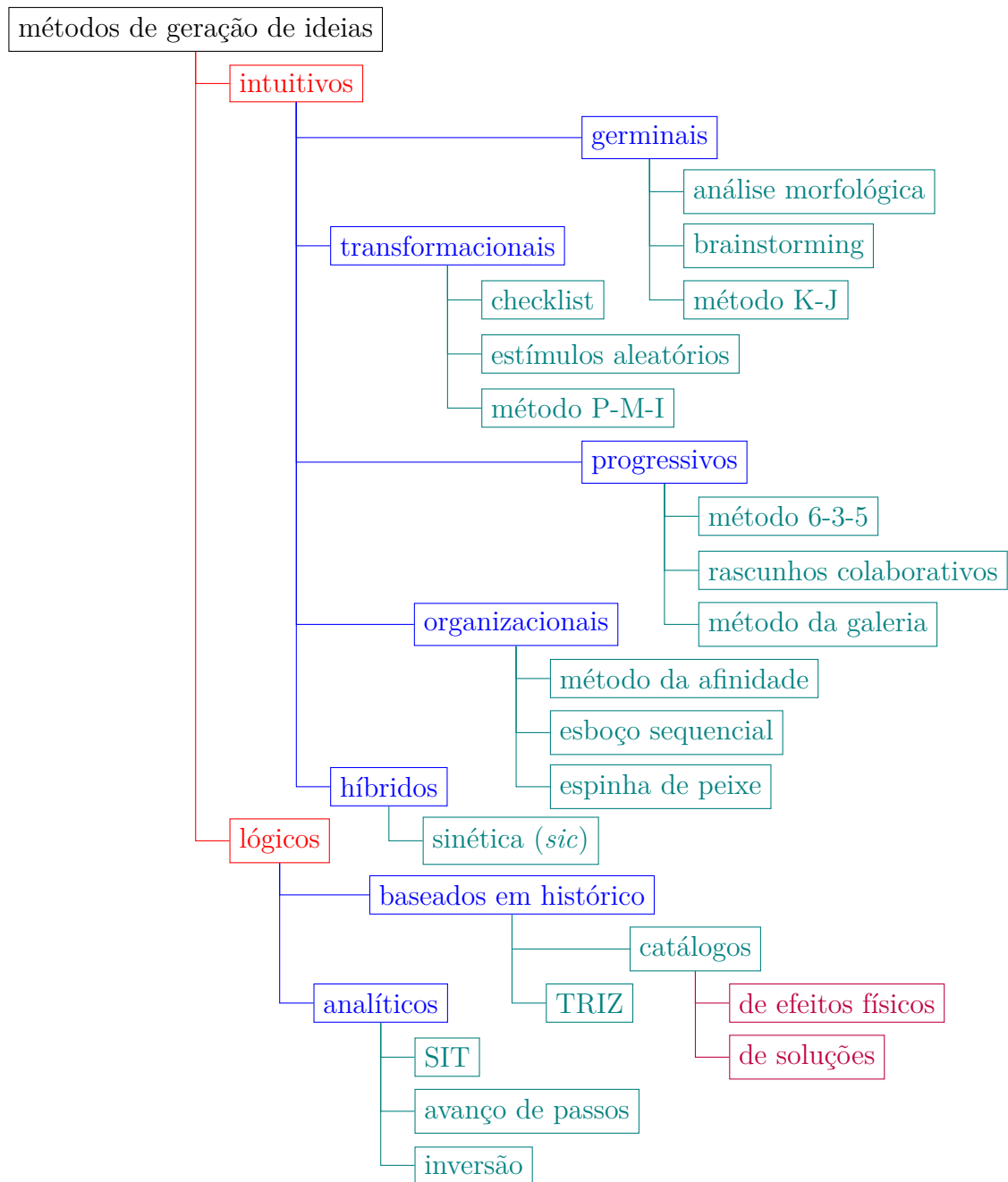


Figura 18 – Classificação de métodos para geração de ideias. Fonte: adaptado de Shah, Kulkarni e Vargas-Hernandez (2000).

obrigar uma estruturação de linguagem natural formalizada em texto a possuir uma quantidade consideravelmente grande de sentenças individuais. A necessidade de consulta a um “dicionário” de *boilerplates* certamente seria um fator inibidor da aceitação do artefato ora desenvolvido, desmotivando escolha por esta alternativa.

A apresentação por biblioteca é inviável para o fim a que se destina o artefato em tela. A própria definição que foi feita na Seção 3.4.5 explicita que *boilerplates* apresentados desta forma visam exaurir os aspectos específicos de um domínio de aplicação ou tipo de requisito. [A.52], por exemplo, possui uma seção voltada a expor um conjunto específico

de *boilerplates* para aeronaves de asa fixa. O engenheiro ou projetista, ao utilizar todos os *boilerplates* deste conjunto, poderia ter certeza de estar a considerar todos os itens pertinentes no projeto de uma aeronave. Ora, na presente pesquisa o domínio de aplicação são SMEM em geral, um limite bastante amplo, sem qualquer entrave a tipo de requisitos, tornando evidente a impossibilidade de previsão de todos aspectos específicos em todas as aplicações do artefato.

O uso de gramáticas poderia aumentar o rigor lógico-matemático do artefato (LAPLANTE, 2018) e mesmo contribuir eficazmente para automatização da análise dos requisitos (ISO, 1996). Exigiria, porém, treinamento razoavelmente complexo dos usuários dos *boilerplates* para leitura das expressões metassintáticas, inviabilizando cumprimento dos objetivos **OA10** (facilidade de uso) e **OA11** (compatibilidade com práticas atuais).

Resta, assim, a alternativa dos diagramas. Estes são tradicionalmente reconhecidos como um meio eficiente de transmissão de informações (LARKIN; SIMON, 1987), úteis para o aprendizado autônomo de processos e conceitos (AINSWORTH, 2003), o que facilita a compreensão dos dados e leva a uma curva de treinamento suave (ZAKI-ISMAIL et al., 2021). Possivelmente por conta destas vantagens, consistiram no terceiro método mais empregado para representação de *boilerplates*, conforme visto na Seção 3.4.5.

A partir do exposto, optou-se pelos diagramas como forma de apresentação da estruturação de linguagem natural desenvolvida, sem que isso impeça o uso de formas secundárias.

4.2.2.3 Descritores

Ainda que, conforme observado na Subseção anterior, os diagramas sejam particularmente propícios ao aprendizado autônomo, é conveniente complementar o exposto na forma pictográfica com informações adicionais, que tornem ainda mais precisa a definição dos *boilerplates* desenvolvidos. Assim, para cada elemento do artefato deve redigir-se um **descriptor**, um conjunto de dados que evidencie o uso, a utilidade e a origem do componente. Conforme adaptação da sugestão de Johannesson e Perjons (2014) para projeto e desenvolvimento de artefatos, cada descriptor deve conter:

- *Descrição*. Caracterização da funcionalidade ou estrutura do elemento em tela.
- *Uso*. Instruções básicas para utilização do elemento, com exemplos elucidativos.
- *Justificativa*. Propósito de existência do elemento.
- *Fonte original*. Registro dos itens no catálogo de soluções que contribuíram para a concepção do elemento.

- *Inovação*. Relato da eventual originalidade do elemento, mostrando como ele se diferencia da fonte original.

4.2.2.4 Sistematicidade do artefato

Para executar o planejado nas Subseções anteriores, resolveu-se conceber a estruturação de linguagem natural como um sistema. Há, assim, componentes de alto nível, doravante denominados **blocos**. Pelo princípio da sistematicidade, estes blocos podem ser considerados sistemas em si mesmos e decompostos em subsistemas menores, que também terão seus blocos internos e, assim por diante, até os elementos estruturantes mais básicos dos *boilerplates*: as expressões-chave e os marcadores de posição.

As **expressões-chave** são sequências léxicas características do bloco a que pertencem. Se uma sentença de requisito estiver escrita conforme um *boilerplate* que faz uso daquele bloco, ela conterá uma das expressões-chave pré-definidas para aquele bloco, não importando o conteúdo individual do requisito. Imaginando um *boilerplate* como um formulário, as expressões-chave são suas partes fixas, os títulos dos campos e as estruturas que já vêm preenchidas.

Os **marcadores de posição** são sequências léxicas características do requisito. São eles que individualizam a sentença do requisito para além da escolha do *boilerplate* mais adequado ao tipo de informação que se deseja comunicar. Eles determinam o local na sentença que deve conter o nome, o verbo, o elemento ontológico, ou qualquer outro dado solicitado por sua descrição. Imaginando, mais uma vez, um *boilerplate* como um formulário, os marcadores de posição são os campos que devem ser preenchidos.

Se, conforme observado na Seção 2.1, os componentes de um sistema devem ser articulados entre si por relacionamentos, no caso da estruturação desenvolvida nesta tese, os blocos são articulados por **fluxos**. Os fluxos são relacionamentos direcionais, determinando a ordenação com que os blocos (e, por consequência, as expressões-chave e os marcadores de posição) devem constar na sentença do requisito. Quando um bloco possui relacionamento com mais de um bloco à montante ou à jusante surgem bifurcações e entroncamentos, que aparecem sob forma de **disjunções de fluxo**. As disjunções de fluxo simbolizam uma decisão do usuário do conjunto de *boilerplates* a respeito do bloco que melhor será capaz de documentar a próxima informação na sentença de requisito que está sendo redigida, e são elas que permitem que um único diagrama possa representar diversos *boilerplates* de um conjunto.

Por fim, há os **nós de início e de fim de estruturação**. Este são como blocos “virtuais”, sem conteúdo, indicando apenas o ponto de partida e a finalização do processo de redação de uma sentença de requisito.

A legenda do Apêndice C contém o simbolismo adotado para os elementos previa-

mente definidos.

4.2.2.5 Resultado

Esta Subseção sintetiza o resultado do desenvolvimento do artefato, executado conforme o estabelecido entre 4.2.2.1 e 4.2.2.4. Pelo seu caráter resumitivo, deve ser lida com consulta constante aos diagramas e descritores de blocos presentes no Apêndice C, que registram de forma completa a estruturação de linguagem natural construída.

Os trabalhos constantes do Apêndice A foram examinados a fim de se encontrar uma representação satisfatória para a decomposição de mais alto nível de uma sentença de requisito. Por sua genericidade e expressividade, optou-se pela modelagem de [A.43], pela qual uma sentença de requisito é construída em torno de um **núcleo** obrigatório, que caracteriza a funcionalidade ou propriedade esperada do sistema de interesse. Alguns requisitos, porém, não descrevem uma característica exigível a todo o tempo, mas apenas quando o sistema é submetido a certas situações, motivando a existência de um bloco opcional, chamado **condições temporais e lógicas**, que precede o núcleo na sentença. Da mesma forma, eventualmente pode ser necessário qualificar ou restringir, de algum modo, a característica solicitada. Quando isso ocorre, é conveniente primeiro enunciar a característica, para apenas depois particularizá-la, dando origem a outro bloco opcional, denominado **complementos**.

A Figura 19 traduz em diagrama a estrutura narrada no parágrafo anterior. Observe-se que as disjunções de fluxo são organizadas de tal modo que a sentença de requisito pode se iniciar tanto pelas condições temporais e lógicas, quanto pelo núcleo, sendo que a única sequência permitida a este são os complementos.

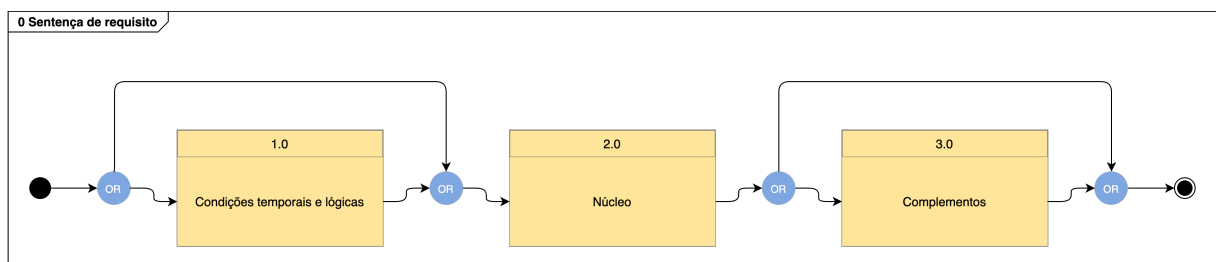


Figura 19 – Diagrama representativo do Bloco 0 - Sentença de requisito. Fonte: adaptado de [A.43].

Seguindo o proposto por [A.32], estruturou-se o bloco de condições em uma ou mais **estruturas condicionais**, cada uma declaratória de um tipo de condição. Se houver mais de uma condicionante, elas precisam ser coordenadas por intermédio de **conectivos**, que definirão se todas as estruturas condicionais devem ser válidas para que o núcleo do requisito seja aplicável, ou se basta a ocorrência de uma delas. Ressalte-se que a existência de múltiplas estruturas condicionais em um mesmo requisito não lhe afeta a característica

da singularidade (conforme definida na Seção 2.2.3), posto que as condicionantes não afetam o núcleo em si, mas apenas sua aplicabilidade ([A.53]).

Dentro dos trabalhos listados, a classificação de tipos de estruturas condicionais feita por [A.03] (EARS) é certamente a mais consolidada, formando a base para os trabalhos de [A.05], [A.25] e [A.32], dentre outros. O EARS elenca condicionantes dos tipos **dirigido por evento**, **dirigido por estado**, **comportamento indesejado**, e **característica opcional**, que foram aproveitados para a estruturação desenvolvida. Não foi utilizado, porém, o tipo “complexo” de [A.03], tendo em vista que a coordenação de condicionantes é feita pelos conectivos do bloco 1.2. Contudo, acrescentou-se a possibilidade de condicionantes do tipo **condição temporal**, conforme a sugestão de [A.25], para ocasiões em que a aplicabilidade do núcleo depende de relações temporais com algum evento.

A Figura 20 lista as possibilidades de estruturas condicionais, ao mesmo tempo em que exemplifica a utilização dos componentes de mais baixo nível no sistema dos *boilerplates*: as expressões-chave e os marcadores de posição.

Em uma adaptação livre do previsto por [A.43], o bloco 2.0, núcleo da sentença de requisito, foi dividido em uma sequência que contempla três blocos obrigatórios. O primeiro é relativo ao **agente**, ou seja, o sistema, subsistema ou componente responsável pela característica descrita no requisito. O segundo é uma expressão **modal**, que determina a permissão ou obrigatoriedade da mesma característica. O terceiro, finalmente, é relativo à **atividade**, a característica ou funcionalidade a ser apresentada pelo agente.

Destaca-se que o bloco 2.2 contempla apenas modais deônticos — expressões que indicam necessidade ou permissividade (RESENDE, 2015) — em valor absoluto: “deve(m)”, para indicar obrigatoriedade; e “não pode(m)”, para indicar proibição. Algumas das soluções presentes no Apêndice A, como [A.25] e [A.32], fazem uso de diversos níveis de deontologia, implementadas por modais como *shall*, *should*, *could*, *will* e *ought to*. A tradução destes termos, porém, para o idioma português não é direta, e poderia vir a se constituir fonte de ambiguidade e incorreção para os requisitos documentados. A criticalidade do requisito, portanto, não deverá constar da sentença em si, mas de um atributo do requisito, hoje, no EB, expresso pela classificação “obrigatório”, “desejável”, ou “complementar”.

Dentro das possibilidades aventadas por [A.25] e [A.42], a atividade pode se traduzir tanto numa **frase de ação**, quando estabelece um processo, quanto numa **dotação**, quando determina que o agente seja provido de certo componente estrutural (um **tema inerte**) ou tenha algum **parâmetro quantificado**. Também aproveitando a solução desenvolvida originalmente por [A.25], incorporou-se ao artefato a estrutura de **outorga**, que prevê a possibilidade de realização da frase de ação não pelo agente em si, mas por um terceiro (o **outorgado**). Neste caso, a responsabilidade do agente está em capacitar o outorgado a realizar a frase de ação.

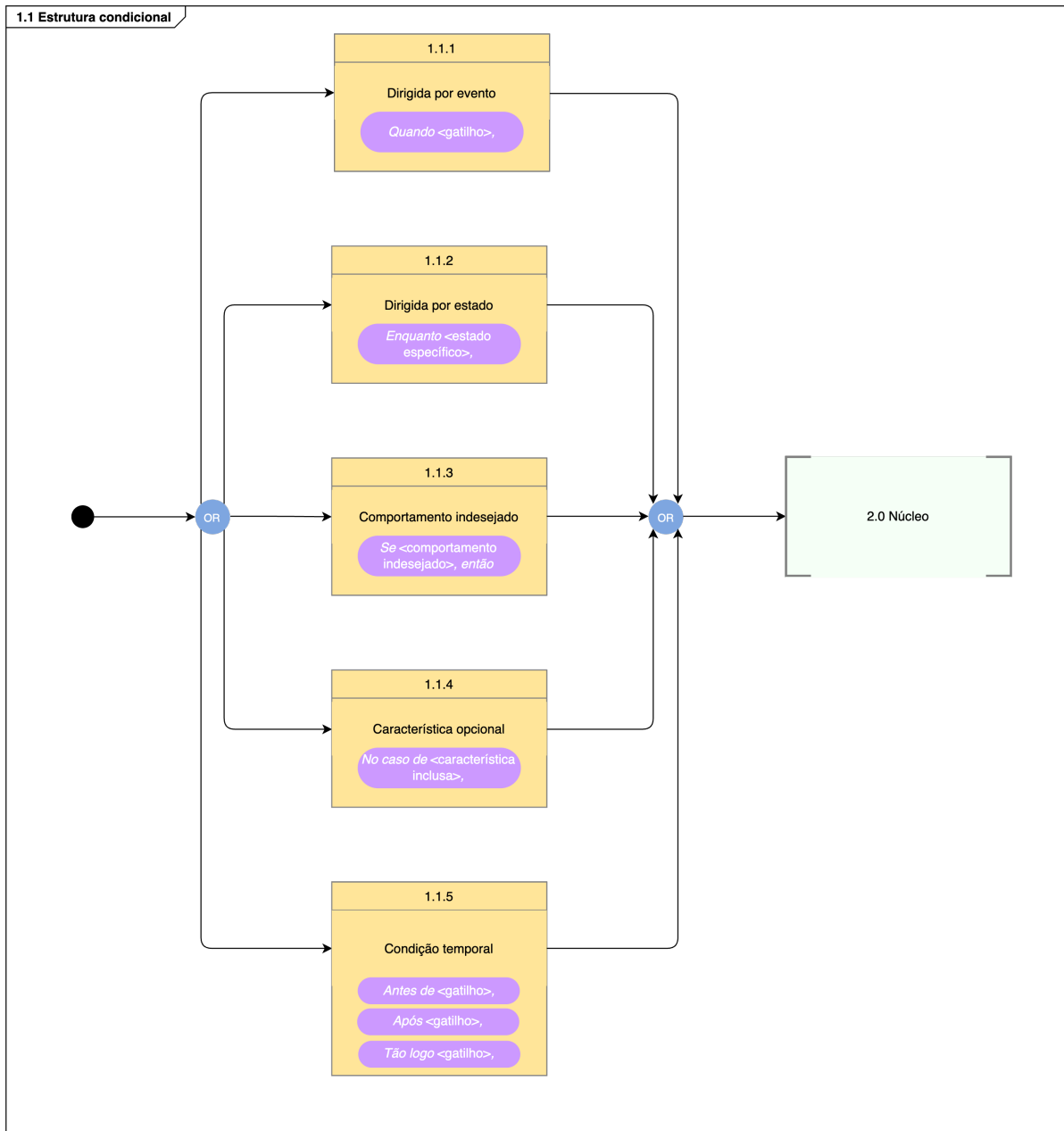


Figura 20 – Diagrama representativo do Bloco 1.1 - Estrutura condicional. Fonte: adaptado de [A.03], [A.25] e [A.32].

A estrutura da frase de ação, por sua vez, adveio majoritariamente das ideias de [A.40], cabendo as alternativas de **ação intransitiva** (sem necessidade de complemento verbal), **ação transitiva** (com complemento verbal), ou **predicativa** (indicando permanência, transitoriedade, mudança ou continuidade de um estado do agente ou do outorgado).

A estrutura geral dos complementos (bloco 3.0) é similar à das condições, com uma ou mais **estruturas complementares** individuais, articuladas de forma adicional ou alternativa pelo uso de **conectivos de complementos**. Seguindo [A.53], os complementos

foram classificados em **restrições da ação** (qualificadores do cerne verbal da frase de ação), **refinamentos do objeto** (qualificadores dos temas inertes ou dos complementos verbais de ações transitivas) e **exceções para a ação** (supressores de obrigatoriedade do requisito).

Toda a lista do Apêndice A foi examinada em busca de possibilidades de restrições da ação, tendo sido encontradas e aceitas as sugestões de [A.11], [A.15], [A.32] e [A.36]. Por consequência, o artefato desenvolvido tem restrições de ação dos tipos **probabilidade** (imposição de caráter não-determinístico ao sucesso da ação), **desempenho** (metas de capacidade ou rendimento), **temporal** (limites de duração, periodicidade ou ordenação), **fundamentação** (critério não-normatizado como base), **conformidade normativa** (critério normatizado), **solução** (restrições para a implementação) e **modo** (forma específica de execução). As estruturas das restrições de cada tipo, com suas respectivas expressões-chave e marcadores de posição encontram-se registradas entre os blocos 3.1.1.1 e 3.1.1.7.

Uma quantidade menor de tipos de refinamento do objeto foi encontrada na literatura. Assim, as delimitações de temas inertes e complementos verbais relativas às suas localizações, sejam físicas ou lógicas, foram contempladas no bloco de **localização de objeto**, inspirado em estruturas sintáticas presentes em [A.32]. Demais gêneros de restrições de objeto foram agrupados na formação mais genérica de **especializações de objeto**.

Mostrou-se obrigatório determinar se as circunstâncias, eventos ou características que suprimem a aplicabilidade do núcleo do requisito traduzir-se-iam em uma “condicionante de necessidade” (como feito por [A.05]), ou numa exceção para a ação (como feito por [A.53]). Esta última abordagem foi considerada a mais coerente e satisfatória, tendo em vista que tal estrutura consiste, de certa forma, na antítese de uma estrutura condicional. A eventualidade de uma exceção para a ação retira a obrigatoriedade do requisito, ao passo que as estruturas condicionais são ocorrências que exigem a aplicação. Daí a formação do bloco 3.1.3 do conjunto de *boilerplates*.

Conforme a complexidade de cada um dos componentes do conjunto de *boilerplates*, estes foram analisados em níveis menores, em um padrão recursivo, gerando a totalidade de 69 blocos individuais na estruturação de linguagem natural desenvolvida. Cada um deles possui seu descritor apresentado no Apêndice C.

Algumas opções de blocos durante o desenvolvimento traduzem o cuidado do pesquisador com a qualidade dos requisitos a serem documentados por intermédio do artefato e merecem destaque, especialmente quando observadas à luz das regras INCOSE para redação de requisitos, presentes no GtWR¹ (INCOSE, 2023):

¹ A INCOSE autoriza a divulgação gratuita de um sumário de seu *Guide to Writing Requirements*. Por conveniência, o quadro correspondente ao resumo das regras de redação de sentenças de requisitos encontra-se reproduzida no Anexo A desta tese.

1. **Uso de voz ativa.** A estrutura do conjunto de *boilerplates*, em especial quando se observa o bloco 2.0 - *Núcleo*, leva ao uso da voz ativa na sentença do requisito. Conforme a regra R2 do GtWR, a voz ativa faz com que o agente que executa a atividade seja o sujeito da ação, pondo responsabilidade sobre o agente, e não sobre o objeto. Contribui, desta forma, para a verificabilidade e completude do requisito.
2. **Uso correto do sujeito.** De forma complementar à consideração anterior, a regra R3 do GtWR discorre sobre o uso correto do sujeito nas sentenças de requisito. Particularmente quando se trata da especificação de temas inertes ou de parâmetros quantificados, é comum que estes se tornem sujeitos da frase. A criação do bloco 2.3.4 - *Dotação* previne esta falha. Ressalta-se, ainda, que a presença do bloco 2.1 - *Agente* é obrigatória em todas as sentenças de requisito, fazendo com que o sujeito, no nível sistêmico correto, esteja sempre presente (a experiência do autor demonstra que grande parcela dos requisitos de SMEM no EB são redigidos como sentenças sem sujeito). A observância desta regra é diretamente relacionada às características de propriedade, não ambiguidade, e verificabilidade dos requisitos.
3. **Singularidade.** A regra R18 do GtWR dedica-se à característica de singularidade nos requisitos, determinando que as sentenças devem possuir uma única sequência sujeito-verbo-objeto. Em atenção a tal diretriz, a estrutura dos *boilerplates* foi desenvolvida de forma a exigir um, e apenas um, uso de cada bloco 2.1 - *Agente*, 2.2 - *Modal* e 2.3 - *Atividade* no requisito. Assim, ainda que haja multiplicidade de condições e de complementos, há um único núcleo, o que favorece a verificabilidade do requisito.
4. **Apontamento de itens de Glossário.** A Subseção 2.2.3.2 relacionou a possibilidade de adoção de um Glossário como uma das vantagens da utilização de linguagem natural estruturada para documentação de requisitos. No conjunto de *boilerplates* desenvolvido, diversos blocos, como o 2.1.1 - *Entidade*, 2.3.3 - *Outorgado*, e o 3.1.1.6.2 - *Meio*, chamam atenção para a necessidade de definição de uma ontologia para termos específicos. Impõem, inclusive, uma formatação para estes termos (*Abc_X*), que constarão como itens de um Glossário. Esta diretriz, que se coaduna às regras R4 e R36 do GtWR, contribui para a não ambiguidade e verificabilidade dos requisitos.
5. **Delimitação quantitativa.** Blocos como o 2.1.1 - *Delimitador do agente* e o 2.3.1.4.2 - *Quantificador de objeto* solicitam ao redator a escolha de um artigo ou pronome para identificar corretamente o sentido (individualizado, quantificado, ou coletivo) dos termos que os seguem. Tais blocos seguem a intenção da regra R5 do GtWR, indo ao encontro da não ambiguidade nos requisitos.
6. **Explicitação de condicionantes.** As regras R27 e R28 do GtWR advogam pela explicitação das circunstâncias, eventos ou características que delimitam a

aplicabilidade dos requisitos. Todo o bloco *1.0 - Condições temporais e lógicas* se dedica a esta diretriz, destacando a observação de condicionantes logo ao início das sentenças. O bloco *1.2 - Conectivo*, em particular, cumpre a regra R28, determinando as possíveis conjunções e disjunções de estruturas condicionais individuais, suprimindo eventuais ambiguidades neste aspecto.

7. **Prevenção de negações.** O GtWR recomenda, por intermédio da regra R16, que se evite o uso da palavra “não” nas sentenças de requisito, sugerindo que as negativas são deletérias à verificabilidade. O artefato desenvolvido, mediante o bloco *2.2.2 - Proibição*, introduz um modal absoluto de proibição, que se utiliza de uma atitude normativa negacional. Tal concessão foi feita em virtude da dificuldade sintática de se impedir algumas atividades ao agente sem o uso do “não”, ou pela perda considerável de fluidez no texto. O bloco, contudo, tem uso desestimulado e é apontado como de “utilização restrita”, fazendo com que somente possa ser empregado mediante justificativa apenas aos atributos do requisito.
8. **Emprego de unidades de medida.** Os blocos *2.3.6.2 - Quantificador de parâmetro*, *3.1.1.2.3 - Unidade de desempenho*, e *3.1.1.3.2 - Valor temporal* impõem uso apropriado e consistente (dentro do Sistema Internacional) para as unidades de medida dos valores quantificados. Atendendo às regras R6 e R36 do GtWR, o conjunto de *boilerplates* previne erros de interpretação e contribui para a correção e completude dos requisitos.
9. **Uniformização de formato numérico.** Os descritores dos blocos *2.3.6.2 - Quantificador de parâmetro*, *3.1.1.1.3 - Valor da probabilidade*, *3.1.1.2.2 - Valor de desempenho* e *3.1.1.3.2 - Valor temporal*, diretamente envolvidos com expressões numéricas, impõem o uso da vírgula como separador decimal. A atitude cumpre a regra R40 do GtWR, promovendo consistência no conjunto de requisitos, sobretudo quando há aproveitamento de literatura anglófona na redação das sentenças.
10. **Prevenção de frases de justificativa e explicações.** O artefato desenvolvido deliberadamente omite blocos dedicados à explicitação de propósitos ou intenção de requisitos. Indo ao encontro da regra R20 do GtWR, o pesquisador destaca que a presença de tais justificativas de necessidade do requisito não devem constar da sentença (posto que aumentariam a complexidade textual e seriam nocivas à concisão), mas sim em campo apropriado na lista de atributos do requisito. O mesmo pode ser dito a respeito de estruturas que eventualmente explicassem o requisito para além do que consta na sentença.
11. **Prevenção de solução imposta.** A abstração, ou seja, a formulação de requisitos sem que haja imposição de uma solução em particular, é alvo da regra R31 do GtWR. A fim de atender práticas correntes no EB, muitas vezes fruto de doutrinas

de emprego ou prevalência de SMEM consagrados, optou-se pela inserção do bloco *3.1.1.6 - Solução*, justamente um qualificador que estabelece soluções particulares para a ação descrita na sentença. Tal bloco, porém, é apontado como de “utilização restrita”, sendo seu uso condicionado à explicitação de uma justificativa nos atributos do requisito. Destaque-se que a concessão de desobediência à regra R31, mediante arazoado, é possibilidade aventada pelo próprio GtWR.

12. **Classificação das sentenças.** Evitou-se empregar a mesma expressão-chave em mais de um bloco. Assim, cada um dos blocos contidos em *1.1 - Estrutura condicional* e *3.1 - Estrutura complementar* é introduzido por uma expressão-chave diferente, o que permite a imediata identificação da natureza da condição ou complemento em tela. Tal atitude é uma forma de cumprimento da regra R29 do GtWR, que facilita a interpretação de cada requisito e contribui para a completude e consistência do conjunto de requisitos como um todo.

Por fim, o último diagrama apresentado no Apêndice C consiste numa síntese de todo o conjunto de blocos do artefato desenvolvido, um roteiro de utilização do conjunto de *boilerplates* a partir dos fluxos possíveis de expressões-chave e marcadores de posição. Pode, portanto, ser utilizado como meio de consulta rápida para os usuários da estruturação de linguagem natural na documentação de requisitos.

4.2.2.5.1 Modularidade do artefato

Foi possível realizar uma apreciação quantitativa preliminar do artefato desenvolvido mediante o cálculo de sua **modularidade**, e comparação desta com a equivalente em outros conjuntos de *boilerplates*.

O conceito de modularidade nas estruturações de linguagem natural para documentação de requisitos foi recentemente introduzido por Großer et al. (2024). Estes definiram modularidade como sendo a razão entre o número de variantes possibilitado pelo conjunto de regras dos *boilerplates* e o número de elementos existentes no metamodelo da estruturação.

Ainda que nem toda estruturação de linguagem natural tenha sido concebida tendo em mente a sistematicidade do artefato, é certamente possível, com maior ou menor esforço, registrar seus componentes em um metamodelo. Como o artefato em tela foi definido desde a origem em blocos sistêmicos, o metamodelo é formado pela representação direta dos blocos e de suas inter-relações. Optou-se por utilizar a linguagem SysML (OBJECT MANAGEMENT GROUP, 2024) para documentar tal estrutura, com suas agregações, multiplicidades e generalizações, em um diagrama de definição de blocos, como mostra a Figura 22.

O metamodelo da Figura 22 é constituído por 69 blocos. Großer et al. (2024) argumentam que um número grande de elementos no metamodelo é indicativo de uma representação mais precisa da realidade, com risco reduzido de perda de informação, mas que traz consigo maior complexidade e maiores dificuldades de uso. De acordo com esses autores, as estruturações de linguagem natural para documentação de requisitos devem ser “suficientemente detalhadas”, sem serem “complexas demais”, levando a número “intermediário” de elementos, com magnitude ainda não estabelecida de forma absoluta.

O número de variantes em conjuntos de *boilerplates* se refere à quantidade de combinações de elementos constituintes que geram orações válidas dentro das regras do artefato (GROBER et al., 2024). Na estruturação desenvolvida, por exemplo, é impossível gerar uma sentença que faça uso, simultaneamente, dos blocos 2.2.1 - *Obrigatoriedade* e 2.2.2 - *Proibição*. Obviamente, havendo possibilidade de um número indeterminado de condições temporais e lógicas e de complementos, o número teórico de variantes no artefato em tela é infinito. Este é um fator comum neste tipo de produto, e Großer et al. o contornaram estabelecendo que a modularidade deve considerar um limite inferior para o número de variantes, estabelecido pela restrição de haver não mais que uma utilização de cada elemento constituinte do metamodelo. Na presente pesquisa, isso equivale a dizer que o cômputo do número de variantes deve considerar a possibilidade de inserção de, no máximo, uma estrutura condicionante, um complemento verbal e uma estrutura complementar.

O cálculo do número de variantes, na estruturação de linguagem natural desenvolvida, pôde ser efetuado sob emprego do princípio fundamental da contagem, multiplicando-se as quantidades de variantes possibilitadas por cada etapa sequencial de redação de uma sentença de requisito, conforme registrado na Figura 21. Observou-se que o presente artefato comporta 4896 variantes.

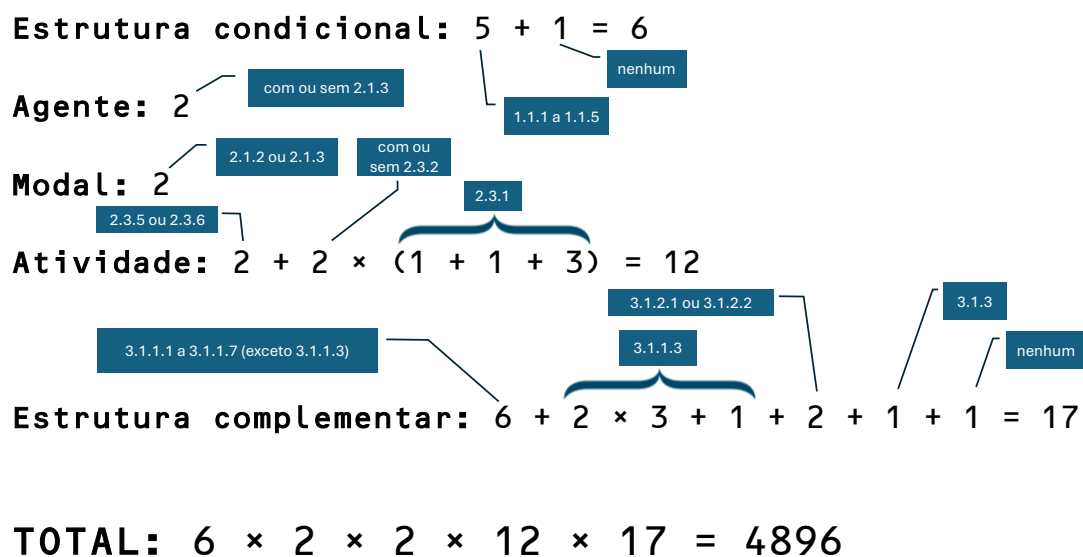


Figura 21 – Cálculo do número de variantes da estruturação de linguagem natural. Fonte: o autor.

A modularidade, finalmente, pôde ser estabelecida dividindo-se o número de variantes pelo de elementos. No artefato em tela, o valor encontrado foi de 71 variantes/elemento. Großer et al. (2024) perfizeram procedimentos semelhantes para encontrar a modularidade de cinco dos conjuntos de *boilerplates* mais consagrados pela indústria e no meio acadêmico (todos identificados na revisão de literatura relatada no Capítulo 3). O resultado encontra-se consolidado na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação da modularidade de seis estruturas de linguagem natural para documentação de requisitos. O artefato desenvolvido na presente pesquisa encontra-se em negrito.

	EARS [A.03]	Adv-EARS [A.05]	SPIDER [A.36]	MASTER [A.43]	ELN	DODT [A.42]
#Variantes	8	17	80	1026	4896	9102
#Elementos	15	13	33	33	69	50
Modularidade	0,5	1,3	2,4	31,1	71,0	182,0

Fonte: o autor, a partir de dados de Großer et al. (2024).

Provavelmente por conta da introdução recente, ainda não foram estabelecidos valores ideais de modularidade em estruturas de linguagem natural para documentação de requisitos (GROßER et al., 2024). Da análise dos fatores que a influenciam, porém, pode-se supor que modularidades baixas se devem ou a *boilerplates* muito simples, para os quais a aglutinação de elementos impede a articulação em um número superior de variantes, ou a um baixo aproveitamento da complexidade do artefato, quando há uma rigidez excessiva no relacionamento entre numerosos elementos. Neste cenário, a Tabela 8 permite concluir que o artefato apresentado se mostrou um representante típico entre similares de uso corrente. Seu posicionamento na lacuna entre o MASTER [A.43] e o DODT [A.42] o coloca dentre os mais modularizáveis, sem, contudo, atingir valores extremos.

4.3 Demonstração

A demonstração é a etapa que finaliza a tarefa de construção do artefato. Trata-se, aqui, de um desdobramento natural do passo anterior de projeto e desenvolvimento: um teste preliminar realizado sobre o artefato, visando mensurar o progresso, identificar problemas e caracterizar suas capacidades e limitações em sentido amplo (EUA, 2020). Contudo, ainda não há, nesta fase, intenção de perfazer uma avaliação completa, específica nos detalhes. Busca-se, simplesmente, provar que artefato criado funciona, aplicando-o em um caso concreto (PEFFERS et al., 2007).

Nesta pesquisa, a demonstração da estruturação de linguagem natural desenvolvida deu-se pela aplicação, pelo próprio pesquisador, do conjunto de *boilerplates* sobre as

sentenças dos Requisitos Operacionais (RO) reais e em vigor de um SMEM. O material escolhido foi a Pistola de Combate 9mm do Sistema Combatente Brasileiro (COBRA), cujos RO foram publicados no documento EB20-RO-04.050 (BRASIL, 2019d).

Este SMEM foi julgado conveniente para demonstração do artefato em virtude de seus RO estarem em vigor no EB no momento da escolha (BRASIL, 2024d), por ser a Pistola um representante típico de um material de emprego militar, por ter RO composto de 38 sentenças (número considerado apropriado para execução de um ensaio preliminar), e por ser documento de divulgação ostensiva.

Do documento original foram extraídas manualmente as 38 sentenças, sendo descartados os títulos de capítulos e seções e as indicações de “peso” dos requisitos (atributo relacionado à importância ou prioridade do requisito). Foram segregadas as identificações dos requisitos (ID), ressaltando que elas incorporam em si a classificação dos requisitos operacionais em absolutos (ROA), desejáveis (ROD) ou complementares (ROC), conforme critérios próprios do EB (BRASIL, 1991). Em planilha eletrônica foram elencadas as 38 sentenças. A partir daí, o autor as reescreveu em conformidade às regras do artefato desenvolvido, dando origem a uma ou mais novas sentenças para cada requisito original. Cada sentença reescrita recebeu uma nova ID, que ou é idêntica à ID original, ou é sucedida por um caractere (quando o requisito original foi reescrito sob forma de mais de uma nova sentença). O resultado encontra-se disposto no Quadro 4.

Adaptando o previsto por Thabane et al. (2010), a partir de sua concepção das vantagens em executar testes em lotes-piloto, para o que se depreende como conclusões obteníveis de uma demonstração na DSR, podemos dar atenção a alguns pontos especiais relativos aos processos, recursos, gestão e tecnologias envolvidas nesta etapa:

1. **Possibilidade de aplicação do artefato.** Foi possível reescrever absolutamente todas as sentenças originais conforme as regras da estruturação de linguagem natural desenvolvida, demonstrando a possibilidade de aplicação do artefato a uma ampla variedade de requisitos.
2. **Variedade de interpretações.** Notou-se que, em vários casos, é possível reescrever requisitos originais em mais de uma estrutura de *boilerplates*. O ROD 3, por exemplo, foi reformulado como utilizador de estrutura condicional do tipo Característica opcional (bloco 1.1.4), mas a característica inclusa (“não possuir Cão”) também poderia ser interpretada como uma Exceção para a ação (bloco 3.1.3).
3. **Níveis de dificuldade.** A dificuldade para se interpretar corretamente a sentença original e escolher a estruturação correta para transcrevê-la conforme as novas regras não é algo uniforme entre os requisitos. Alguns são bastante imediatos, como o ROA 6 e o ROA 9. Outros, porém, como o ROA 20 e o ROA 22, exigiram maior esforço interpretativo, o que pode levantar dúvidas entre usuários iniciantes do artefato.

4. **Tempo necessário.** Conforme explicitado no item anterior, há considerável variação do esforço necessário para reescrever as sentenças entre os requisitos. Por consequência, também é variável o tempo necessário para a tarefa. Baseado na experiência da demonstração, entretanto, julga-se que um usuário iniciante possa analisar e reescrever cada sentença, na média, em 4 minutos.
5. **Diversidade de estruturas.** Mesmo em quantidade diminuta e sendo referentes a um único material de emprego militar, os 38 requisitos trabalhados na demonstração foram capazes de explorar uma ampla variedade de estruturas no conjunto de *boilerplates*. Treze das sentenças resultantes empregaram estruturas condicionantes, sendo quatro dirigidas por estado, duas de comportamento indesejado, cinco de característica opcional e uma condição temporal. Adiciona-se o caso do ROA 23, que coordenou condicionantes do tipo dirigida por estado e comportamento indesejado. Dentre as atividades representadas, houve dez outorgas e 25 dotações. As ações foram três intransitivas, 12 transitivas e seis predicativas. Houve 30 sentenças resultantes com aplicação de complementos, sendo dez do tipo restrição da ação e 20 refinamentos do objeto.
6. **Multiplicação de requisitos.** As 38 sentenças originais foram traduzidas em 46 sentenças reescritas, um aumento superior a 20%. A assertiva mostra que o processo de aplicação dos *boilerplates* levou ao reconhecimento de requisitos que não apresentavam a característica de singularidade, como o ROA 6, ROA 21 e ROA 25.
7. **Itens de Glossário.** A reescrita das sentenças mostrou a necessidade de anexar ao conjunto de requisitos um Glossário com a definição de alguns termos que aparecem múltiplas vezes nos enunciados ou que devem ser melhor explicados. Assim, expressões como “condições climáticas e ambientais do território nacional ou ambientes externos similares” foram substituídas por “Ambiente_Típico_Nacional”, e “De_Porte”, “Maça_De_Mira”, e “Travar”, dentre numerosos outros exemplos, foram escritos sob o formato que indica entradas de Glossário.
8. **Explicitação do sujeito.** Nos requisitos originais, em todas as sentenças relativas à Pistola o sujeito encontrava-se omitido, devendo o leitor apoiar-se no título do capítulo ou da seção para compreender a qual SMEM o requisito se refere. Como, nas regras do artefato, o uso do bloco 2.1 - *Agente* é obrigatório em todas as sentenças, a reescrita tornou explícito o sujeito em todos os casos. Observa-se também que optou-se por tornar a Pistola o agente responsável em todas as sentenças (modificando a situação encontrada em ROA 30 e ROD 3, por exemplo), reduzindo todos os requisitos ao mesmo nível sistêmico.
9. **Supressão de informações.** Em diversos casos, a demonstração deixou claro que as sentenças originais continham informações excessivas, inconvenientes para inclusão

nas sentenças em si, como a explicação do significado de “alcance de utilização” (ROA 15) e “alcance útil” (ROA 16), ou o motivo da exigência do requisito (ROD 7). A transcrição conforme as regras estruturantes suprimiu tais informações, que devem constar em Glossário ou nos atributos dos requisitos.

10. **Introdução de informações.** Se, em alguns casos, houve necessidade de suprimir informações das sentenças originais, em outros a reescrita só foi possível com a introdução de informações previamente faltantes. Para evitar o uso de negações e do bloco 2.2.2 - *Proibição*, de utilização restrita, as expressões “impeça o disparo” e “não permitir o disparo”, presentes nos ROA 22 e ROA 23, foram substituídas por “deve Disparar com probabilidade inferior a 1,00%”, associando o modal de obrigação a uma restrição do tipo probabilidade. A quantificação “inferior a 1,00%” é certamente uma informação artificialmente introduzida, inexistente nas sentenças originais, que deve ser alvo de validação pelos especialistas na funcionalidade em tela.

O relato da demonstração conclui as atividades relativas à construção do conjunto de *boilerplates*, cumprindo, assim, o primeiro objetivo específico desta pesquisa: desenvolver uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM no idioma português.

Ressalta-se que, conforme previsto por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), são fornecidos dois resultados diretos deste Capítulo: o primeiro é o artefato em si, funcional e devidamente caracterizado em suas estruturas. O segundo se traduz nas próprias heurísticas de construção, os métodos empregados para projetar, desenvolver e demonstrar o artefato, que instanciam conhecimentos generalizáveis para solução de problemas similares. Buscou-se detalhar os procedimentos com a máxima exatidão, de forma a fazer deste trabalho parte do seletor grupo descrito na Seção 3.4.6, que relata sistematicamente as etapas de construção do artefato.

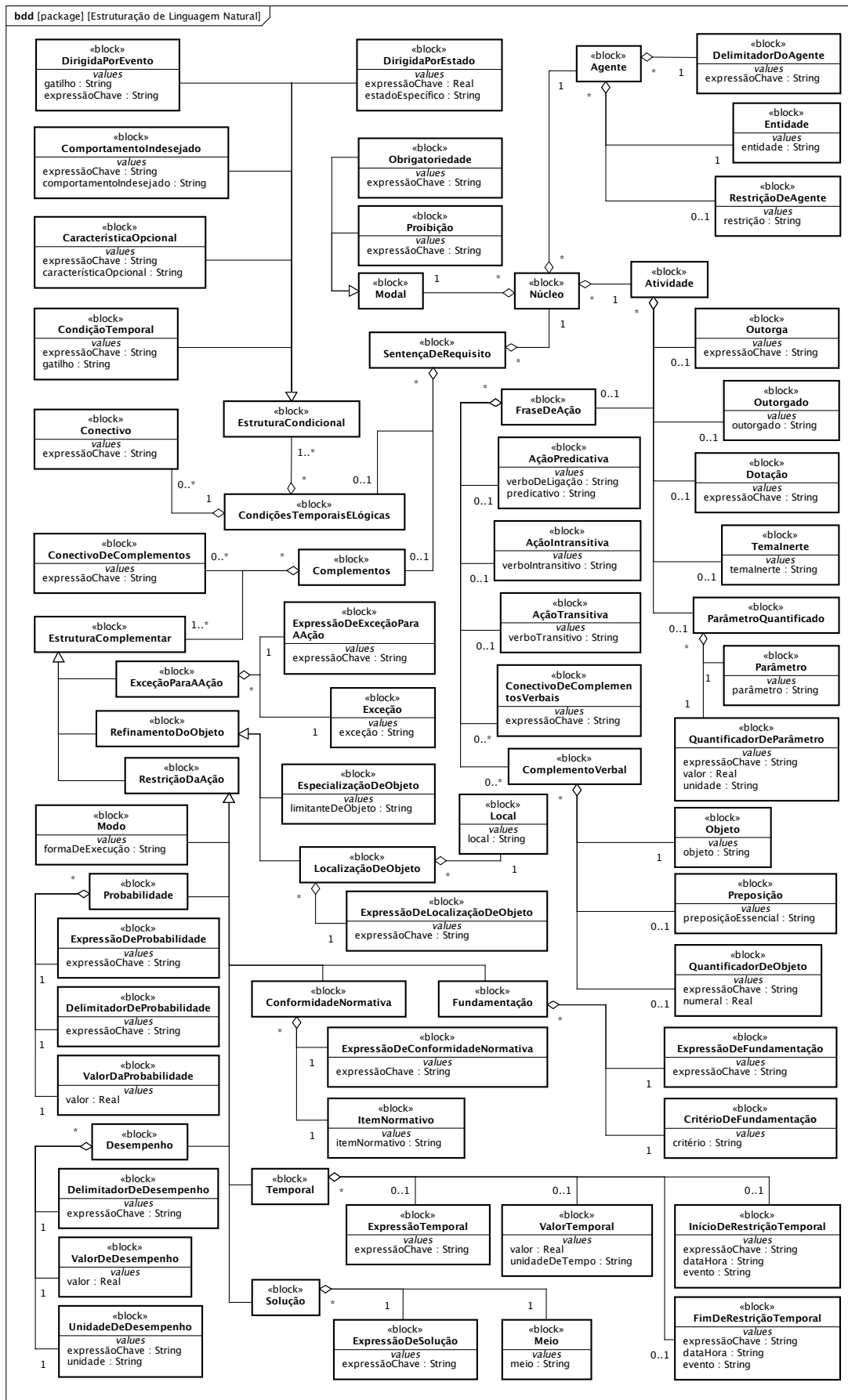


Figura 22 – Metamodelo em SysML da estruturação de linguagem natural. Fonte: o autor.

Quadro 4 – Reescrita das sentenças dos requisitos operacionais da Pistola de Combate 9mm do Sistema Combatente Brasileiro (COBRA).

ID	SENTENÇA ORIGINAL	NOVA ID	SENTENÇA REESCRITA
ROA 1	Ter calibre 9 (nove) mm Parabellum, também conhecido como 9 m Para, 9 mm Luger, 9 m OTAN ou 9 x 19 mm.	ROA 1	A Pistola deve utilizar calibre 9 mm Parabellum.
ROA 2	Poder ser empregada em combate sob quaisquer condições climáticas e ambientais do território nacional ou ambientes externos similares.	ROA 2	Enquanto em Emprego em Ambiente_Típico_Nacional, a Pistola deve permanecer Operacional.
ROA 3	Permitir o tiro quando utilizada em condições adversas, tais como chuva, na presença de areia, lama, água doce, água salgada, etc.	ROA 3	Enquanto em Emprego em Condições_Adversas, a Pistola deve permanecer Operacional.
ROA 4	Poder ser mantida em campanha sob quaisquer condições climáticas e ambientais do território nacional ou ambientes externos similares.	ROA 4	Enquanto em Campanha em Ambiente_Típico_Nacional, a Pistola deve permanecer Manutível.
ROA 5	Permitir que as operações de desmontagem e montagem, para a manutenção de 1° escalão, sejam efetuadas sem o auxílio de ferramentas.	ROA 5	A Pistola deve permitir ao usuário executar Desmontagem_De_1º_Escalão e Montagem_De_1º_Escalão, sem auxílio de ferramentas.
ROA 6	Ser do tipo “de porte” e de emprego individual.	ROA 6a	A Pistola deve ser do tipo De_Porte.
		ROA 6b	A Pistola deve ser do tipo Emprego_Individual.
ROA 7	Ser capaz de realizar 150 tiros sem parada para substituição de peças.	ROA 7	Após realização de 150 disparos sem parada para substituição de peças, a Pistola deve permanecer Operacional.
ROA 8	Ser alimentada por meio de carregador, com capacidade mínima de 15 (quinze) cartuchos.	ROA 8	A Pistola deve possuir Carregador_Padrão com capacidade de, no mínimo, 15 cartuchos.
ROA 9	Possuir dispositivos de maça e entalhe de mira fixos.	ROA 9a	A Pistola deve possuir Maça_De_Mira fixa.
		ROA 9b	A Pistola deve possuir Entalhe_De_Mira fixo.
ROA 10	Permitir o acoplamento de acessórios e dispositivos eletrônicos de pontaria, padrão MIL-STD-1913.	ROA 10	A Pistola deve permitir ao Usuário instalar Acessórios conforme Seções 4 e 5 da norma MIL-STD-1913, Notice 1, de 10 JUN 1999.
ROA 11	O comprimento total da pistola não pode ultrapassar 220 (duzentos e vinte) mm, sem acessórios.	ROA 11	A Pistola deve possuir Comprimento_Total de, no máximo, 0,220 m.
ROA 12	A altura total da pistola não pode ultrapassar 150 (cento e cinquenta) mm, com carregador normal e sem acessórios.	ROA 12	A Pistola deve possuir Altura_Total de, no máximo, 0,150 m.

(continua)

(continuação)

ID	SENTENÇA ORIGINAL	NOVA ID	SENTENÇA REESCRITA
ROA 13	A largura total da pistola não pode ultrapassar 40 (quarenta) mm, sem acessórios.	ROA 13	A Pistola deve possuir Largura_Total de, no máximo, 0,040 m.
ROA 14	A massa da pistola, com o carregador vazio, do tipo reto e sem acessórios, não deve ultrapassar 1.300 (um mil e trezentos) gramas.	ROA 14	A Pistola deve possuir Massa_Total de, no máximo, 1,3 kg.
ROA 15	O alcance de utilização para a execução dos tiros com precisão, sem o uso de dispositivos auxiliares, deverá ser, no mínimo, 25 (vinte e cinco) metros.	ROA 15	Enquanto desprovida de Dispositivos_Auxiliares, a Pistola deve possuir Alcance_De_Utilização de, no mínimo, 25 m.
ROA 16	O alcance útil, capaz de causar dano a um combatente, deverá ser de, no mínimo, 50 (cinquenta) metros.	ROA 16	A Pistola deve possuir Alcance_Útil de, no mínimo, 50 m.
ROA 17	Possuir guarda-mato para proteção da tecla do gatilho, de dimensões suficientes para uso de luvas.	ROA 17	A Pistola deve possuir Guarda-Mato de dimensões suficientes para uso de luvas.
ROA 18	Possuir cano raiado internamente, ou sistema semelhante, com vida útil mínima de 5.000 (cinco mil) tiros.	ROA 18	A Pistola deve possuir Cano com vida útil de, no mínimo, 5000 tiros.
ROA 19	Permitir o travamento e o destravamento da arma com a mão que a empunha, sendo o usuário canhoto ou destro.	ROA 19	A Pistola deve permitir ao Usuário Travar e Destravar, com a mão que empunha a arma.
ROA 20	Possuir dispositivo que permita desarmar o “cão” com segurança, ou, em caso de ausência de “cão”, que possibilite o porte seguro sem prejuízo à eficiência.	ROA 20a	No caso de possuir Cão, a Pistola deve possuir dispositivo de desarme do Cão.
		ROA 20b	No caso de não possuir Cão, a Pistola deve possuir dispositivo de prevenção de disparo acidental.

(continua)

(continuação)

ID	SENTENÇA ORIGINAL	NOVA ID	SENTENÇA REESCRITA
ROA 21	Possuir dispositivo ambidestro para liberação do carregador e retém do ferrolho, podendo ser ambidestro simultâneo ou reversível mediante desmontagem realizada pelo atirador, sem o uso de ferramentas.	ROA 21a	A Pistola deve possuir Dispositivo_De_Liberação_Do_Carregador ambidestro.
		ROA 21b	No caso de possuir Dispositivo_De_Liberação_Do_Carregador Reversível, a Pistola deve permitir ao Usuário reverter a lateralidade do Dispositivo_De_Liberação_Do_Carregador sem o uso de ferramentas.
		ROA 21c	A Pistola deve possuir Retém_Do_Ferrolho ambidestro.
		ROA 21d	No caso de possuir Retém_Do_Ferrolho Reversível, a Pistola deve permitir ao Usuário reverter a lateralidade do Retém_Do_Ferrolho sem o uso de ferramentas.
ROA 22	Possuir dispositivo que impeça o disparo se não houver o completo trancamento da arma ou se ocorrer qualquer anormalidade nos mecanismos de disparo, alimentação ou carregamento.	ROA 22a	Se não ocorrer o Trancamento, então a Pistola deve Disparar com probabilidade inferior a 1,00%.
		ROA 22b	Se ocorrer anormalidade nos mecanismos de disparo, alimentação ou carregamento, então a Pistola deve Disparar com probabilidade inferior a 1,00%.
ROA 23	Não permitir o disparo acidental, mesmo quando carregada e destravada, em quedas de até 2(dois) metros de altura.	ROA 23	Enquanto Carregada, enquanto Destravada, se ocorrer queda de até 2 m de altura, então a Pistola deve Disparar com probabilidade inferior a 1,00%.
ROA 24	Possuir dispositivo que possibilite a liberação do carregador com a mão que está empunhando a arma.	ROA 24	A Pistola deve permitir ao Usuário executar Liberação_Do_Carregador com a mão que empunha a arma.
ROA 25	Possuir punho de formato anatômico e de material resistente a impactos.	ROA 25a	A Pistola deve possuir Punho de formato anatômico.
		ROA 25b	A Pistola deve possuir Punho de material resistente a impactos.

(continua)

(continuação)

ID	SENTENÇA ORIGINAL	NOVA ID	SENTENÇA REESCRITA
ROA 26	Possuir, no punho da arma, dispositivo tipo olhal (zarelho) que possibilite a utilização de fiador.	ROA 26	A Pistola deve possuir Zarelho no Punho.
ROA 27	Todas as peças devem possuir resistência contra corrosão provocada por quaisquer condições climáticas e ambientais do território nacional ou ambientes externos similares.	ROA 27	A Pistola deve possuir todas as Peças resistentes à corrosão em Ambiente_Típico_Nacional.
ROA 28	Todas as peças externas, metálicas ou não, devem ser foscas, para evitar a reflexão de qualquer fonte de luz visível.	ROA 28	A Pistola deve possuir todas as Peças_Externas Foscas.
ROA 29	Empregar o regime de tiro semiautomático.	ROA 29	A Pistola deve empregar regime de tiro Semiautomático.
ROA 30	O sistema de pontaria deve conter pontos impregnados ou formados por material luminescente, à prova de água e de produtos para lubrificação, para realizar visada em condições de baixa luminosidade.	ROA 30	A Pistola deve permitir ao Usuário executar visada em condições de baixa luminosidade, por intermédio de Sistema_De_Pontaria com pontos impregnados ou formados por material luminescente, à prova d'água e de produtos para lubrificação.
ROD 1	Possibilitar o uso de carregadores de maior capacidade.	ROD 1	A Pistola deve possuir Carregador_Grande_Capacidade com capacidade superior à do Carregador_Padrão.
ROD 2	Possibilitar a utilização de supressor de ruídos de tiro (silenciador).	ROD 2	A Pistola deve permitir ao Usuário instalar Supressor_De_Ruído.
ROD 3	Ser o cão encoberto pelo ferrolho ou inexistente.	ROD 3	No caso de possuir Cão, a Pistola deve possuir Cão encoberto pelo Ferrolho.
ROD 4	Possuir contador de disparos com vida útil mínima de 5.000 (cinco mil) disparos.	ROD 4	A Pistola deve possuir Contador_De_Disparos com vida útil de, no mínimo, 5000 disparos.
ROD 5	Permitir instalação de kit de simulação viva ou kit tipo simumition (munição de treinamento).	ROD 5	A Pistola deve permitir ao Usuário instalar kit de Simulação_Viva ou kit Simumition.

(continua)

(continuação)

ID	SENTENÇA ORIGINAL	NOVA ID	SENTENÇA REESCRITA
ROD 6	Possuir carregador que possibilite contagem das munições sem retirá-las.	ROD 6	A Pistola deve possuir Carregador que permita contagem das munições sem Desmuniçamento.
ROD 7	Possuir transportador com cor de alerta para facilitar a verificação quando o armamento estiver sem munição.	ROD 7	A Pistola deve possuir Transportador com cor de alerta.
ROC 1	Permitir o uso de cartucho de calibração de pontaria com emissão de laser para realizar a colimação do aparelho de pontaria e lunetas.	ROC 1	A Pistola deve permitir ao Usuário utilizar Cartucho_De_Calibração do tipo laser.

Fonte: o autor, a partir das informações presentes em Brasil (2019d).

5 AVALIAÇÃO

Na etapa seguinte à construção do artefato, a avaliação, a pesquisa se concentrou em observar e mensurar o comportamento da estruturação de linguagem natural desenvolvida como possível resposta ao problema de pesquisa. No intuito da “prescrição de solução”, previsto como objetivo geral do trabalho (Seção 1.3), é a avaliação a responsável por assegurar que o artefato tem a qualidade necessária, desempenhando as funções requeridas sem falhas críticas (ALTURKI; GABLE; BANDARA, 2011).

Há numerosas formas de se classificar os mais de 400 métodos de avaliação de artefatos encontrados na literatura (PRAT; COMYN-WATTIAU; AKOKA, 2015). São comuns dicotomias do tipo formativos *vs* somativos, *ex ante* e *ex post*, quantitativos *vs* qualitativos, subjetivos *vs* objetivos, internos *vs* externos, testes α e β , e artificiais *vs* naturalistas (ALTURKI; GABLE; BANDARA, 2011; VENABLE; PRIES-HEJE; BASKERVILLE, 2016). Pelo princípio da “triangulação metodológica”, é conveniente empregar métodos complementares de avaliação, posto que um pode compensar as falhas do outro e evitar vieses típicos de visões unívocas sobre um objeto (MANGAN; LALWANI; GARDNER, 2004). Consideradas a discussão a respeito efetuada por Alturki, Gable e Bandara (2011) e a adequação às ideias propostas, foi adotada a dicotomia artificiais *vs* naturalistas, implementadas em subetapas sequenciais.

5.1 Avaliação artificial

Avaliações artificiais são aquelas realizadas sobre a solução tecnológica em ambiente controlado e de forma não realista (VENABLE, 2006). Tal gênero de avaliações permite testar o artefato de forma ainda moderada em termos de riscos e custos (ALTURKI; GABLE; BANDARA, 2011), dado o âmbito laboratorial e a possibilidade de participação exclusiva do pesquisador como avaliador.

Propôs-se que a estruturação de linguagem natural projetada e demonstrada tenha sua conformidade em relação aos objetivos do artefato inicialmente verificada por intermédio de uma avaliação artificial. Esta foi posta em prática pelo uso de modelagem e simulação. O uso destas técnicas permite o uso de algoritmos, expressões e equações matemáticas para aprofundar a análise do comportamento de um sistema, tanto em abordagem descritiva, quanto preditiva (ABAR et al., 2017). Para o caso particular do sistema de interesse, o conjunto de *boilerplates* em estudo, mostrou-se adequado desenvolver um modelo que fosse capaz de abordar quantitativamente aspectos linguísticos de sentenças escritas: um modelo matemático-linguístico, portanto.

Em abordagem executiva, o efeito do uso do artefato construído pôde ser descrito tomando-se um grupo de RO e RTLI, tal como publicados oficialmente e elencados no REPUBLICX (BRASIL, 2024d), e extraindo suas sentenças individuais. As sentenças, a partir daí, tiveram sua qualidade mensurada conforme métricas pertencentes ao modelo matemático-linguístico, tanto em suas versões originais, quanto em versões reescritas, pelo próprio pesquisador, nas regras da estruturação de linguagem natural projetada. Os resultados destas medições foram comparados, permitindo concluir a respeito da eficácia do artefato. O processo de avaliação artificial como um todo encontra-se representado diagramaticamente na Figura 23.

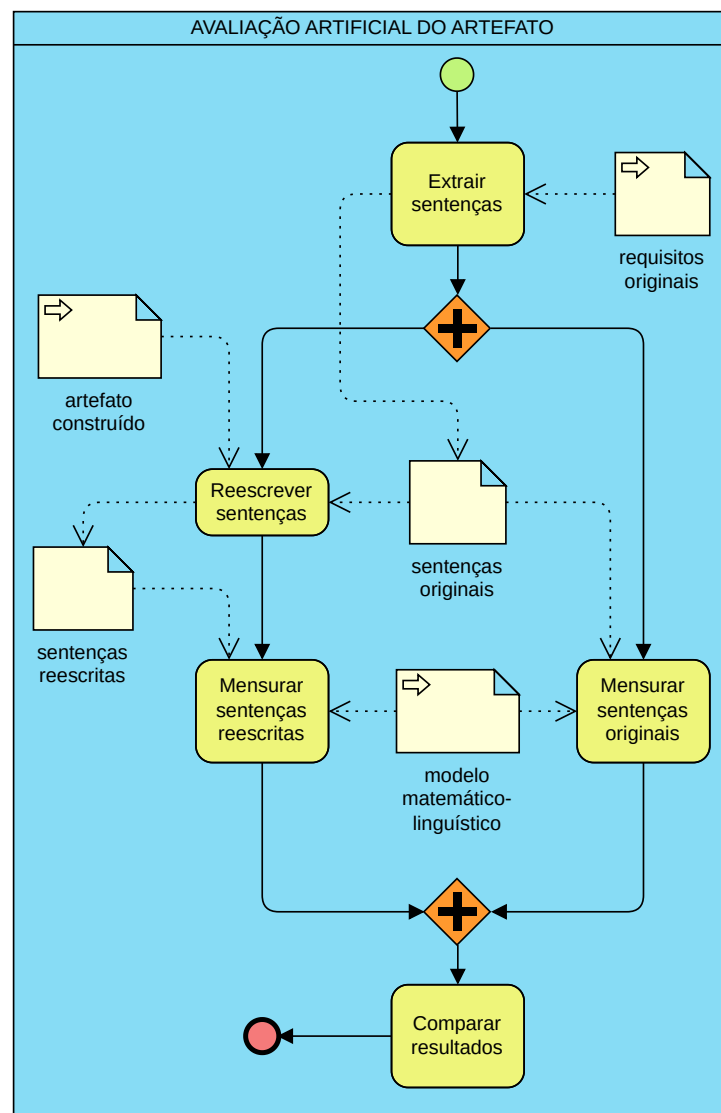


Figura 23 – Representação do processo de avaliação artificial do artefato. Fonte: o autor.

A razoabilidade do método de avaliação artificial escolhido pode ser verificada comparando-o com outros métodos de avaliação de estruturações de linguagem natural para documentação de requisitos. Uma comparação entre diversos métodos congêneres já foi realizada nesta pesquisa durante a revisão de literatura, conforme relatado na Seção

3.4.7, e pode ser expandida para contemplar a avaliação artificial planejada. Seguindo a taxonomia de Prat, Comyn-Wattiau e Akoka (2015), resumida na Figura 15 e no Apêndice B, a avaliação em tela é classificada como de técnica experimental, na forma quantitativa, sem participantes secundários, no nível de instanciação, e relativa à ausência de artefato. Na parametrização quadridimensional descrita na Figura 16, fica, portanto, caracterizada pelo vetor (2, 3, 0, 2). Refazendo o agrupamento dos métodos de avaliação sob os mesmos procedimentos já relatados na Seção 3.4.7.1, chega-se ao resultado exposto na Figura 24.

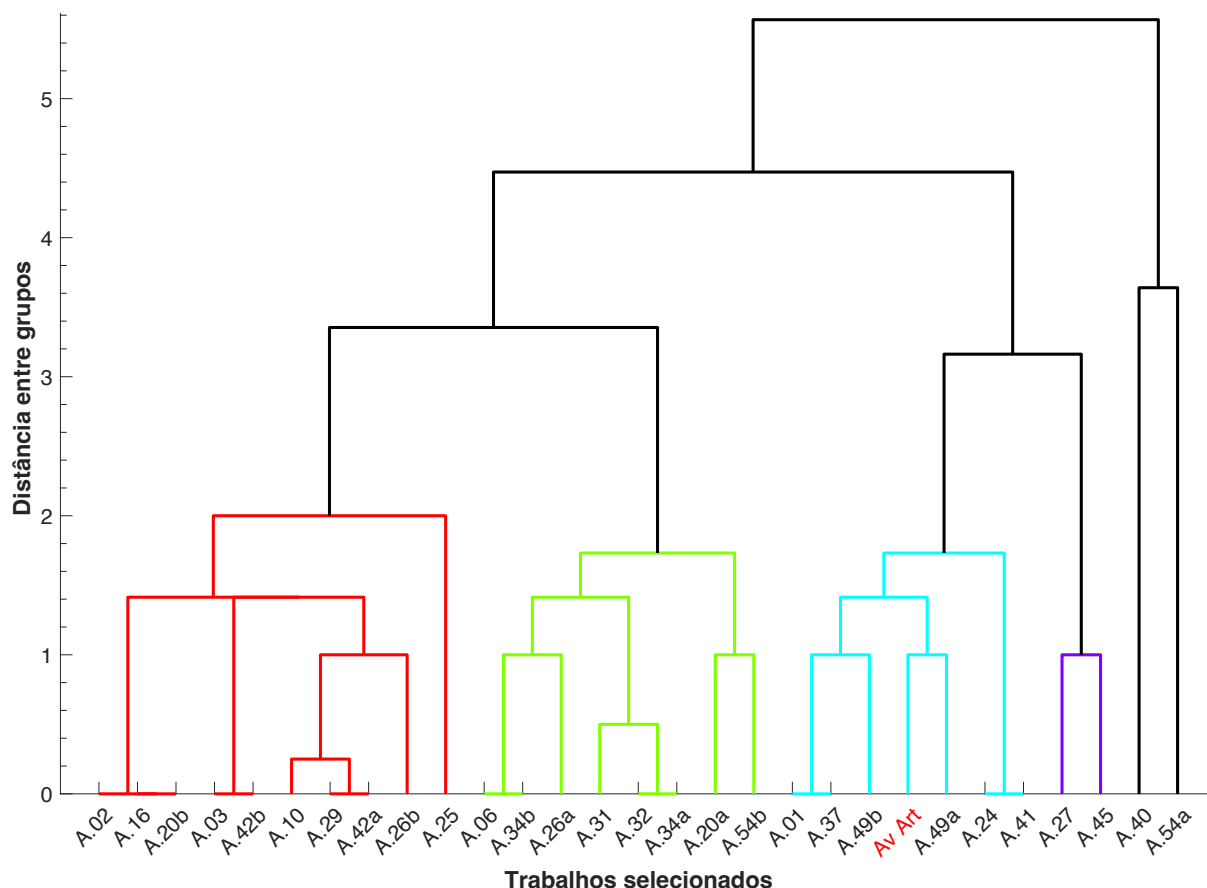


Figura 24 – Dendrograma de agrupamento hierárquico dos métodos de avaliação dos trabalhos selecionados, acrescentando a avaliação artificial. Fonte: o autor.

Nota-se que a avaliação artificial planejada, destacada em vermelho no eixo horizontal da Figura 24, encontra-se em um dos três grandes grupos de avaliações de *boilerplates* (grupo azul), não consistindo em um método isolado, díspar de outros encontrados na literatura (conforme trabalhos listados no Anexo A). Adicionalmente, sua classificação taxonômica — experimental, quantitativa, sem participantes secundários, instanciada, e relativa à ausência de artefato — é a mais encontrada na literatura para cada uma das dimensões, conforme se depreende da Tabela 5. Excetua-se dessa assertiva apenas a dimensão “participantes secundários”, na qual a classificação “nenhum” é a segunda mais empregada. Destes dados pode-se concluir que a avaliação artificial prevista nesta pesquisa, ainda que inédita em suas particularidades, coaduna com a de trabalhos congêneres.

5.1.1 Modelo matemático-linguístico

Um **modelo** pode ser entendido como “uma representação abstrata e simplificada da realidade, conforme já existente ou planejada, comumente definida com o propósito de estudar, explicar ou prever fenômenos” (ABAR et al., 2017). Nesta Seção, será explicitado um modelo representativo da linguagem escrita, proposto sob a intenção de estudar quantitativamente o fenômeno da complexidade sintática.

5.1.1.1 Gramática de dependências

Tradicionalmente, o estudo da sintaxe linguística se alterna entre duas abordagens complementares: a **gramática de constituintes** e a **gramática de dependências**. A gramática de constituintes, mais corrente entre o público não-especializado, baseia-se na ideia de que a estrutura básica de uma frase parte da divisão binária principal entre *sujeito* e *predicado*, e, a partir daí, vai se subdividindo em estruturas menores (denominadas **constituintes**), relacionadas entre si tão somente pelo pertencimento a uma estrutura maior comum (MATTHEWS, 1981).

Já na gramática de dependências, escolhida para embasar o modelo matemático-linguístico desenvolvido, a estrutura sintática de uma sentença em linguagem natural consiste em relações um-para-um, assimétricas, entre palavras. Tais relações são denominadas **dependências** (DE MARNEFFE; NIVRE, 2019). As relações entre as *cabeças* (parte dominante de uma dependência) e os *dependentes* (parte governada) de uma frase podem ser representadas graficamente como uma árvore, sendo quase certo que o verbo principal será a *raiz*, com as outras unidades sintáticas lhe sendo ou diretamente dependentes, ou fazendo parte de uma cadeia de dependências que leva a este verbo (OSBORNE, 2019). O próprio conceito de *palavra* como unidade sintática básica numa sentença pode ser expandido para a ideia de *token*, que também inclui sinais de pontuação, números, abreviaturas, expressões formadas por mais de uma palavra, e caracteres específicos de certos idiomas (PALMER, 2010).

Algumas regras detalhadas para identificação manual de dependências em frases podem ser encontradas em (DE MARNEFFE et al., 2021). O mais comum, porém, é identificar tais entidades computacionalmente, por intermédio de *parsers* de dependências: algoritmos que empregam bancos de dados de frases anotadas por especialistas, aprendizado de máquina e mesmo redes neurais para estabelecer as dependências num texto (JURAFSKY; MARTIN, 2019). Tais *parsers* são específicos para cada idioma. Para a língua inglesa, há, como exemplos, o *parser* interno ao *software* MATLAB (THE MATHWORKS INC, 2022), o Stanford Parser (CHEN; MANNING, 2014), e os diferentes *parsers* internos à biblioteca Python NLTK (BIRD, 2015). Para a língua portuguesa, merece destaque a ferramenta LX-DepParser, desenvolvida e mantida pelo NLX-Grupo de Fala e Linguagem Natural da Universidade de Lisboa (ANTÓNIO et al., 2011).

5.1.1.2 Comprimento médio de dependências

Seja uma sentença F composta por N *tokens*. Considere-se que X_i , o i -ésimo *token* de F , na ordenação da escrita, consta, após identificação das dependências de F , como tendo por cabeça X_{i_C} , o i_C -ésimo *token*. Neste caso, define-se como **comprimento da dependência i** (D_i) a distância, medida em *tokens*, entre X_i e sua cabeça:

$$D_i = |i - i_C| \quad (5.1)$$

Convencionou-se que, se a raiz da árvore de dependências de F for seu r -ésimo *token*, então $D_r = 0$.

O **comprimento total de dependências** de F (DT_F) é o somatório de todos os comprimentos de dependência presentes em F :

$$DT_F = \sum_{i=1}^N D_i \quad (5.2)$$

Finalmente, o **comprimento médio de dependências** (CMD) de F (\overline{D}_F) pode ser definido como a média aritmética de todos os comprimentos de dependência na sentença em estudo (FUTRELL; MAHOWALD; GIBSON, 2015):

$$\overline{D}_F = \frac{DT_F}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} = \sum_{i=1}^N \frac{|i - i_C|}{N} \quad (5.3)$$

Textos com longos CMD estão empiricamente associados a sentenças ambíguas, interpretações errôneas ou impossíveis, e maior esforço de leitura (GRODNER; GIBSON, 2005). Tal efeito é tão intenso, que a minimização do comprimento de dependências é considerada uma característica universal na evolução dos idiomas (FUTRELL; MAHOWALD; GIBSON, 2015). Os mecanismos cognitivos e psicolinguísticos que explicam o fenômeno ainda não foram completamente esclarecidos (NEFDT; BAGGIO, 2023), mas as “dificuldades associadas ao acesso à memória de trabalho durante a produção incremental e a compreensão [de sentenças]” (GIBSON et al., 2019) podem apontar para uma possível conclusão a respeito.

Métricas relacionadas ao comprimento de dependências têm sido consideradas eficientes em estudos de complexidade sintática em linguagem natural (HAITAO, 2008; LEAL et al., 2023). Tais métricas são sensíveis aos efeitos linguísticos do Alzheimer (PAKHOMOV et al., 2010), indicativos de proficiência no aprendizado de um segundo idioma (JIANG; OUYANG, 2018), e úteis na elaboração de estratégias de educação para surdos (YAN, 2018). Não foi encontrada pelo autor, porém, qualquer evidência de utilização, anterior ao presente estudo, do CMD ou de indicador similar na mensuração da qualidade de sentenças de requisitos, sendo esta uma abordagem inovadora.

Com isso, propôs-se que o CMD fosse utilizado como métrica de qualidade no modelo matemático-linguístico da avaliação artificial planejada, sendo desejável que a aplicação do artefato diminua o CMD nas sentenças de requisito.

A Figura 25 ilustra o cálculo do CMD, representando graficamente a análise de dependências nas sentenças (a) “O Sistema deve exibir a velocidade.” e (b) “A velocidade deve ser exibida pelo Sistema”. A identificação das dependências foi obtida por intermédio do LX-DepParser. É possível observar que o verbo conjugado “deve” atua como raiz nas duas frases, ligando-se diretamente aos núcleos dos sujeitos — “Sistema” em (a) e “velocidade” em (b). Também se nota que a preposição contraída “pelo”, em (b), foi automaticamente dividida em dois *tokens* (“por” e “o”) pelo *parser*. Cada dependência está simbolizada por um arco direcionado da cabeça para o dependente, com o comprimento da dependência indicado numericamente. O comprimento total de dependências é de 10 *tokens* em (a) e 15 *tokens* em (b), o que leva aos CMD de 1,43 e 1,67 *tokens*, respectivamente. Os exemplos ainda indicam alinhamento entre a minimização do CMD e a recomendação do uso da voz ativa na redação de requisitos (INCOSE, 2023), já que o CMD de (b) é quase 17% maior do que o de (a).

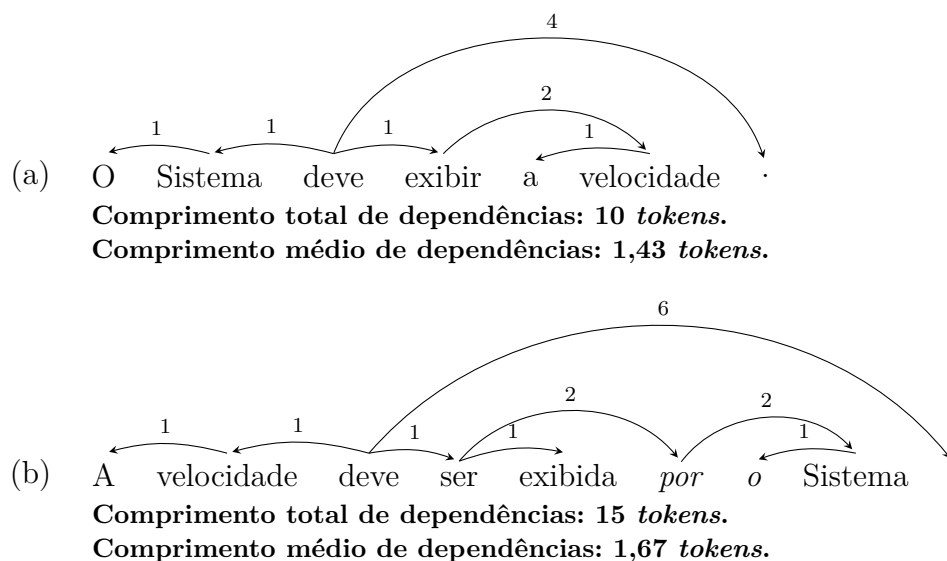


Figura 25 – Exemplos de identificação de dependências, com cálculo de comprimentos de dependência, comprimentos totais de dependências e comprimentos médios de dependências. Fonte: o autor.

Nota-se que, em contraste com o que ocorre com o comprimento de dependência e com o comprimento total de dependências, o CMD consegue parametrizar em um único valor certo aspecto da sentença como um todo e, simultaneamente, incorporar um fator de normalização na comparação de sentenças com número de *tokens* muito díspares entre si. Estas características mostram-se úteis para aplicação do CMD na análise de requisitos.

Conforme a taxonomia de métricas de qualidade de requisitos desenvolvida por

Génova et al. (2011), que classifica estes indicadores entre morfológicos, lexicais, analíticos, ou relacionais, o CMD poderia ser categorizado como analítico. Apesar de sua aparência similar a índices de legibilidade, ele não é baseado exclusivamente em características morfológicas, como quantidade e classe das palavras e sílabas. Ele requer, seguramente, a análise textual das sentenças de requisito, e é bastante sofisticado nos fundamentos linguísticos, justificando a classificação.

5.1.1.2.1 Publicação

Como parte do processo de pesquisa, o autor apresentou no *34th INCOSE International Symposium* trabalho que trata da utilização do CMD como métrica de qualidade de requisitos redigidos no idioma inglês (BARBOSA et al., 2024).

O *paper* relata o processo de cômputo do CMD em um conjunto de sentenças advindas de 249 requisitos originais, posteriormente reescritas conforme as regras de cinco estruturas de linguagem natural diferentes, resultando em um total de 1764 sentenças. Por intermédio de análises estatísticas, ficou comprovado que o CMD é uma métrica capaz tanto de identificar os efeitos da aplicação de *boilerplates*, quanto de diferenciar os *boilerplates* entre si. Também se mostrou que o CMD é alinhado com as expectativas dos usuários, especialmente com relação à compreensibilidade das sentenças. Ressalta, ainda, que o cálculo do CMD é objetivo e automatizável, concluindo por sua conveniência como métrica de qualidade de requisitos documentados em linguagem natural.

BARBOSA, L. M.; OLIVEIRA, I. C. A.; CERQUEIRA, C. S.; CUNHA, A. E. C. Mean dependency length – a new metric for requirements quality. *INCOSE International Symposium*, Wiley, v. 34, n. 1, p. 1021–1035, jul. 2024. ISSN 2334-5837.

5.1.1.3 Complexidade interveniente média

Apesar da popularidade do comprimento de dependências e do comprimento médio de dependências como indicadores de complexidade sintática em linguagem natural, alguns autores ressaltam que tais métricas não levam em consideração a natureza sintática dos *tokens* existentes entre um dependente e sua cabeça. Advogam, assim, pela análise da **complexidade interveniente** nas dependências (YADAV; MITTAL; HUSAIN, 2022; DYER, 2023).

A complexidade interveniente de uma dependência i pode ser definida como o número de cabeças existentes entre X_i e X_{i_C} , ou seja, os *tokens* que, na ordem de redação de uma sentença, se situam entre um dependente e sua cabeça, sendo eles próprios cabeça de alguma relação de dependência (YADAV; MITTAL; HUSAIN, 2022).

Seja I_i a complexidade interveniente de uma dependência i . Para o cálculo de I_i não se deve contar X_i como cabeça, ainda que este *token* chefe alguma dependência; X_{i_c} , entretanto, deve ser sempre contado. Ainda: por convenção, se a raiz da árvore de dependências de uma sentença F for seu r -ésimo *token*, então $I_r = 0$.

A Figura 26 ilustra a análise da dependência 1 (destacada em vermelho) em duas estruturas sintáticas (a) e (b) hipotéticas, formadas por 5 *tokens* (X_1 a X_5). Tanto em (a) quanto em (b), X_5 é cabeça de X_1 e X_4 . Em (a), porém, X_5 também é cabeça de X_2 e X_3 , ao passo que, em (b), tais *tokens* são respectivamente comandados por X_3 e X_4 . Com isso, percebe-se que D_1 não muda entre (a) e (b), pois, em ambos os casos, a distância entre X_1 e X_5 é de 4 *tokens*. Por outro lado, em (a), $I_1 = 1$, pois a única cabeça entre X_1 e X_5 é o próprio X_5 ; já em (b), $I_1 = 3$, pois tanto X_3 , quanto X_4 e X_5 são cabeças de alguma dependência.

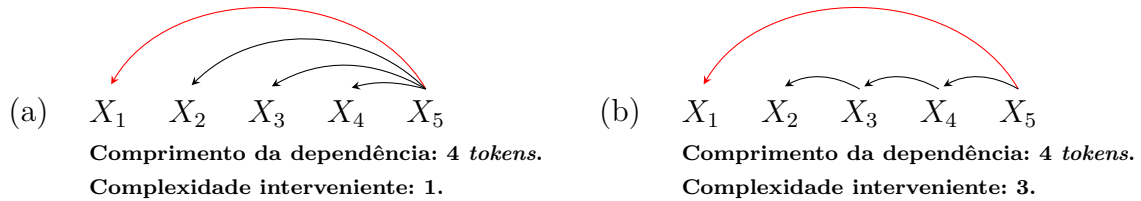


Figura 26 – Estruturas sintáticas que fazem variar a complexidade interveniente, mas não o comprimento da dependência 1 ($X_5 \rightarrow X_1$, em vermelho). Fonte: Yadav, Mittal e Husain (2022).

Yadav, Mittal e Husain (2022) defendem que, dada a limitação de memória e de processamento no intelecto humano, é razoável admitir que o aumento da complexidade estrutural da região interveniente torne mais difícil a resolução de uma dependência. Assim, a dependência 1 na Figura 26(a) é de análise mais fácil que em 26(b), posto que há maior complexidade interveniente, sem alteração do comprimento da dependência.

Podemos definir **complexidade interveniente total** — IT_F — e **complexidade interveniente média** (CIM) — \bar{I}_F — de forma análoga à realizada para comprimento total de dependências e comprimento médio de dependências. Com isso:

$$IT_F = \sum_{i=1}^N I_i \quad \text{e} \quad \bar{I}_F = \frac{IT_F}{N} = \sum_{i=1}^N \frac{I_i}{N} \quad (5.4)$$

É possível concluir que, nos exemplos da Figura 25, a complexidade interveniente total em (a) é igual a 8 (todas as dependências mostradas têm complexidade interveniente igual a 1, exceto a que liga o ponto final a “deve”, que tem as cabeças “velocidade”, “exibir” e o próprio “deve” como intervenientes), e CIM igual a 1,14. Da mesma forma, em (b) a complexidade interveniente total é 11 (apenas a dependência que liga o ponto final a “deve” tem complexidade interveniente igual a 4, as demais são iguais a 1) e CIM igual a

1,22. Ao menos neste caso, portanto, CIM teve comportamento similar ao de CMD (ainda que em magnitude mais modesta), privilegiando a sentença escrita na voz ativa.

A CIM também será empregada como métrica dentro do modelo matemático-linguístico proposto para a avaliação artificial do artefato em estudo, sendo, igualmente ao que ocorre com o CMD, inédito seu uso para quantificação de qualidade de requisitos. De forma similar ao CMD, a CIM também se torna uma métrica do tipo analítico, dentro da classificação de Génova et al. (2011).

5.1.1.4 Distância hierárquica média

Uma terceira abordagem quantitativa possível, dentro do modelo matemático-linguístico da gramática de dependências, baseia-se no trabalho de Jing e Liu (2015). Conforme estes autores, o processo de produção linguística deve ser referenciado como um processo *top-down*, sendo relevante neste aspecto a distância conceitual entre a raiz de uma sentença e cada uma das folhas (*tokens*) na árvore de dependências.

Tal distância conceitual se dá em **níveis hierárquicos**. Sendo a raiz o *token* principal de uma sentença, a ela é atribuído o nível hierárquico fundamental: 0. Aos *tokens* diretamente dependentes da raiz é atribuído o nível 1. Aos *tokens* que têm por cabeça algum do nível 1 é atribuído o nível 2, e assim por diante. Conceitua-se, assim, a **distância hierárquica** de um *token* X_i — simbolizada por H_i — como sendo o número de dependências necessárias para percorrer a sequência de entroncamentos até a raiz da sentença. A distância hierárquica de um *token* é numericamente equivalente, portanto, ao seu nível hierárquico.

Assim como foi feito para o comprimento de dependências e para a complexidade interveniente, pode-se definir a **distância hierárquica total** da sentença F — HT_F — e sua **distância hierárquica média** (DHM) — \overline{H}_F — como sendo, respectivamente, a soma e a média aritmética das distâncias hierárquicas individuais. Se F possuir N *tokens*:

$$HT_F = \sum_{i=1}^N H_i \quad \text{e} \quad \overline{H}_F = \frac{HT_F}{N} = \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{N} \quad (5.5)$$

A Figura 27 exemplifica a identificação dos níveis hierárquicos e o cálculo de distância hierárquica total e de DHM para as duas sentenças estudadas nas seções anteriores. Os *tokens* estão, nesta Figura, dispostos horizontalmente conforme a ordem de escrita, e verticalmente conforme os níveis hierárquicos, com as dependências representadas por linhas cheias.

Tanto o trabalho original de apresentação da distância hierárquica (JING; LIU, 2015), quanto seus derivados (YANG, 2018; KOMORI; SUGIURA; LI, 2019; CHEN; DENG; LIU, 2021), defendem que maiores distâncias hierárquicas estão associadas a maiores

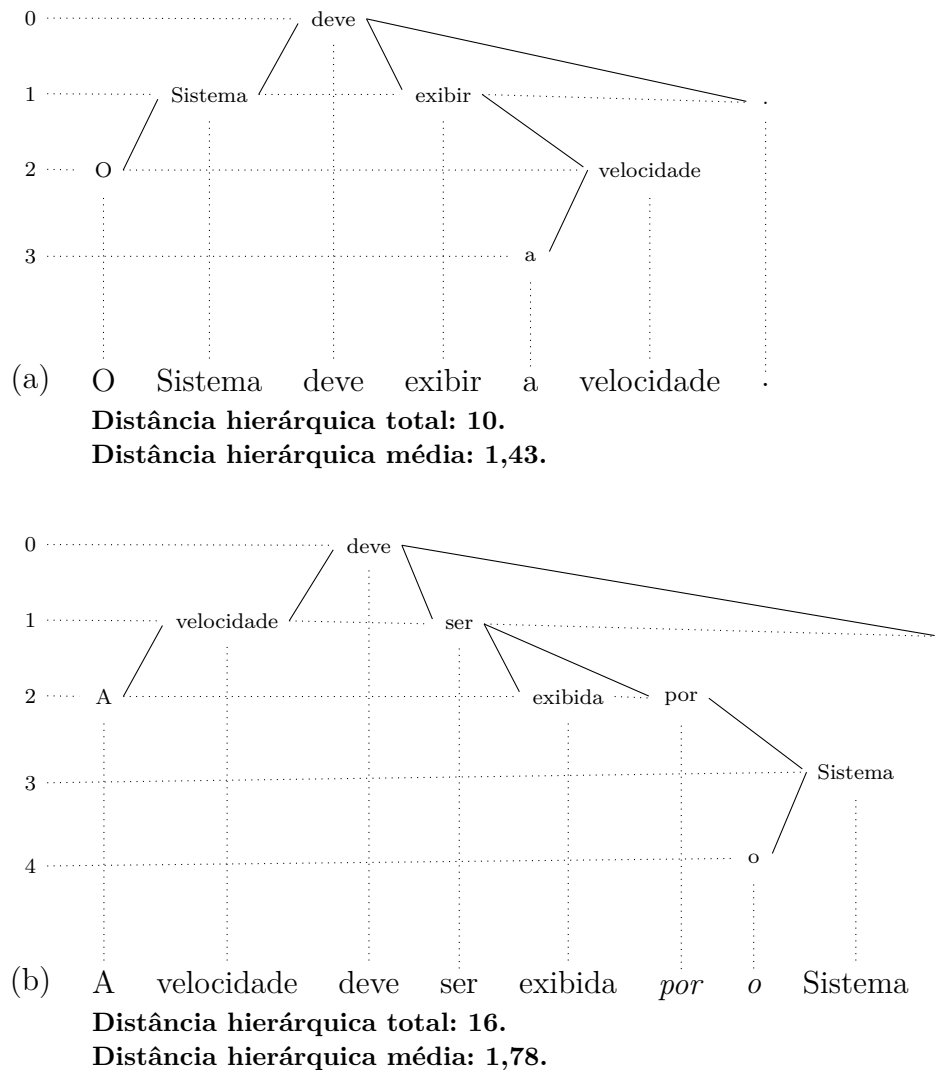


Figura 27 – Exemplos de identificação de níveis hierárquicos, com cálculo de distâncias hierárquicas totais e distâncias hierárquicas médias. Fonte: o autor.

complexidades sintáticas e maiores esforços de compreensão e produção de sentenças (sobretudo esta última). Por conseguinte, a análise da Figura 27 mostra, mais uma vez neste modelo, a maior eficiência da sentença (a) sobre a sentença (b), dada sua DHM 20% menor.

Sob a mesma abordagem inovadora das demais métricas já apresentadas, pretende-se aplicar a DHM para comparar a qualidade de sentenças de requisitos antes e depois de reescritas conforme a estruturação de linguagem natural construída no Capítulo 4. Com isso, ela se junta ao CMD e à CIM na classe de métricas analíticas de Génova et al. (2011).

5.1.2 Execução

Nesta seção será relatado como se executou e que resultados foram obtidos a partir da avaliação artificial planejada, conforme a representação da Figura 23.

5.1.2.1 Seleção de requisitos e extração de sentenças

Como forma de iniciar a execução do processo de avaliação artificial, foram selecionados os **requisitos originais** de trabalho. Estes foram escolhidos por discricionariedade do pesquisador, que, sob as restrições de que a seleção deveria se dar sobre documentos simultaneamente ostensivos e em vigor, conforme o REPUBLEX (BRASIL, 2024d), visou obter dados de cerca de 250 requisitos de naturezas variadas (operacionais, técnicos, logísticos e industriais), referentes a sistemas de diversos domínios de aplicação dentre os SMEM, mas que fossem inteligíveis ao engenheiro comum.

Optou-se, assim, pelos seguintes requisitos originais:

- Requisitos Operacionais da Pistola de Combate 9mm do Sistema Combatente Brasileiro (Pst COBRA), publicados no documento EB20-RO-04.050 (BRASIL, 2019d)
38 requisitos
- Requisitos Operacionais da Viatura Blindada de Transporte Especial Média sobre Rodas 6x6 (Vtr Amb), publicados no documento EB70-RO-10.001 (BRASIL, 2023)
120 requisitos
- Requisitos Técnicos (RT) do Paraquedas de Salto Livre Operacional (Pqd), publicados no documento EB20-RTLI-04.082 (BRASIL, 2022)
19 requisitos
- Requisitos Técnicos do Goniômetro Digital para o Sistema de Artilharia de Campanha (Gon SAC), publicados no documento EB20-RTLI-04.079 (BRASIL, 2020d)
60 requisitos
- Requisitos Logísticos e Industriais (RLI) do Rastreador Satelital para o Sistema de Artilharia de Campanha (Rast SAC), publicados no documento EB20-RTLI-04.080 (BRASIL, 2020e)
25 requisitos¹

Destes requisitos originais foram identificadas as **sentenças originais** de trabalho. Foram suprimidos dos requisitos atributos como identificação, peso e referências, assim como títulos de capítulos e seções. Com isso, foi obtido um total de 262 sentenças originais.

¹ Dada a prática corrente de redação de RLI, estes não se encontram segregados individualmente no documento original, como ocorre com os RO e RT. A identificação de cada requisito foi feita por parágrafo de texto. Foram, ainda, desprezados os requisitos baseados em listagem de itens, se compostas por mais de cinco elementos, pelo risco de introdução de condições espúrias na análise pelo modelo matemático-linguístico.

5.1.2.2 Reescrita das sentenças originais

Em processo semelhante ao realizado na Demonstração do artefato (Seção 4.3), e mesmo aproveitando seu resultado para os RO Pst COBRA, as **sentenças reescritas** foram obtidas a partir da aplicação das regras de estruturação de linguagem natural sobre as sentenças originais. A tarefa de reescrita foi realizada pessoalmente pelo autor, conforme seu melhor juízo nas dificuldades técnicas e interpretativas que se apresentaram, advindas de especificidades dos domínios de aplicação e ambiguidades presentes nas sentenças originais. De toda forma, buscou-se manter a ideia básica presente nas sentenças originais, mas foram identificados termos a serem definidos em Glossário e suprimidos trechos que se destinavam a justificar os requisitos, por exemplo. Ressalte-se que tanto a interpretação quanto a escolha de blocos constituintes para reescrita das sentenças não são itens de solução única. O conjunto de *boilerplates* em tela permite que uma mesma ideia seja documentada de diversas formas, e a opção do pesquisador para as sentenças reescritas ora em análise é apenas uma delas.

Considerando o caráter meramente acadêmico do processo de tradução destes requisitos, dados faltantes nas sentenças originais (como tolerância de ocorrência de ações “proibidas” e versões de normas, por exemplo) foram estimados pelo pesquisador ou marcados para completamento posterior, sem compromisso com utilização real. Ressalte-se também que diversas sentenças originais apresentavam modais de obrigação não contemplados pela estruturação construída, como “é desejável que” ou “o sistema irá”. Estes foram todos reescritos como “deve(m)” ou “não pode(m)”, conforme previsto nas regras do conjunto de *boilerplates*.

Ainda na Demonstração do artefato já havia sido observado o fenômeno de multiplicação das sentenças, o qual ocorreu com intensidade ainda maior durante a reescrita das sentenças originais para a avaliação artificial. A falta da característica de singularidade nos requisitos originais, que leva à divisão destes em diversas sentenças reescritas, se depreende da análise da Tabela 9, que registra a quantidade de enunciados ora trabalhados.

Percebe-se que as 262 sentenças originais se traduziram em 434 novas sentenças, um aumento de 66%. O efeito não é uniforme: enquanto as sentenças referentes aos RO Pst Cobra tiveram um aumento de “apenas” 21%, as dos RLI Rast SAC mais que dobraram, passando de 25 para 53 sentenças (112%). Quando se segregaram as naturezas dos requisitos conforme a divisão tradicional entre RO e RTLI, estes últimos se mostraram mais propensos à multiplicação (ao menos na amostra considerada), tendo-a em 89%, contra 50% nos RO. Por fim, a Tabela 9 exhibe o total geral de sentenças disponibilizadas para tratamento matemático-linguístico: 696.

Tabela 9 – Número de sentenças originais e de sentenças reescritas, por sistema e por natureza do requisito.

	NÚMERO DE SENTENÇAS						TOTAL
	RO		RT		RLI		
	Pst COBRA	Vtr Amb	Pqd	Gon SAC	Rast SAC		
Originais	38	120	19	60	25	262	
Reescritas	46	191	37	107	53	434	
Aumento	21%	59%	95%	78%	112%	66%	
	TOTAL RO			TOTAL RTLI			
Originais	158			104			
Reescritas	237			197			
Aumento	50%			89%			
	GERAL					696	

Fonte: o autor.

5.1.2.3 Pré-processamento

Todas as sentenças, originais e reescritas, precisaram passar por **pré-processamento** para continuidade da avaliação. O pré-processamento de textos se refere a operações que preparam o *corpus* para análise, sendo uma etapa imprescindível no processamento de linguagem natural, com potencial para afetar radicalmente os resultados (CHAI, 2022). Para a avaliação artificial, o pré-processamento consistiu em checagem manual e modificação das 696 sentenças, buscando e suprimindo características que testes prévios revelaram como deletérios à eficácia do *parser* de dependências ou que introduzissem divergências artificiais entre a sentença original e a reescrita. Por consequência, a maior parte das sentenças foi alvo de uma ou mais das seguintes diretrizes:

- substituição de palavras e expressões em inglês por indicadores como X ou Y ;
- substituição de referências a normas e itens que misturam letras, números e caracteres especiais por indicadores como X ou Y ;
- substituição de menções a itens de Glossário no formato Abc_X pela expressão multpalavra equivalente;
- substituição de números decimais por números inteiros;
- substituição de declarações de data por indicadores como X ou $DATA$;
- substituição de acrônimos que pudessem ser confundidos com palavras por indicadores como X ou Y ;
- supressão de aspas;

- supressão de redação de numerais por extenso; e
- uniformização de indicadores de itens em lista.

As sentenças originais, as reescritas, e as versões pré-processadas de ambas encontram-se registradas na planilha eletrônica *Avaliação Artificial - Resumo.xlsx*, disponível para *download* no endereço <<https://github.com/lmellobarbosa/reqSMEM>>.

5.1.2.4 Aplicação do modelo matemático-linguístico

De posse das sentenças pré-processadas, pôde-se iniciar a aplicação propriamente dita do modelo matemático-linguístico pela identificação das dependências. Esta foi realizada com o auxílio computacional da ferramenta LX-DepParser, desenvolvida e mantida pelo NLX-Grupo de Fala e Linguagem Natural do Departamento de Informática da Universidade de Lisboa. De acordo com seus criadores, este *parser* de dependências foi treinado sobre mais de 20.000 frases em língua portuguesa, e é capaz de ligar corretamente cada dependente à sua cabeça (*unlabeled attachment score*) com sucesso superior a 94%, conforme as regras CINTIL (ANTÓNIO et al., 2011).

O LX-DepParser é um serviço *online* gratuito. Para sua utilização automatizada, porém, é necessário obtenção de uma chave de acesso, razoavelmente limitada em termos de prazo de validade e capacidade de processamento. Para que fosse viável a utilização do *web service* nesta pesquisa, foi solicitado à Portulan Clarin (infraestrutura que hospeda o LX-DepParser) uma chave de acesso especial, a qual foi gentilmente cedida ao autor.

A partir da chave de acesso obtida, foi implementado um código em Python, capaz de receber uma lista de sentenças em um arquivo *.txt*, enviá-las uma a uma ao *web service* do LX-DepParser, registrando em arquivo (também *.txt*) as respostas da ferramenta. Tais respostas consistem nas anotações CINTIL das sentenças enviadas, no formato padrão da *Conference on Computational Natural Language Learning* (CoNLL), conforme o exemplo da Figura 28.

#id	form	lemma	cpos	pos	feat	head	deprel	phead	pdeprel
1	O	-	DA	DA	ms	2	SP	2	SP
2	Sistema	-	PNM	PNM	-	3	SJ	3	SJ
3	deve	DEVER	V	V	pi-3s	0	ROOT	0	ROOT
4	exibir	EXIBIR	V	V	INF-nInf	3	COORD	3	COORD
5	a	-	DA	DA	fs	6	SP	6	SP
6	velocidade	VELOCIDADE	CN	CN	fs	4	DO	4	DO
7	.	-	PNT	PNT	-	3	PUNCT	3	PUNCT

Figura 28 – Exemplo de identificação de dependências no formato CoNLL. Fonte: adaptado de António et al. (2011).

A Figura 28 retrata a análise da frase “O Sistema deve exibir a velocidade.” nos moldes do modelo matemático-linguístico proposto. É, portanto, equivalente à representação gráfica existente na Figura 25 (a). Dentre outras informações fornecidas pelo LX-DepParser, as mais importantes para os fins deste trabalho se encontram sob as colunas *#id* e *head*. Estas são, respectivamente, a identificação de cada *token* e a identificação da cabeça do *token* correspondente. Quando a cabeça está identificada como “0”, isso significa que o *token* é raiz da frase.

Observe-se que o *#id* de cada *token* é expresso em números naturais crescentes conforme a posição dele na frase, equivalendo, portanto, ao i introduzido na Seção 5.1.1. De forma similar, a informação *head* corresponde ao i_C para o mesmo *token* (excetuando-se a raiz da frase). Tais dados são suficientes para mensurar CMD, CIM e DHM para cada uma das sentenças pré-processadas.

A utilização de fato do *web service* do LX-DepParser para identificação das dependências das sentenças originais e reescritas, pré-processadas, ocorreu ao longo do mês de abril de 2024.

O autor desenvolveu algoritmos para cálculo do CMD, CIM e DHM das sentenças, a partir dos arquivos `.txt` enviados ao LX-DepParser e gerados pelo programa Python em resposta. Tais algoritmos foram implementados em funções e *scripts* MATLAB, cuja execução se traduz na mensuração das sentenças originais e reescritas, nos termos da Figura 23.

5.1.2.5 Resultados e comparações

Os resultados da mensuração das sentenças, originais e reescritas, conforme as métricas CMD, CIM e DHM, encontra-se registrado, de forma individual para cada sentença, no arquivo *Avaliação Artificial - Resumo.xlsx*, disponibilizado em <<https://github.com/lmellobarbosa/reqSMEM>>. No conjunto de cada grupo, pode-se observar o comportamento dos valores obtidos na Figura 29. Em análise visual, preliminar, todos os histogramas mostram uma distribuição de valores assimétrica, com tendência de distorção à direita. Tal distorção é mais pronunciada nos valores de DHM, sobretudo nas sentenças reescritas.

No universo amostral considerado, a reescrita das sentenças reduziu os valores médios das três métricas estudadas. A média dos valores de CMD reduziu em 15,8%, a dos valores de CIM em 8,8%, e a dos valores de DHM em 28,3%.² Isto é um indicativo de sucesso, sugerindo que o artefato construído é eficaz na diminuição da complexidade sintática de sentenças de requisitos. Entretanto, para que esta última assertiva seja confirmada, é necessário que tais diminuições sejam estatisticamente significativas. Decidiu-se, então,

² Porcentagens calculadas sobre dados brutos, com mais casas decimais do que as apresentadas na Figura 29.

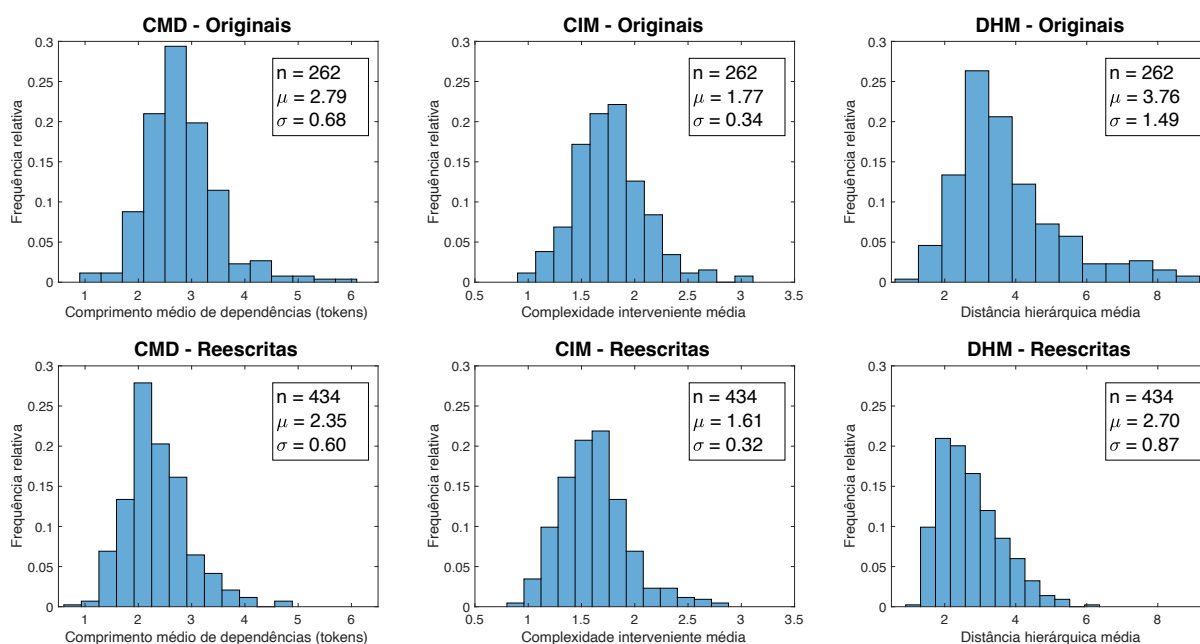


Figura 29 – Histogramas dos valores de CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas. Nos subquadros estão indicados o número de amostras (n), a média dos valores (μ) e o desvio-padrão amostral (σ). Fonte: o autor.

por certificar tal significância conforme abordagens tradicionalmente empregadas no meio acadêmico (LEE, 2022; HARRINGTON et al., 2019): a natureza da distribuição dos valores de CMD, CIM e DHM nos grupos foi determinada por um **teste de normalidade**, a existência de diferenças entre os grupos foi verificada por um **teste de hipóteses**, e as magnitude e direção das diferenças (se existentes) foram determinadas por cálculos de **tamanho do efeito**.

5.1.2.5.1 Teste de normalidade

A determinação da natureza da distribuição de probabilidade dos valores das três métricas nos grupos de sentenças originais e reescritas — em especial, se seguem a função de distribuição normal de probabilidade — é importante para posterior escolha das estatísticas de testes de hipóteses e tamanho de efeito.

Optou-se por executar o teste de normalidade proposto por Shapiro e Wilk (1965), conhecido como teste S-W. Este procedimento é capaz de detectar afastamentos da curva de distribuição normal, tanto por assimetria, quanto por curtose; e, nesta função, mostrou-se mais poderoso que testes relacionados, como Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, e Anderson-Darling (RAZALI; WAH, 2011).

O teste S-W é, ele próprio, um teste de hipóteses. Foram escolhidos, portanto, os seguintes parâmetros de teste:

- hipótese nula (h_0): a amostra em tela adveio de uma população normalmente distribuída;
- hipótese alternativa (h_1): a amostra em tela adveio de uma população não-normalmente distribuída; e
- nível de significância (α): 5%.

O procedimento de cálculo das estatísticas foi operacionalizado em MATLAB por algoritmo específico (GARDNER-O'KEARNY, 2021). O resultado encontra-se disposto nos quadros em verde da Figura 30.

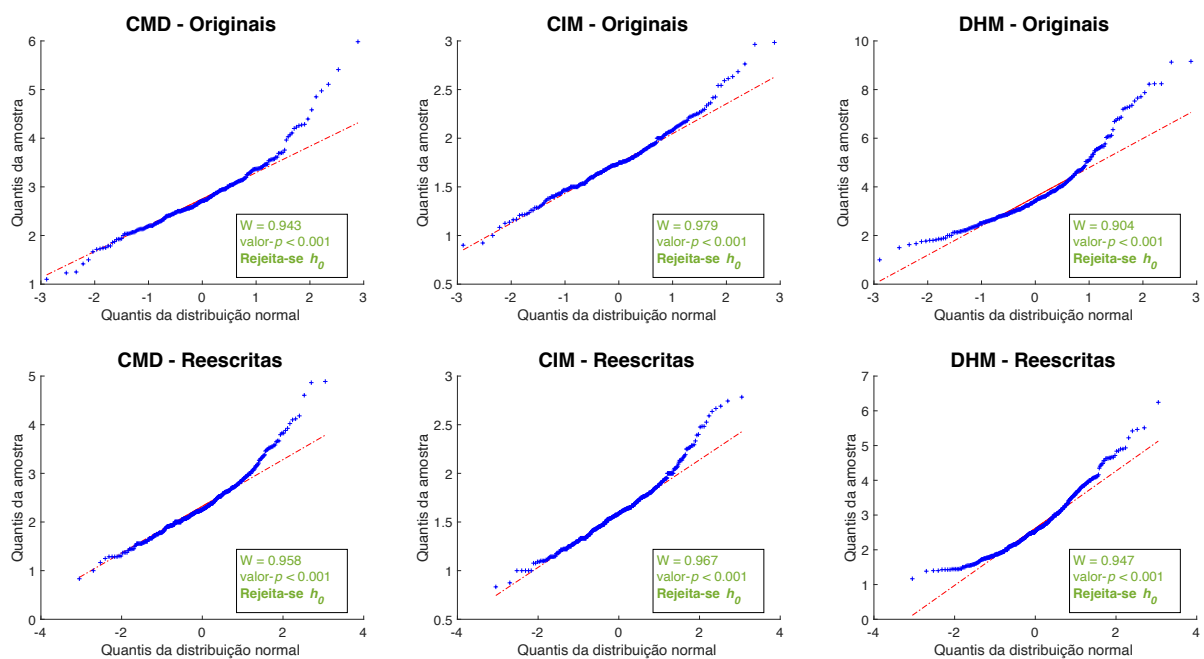


Figura 30 – Gráficos Q-Q e resultados de teste S-W, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas. Fonte: o autor.

Quantitativamente, mesmo com os valores da estatística W se aproximando de 1 (possivelmente por conta da adesão maior à normalidade na região central dos gráficos), a hipótese h_0 foi rejeitada em CMD, CIM e DHM, tanto para as sentenças originais, quanto para as reescritas, pois o valor- p é menor do que $\alpha = 0,05$ nos seis casos. A rejeição de h_0 leva, automaticamente, à aceitação de h_1 e, portanto, **os valores mensurados, em todas as amostras, advêm de populações com distribuições de probabilidade não-normais.**

A conclusão quantitativa do teste S-W pode ser complementada pela análise qualitativa do comportamento dos valores amostrais (em azul), nos gráficos Q-Q da Figura 30. Nota-se que, para os seis casos, há um sistemático desvio da reta de normalidade ideal

(em vermelho), sobretudo nos quantis superiores, onde numerosos pontos ficam acima da reta. A observação confirma a assertiva da não-normalidade das populações.

5.1.2.5.2 Teste de hipóteses

A partir do resultado do teste de normalidade, restou definida a conveniência de testes não-paramétricos para análise estatística dos dados. Com relação à pareabilidade dos valores das métricas entre o grupo de sentenças originais e as reescritas, optou-se por considera-las independentes, posto que o fenômeno da multiplicação das sentenças faz com que haja diferença entre as quantidades amostrais antes e depois da aplicação das regras de estruturação de linguagem natural. Tal relação um-para-muitos acaba sendo incompatível com os testes desenvolvidos para amostras pareadas (BOCK et al., 2023).

A investigação a respeito da significância estatística das diferenças entre os grupos amostrais envolveu a realização de testes de Mann-Whitney³ (MANN; WHITNEY, 1947) — testes M-W. Esta é uma escolha tradicional entre pesquisadores que carecem de ensaios não-paramétricos, envolvendo grupos amostrais independentes (PENFIELD, 1994; BRIDGE; SAWIŁOWSKY, 1999). A hipótese alternativa típica do teste M-W é a de que há ordenamento estocástico entre duas variáveis x e y . Afirmar que x é estocasticamente maior que y , equivale a dizer que, se f e g forem as distribuições de probabilidade acumulada de x e y (respectivamente), $f(a) > g(a)$, qualquer que seja a no domínio de x e y (raciocínio semelhante para x estocasticamente menor que y). O ordenamento estocástico exige que x seja estocasticamente maior ou menor que y (MANN; WHITNEY, 1947).

Se duas distribuições forem simétricas com relação às suas medianas, ou se, sendo assimétricas, forem semelhantes em forma, divergindo apenas em localização, o ordenamento estocástico equivale a dizer que as medianas são diferentes (CONROY, 2012). Conforme já observado na análise dos histogramas da Figura 29, as distribuições de CMD, CIM e DHM são assimétricas. A Figura 31 apresenta as distribuições de probabilidade acumulada, em CMD, CIM e DHM. Os eixos horizontais foram transladados entre si, de forma a, em cada métrica, fazerem as funções relativas às sentenças originais e às reescritas coincidirem no ponto de probabilidade igual a 50% (medianas). Nota-se que as curvas de CMD e CIM são bastante semelhantes, mas que a divergência em DHM é considerável. Torna-se razoável, portanto, interpretar o ordenamento estocástico como variabilidade de medianas apenas em CMD e CIM, nada se podendo afirmar sobre o assunto em DHM.

Com isso, foram escolhidos os seguintes parâmetros para o teste M-W:

- hipótese nula (h_0): na métrica em tela, os valores mensurados nas duas amostras de sentenças (originais e reescritas) advêm de populações sem ordenamento estocástico;

³ Os testes Mann-Whitney são por vezes denominados Wilcoxon-Mann-Whitney ou teste da soma dos postos de Wilcoxon (PAULINO DINIS PESTANA, 2011).

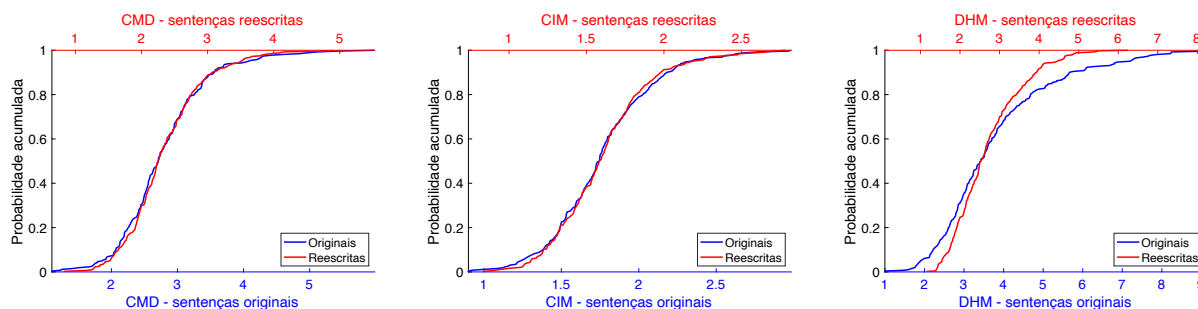


Figura 31 – Distribuições de probabilidade acumulada, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas. Valores dos eixos horizontais transladados para cada grupo de sentenças, com escala uniformizada. Fonte: o autor.

- hipótese alternativa (h_1): na métrica em tela, os valores mensurados nas duas amostras de sentenças (originais e reescritas) advêm de populações com ordenamento estocástico; e
- nível de significância (α): 5%.

O teste M-W, com o valor de α previamente citado, foi conduzido em *script* MATLAB, com uso de algoritmo específico (CARDILLO, 2009). O resultado, para o conjunto completo de sentenças originais e reescritas, nas métricas de CMD, CIM e DHM, encontra-se registrado nos quadros em verde da Figura 32.

Matematicamente, h_0 foi rejeitada em CMD, CIM e DHM, pois o valor- p é menor do que $\alpha = 0,05$ nos três casos. A rejeição de h_0 leva, automaticamente, à aceitação de h_1 e, portanto, os valores mensurados, em cada uma das métricas, advêm de populações com ordenamento estocástico. Com isso, **há evidência estatística (com 95% de certeza) de que a aplicação do artefato construído provoca alteração nos valores de CMD, CIM e DHM em sentenças de requisitos de SMEM em geral.**

Os diagramas de caixas da Figura 32 auxiliam à compreensão visual do fenômeno. Cada caixa engloba 50% dos valores da métrica em tela no grupo correspondente, limitando-se inferiormente na ordenada que exclui os 25% valores mais baixos e superiormente na que exclui os 25% mais altos. Os “fios de bigode” (*whiskers*) se expandem até os valores extremos encontrados nas amostras. As linhas horizontais vermelhas indicam as medianas, e as cruces as médias, em cada grupo. Em CMD e CIM, as caixas possuem entalhes que indicam as incertezas (com 95% de significância) nos valores das medianas. Por não haver sobreposição nos valores das ordenadas dos entalhes, estes servem como confirmação gráfica do resultado do teste M-W. Os entalhes estão omitidos em DHM, por, como já observado, não haver, nesta métrica, correspondência direta entre variabilidade das medianas e ordenamento estocástico. Nas três métricas, as caixas das sentenças reescritas encontram-se em ordenadas inferiores com relação às das sentenças originais, sugerindo

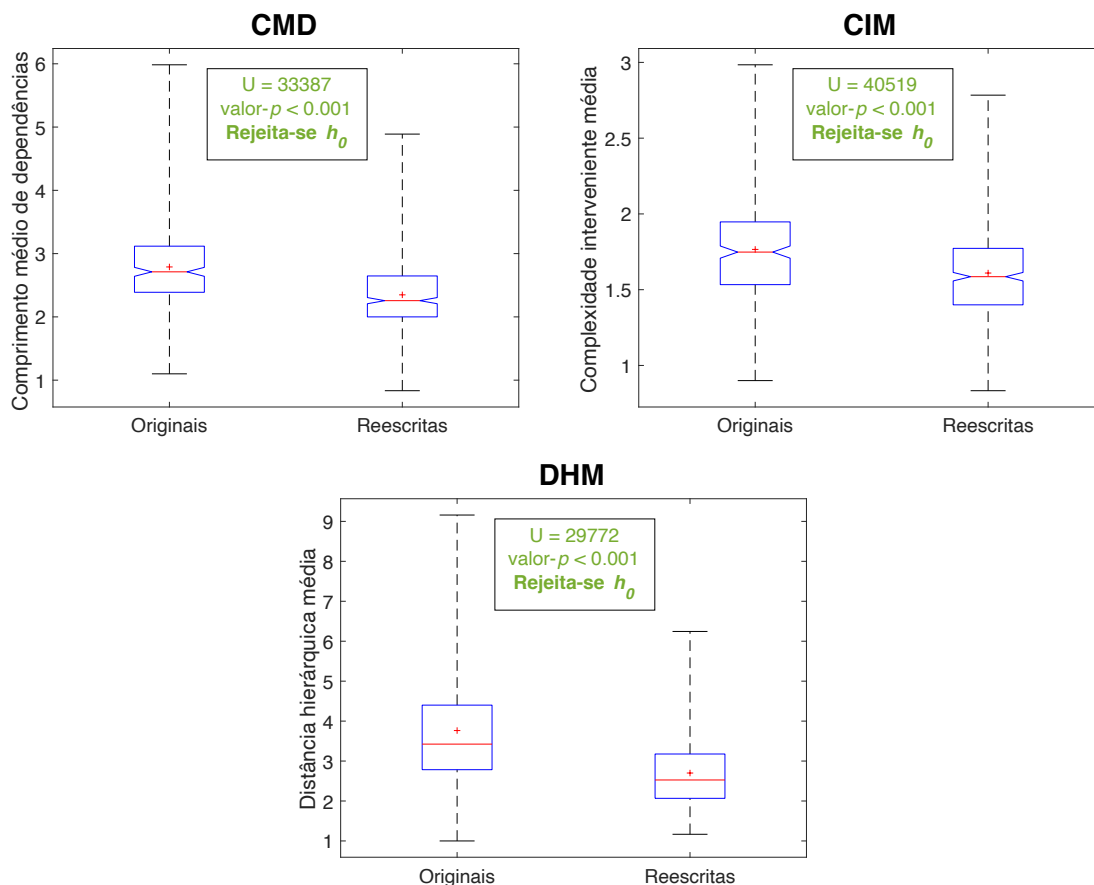


Figura 32 – Diagramas de caixas e resultados de teste M-W, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas. Fonte: o autor.

menor complexidade sintática das sentenças reescritas, muito embora o sentido da mudança não seja alvo de estudo das hipóteses ora elencadas.

Pode-se igualmente observar a ocorrência do efeito quando as sentenças são segregadas conforme a natureza dos requisitos, nos grupos RO e RTLI anteriormente definidos. O exibido na Figura 33 mostra que as localizações dos quartis centrais de CMD, CIM e DHM são discerníveis visual (deslocamento para baixo das caixas após a reescrita) e estatisticamente (rejeição de h_0), tanto para o grupo de sentenças advindo dos RO (gráficos na linha superior da Figura 33), quanto para as sentenças advindas dos RTLI (gráficos da linha inferior). Por conseguinte, conclui-se que, **também para os RO e os RTLI, individualmente considerados, a aplicação do artefato construído provoca alteração nos valores de CMD, CIM e DHM das sentenças.**

5.1.2.5.3 Tamanho de efeito

Os valores- p determinam a significância estatística de uma diferença, mas são incapazes, por si só, de predizerem a magnitude de um efeito ou a importância de um resultado (WASSERSTEIN; LAZAR, 2016). Daí a recomendação, praticamente generalizada, de se

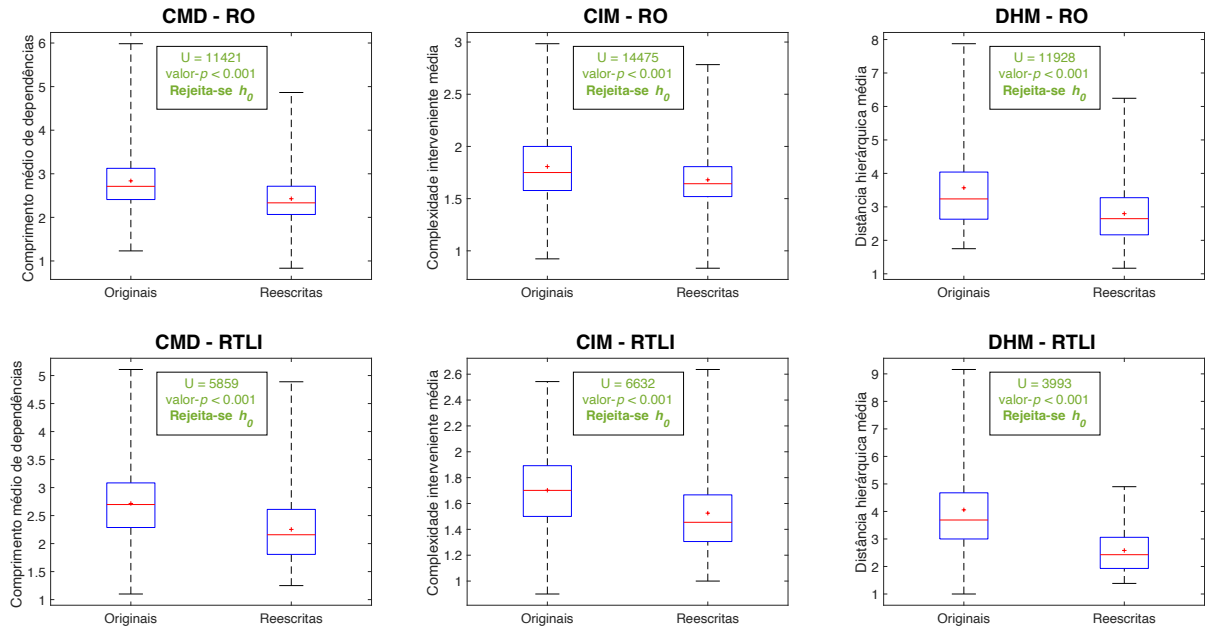


Figura 33 – Diagramas de caixas e resultados de teste M-W, em CMD, CIM e DHM, para as sentenças divididas em grupos. Fonte: o autor.

complementar os testes de hipóteses com avaliações de tamanho de efeito (HARRINGTON et al., 2019). Optou-se, portanto, por acrescentar à avaliação artificial a mensuração do índice δ de Cliff sobre os valores de CMD, CIM e DHM das sentenças originais e reescritas.

O δ de Cliff indica a dominância de uma variável x sobre outra y . Ou seja, tomando-se ao acaso valores $x_i \in x$ e $y_j \in y$, o δ de Cliff equivale à probabilidade de que x_i seja maior que y_j menos a probabilidade de que x_i seja menor que y_j (CLIFF, 1993):

$$\delta = \Pr(x_i > y_j) - \Pr(x_i < y_j) \quad (5.6)$$

A definição do δ de Cliff o torna numericamente equivalente ao coeficiente de correlação bisserial de ordens, o mais conhecido dos tamanhos de efeito relacionados ao teste M-W (KERBY, 2014). Desprezando a probabilidade $\Pr(x_i = y_j)$, pode ser convertido para o chamado “tamanho de efeito em linguagem comum” (CL) — a probabilidade de que x_i seja maior que y_j — pela seguinte identidade (RUSCIO, 2008):

$$CL = \Pr(x_i > y_j) = (\delta + 1)/2 \quad (5.7)$$

Cliff (1993) não fornece interpretação classificatória da magnitude de efeito (ME) para δ . Decidiu-se, assim, por partir do proposto por Sawilowsky (2009) para o d de Cohen (dC), conforme Tabela 10, e adotar a conversão entre essas grandezas demonstrada por Ruscio (2008):

$$CL = \Phi \left(dC \sqrt{\frac{p_1^2 s_1^2 + p_2^2 s_2^2}{s_1^2 + s_2^2}} \right) \quad (5.8)$$

onde Φ é a função de probabilidade acumulada para uma distribuição normal, p_1 e p_2 são as proporções de amostras dos tipos 1 e 2 em um grupo (de forma que $p_1 + p_2 = 1$) e s_1 e s_2 são os desvios-padrões dos valores obtidos nas amostragens 1 e 2.

Tabela 10 – Interpretação classificatória da magnitude do efeito, conforme o valor absoluto do d de Cohen.

		d de Cohen (dC)					
		$dC < 0,2$	$0,2 \leq dC < 0,5$	$0,5 \leq dC < 0,8$	$0,8 \leq dC < 1,2$	$1,2 \leq dC < 2,0$	$2,0 \leq dC$
ME		Muito Pequeno	Pequeno	Médio	Grande	Muito Grande	Imenso

Fonte: adaptado de Sawilowsky (2009).

Com isso, se s_1 e s_2 são diferentes para CMD, CIM e DHM, nota-se que os valores classificatórios da ME de δ , entre as diversas categorias presentes na Tabela 10, variaram conforme a métrica em análise.

A mensuração do tamanho do efeito foi conduzida em *script* MATLAB, com uso das funções nativas `meanEffectSize` e `gardnerAltmanPlot`. Foi também calculado um intervalo de confiança (IC) de 95% para o δ de Cliff, pelo método de *bootstrap* (BANJANOVIC; OSBORNE, 2016), com 3000 reamostragens. Foi convencionado que, caso o IC incluísse o valor 0 para o δ de Cliff, a ME seria considerada incerta (interpreta-se como ausência de certeza sobre o sentido do efeito). O resultado, para o conjunto completo de sentenças originais e reescritas, nas métricas de CMD, CIM e DHM, encontra-se registrado na Figura 34.

A Figura 34 exibe três gráficos de Gardner-Altman (GARDNER; ALTMAN, 1986), que podem ser interpretados da seguinte forma: em azul e em vermelho há pontos que representam a dispersão dos valores da métrica em tela para as sentenças originais e reescritas, respectivamente. A barra de erros, em verde, mostra o valor calculado e os limites do intervalo de confiança para o δ de Cliff, devendo ser lida conforme o eixo vertical à direita. Se a linha horizontal de ordenada igual a 0 tocar qualquer ponto da barra de erros, trata-se de ME incerta, conforme a convenção adotada. Nos quadros estão descritos, de forma numérica, a probabilidade de que uma sentença original aleatória tenha valor, naquela métrica, superior a de uma sentença aleatória reescrita; o δ de Cliff; seu intervalo de confiança; e a classificação da magnitude de efeito.

Conforme os gráficos e os quadros, nas três métricas a probabilidade de se encontrar valores nas sentenças originais superiores aos de sentenças reescritas é maior do que 50% (valor que indicaria que a aplicação do artefato não teve nenhum efeito), sendo de 71%

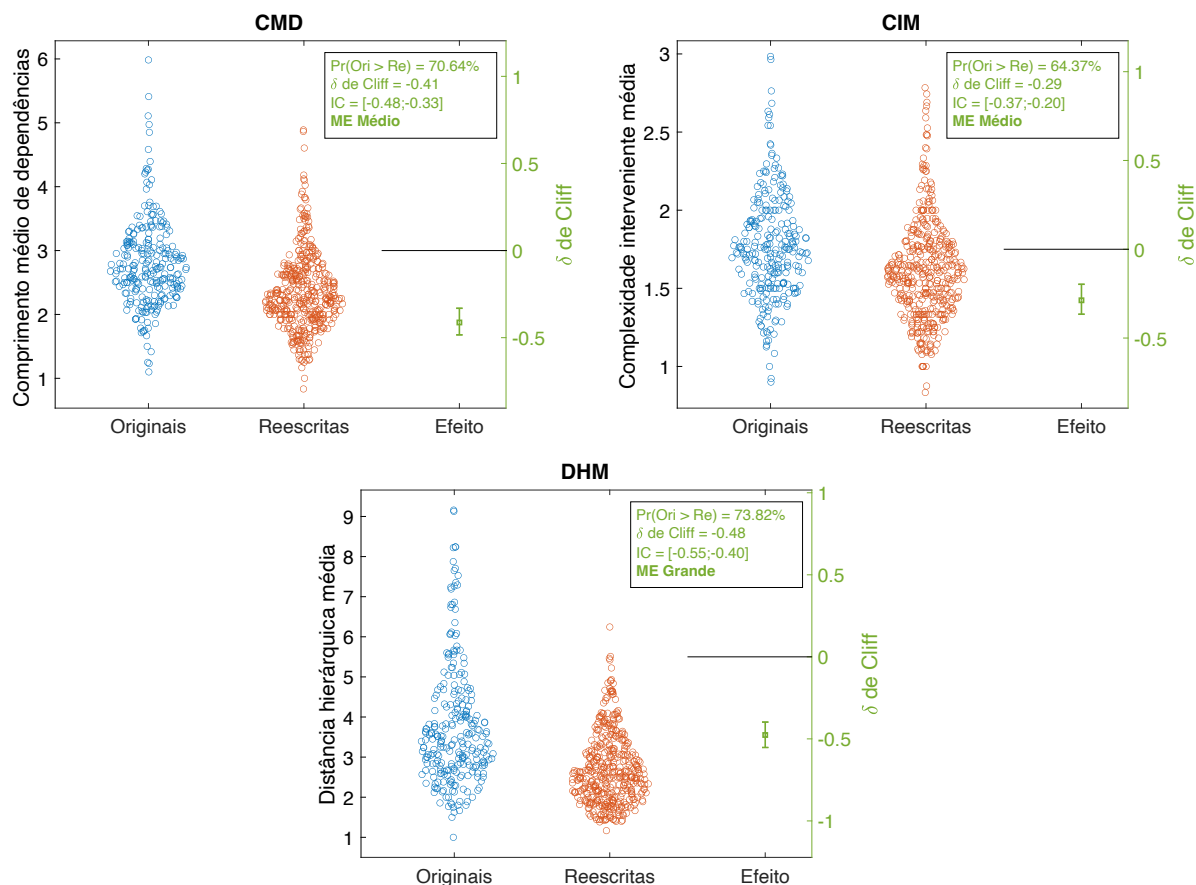


Figura 34 – Gráficos de Gardner-Altman e informações de tamanho do efeito sobre o δ de Cliff, em CMD, CIM e DHM, para todas as sentenças originais e reescritas. Fonte: o autor.

para CMD, 64% para CIM, e 74% para DHM. O valor nulo não fez parte de nenhum intervalo de confiança, e os efeitos podem ser considerados de magnitude média para CMD e CIM, e grande para DHM. A menor probabilidade de mudança em CIM está de acordo com o previsto por Yadav, Mittal e Husain (2022), que perceberam que ela tem menor variabilidade entre línguas e entre comprimentos de frases do que o CMD. O esforço de redução das métricas, em geral, pode ser tido como frutífero, sobretudo quando se considera que o idioma português é tido com uma das línguas naturalmente mais otimizadas em termos de complexidade sintática (CANCHO et al., 2022) — a terceira, em um *ranking* de 20 —, o que torna mais difícil qualquer melhoria adicional.

Estatisticamente, restou comprovado que **a aplicação do artefato construído provoca redução nos valores de CMD, CIM e DHM em sentenças de requisitos de SMEM em geral.**

De forma complementar, efetuou-se o mesmo cômputo de tamanho de efeito, agora segregando as sentenças entre as oriundas de RO e as oriundas de RTLI, como realizado no teste M-W. O resultado encontra-se registrado na Figura 35.

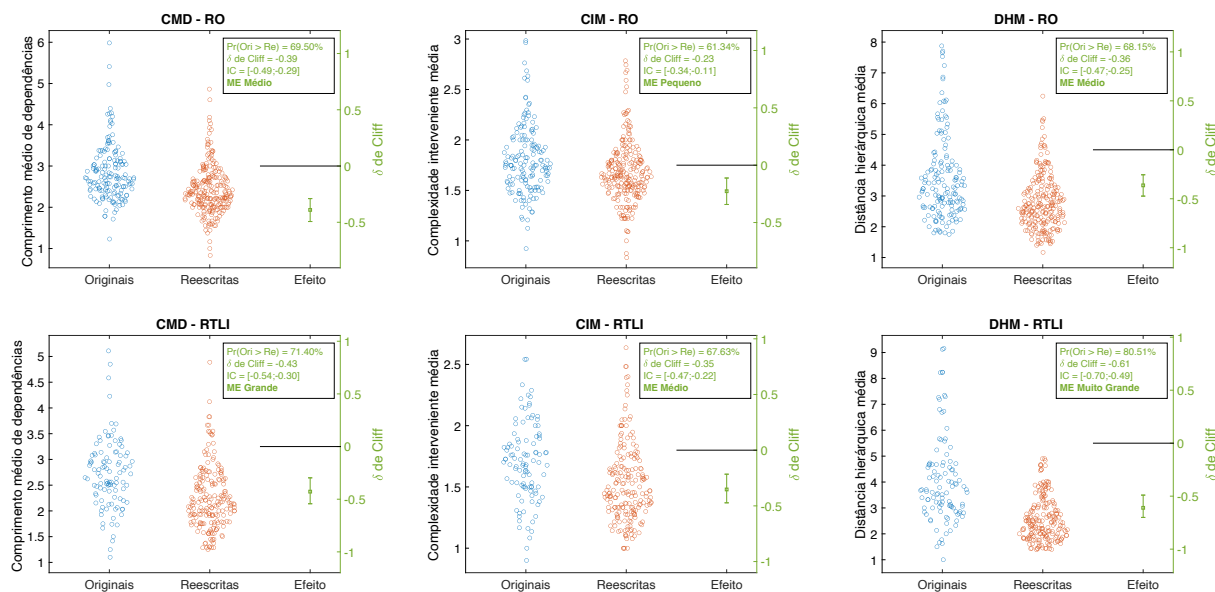


Figura 35 – Gráficos de Gardner-Altman e informações de tamanho do efeito sobre δ de Cliff, em CMD, CIM e DHM, para as sentenças divididas em grupos. Fonte: o autor.

Assim como ocorreu na análise das sentenças em conjunto, não houve nenhum efeito incerto. A magnitude variou entre efeitos pequenos, e efeitos muito grandes. De forma geral, percebe-se que a redução das métricas foi mais intensa nos RTLI. O fato possivelmente indica uma maior necessidade de atenção dos engenheiros na redação de requisitos desta natureza.

5.1.3 Conclusão parcial

Do processo realizado nesta avaliação artificial, pode-se observar que a aplicação do conjunto de *boilerplates* construído foi capaz de reduzir a complexidade textual das sentenças de requisitos, cumprindo o objetivo **OA6**. Ao levarmos em consideração o previsto por Grodner e Gibson (2005), de que a redução da complexidade textual (e do CMD, em especial) implica um menor risco de sentenças ambíguas, indiretamente se verifica o atendimento ao objetivo **OA4**.

Ainda, a própria aplicação do artefato, neste caso, já permite comprovar que ele é expresso no idioma português (**OA1**) e a existência de requisitos funcionais, de qualidade, e de restrições, na documentação original mostra que ele é aplicável a todos os tipos de requisito (**OA3**). Durante a Demonstração também foi observado que alguns dos requisitos originais careciam de informações para a completa especificação, levando à conformidade com o **OA5**, e que a alocação dos elementos dos requisitos em blocos constituintes facilita a identificação estrutural de suas partes (**OA8**).

Conclui-se parcialmente, portanto, que a estruturação de linguagem natural construída, em avaliação artificial, foi capaz de demonstrar cumprimento a ao menos seis dos objetivos do artefato, com desempenho satisfatório.

5.2 Avaliação naturalista

Avaliações naturalistas são aquelas aplicadas sobre o artefato no ambiente real em que ele será utilizado, de forma empírica (VENABLE, 2006). São, via de regra, mais complexas e custosas do que as avaliações artificiais, por terem a própria organização interessada na solução como laboratório e envolverem variáveis dificilmente controláveis pelo pesquisador, como seu pessoal e processos. Como tal, devem ser executadas apenas após o sucesso do item nas avaliações artificiais (ALTURKI; GABLE; BANDARA, 2011). Ressalte-se que, nas avaliações naturalistas, o que é observado e estudado refere-se mais às percepções e opiniões dos usuários a respeito do artefato do que às suas características intrínsecas de forma objetiva (VENABLE, 2006).

Dado o exposto, propôs-se complementar a avaliação artificial com uma avaliação naturalista, na qual a adequação do conjunto de *boilerplates* aos objetivos do artefato pode ser verificada pela seguinte sequência de atividades:

1. **Seleção de participantes.** Selecionam-se para participar da avaliação entre dez e quinze oficiais do EB, voluntários e com concorde da chefia imediata, com experiência igual ou superior a três anos em atividades relacionadas à Engenharia de Requisitos.
2. **Instrução dos participantes.** Os participantes selecionados passam por uma instrução de aproximadamente duas horas a respeito da pesquisa desenvolvida, seus objetivos e métodos, do papel deles na mesma, bem como da utilização da estruturação de linguagem natural desenvolvida para documentação de requisitos de SMEM. Recebem cópias das regras de estruturação de linguagem natural em tela. Ao final da instrução, os participantes que desejam permanecer como tal manifestam sua concordância em um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.
3. **Execução de tarefa.** Os participantes, isoladamente e sem auxílio além da documentação recebida, aplicam as regras de estruturação de linguagem natural sobre um conjunto de sentenças de RO e RTLI tal como publicados oficialmente e elencados no REPUBLICX (BRASIL, 2024d). Este conjunto de sentenças de requisitos deve ter sido previamente escolhido pelo pesquisador e é composto por um número de elementos capaz de ser reescrito conforme os *boilerplates* no período aproximado de três horas, conforme a experiência do autor na etapa de demonstração e na avaliação artificial.

4. **Resposta a questionário.** Os participantes respondem questionário elaborado pelo pesquisador, composto por três partes. As duas primeiras partes são compostas por elementos fechados, nas quais o participante responde alguns itens a respeito de sua percepção do artefato. A terceira parte consiste em elementos abertos, nos quais o participante tece suas considerações gerais a respeito da estruturação de linguagem natural desenvolvida.
5. **Análise das respostas.** As respostas dos participantes aos questionários objetivos são tratadas estatisticamente, a fim de se concluir a respeito da percepção dos participantes com relação ao atendimento do artefato aos seus objetivos. A parte aberta do questionário permite complementar as conclusões advindas das duas primeiras, fornecendo um panorama amplo da percepção do usuário final a respeito da ferramenta construída, bem como auxilia a identificação de fraquezas ocultadas nas etapas anteriores.

De forma análoga ao empreendido para a avaliação artificial, a razoabilidade do procedimento planejado para a avaliação naturalista também pode ser verificada pela forma como esta se relaciona a outras avaliações de conjuntos de *boilerplates* encontrados na literatura. Seguindo os procedimentos vistos na Seção 3.4.7 e a taxonomia de Prat, Comyn-Wattiau e Akoka (2015), a avaliação naturalista descrita se caracteriza pelo vetor (2, 2, 3, 2), ou seja, é uma avaliação que emprega a técnica experimental, na forma qualitativa, possuindo apenas profissionais como participantes secundários, instanciada e relativa à ausência de artefato. Consultando a Tabela 5, percebe-se que tais características são as mais utilizadas em todas as dimensões de análise, exceto pela abordagem qualitativa, que é a segunda mais empregada. Inserindo-a no *clustering* de avaliações produzido originalmente na Seção 3.4.7.1, chega-se ao resultado exibido na Figura 36. Pelo dendrograma, observa-se que ela se interpõe no coração do grupo mais numeroso de avaliações (grupo vermelho), sendo mesmo vetorialmente coincidente às avaliações [A.03] e [A.42b], certificando que o proposto está de acordo com a prática de trabalhos similares.

Ressalte-se que a etapa de *Execução de tarefa*, implementada pela reescrita de sentenças, trata de um mero artifício avaliativo, uma forma de promover o contato mais profundo do participante secundário com o artefato avaliado e embasar-lhe as respostas subsequentes. Não se pretende que o uso real do artefato, em ambiente produtivo, caso ocorra, se dê pela reformulação de orações previamente redigidas de forma livre, mas sim que as sentenças sejam documentadas, logo após a elicitación dos requisitos, diretamente sob as regras da estruturação de linguagem natural apresentada.

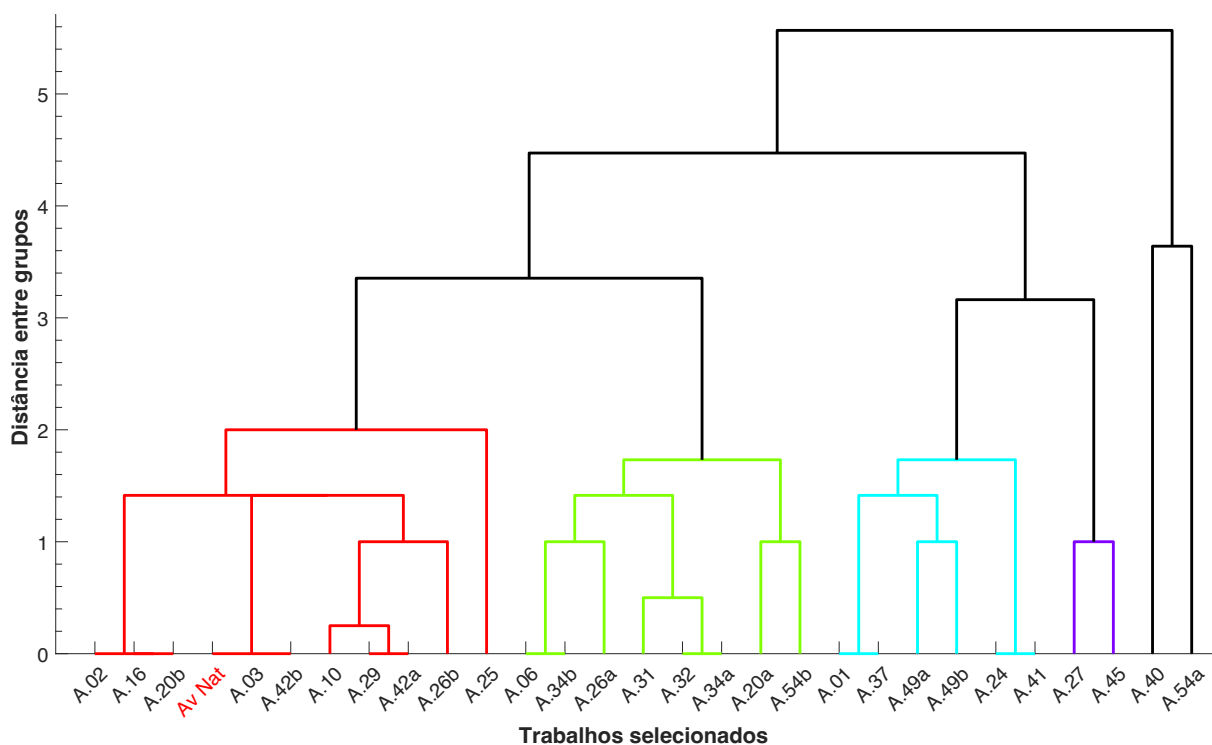


Figura 36 – Dendrograma de agrupamento hierárquico dos métodos de avaliação dos trabalhos selecionados, acrescentando a avaliação naturalista. Fonte: o autor.

5.2.1 Questionário

O questionário respondido pelos participantes secundários da avaliação naturalista é composto por três partes. As duas primeiras baseiam-se em escalas tipo-Likert de sete pontos (CLASON; DORMODY, 1994). A escolha por sete opções justifica-se por serem as escalas deste número de possibilidades simultaneamente confiáveis e de grande poder discricionário, sem que haja prejuízo significativo à facilidade de uso (PRESTON; COLMAN, 2000). Para cada item presente no questionário, o participante pode expressar sua atitude ou percepção, em opções que vão de “Discordo - forte” ou “Reduz - forte” a “Concordo - forte” ou “Aumenta - forte”, passando por uma opção neutra.

A 1ª parte do questionário encontra-se esquematizada na Tabela 11. Nota-se que ela é composta por oito itens, que estão diretamente relacionados aos objetivos do artefato **OA1** a **OA8**, conforme definidos na Seção 4.1.

A 2ª parte do questionário está representada na Tabela 12. Seus itens foram adaptados a partir dos empregados por Puro e Storey (2008) na avaliação de um artefato também prescrito por DSR, no contexto do atendimento ao Modelo de Aceitação de Tecnologia explicitado na Seção 4.1. Com isso, esta parte do questionário se relaciona aos objetivos **OA9** a **OA11**, verificando a utilidade, a facilidade de aplicação, e a flexibilidade da estruturação de linguagem natural desenvolvida. Ainda que não haja a intenção de formular escalas Likert em sentido estrito (CLASON; DORMODY, 1994), cada objetivo

Tabela 11 – Questionário de avaliação naturalista - 1ª parte.

Assinale a alternativa que melhor expressa tua opinião a respeito das seguintes proposições sobre a estruturação de linguagem natural aplicada nas sentenças de requisitos:								
Item	Proposição	Discordo			Neutro	Concordo		
		forte	médio	fraco		fraco	médio	forte
OA1	É expressa no idioma português.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OA2	É aplicável a requisitos de sistemas gerais.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OA3	É aplicável a todos os tipos de requisito.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Reduz			Neutro	Aumenta		
		forte	médio	fraco		fraco	médio	forte
OA4	Efeito sobre a não-ambiguidade textual dos requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OA5	Efeito sobre a completude funcional dos requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OA6	Efeito sobre a simplicidade sintática dos requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OA7	Efeito sobre a reusabilidade dos requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OA8	Efeito sobre a facilidade de identificação estrutural dos termos constituintes dos requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: o autor.

entre o **OA9** e o **OA11** é alvo de mais de um item do questionário, permitindo ao participante a análise da questão sob pontos de vista complementares. Ao final, dois itens adicionais se referem à intenção de uso, que sintetiza o Modelo de Aceitação de Tecnologia.

O Quadro 5 registra a correspondência entre os itens presentes nas 1ª e 2ª partes do questionário e os objetivos do artefato.

Para a 3ª parte do questionário, estimula-se o registro livre da opinião do participante em relação a características mais gerais do artefato, mediante as seguintes questões e propostas, em formato aberto:

- **Q 3.1** – O senhor(a) considera que há gêneros de requisitos cujas sentenças não sejam possíveis de serem redigidas conforme a estruturação de linguagem natural apresentada? Se sim, quais?
- **Q 3.2** – O senhor(a) considera que há gêneros de defeitos de requisitos não preveníveis pelo uso da estruturação de linguagem natural apresentada? Se sim, quais?
- **Q 3.3** – O senhor(a) considera que há gêneros de informações que, normalmente

Tabela 12 – Questionário de avaliação naturalista - 2ª parte.

Caso qualquer decisão a respeito do uso ou não da estruturação de linguagem natural empregada estivesse integralmente sob teu domínio:								
Item	Afirmação	Discordo			Neutro	Concordo		
		forte	médio	fraco		fraco	médio	forte
UT1	Eu a consideraria útil para a documentação de requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UT2	Eu a consideraria benéfica para minha eficácia na documentação de requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UT3	Eu a consideraria benéfica para minha eficiência na documentação de requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FU1	Eu a consideraria de fácil utilização.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FU2	Eu consideraria que ela torna fácil fazer com que os requisitos fiquem documentados como desejo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FU3	Eu a consideraria de fácil aprendizado inicial.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FU4	Eu consideraria fácil atingir proficiência completa no seu uso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO1	Seu uso seria compatível com as técnicas atualmente empregadas no EB para documentação de requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO2	Seu uso seria compatível com meu próprio estilo atual de documentação de requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IU1	Eu a usaria sempre que fosse documentar requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IU2	Eu recomendaria seu uso para documentar requisitos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: adaptado de Puraó e Storey (2008).

presentes nos RO e RTLI em vigor no Exército Brasileiro, sejam suprimidas pelo uso da estruturação de linguagem natural apresentada? Se sim, quais?

- **Q 3.4** – Por favor, descreva sua percepção geral a respeito da estruturação de linguagem natural apresentada.
- **Q 3.5** – Por favor, registre aqui suas sugestões de melhoria da estruturação de linguagem natural apresentada, se existentes.

Quadro 5 – Correspondência entre os itens do questionário de avaliação naturalista e os objetivos do artefato, com descrição sintética.

Item	Objetivo	Expressão descritiva
OA1	OA1	Idioma português
OA2	OA2	Sistemas gerais
OA3	OA3	Tipos de requisitos
OA4	OA4	Não ambiguidade textual
OA5	OA5	Compleitude funcional
OA6	OA6	Não complexidade textual
OA7	OA7	Reusabilidade
OA8	OA8	Identificação estrutural
UT1	OA9	Efetividade do esforço
UT2		
UT3		
FU1	OA10	Facilidade de aplicação
FU2		
FU3		
FU4		
CO1	OA11	Compatibilidade
CO2		
IU1	—	Intenção de uso
IU2		

Fonte: o autor.

5.2.2 Execução

Nesta seção será relatado como se executou e que resultados foram obtidos a partir da avaliação naturalista planejada.

Foram convidados 13 militares para atuarem como participantes secundários na avaliação naturalista. A escolha dos profissionais foi realizada em conjunto com o Supervisor Militar⁴ da pesquisa. Os participantes advieram de seis Organizações Militares (OM), e todos possuem experiência em atividades correlatas à Engenharia de Requisitos (participação em grupos de trabalho para elaboração de requisitos de SMEM e em capacitações sobre o tema, por exemplo).

A instrução dos participantes ocorreu na manhã do dia 3 de setembro de 2024, tendo sido realizada por videoconferência, sob uso da ferramenta *Google Meet*. O pesquisador ministrou palestra de cerca de duas horas, com o seguinte sumário:

⁴ Denomina-se *Supervisor Militar* ao oficial incumbido de verificar, ao longo de toda a pesquisa, se esta se mantém consonante aos interesses do EB e aos objetivos propostos na NCE de origem (BRASIL, 2013).

- Introdução
 - Conscientização do problema
 - Estrutura metodológica da pesquisa
- Artefato
 - Objetivos do artefato
 - Uso do artefato
- Avaliação naturalista
 - Execução de tarefa
 - Operacionalização da avaliação naturalista

Ao final da palestra, os participantes puderam sanar eventuais dúvidas. Todos receberam, por *email*, arquivos digitais contendo os *slides* utilizados na palestra, uma reprodução do Apêndice C da tese, e uma versão dinâmica das regras de Estruturação de Linguagem Natural em tela, na qual os blocos constituintes contêm hiperligações às respectivas subdivisões e descritores de bloco. O *download* do arquivo compactado **Avaliação Naturalista - Pacote.zip**, disponibilizado em <<https://github.com/lmellobarbosa/reqSMEM>>, permite ao interessado o acesso aos arquivos supracitados.

A execução da tarefa e a resposta ao questionário foram assíncronas, operacionalizadas em um formulário digital com uso da ferramenta *Google Forms*. Logo na primeira tela do formulário, os participantes foram convidados a preencher seus dados pessoais e a manifestar concordância com um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Tal Termo, cujo texto encontra-se reproduzido no Apêndice D, apresenta a pesquisa, resume a avaliação naturalista, enumera os riscos aos quais os participantes estariam sujeitos e suas respectivas medidas de contenção, cita os benefícios esperados do trabalho, dispõe algumas condições gerais e registra as formas de contato com o pesquisador e o orientador.

Os participantes que aceitaram o TCLE foram remetidos à seção seguinte do formulário, na qual foram convidados a executar a tarefa de reescrever as 12 sentenças de requisitos discriminadas a seguir:

- RO da Pistola de Combate 9mm do Sistema Combatente Brasileiro - EB20-RO-04.050 (BRASIL, 2019d)
 - O comprimento total da pistola não pode ultrapassar 40 (quarenta) mm, sem acessórios.
 - Ser do tipo “de porte” e de emprego individual.

- Ser o cão encoberto pelo ferrolho ou inexistente.
- Possuir transportador com cor de alerta para facilitar a verificação quando o armamento estiver sem munição.
- RO da Viatura Blindada de Transporte Especial Média sobre Rodas 6x6 - EB70-RO-10.001 (BRASIL, 2023)
 - Possibilitar à guarnição efetuar a partida do motor da viatura, em caso de falha no conjunto principal de baterias, sem auxílio de meios externos.
 - Possibilitar à guarnição efetuar a partida do motor ou a recarga da bateria por meio de outra viatura da mesma família ou de equipamentos externos.
 - Restabelecer automaticamente a comunicação de dados, após eventual interrupção do enlace rádio.
- RTLI do Paraquedas de Salto Livre Operacional - EB20-RTLI-04.082 (BRASIL, 2022)
 - Possuir tirantes ajustáveis nas regiões: a. frontal da perna; e b. peitoral.
 - Possuir DAA pirotécnico eletrônico possibilitando a configuração do alojamento da unidade de controle do DAA abaixo e acima da aba de proteção do pino do paraquedas reserva.
- RTLI do Goniômetro Digital para o Sistema de Artilharia de Campanha - EB20-RTLI-04.079 (BRASIL, 2020d)
 - A massa do equipamento completo, considerando que ele esteja na configuração de transporte, deverá ser de, no máximo, 10 kg (dez quilogramas) e o volume total de até 50 l (cinquenta litros). O tripé deverá ser do tipo retrátil.
 - Permitir a correção da direção do norte e das coordenadas de sua posição e, de maneira automática, das coordenadas dos pontos obtidos por referência a sua própria posição.
- RTLI do Rastreador Satelital para o Sistema de Artilharia de Campanha - EB20-RTLI-04.080 (BRASIL, 2020e)
 - Todos os equipamentos e *spare parts* instalados no SMEM ou em estoque devem ter uma garantia técnica de 24 (vinte e quatro) meses, a contar da data de recebimento.

As sentenças foram escolhidas pelo pesquisador de forma a, em seu melhor juízo, serem suficientemente simples para aplicação das regras por pessoas com pouca experiência no artefato e, simultaneamente, terem complexidade ou falhas de qualidade que evidenciem

o valor do mesmo. Todas as sentenças foram acompanhadas dos títulos de capítulos e seções na qual se inserem no documento de origem, de forma a permitirem ao participante identificar o sistema, subsistema ou componente ao qual se referem.

O próprio formulário orientou os participantes em relação a certos aspectos da tarefa de reescrita de sentenças:

- Não há “resposta correta”. A estruturação permite que a mesma ideia seja expressa sob diversas formas.
- Ao serem reescritas, as sentenças poderiam ser multiplicadas em uma ou mais novas sentenças, conforme a necessidade.
- A redação original, em alguns casos, poderia ser ambígua ou permitir diversas interpretações. O participante deveria escolher a que lhe parecesse mais conveniente.
- A redação original, em alguns casos, poderia estar incompleta. O participante deveria arbitrar os dados faltantes (sem compromisso com a realidade) ou deixá-los indicados.

Após a reescrita das sentenças nos campos apropriados, o formulário eletrônico remeteu os participantes às três seções que correspondem às três partes do questionário. Nas duas primeiras páginas os avaliadores deveriam responder a questões de múltipla escolha que reproduziram o contido nas Tabelas 11 e 12. Na terceira página, houve espaço para os avaliadores responderem de forma discursiva às perguntas **Q 3.1** a **Q 3.5**, citadas ao final da Seção 5.2.1.

Por fim, os participantes secundários puderam revisar suas respostas e as enviar ao pesquisador.

5.2.2.1 Resultados

A avaliação naturalista contou com 12 respostas (um dos instruendos absteve-se de responder), recebidas entre os dias 3 e 12 de setembro de 2024. Estas encontram-se registradas, sem qualquer tratamento além da substituição dos dados pessoais dos participantes pelos identificadores P1 a P12, no arquivo *Avaliação Naturalista - Respostas.xlsx*, disponibilizado em <<https://github.com/lmellobarbosa/reqSMEM>>.

5.2.2.1.1 Questões fechadas

As categorias que correspondem às respostas possíveis às duas primeiras partes do questionário (perguntas fechadas) podem ser diretamente interpretadas como parte de uma escala ordinal (STEVENS, 1946). Assim, a sequência *DISCORDO/REDUZ* (*forte, médio, fraco*) → *NEUTRO* → *CONCORDO/AUMENTA* (*fraco, médio, forte*) traduz um

ranqueamento monotônico do desempenho do artefato no aspecto considerado. Em todos os itens constantes nas Tabelas 11 e 12, a resposta é tão mais meritória aos *boilerplates* desenvolvidos quanto mais à direita estiver (e demeritória, no sentido oposto).

O cômputo da distribuição de frequências e o cálculo de medianas são estatísticas comuns para análise de escalas ordenadas (STEVENS, 1946). Foi, portanto, julgado conveniente apresentar as respostas dos participantes às duas primeiras partes do questionário conforme o registrado nos histogramas da Figura 37. Nestes, seguindo um código de cores intuitivo, as barras correspondentes aos posicionamentos desfavoráveis ao artefato são preenchidas em tons de vermelho, e as favoráveis, em tons de verde. A posição neutra é representada pela cor amarela. Há, ainda, um intervalo azul que corresponde à região em que se situa a mediana das respostas, podendo estar no interior de uma categoria, ou em algum ponto intermediário entre duas respostas possíveis.

Da análise da Figura 37 depreende-se que os participantes tiveram uma visão positiva do artefato em praticamente todos os aspectos questionados. Visualmente, apenas os itens **FU1**, **FU3** e **FU4** foram respondidos de forma demeritória em frequência e intensidade significativas. A moda (categoria mais frequentemente respondida) está na região “verde” em praticamente todos os itens, sendo **FU4** a única exceção. Já a mediana abrange valores desfavoráveis apenas em **FU3** e **FU4**.

FU1, **FU3** e **FU4** são, de acordo com a Tabela 12, itens que questionam, respectivamente, a facilidade de utilização do artefato, seu aprendizado inicial e a possibilidade de proficiência completa. Conforme o Quadro 5, estes são aspectos relativos ao **OA9** (facilidade de aplicação).

Para um estudo de viés mais objetivo, assumiu-se que a escala empregada é, para além de ordinal, intervalar⁵. Com isso, a “distância” entre duas categorias vizinhas se mantém constante em todo o espectro de respostas, e torna-se possível empregar estatísticas descritivas baseadas em médias e variâncias, numa abordagem aritmética (STEVENS, 1946). Os sete pontos da escala de resposta foram parametrizados, obedecendo a ordenação preestabelecida, com os valores inteiros existentes entre -3 e 3. Por consequência, números negativos ficaram associados a menções desfavoráveis ao artefato, e números positivos a menções favoráveis. À categoria *NEUTRO* foi atribuído o valor 0.

A Tabela 13 registra as respostas dos participantes aos itens questionados seguindo a parametrização relatada, obedecendo a escala de cores estabelecida na Figura 37. Nesta apresentação pode-se, de forma similar à da Figura 37, perceber o predomínio de menções positivas ao artefato, com os valores negativos concentrando-se nos itens relacionados à

⁵ Em sentido estrito, escalas tipo-Likert não devem ser consideradas como intervalares. Esta é, porém, uma abordagem comum na literatura, e as estatísticas adjacentes já se mostraram robustas a esta presunção de intervalidade (NORMAN, 2010), sobretudo quando há um número grande de categorias na escala, como 7 ou 11 (WU; LEUNG, 2017).

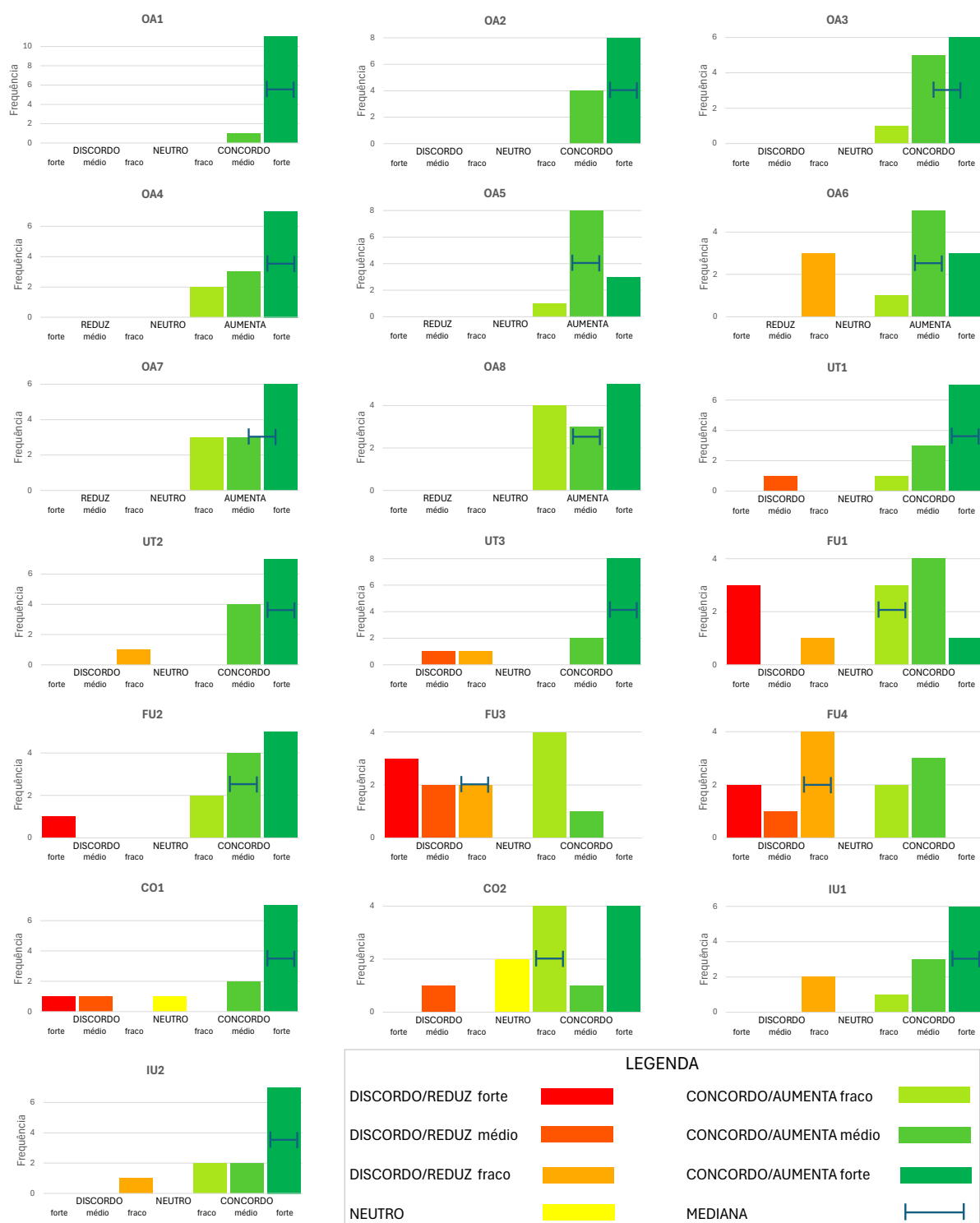


Figura 37 – Histograma das respostas em cada item objetivo do questionário de avaliação naturalista. Fonte: o autor.

sua facilidade de aplicação. A visão geral dos participantes também pode ser estudada por esta tabela: quatro dentre eles (P1, P3, P11 e P12) tiveram uma percepção muito favorável ao artefato, atribuindo apenas menções positivas aos itens; todos os demais registraram ao menos uma nota negativa, destacando-se P6, que caracterizou o conjunto de *boilerplates* de forma desfavorável em 12 das 19 oportunidades. Tal variabilidade é

indício da multiplicidade de opiniões a respeito do valor de estruturas de linguagem natural (conforme será observado na Seção 5.2.2.1.2).

Tabela 13 – Respostas parametrizadas dos participantes aos itens objetivos do questionário de avaliação naturalista.

		PARTICIPANTES											
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
ITENS	OA1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
	OA2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2
	OA3	2	3	3	2	3	1	3	3	3	2	2	2
	OA4	3	3	3	2	2	1	2	3	3	2	2	2
	OA5	2	1	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2
	OA6	2	2	3	-1	1	-1	2	2	2	-1	3	3
	OA7	3	3	3	1	2	1	1	2	3	3	3	2
	OA8	3	3	3	1	2	1	1	2	2	1	3	3
	UT1	3	3	3	2	2	-2	2	3	3	1	3	3
	UT2	3	3	3	2	3	-1	2	3	2	2	3	3
	UT3	3	3	3	2	3	-1	-2	3	2	3	3	3
	FU1	2	2	3	-1	1	-3	-3	1	1	-3	2	2
	FU2	3	3	3	1	2	-3	2	3	1	2	3	2
	FU3	2	1	1	-2	-2	-3	-3	-1	-1	-3	1	1
	FU4	2	-1	1	-1	-1	-3	-3	1	-1	-2	2	2
	CO1	3	3	3	0	3	-2	3	3	3	-3	2	2
	CO2	3	1	1	0	0	-2	2	3	1	1	3	3
	IU1	3	3	3	2	3	-1	1	3	2	-1	3	2
	IU2	3	3	3	2	3	-1	1	3	3	1	3	2

Fonte: o autor.

O grau de atendimento do artefato ao objetivo (\overline{OA}), para cada um dos objetivos do artefato, foi definido como sendo a média aritmética das menções atribuídas pelos participantes, devidamente parametrizadas, ao(s) item(s) do questionário relacionado(s) ao objetivo em tela, conforme estabelecido no Quadro 5. Qualitativamente, decidiu-se por interpretar esta métrica em três categorias: “Rejeição” (indicando a opinião geral de não atendimento do artefato ao objetivo), “Aceitação” (indicando a opinião geral de atendimento do artefato ao objetivo), e “Inconclusivo” (para situações limítrofes). Os intervalos de \overline{OA} correspondentes a cada uma das categorias encontra-se registrado na Tabela 14. A opção por manter a faixa inconclusiva equivalente em tamanho às demais foi motivada pela presunção de intervalidade da escala: a amplitude do campo neutro pode mitigar eventuais imprecisões oriundas da simplificação.

Outra métrica de interesse é o índice de concordância interavaliadores ($r_{WG(J)}$), o mais comumente empregado para mensurar o nível de consenso em escalas Likert e tipo-Likert (O’NEILL, 2017). Matematicamente, $r_{WG(J)}$ é definido da seguinte forma (JAMES; DEMAREE; WOLF, 1984):

$$r_{WG(J)} = \frac{J \left(1 - \frac{\overline{s_j^2}}{\sigma_{EU}^2} \right)}{J \left(1 - \frac{\overline{s_j^2}}{\sigma_{EU}^2} \right) + \frac{\overline{s_j^2}}{\sigma_{EU}^2}} \quad (5.9)$$

onde J é o número de itens relacionados ao aspecto de interesse (cada objetivo do artefato, na pesquisa em tela), s_j^2 é a variância dos valores atribuídos ao j -ésimo item, $\overline{s_j^2}$ é a média aritmética das J variâncias s_j^2 , e σ_{EU}^2 é a variância de uma distribuição nula de valores, tida como aleatória.

Tabela 14 – Interpretação qualitativa do grau de atendimento do artefato ao objetivo, em avaliação naturalista.

GRAU DE ATENDIMENTO AO OBJETIVO (\overline{OA})		
$-3 \leq \overline{OA} < -1$	$-1 \leq \overline{OA} \leq 1$	$1 < \overline{OA} \leq 3$
Rejeição	Inconclusivo	Aceitação

Fonte: o autor.

O índice de concordância interavaliadores tem valor máximo igual 1 (consenso absoluto), quando todos os avaliadores dão a mesma nota em cada item do aspecto analisado ($s_j^2 = 0$, para todo j); e valor 0 quando os valores se distribuem aleatoriamente ($\overline{s_j^2} = \sigma_{EU}^2$).

Uma noção mais intuitiva de $r_{WG(J)}$ é obtível quando se observa o caso $J = 1$ (objetivo do artefato ligado a um único item do questionário, como ocorre do **OA1** ao **OA8**):

$$r_{WG(1)} = 1 - \frac{s^2}{\sigma_{EU}^2} \quad (5.10)$$

A escolha da distribuição nula depende do caso estudado, mas a mais empregada é a distribuição retangular ou uniforme (O'NEILL, 2017), com cada categoria dentre as respostas sendo votada por um número igual de avaliadores, o que leva a:

$$\sigma_{EU}^2 = \frac{A^2 - 1}{12} \quad (5.11)$$

onde A é o número de pontos da escala tipo-Likert em análise. Para $A = 7$, como na pesquisa em tela, $\sigma_{EU}^2 = 4$.

Deve-se observar que o cálculo de $r_{WG(J)}$ pode levar a valores negativos, quando $\overline{s_j^2}$ excede σ_{EU}^2 . Tal situação indica que as respostas dos avaliadores não são exatamente aleatórias, mas dirigem-se a uma distribuição bimodal, com a formação de grupos de notas nos extremos da escala (O'NEILL, 2017). Neste trabalho, essa ocorrência foi denominada “Dissenso”.

A Tabela 15 fornece uma interpretação qualitativa de $r_{WG(J)}$, a partir das sugestões de LeBreton e Senter (2007). Estes categorizaram a concordância interavaliadores entre “Inexistente” e “Muito Forte”. Optou-se por adicionar a classificação “Dissenso”, para quando $r_{WG(J)} < 0$. Destaque-se que o valor de $r_{WG(J)}$ em cada objetivo do artefato, por si só, não lhe é nem meritório, nem demeritório, mas pode fornecer informações valiosas para a compreensão do comportamento do conjunto de *boilerplates* nos diversos aspectos abordados.

Tabela 15 – Interpretação qualitativa do índice de concordância interavaliadores, em avaliação naturalista.

ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA INTERAVALIADORES ($r_{WG(J)}$)				
$r_{WG(J)} < 0$				
Dissenso				
$0 \leq r_{WG(J)} \leq 0,3$	$0,3 < r_{WG(J)} \leq 0,5$	$0,5 < r_{WG(J)} \leq 0,7$	$0,7 < r_{WG(J)} \leq 0,9$	$0,9 < r_{WG(J)} \leq 1$
Inexistente	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte

Fonte: adaptado de LeBreton e Senter (2007)

Calculou-se o valor de \overline{OA} e $r_{WG(J)}$ para cada um dos objetivos do artefato e para a intenção de uso, a partir dos dados da Tabela 13. Para $r_{WG(J)}$, foi empregada a distribuição uniforme como a aleatória. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 – Desempenho do artefato no atendimento aos objetivos, em avaliação naturalista.

Objetivo	Expressão descritiva	\overline{OA}	$r_{WG(J)}$
OA1	Idioma português	2,9	0,98
OA2	Sistemas gerais	2,7	0,94
OA3	Tipos de requisitos	2,4	0,89
OA4	Não ambiguidade textual	2,4	0,84
OA5	Completo funcional	2,2	0,92
OA6	Não complexidade textual	1,4	0,39
OA7	Reusabilidade	2,3	0,81
OA8	Identificação estrutural	2,1	0,80
OA9	Efetividade do esforço	2,2	0,72
OA10	Facilidade de aplicação	0,3	0,24
OA11	Compatibilidade	1,5	0,22
—	Intenção de uso	2,0	0,68

Fonte: o autor.

Os valores de \overline{OA} indicam que o desempenho do conjunto de *boilerplates* analisado se mostrou adequado em todos os objetivos avaliados, à exceção do **OA10**, para o qual o resultado foi inconclusivo. Os itens **FU1**, **FU3** e **FU4**, todos relativos à facilidade de aplicação do artefato, já haviam se mostrado frequentemente percebidos de forma negativa pelos participantes, como foi tratado na análise da Figura 37, atestando esta oportunidade de melhoria na estruturação construída.

As possíveis dificuldades de aprendizado e utilização, porém, não são exclusividade do produto desta pesquisa, dentre as estruturações de linguagem natural para documentação de requisitos. Em estudo recentemente publicado, Großer et al. (2024) registraram que 27 dentre 43 avaliadores (63%) consideraram o esforço de aprendizado de documentação de requisitos conforme o EARS [A.03] “Alto” ou “Muito Alto”, e que 79% dos avaliadores deram resposta similar quando apresentados ao MASTER [A.43]. À afirmação “*Leva muito tempo para aprender a escrever requisitos usando ...*”, 47% dos participantes manifestaram concordância (forte ou parcial) em consideração ao EARS e 74% para o MASTER. Os números variaram entre 37% e 56% de respostas desfavoráveis a tais conjuntos de *boilerplates*, bastante reconhecidos e empregados na indústria, no que tange à facilidade de utilização dos mesmos.

A inconclusão no resultado de **OA10**, portanto, pode ser relativizada pela análise conjunta com sua razão de existência: o Modelo de Aceitação de Tecnologia. Conforme tratado na Seção 4.1, Os **OA9**, **OA10** e **OA11** se destinam a aumentar a probabilidade de adoção do artefato por novos usuários. E o $\overline{OA} = 2,0$ para a Intenção de uso comprova que, mesmo sob eventuais dificuldades, os usuários, em geral, estão dispostos a utilizar a estruturação de linguagem natural em tela e mesmo a recomendar sua utilização.

Outro aspecto a ser observado na Tabela 16 é que os avaliadores apresentaram algum grau de concordância em todos os objetivos do artefato, à exceção dos **OA10** e **OA11**. Não houve Dissenso, e mesmo concordâncias classificadas como Fracas são significativas, dado o número reduzido de avaliadores e itens por aspecto avaliado (LEBRETON; SENTER, 2007). Questões relativas ao **OA10** foram tratadas nos parágrafos anteriores. Em atenção ao aspecto da compatibilidade, cabe ressaltar que, principalmente o item **CO2**, é resultado de uma visão essencialmente pessoal do participante. Conforme a Tabela 12, este questiona se o uso dos *boilerplates* “*seria compatível com meu próprio estilo atual de documentação de requisitos*”, o que decerto leva à variabilidade entre as opiniões, dado que, na ausência de uma padronização imposta, cada usuário desenvolve seu próprio estilo. Mesmo o item **CO1**, que trata de compatibilidade com “*as técnicas atualmente empregadas no EB*”, sofre efeitos interpretativos, considerando a informalidade dos métodos atuais de Engenharia de Requisitos na instituição.

Com isso, pode-se considerar que os valores de $r_{WG(J)}$ mantiveram-se, em geral, dentro de parâmetros aceitáveis.

5.2.2.1.2 Questões abertas

Conforme previsto, as questões fechadas foram complementadas por cinco questões abertas, identificadas de **Q 3.1** a **Q 3.5**, explicitadas ao final da Seção 5.2.1. Tais perguntas compuseram a 3ª parte do questionário.

Dada a natureza das perguntas e propostas, houve grande quantidade de respostas abstinentes, no sentido da ausência de destaque a elementos específicos. Segue a síntese, sem compromisso com a reprodução exata das palavras, das percepções e opiniões não nulas dos participantes (indicados entre colchetes), em cada aspecto abordado:

- **Q 3.1** - Gêneros de requisitos impossíveis de redigir dentro das regras do artefato:
 - Requisitos que tratem de capacidades requeridas para os diferentes tipos de *stakeholders* [P4]
- **Q 3.2** - Gêneros de defeitos de requisitos não preveníveis pelo uso do artefato:
 - Inviabilidade técnica [P2]
 - Número excessivo de requisitos [P2]
 - Inconsistência (no conjunto de requisitos) [P2,P4]
 - Atribuição de nível sistêmico errado [P4]
 - Ambiguidade (considerada a impossibilidade de eliminá-la completamente) [P7]
- **Q 3.3** - Informações normalmente encontradas nos requisitos do EB suprimidas pelo uso do artefato:
 - Informações associadas às condições adversas enfrentadas pelo sistema e à área operacional na qual será empregado (que migrariam para o Glossário) [P2,P5]
 - Especificações técnicas [P12]
- **Q 3.4** - Percepções gerais:
 - O artefato diminui a probabilidade de ocorrências de defeitos na documentação dos requisitos [P1,P3,P8]
 - O artefato facilita a verificação e o reuso de requisitos [P2]
 - O artefato exige um longo tempo de aprendizado para sua utilização [P4,P5,P7,P9,P10]
 - O artefato é de maior utilidade apenas em casos complexos [P6]
- **Q 3.5** - Sugestões de melhoria:
 - Definição explícita de o que deve constar em RO e o que deve constar em RTLI [P4]

- Elaboração de uma forma de visualização direta da relação dos elementos do diagrama sintético com os blocos constituintes [P4,P7]
- Utilização de ferramentas computacionais (especialmente de inteligência artificial) para criação e verificação de sentenças conformes às regras [P6,P9,P12]
- Fornecimento de um banco de exemplos de sentenças conformes ao artefato [P7]
- Elaboração de uma versão simplificada da estruturação, com menor detalhamento das regras [P10,P12]
- Elaboração de material de instrução em plataforma institucional (EBAula) [P12]

Observa-se, em âmbito geral, a confirmação do testemunhado nas questões fechadas: o artefato foi bem aceito, diminui a probabilidade de produção de orações defeituosas e estimula a verificação e o reuso dos requisitos. Suprime das sentenças informações excessivamente detalhadas — remetendo-as ao Glossário — e mitiga o risco de imposição de soluções (especificações técnicas). Sua complexidade, porém, introduz dificuldades ao aprendizado.

Algumas das sugestões para atenuar as dificuldades de aprendizado podem ser aproveitadas em possíveis desdobramentos da presente tese. Caso a instituição decida por adotar o artefato, as escolhas pedagógicas para capacitação dos usuários poderão abarcar o uso do EBAula, a disponibilização de banco de dados de exemplos (propõe-se o conjunto das sentenças utilizadas na avaliação artificial como base) e mesmo a introdução da estruturação em níveis — começando pela decomposição das sentenças apenas em seus níveis superiores, e deixando livres as restrições impostas pelos níveis mais avançados, dentro da sistematicidade do artefato (o que corresponde ao pedido de versão simplificada do mesmo). Destaca-se que eventuais capacitações deverão tratar não apenas do uso de *boilerplates*, mas também de elementos gerais da engenharia de requisitos. O atendimento a esta assertiva poderia sanar diversas dúvidas dos usuários, como a que surgiu a respeito da necessidade de padronização para todas as sentenças de requisitos, incluindo os pouco complexos.

Foi igualmente notado pelos participantes que a estruturação de linguagem natural construída não é, por si só, capaz de prevenir todo o tipo de defeitos em requisitos. Como foi discutido na Seção 3.4.4, os artefatos similares ao que ora é estudado se dirigem, majoritariamente, a atributos de qualidade como a não ambiguidade, a completude, a consistência (individual), a compreensibilidade e a reusabilidade. Requisitos inviáveis, em quantidade excessiva, inconsistentes (em visão de conjunto) e postos sob o nível sistêmico errado ainda são possíveis de serem redigidos em sentenças sintaticamente perfeitas, o que não é uma falha do conjunto de *boilerplates*, mas uma característica do nível de

formalismo do método de documentação⁶. Sem uma documentação completamente formal (acompanhada de suas limitações inerentes), torna-se impossível impedir a ocorrência desses problemas, ou mesmo assegurar a não ambiguidade absoluta das sentenças.

Fogem do escopo desta pesquisa, mas se mostram interessantes para melhor aproveitamento de seus produtos, as sugestões relacionadas ao desenvolvimento de plataformas computacionais, com ou sem uso de inteligência artificial, para criação e verificação de sentenças de requisitos, bem como de visualização interativa do sistema formado pela estruturação de linguagem natural. Na esfera gerencial, também se ressalta a sugestão de definição explícita das diferenças que devem haver entre os RO e RTLI, com critérios objetivos que permitissem, por exemplo, identificar o documento correto para registro das capacidades a serem adquiridas pelos *stakeholders*.

5.2.2.2 Conclusão parcial

Do processo realizado nesta avaliação naturalista, pode-se notar que avaliadores independentes, profissionais experimentados na engenharia de requisitos, consideraram que o conjunto de *boilerplates* analisado é expresso no idioma português (**OA1**), aplicável a requisitos de sistemas gerais (**OA2**), e a todos os tipos de requisitos — funcionais, de qualidade, e restrições (**OA3**). Em comparação com a ausência do artefato, foram de parecer que ele produz sentenças menos ambíguas (**OA4**), de maior completude funcional (**OA5**), menor complexidade textual (**OA6**), e mais reutilizáveis (**OA7**). Julgaram que ele contribui para a imediata identificação estrutural dos termos constituintes dos requisitos por ele documentados (**OA8**). O tiveram como um reforçador da efetividade do esforço dos usuários (**OA9**) e como compatível com as práticas atuais de documentação de requisitos no EB (**OA11**).

A avaliação da facilidade de aplicação (**OA10**) restou inconclusiva.

Conclui-se parcialmente, portanto, que a estruturação de linguagem natural construída, em avaliação naturalista, foi capaz de demonstrar cumprimento a 10, dos 11 objetivos do artefato, com desempenho satisfatório.

5.3 Conclusão da avaliação

A avaliação do artefato visou comprovar sua capacidade de atendimento aos objetivos elencados na Seção 4.1. Optou-se por realizar tal tarefa em duas etapas complementares: uma avaliação artificial, realizada por modelagem e simulação; e uma avaliação naturalista, baseada na percepção de possíveis usuários a respeito do produto.

⁶ A classificação dos métodos de documentação em formais, semiformais e informais é explicitada ao longo da Seção 2.2.3.1.

É interessante ressaltar que a DSR é um método de pesquisa que se ocupa da prescrição de soluções satisfatórias, suficientemente apropriadas ao contexto do problema, viáveis, e não necessariamente correspondentes a soluções ótimas, idealizadas (HEVNER et al., 2004; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Com isso, eventuais imperfeições encontradas na avaliação devem ser analisadas criticamente, podendo-se mesmo propor seu uso com ressalvas ou recomendar melhorias para futuras versões.

Nesse cenário, a união das conclusões parciais de ambas as etapas avaliativas resulta na obtenção de evidências objetivas de atingimento a todos os objetivos do artefato, do **OA1** ao **OA11**, à exceção do **OA10**. Este, relacionado à facilidade de aplicação do produto, não foi alvo de exame na avaliação artificial e teve resultado inconclusivo na contraparte naturalista. Em análise crítica, porém, nota-se que a eventual necessidade de esforço para aprendizado da técnica prescrita não foi capaz de desmotivar o público interessado em sua adoção, posto o resultado positivo encontrado para a intenção de uso.

Conclui-se que a estruturação de linguagem natural construída cumpre satisfatoriamente com as exigências dos objetivos do artefato. Esta apresenta-se como uma solução robusta, capaz de atender às demandas de documentação de requisitos de SMEM, adequada à utilização no EB, promotora de práticas recomendadas por entidades profissionais, e de provável aceitação pelos usuários.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho intencionou desenvolver uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM, adequada aos interesses do EB. Para tanto, fez uso dos paradigmas da *Design Science Research*.

O esforço de desenvolvimento do artefato iniciou-se pela definição precisa do problema, questões e objetivos da pesquisa (Seções 1.1 a 1.3). Em seguida, a relevância da tarefa nos ambientes acadêmico, industrial e governamental brasileiro foi explicitada na Justificativa (Seção 1.4). Os alicerces teóricos mais fundamentais para compreensão dos fenômenos estudados foram elencados no Capítulo 2; ao passo que o Capítulo 3 trouxe uma revisão integrativa de literatura, que formou um catálogo de conjuntos de *boilerplates*, comprovou o ineditismo da estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos em língua portuguesa, e revelou as práticas mais correntes de apresentação, construção e avaliação de artefatos similares ao pretendido. Como fruto dessas etapas iniciais, pôde-se relacionar os objetivos do artefato a ser construído (Seção 4.1) e, a partir daí, projetá-lo. A tese relata como, inicialmente, tentou-se construí-lo por métodos de codificação verbal (Seção 4.2.1), mas, considerando as limitações das ferramentas necessárias em língua portuguesa, o esforço só se mostrou frutuoso por intermédio do desenvolvimento por catálogo de soluções (Seção 4.2.2). O resultado encontra-se registrado no Apêndice C e na Subseção 4.2.2.5, a qual termina destacando como regras de boa escrita de requisitos, sugeridas pela INCOSE, são observadas pelo uso do artefato, acrescentando análise de sua modularidade. A Seção 4.3 demonstra a estruturação desenvolvida, aplicando-a na reescrita de 38 sentenças advindas dos RO da Pst COBRA. O Capítulo 5 trata da avaliação do artefato, dividida em duas etapas: avaliação artificial e avaliação naturalista. Para a avaliação artificial (Seção 5.1), foi definido um modelo matemático, baseado na gramática de dependências, e, dentro deste modelo, três métricas de complexidade textual relacionadas à qualidade das sentenças de requisitos. A comparação estatística entre os valores destas métricas em 262 sentenças conforme originalmente publicadas, com os valores encontrados para as mesmas sentenças, agora reescritas de acordo com as regras propostas, demonstrou como o artefato satisfaz objetivos relativos à complexidade textual e à ambiguidade, além de outros objetivos indiretamente observados. A segunda parte do mesmo Capítulo relata o planejamento, a execução e os resultados da avaliação naturalista (Seção 5.2). Nesta, 12 profissionais, após instrução sobre o uso da estruturação avaliada e execução da tarefa de reformulação de 12 sentenças de requisitos, responderam a um questionário com perguntas fechadas e abertas relacionadas aos objetivos do artefato e suas percepções sobre o mesmo. Do tratamento das respostas, observou-se que o artefato cumpre satisfatoriamente todos os objetivos, à exceção do relativo à facilidade de uso, que

restou inconclusivo. Tal oportunidade de melhoria, porém, não impediu os participantes de manifestarem-se positivamente com relação à intenção de uso do artefato, caso venha a ser adotado.

6.1 Comunicação

A difusão do conhecimento obtido na pesquisa a outros pesquisadores, profissionais da área e audiência de interesse é prática obrigatória na DSR, como se viu na Subseção 1.5.2. No trabalho ora apresentado, esta tarefa se executa, majoritariamente, pela redação da tese e pela redação de artigos.

A redação da tese buscou, tanto quanto possível, registrar de forma pormenorizada e completa a execução do processo Peffers, a fundamentação teórica empregada e as características do artefato desenvolvido. Evidencia-se, assim, o rigor científico e a preocupação com a repetibilidade e reprodutibilidade da pesquisa, que poderá ser aproveitada tanto para evolução dos *boilerplates* propostos, quanto para aplicação em classes de problemas semelhantes.

No decorrer da pesquisa, foram publicados dois *papers* ligados a etapas desenvolvidas ao longo da trabalho.

O primeiro desses *papers* trata de um artigo, publicado na GeSec - Revista de Gestão e Secretariado, em agosto de 2023, indexado nas bases de dados Web of Science e Dimensions, entre outras (BARBOSA; CERQUEIRA; CUNHA, 2023). O artigo versa a respeito da revisão integrativa de literatura sobre *boilerplates* de requisitos, conforme registrada no Capítulo 3.

O segundo *paper* foi apresentado no 34th *INCOSE International Symposium*, em 3 JUL 24. Este disserta sobre a utilização do CMD como métrica de qualidade de requisitos redigidos no idioma inglês, demonstrando sua sensibilidade, alinhamento com as expectativas do usuário e possibilidade de automatização (BARBOSA et al., 2024). Ressalte-se que o simpósio em tela corresponde a um dos principais, senão o principal, evento anual sobre Engenharia de Sistemas e Engenharia de Requisitos.

Os dados obtidos na execução das avaliações artificial e naturalista, sem tratamento, bem como o acervo documental fornecido aos participantes da avaliação naturalista, encontram-se disponibilizados para *download* na plataforma GitHub <<https://github.com/lmellobarbosa/reqSMEM>>. Com isso, os interessados podem tanto reproduzir os resultados encontrados, quanto ter um banco de dados de 434 sentenças conformes à estruturação construída, quanto consultar uma versão eletrônica, dinâmica, do disposto no Apêndice C.

De forma acessória, a disseminação de informações relativas à Engenharia de

Sistemas e à Engenharia de Requisitos também ocorreu mediante a participação do autor como instrutor em disciplinas internas e externas ao IME, a saber:

- “*Fundamentos de Engenharia de Sistemas e de Formulação Conceitual na Gestão do Ciclo de Vida de SMEM*” — disciplina eletiva, ministrada no âmbito do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu*, da ECEME, entre 7 e 10 NOV 22. Instrutor nos assuntos “*Sistemas e Pensamento Sistêmico*” e “*Engenharia de Requisitos*”.
- “*Introdução à Engenharia de Sistemas*” — unidade didática ministrada no âmbito do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais - QEM, da EsAO, no segundo período de 2023. Preparação de material didático e videoaulas nos assuntos “*Introdução à Ciência dos Sistemas*” e “*Conceitos básicos de Engenharia de Requisitos*”.
- “*Tópicos especiais em Engenharia de Sistemas*” — monitor da disciplina homônima, ministrada no âmbito do PGED, no IME, no segundo período de 2023.
- “*Engenharia de Sistemas*” — disciplina ministrada no âmbito do C Fm / Eng Prod, do IME, no primeiro período de 2024. Instrutor nos assuntos “*Introdução à Ciência dos Sistemas*” e “*Introdução à Engenharia de Requisitos*”.

6.2 Limitações

Como todo trabalho científico, a presente pesquisa apresenta limitações que podem afetar sua repetibilidade, reprodutibilidade, e generalização dos resultados. Algumas dessas principais limitações são discutidas a seguir.

Na revisão de literatura, a liberdade investigativa da ILR, que perscruta fontes de literatura cinza e publicações não revisadas por pares, obrigou a adoção de ferramentas *ad hoc* para a coleta e seleção de trabalhos. Com isso, ainda que abrangente, dificilmente a pesquisa é exaustiva no seu elenco de conjuntos de *boilerplates* publicados. Mesmo artigos relevantes, originalmente presentes dentre os 1952 trabalhos encontrados nas bases de dados acadêmicas, podem ter sido suprimidos na sequência de filtragens posteriores, por conta da aplicação dos critérios de exclusão. Assim, é possível que haja estruturações de linguagem natural para documentação de requisitos, disponíveis publicamente, mas ausentes do rol disposto no Apêndice A.

Ainda dentro da ILR, o agrupamento dos métodos de avaliação baseou-se na classificação dos trabalhos em algumas dimensões taxonômicas. Essa classificação foi feita pelo autor, baseada em sua própria percepção dos manuscritos, não sendo imune a falhas. Também subjetiva, ainda que com coerências preservadas e explicadas, foi a parametrização numérica para as classificações de cada dimensão (Figura 16). Resta, daí, a possibilidade

de que os dendrogramas de agrupamento, com seus *clusters* e respectivos métodos típicos, sejam divergentes entre pesquisadores que busquem reproduzir o relatado nesta tese.

A técnica de construção do artefato empregada, baseada no catálogo de soluções, mesmo que promotora de metodização da geração e análise de ideias, não elimina completamente a subjetividade inata à criatividade humana. Outros pesquisadores, ainda que partindo do mesmo inventário de *boilerplates* publicados, poderiam escolher soluções diferentes para os diversos níveis sintáticos selecionados pelo autor na composição da estruturação descrita no Apêndice C. Com isso, o resultado final e as características do artefato seriam certamente díspares do aqui relatado. A criteriosa redação dos descritores de bloco, incluindo suas justificativas, busca registrar o porquê das diversas escolhas feitas pelo autor, mitigando esta deficiência.

As sentenças originais, que compõem a amostragem utilizada na avaliação artificial, são oriundas de 269 requisitos referentes a cinco SMEM. Esses SMEM representam domínios de aplicação tão diversos quanto armamento leve, viaturas, material de intendência e eletrônicos, mas não exaurem todas as classes de material ora em uso no EB. É, portanto, possível que a generalização dos resultados seja dificultada para alguns gêneros de sistemas militares não estudados nesta pesquisa.

Desde a demonstração do artefato é frisado que os *boilerplates* permitem que a mesma ideia seja expressa sob diversas formas diferentes, todas corretas. Daí, o artifício avaliativo da reescrita de sentenças fica sujeito a flutuações, em função do redator e do momento da atividade. Com isso, eventuais repetições e reproduções da tarefa podem levar a variações nas informações dadas pelas métricas matemático-linguísticas.

Por último, no que tange à avaliação naturalista, o número de participantes secundários (12 respondentes, experientes em engenharia de requisitos) pode ser considerado pequeno, quando comparado ao muito maior número e variedade de eventuais usuários do artefato. A amostragem se mostrou viável à obtenção de impressões gerais, em uma primeira aplicação da estruturação desenvolvida em ambiente real. Seu tamanho e homogeneidade, porém, são fatores deletérios à extrapolação absoluta dos resultados obtidos.

6.3 Propostas para trabalhos futuros

A presente pesquisa teve resultados relevantes ao desenvolver uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM ao Exército Brasileiro, abordando tanto a construção quanto a avaliação do artefato proposto. Evidenciam-se, contudo, oportunidades significativas de expansão do trabalho em diversas direções, seja para maior compreensão dos fenômenos estudados, seja para evoluir o próprio artefato, seja para viabilizar sua adoção prática. Seguem-se algumas propostas para aproveitamento do êxito obtido.

A ILR presente no Capítulo 3 pode ser continuamente atualizada. Conforme se depreende do exame das publicações listadas no Apêndice A, o desenvolvimento de conjuntos de *boilerplates* é um campo ativo na indústria e no meio acadêmico, devendo ser acompanhado com atenção para manter atual o conhecimento deste cenário. Há possibilidade, ainda, de perfazer diversas análises que não foram abordadas no texto, como a da popularidade das diversas estruturas (obtenível, por exemplo, a partir do número de citações de cada trabalho) e da modularidade (como definida no parágrafo 4.2.2.5.1) de cada um dos artefatos congêneres.

Também se mostra conveniente a expansão do modelo matemático-linguístico empregado na avaliação artificial. Para além do CMD, da CIM, e da DHM, a complexidade sintática das sentenças de requisitos pode ser mensurada mediante outras métricas que fazem uso da gramática de dependências e da gramática de constituintes, como os índices de Yngve (YNGVE, 1960) e Frazier (FRAZIER, 1985).

Um dos *papers* publicados durante a pesquisa tratou da aplicação do CMD a um conjunto de 1764 sentenças de requisitos no idioma inglês (BARBOSA et al., 2024). O esforço pode ser continuado, aplicando-se as demais métricas estudadas (CIM e DHM), e outras mais, ao mesmo grupo de sentenças, visando atestar a sensibilidade, o alinhamento e a possibilidade de automação também dessas métricas.

Trabalhos como os de Condamines e Warnier (2016) e Großer et al. (2024) estudaram a relação entre *boilerplates*, boas práticas de redação, e fatores de qualidade em requisitos. Mostra-se interessante aproveitar as técnicas e procedimentos empregados por esses autores, para investigar o efeito da estruturação de linguagem natural em tela no seguimento às regras de escrita de requisitos sugeridas pelo GtWR (INCOSE, 2023) — resumidas no Anexo A — visando comprovar estatisticamente o valor do artefato por este ângulo.

Uma das oportunidades de melhoria encontradas na avaliação do artefato se refere à complexidade do processo de aprendizado. Nesse sentido, uma linha de pesquisa futura poderia explorar o desenvolvimento de materiais didáticos e ferramentas de suporte que facilitem o treinamento dos usuários. A introdução de módulos didáticos em plataformas digitais, como o EBAula, e a disponibilização de um banco de exemplos práticos podem reduzir essa barreira e tornar o artefato mais acessível. Além disso, a criação de versões simplificadas da estruturação, que abordem apenas os níveis superiores das regras, poderia proporcionar um ponto de partida mais amigável para os interessados.

Outro fator a ser explorado é o desenvolvimento de ferramentas computacionais, que poderiam ser aplicadas tanto para a criação, quanto para a verificação automática de sentenças, dentro das regras do artefato. O uso de inteligência artificial para automação desses processos seria uma inovação relevante, uma vez que permitiria aumentar a eficiência no uso da estruturação, especialmente em contextos onde um grande volume de requisitos precisa ser processado. O desenvolvimento de interfaces gráficas interativas também pode

auxiliar na visualização das relações entre as expressões-chave, os marcadores de posição, e os blocos constituintes, contribuindo para uma melhor compreensão do artefato por parte dos usuários.

Finalmente, a generalização da solução pode ocorrer por intermédio de sua adaptação a outros domínios além do militar. A estruturação proposta foi desenvolvida especificamente para atender às necessidades do Exército Brasileiro, mas ela possui potencial para ser aplicada em contextos mais amplos, como no mercado aeroespacial, indústrias de alta tecnologia, sistemas de sistemas, e saúde, onde a documentação precisa e eficiente de requisitos também é crucial. A customização e avaliação do conjunto de *boilerplates* em outros ambientes podem ampliar seu uso e validar sua versatilidade.

6.4 Conclusão final

Para conclusão final do que foi exposto ao longo desta tese, é salutar retornar aos elementos de definição da pesquisa que ela relata (Seções 1.1 a 1.3), a fim de se certificar de que os objetivos foram cumpridos, as questões respondidas, e que o problema foi mitigado.

Seguindo os objetivos específicos da pesquisa, construiu-se e avaliou-se uma estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de SMEM. Os resultados indicaram que ela cumpre as condições de ser expressa no idioma português; ser aplicável a requisitos de sistemas gerais, sejam requisitos funcionais, de qualidade, ou restrições; minimizar o risco de produção de sentenças ambíguas, incompletas, sintaticamente complexas ou não reutilizáveis; facilitar a identificação estrutural dos termos constituintes; reforçar a efetividade de esforço de usuários militares do EB e lhes ser compatível com a prática atual. Percebe-se, daí, que o objetivo geral de desenvolver um artefato desta natureza, adequado aos interesses do Exército Brasileiro, foi cumprido.

As questões secundárias de pesquisa tratam da construção e avaliação de estruturações de linguagem natural. Na Revisão Integrativa de Literatura foram elencados sete métodos de construção de *boilerplates* e 28 formas de avaliação. Para consecução do trabalho, foi escolhido o método de construção por catálogo de soluções e, para a avaliação, duas abordagens complementares: uma avaliação artificial (pela mensuração de características do artefato em um modelo matemático-linguístico) e uma avaliação naturalista (pela análise das percepções de um grupo de usuários típicos). Como consequência das atividades necessárias à resposta das duas questões secundárias, atende-se à demanda principal: os componentes que definem uma solução satisfatória para estruturação de linguagem natural, no contexto em tela, são as expressões-chave e os marcadores de posição discriminados no Apêndice C, articulados conforme as regras sistêmicas presentes no mesmo Apêndice.

Por fim, foge das possibilidades desta pesquisa a imposição, por ela mesma, de seu produto como elemento normativo para o EB. Ela cumpre, porém, um papel fundamental,

fornecendo à instituição uma alternativa satisfatória de estruturação de linguagem natural para documentação de SMEM. O artefato oferecido pode, assim, ser utilizado pela Força Terrestre para solução ao problema de pesquisa enfrentado, contribuindo para que os requisitos sejam melhor documentados, para que os SMEM sejam mais perfeitamente obtidos, e para que o País tenha condições mais favoráveis de defender sua soberania na geopolítica global.

REFERÊNCIAS

- ABAR, S.; THEODOROPOULOS, G. K.; LEMARINIER, P.; O'HARE, G. M. Agent based modelling and simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, v. 24, p. 13–33, maio 2017. ISSN 1574-0137.
- AEROSPACE VEHICLE SYSTEMS INSTITUTE. *Exponential Growth of System Complexity*. 2022. System Architecture Virtual Integration. Disponível em: <<https://savi.avsi.aero/about-savi/savi-motivation/exponential-system-complexity/>>. Acesso em: 01 out. 2022.
- AINSWORTH, S. The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, Wiley, v. 27, n. 4, p. 669–681, ago. 2003. ISSN 0364-0213.
- ALTURKI, A.; GABLE, G. G.; BANDARA, W. A Design Science Research roadmap. In: JAIN, H.; SINHA, A. P.; VITHARANA, P. (Ed.). *Service-Oriented Perspectives in Design Science Research - 6th International Conference. DESRIST 2011*. Milwaukee: Springer, 2011. p. 107–123. ISBN 978-3-642-20633-7.
- ANTÓNIO, B.; CASTRO, S.; SILVA, J.; COSTA, F. *CINTIL DepBank Handbook: Design options for the representation of grammatical dependencies*. Lisboa, 2011. Ferramenta eletrônica disponível em: <<https://portulanclarin.net/workbench/lx-depparser/>>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- APAZA, R. D. G.; BARRIOS, J. E. M.; BECERRA, D. A. I.; QUISPE, J. A. H. Ers-tool: hybrid model for software requirements elicitation in spanish language. In: *Proceedings of the International Conference on Geoinformatics and Data Analysis*. [S.l.]: ACM, 2018. (ICGDA '18), p. 27–30.
- 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.
- BANJANOVIC, E. S.; OSBORNE, J. W. Confidence intervals for effect sizes: Applying bootstrap resampling. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, University of Massachusetts Amherst, v. 21, n. 5, 2016. ISSN 1531-7714.
- BARBOSA, L. M.; CERQUEIRA, C. S.; CUNHA, A. E. C. Natural language requirements boilerplates: an integrative literature review. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, South Florida Publishing LLC, v. 14, n. 8, p. 13444–13476, ago. 2023. ISSN 2178-9010.
- BARBOSA, L. M.; OLIVEIRA, I. C. A.; CERQUEIRA, C. S.; CUNHA, A. E. C. Mean dependency length — a new metric for requirements quality. *INCOSE International Symposium*, Wiley, v. 34, n. 1, p. 1021–1035, jul. 2024. ISSN 2334-5837.
- BASKERVILLE, R.; KAUL, M.; PRIES-HEJE, J.; STOREY, V. Inducing creativity in design science research. In: TULU, B.; DJAMASBI, S.; LEROY, G. (Ed.). *Extending the Boundaries of Design Science Theory and Practice. DESRIST 2019*. Cham: Springer, 2019. p. 3–17.

BASKERVILLE, R.; KAUL, M.; STOREY, V. C. Establishing reliability in Design Science Research. In: *38th International Conference on Information Systems (ICIS 2017). Transforming Society with Digital Innovation*. Seul: Association for Information Systems (AIS), 2017. p. 1688–1705. ISBN 978-1-5108-5369-0.

BIRD, S. *Dependency Parsing*. 2015. GitHub. Disponível em: <<https://github.com/nltk/nltk/wiki/Dependency-Parsing>>. Acesso em: 08 abr. 2024.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. *Systems Engineering and Analysis*. 5. ed. Londres: Pearson Education, 2013. ISBN 978-1-2920-2597-1.

BOCK, D. E.; BULLARD, F.; VELLEMAN, P. F.; VEAUX, R. D. D. *Stats: Modeling the world*. 6. ed. Hoboken: Pearson Education, 2023. ISBN 978-0-1376-8539-4.

BODE, H. W. The systems approach. In: *Applied Science and Technological Progress - A Report to the Committee on Science and Astronautics, U.S. House of Representatives*. Washington: National Academies Press, 1967. ISBN 978-0-309-35939-9. Disponível em: <<https://nap.nationalacademies.org/read/21281/chapter/6>>. Acesso em: 30 set. 2022.

BRASIL. Ministério do Exército. Secretaria de Ciência e Tecnologia, *Normas para Elaboração dos Requisitos Técnicos Básicos*. Brasília, 1991. Portaria nº 15/SCT, de 5 de setembro de 1991 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Exército n. 41/1991, de 11 de outubro de 1991.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. *Plano Nacional de Pós-Graduação (PNPG) 2011-2020. Documentos Setoriais. Volume II*. 1. ed. Brasília: CAPES, 2010. ISBN 978-85-88468-16-0.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *EB80-IR-07.008 - Instruções Reguladoras para o Planejamento, Acompanhamento de Discente e Aplicação de Conhecimentos de Cursos de Mestrado, Doutorado e Estágios de Pós-Doutorado da Linha de Ensino Militar Científico-Tecnológico*. Brasília: Departamento de Ciência e Tecnologia, 2013. Portaria n. 058-DCT, de 19 de dezembro de 2012. Publicado no Boletim do Exército n. 2/2013, de 11 de janeiro de 2013.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *EB20-C-07.001 - Catálogo de Capacidades do Exército*. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2015. Portaria n. 309-EME, de 23 de dezembro de 2014 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Exército n. 1/2015, de 2 de janeiro de 2015. Disponível em: <<https://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/123456789/433>>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira, *RTLI 03/SDTE/2015 - Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais para Sistema de Gerenciamento de Processos de Negócio Integrado à Base de Dados Geoespaciais para as áreas de Aeródromos (AGA) e de Cartografia Aeronáutica (CAR)*. Brasília: Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2015. Portaria DECEA nº 02/SDTE, de 11 de dezembro de 2015. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/RTLII-02>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil : texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nºs 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nºs 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo nº 186/2008*. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016.

Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *EB10-P-01.007 - Plano Estratégico do Exército (2020-2023)*. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2019. Portaria nº 1.968, de 3 de dezembro de 2019 (APROVAÇÃO). Disponível em: <http://www.sgex.eb.mil.br/sg8/006_outras_publicacoes/04_planos/port_n_1968_cmdo_eb_03dez2019.html>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira, *MCA 16-9 - Elaboração de Requisitos Operacionais - ROP EMAER*. Brasília: Estado-Maior da Aeronáutica, 2019. Portaria EMAER n. 97/7SC, de 29 de novembro de 2019 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Comando da Aeronáutica n. 001/2020, de 2 de janeiro de 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa, *MD40-M-01 - Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa*. 2019. Instrução Normativa nº 1/EMCFA-MD, de 10 de janeiro de 2020 (APROVAÇÃO). Publicado no D.O.U. em 13 de janeiro de 2020, Edição: 8, Seção: 1, Página: 9. Disponível em: <https://www.gov.br/caslode/pt-br/arquivos/gestao-do-ciclo-de-vida-de-sistemas-de-defesa/manual_md_40_m_01_13jan2020.pdf>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *Requisitos Operacionais do Sistema Combatente Brasileiro (COBRA) (EB20-RO-04.050)*. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2019. Portaria nº 054-EME, de 13 de março de 2019 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Exército n. 13/2019, de 29 de março de 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa, *Livro Branco de Defesa Nacional*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/estado_e_defesa/livro_branco/Versaodolivroempportugues2020.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Departamento de Ciência e Tecnologia, *Necessidades de Conhecimentos Específicos da Linha de Ensino Militar Científico-Tecnológico para o ano de 2022 e do Plano de Cursos e Estágios em órgãos do Ministério da Defesa e demais Forças para o ano de 2023*. Brasília, 2020. Portaria nº 129-DCT, de 5 de novembro de 2020 (APROVAÇÃO). Publicado em Separata ao Boletim do Exército n. 47/2020, de 20 de novembro de 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa, *Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa*. Brasília, 2020. Versão encaminhada ao Congresso Nacional em 22 de julho de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/pnd_end_congresso_.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais do Goniômetro Digital para o Sistema de Artilharia de Campanha (EB20-RTLI-04.079)*. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2020. Portaria - EME/C Ex Nº 269, de 09 de dezembro de 2020 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Exército n. 52/2020, de 09 de dezembro de 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais do Rastreador Satelital para o Sistema de Artilharia de Campanha (EB20-RTLI-04.080)*. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2020. Portaria - EME/C Ex Nº 270, de 09 de dezembro de 2020 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Exército n. 52/2020, de 09 de dezembro de 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa, *Diretriz de Obtenção Conjunta de Produtos de Defesa (PRODE) e de Sistemas de Defesa (SD)*. 2021. Portaria GM-MD N^o 4.070, de 05 de outubro de 2021 (APROVAÇÃO). Publicado no D.O.U. em 14 de outubro de 2021, Seção: 1, Página: 15. Disponível em: <<https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/legislacao>>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais do Paraquedas de Salto Livre (EB20-RTLI-04.082)*. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2022. Portaria - EME/C Ex N^o 673, de 21 de março de 2022 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Exército n. 12/2022, de 25 de março de 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *Requisitos Operacionais da Viatura Blindada de Transporte Especial Ambulância Média sobre Rodas 6x6 (EB70-RO-10.001)*. Brasília: Comando de Operações Terrestres, 2023. Portaria - COTER/C Ex N^o 287, de 30 de maio de 2023 (APROVAÇÃO). Publicado no Boletim do Exército n. 24/2023, de 16 de junho de 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *EB10-IG-01.018 - Instruções Gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar. 3^a ed.* Brasília: Secretaria-Geral do Exército, 2024. Portaria - C Ex n. 2.152, de 5 de janeiro de 2024. Publicado em Separata ao Boletim do Exército n. 3/2024, de 19 de janeiro de 2024.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Departamento de Ciência e Tecnologia, *Plano de Governança e Gestão Setorial (PGGSet) (2024-2027)*. Brasília: DCT, 2024. Aprovação publicada no Boletim Interno n. 109, de 12 de junho de 2024, do DCT.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *Relação das Publicações do Exército (REPUBLEX)*. 2024. Atualizada pela Secretaria-Geral do Exército em 20 de setembro de 2024. Disponível em: <<http://www.sgex.eb.mil.br/media/SG8/bee6-republex.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro, *Relação das Publicações do Exército (REPUBLEX)*. 2024. Atualizada pela Secretaria-Geral do Exército em 26 de dezembro de 2023. Disponível em: <<http://www.sgex.eb.mil.br/media/SG8/bee6-republex.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2024.

BRIDGE, P. D.; SAWILOWSKY, S. S. Increasing physicians' awareness of the impact of statistics on research outcomes. *Journal of Clinical Epidemiology*, Elsevier BV, v. 52, n. 3, p. 229–235, mar. 1999. ISSN 0895-4356.

BROCKE, J. vom; GAU, M.; MÄDCHE, A. Journaling the Design Science Research process. Transparency about the making of design knowledge. In: KRUSE, L. C.; SEIDEL, S.; HAUSVIK, G. I. (Ed.). *The Next Wave of Sociotechnical Design. DESRIST 2021*. Kristiansand: Springer, 2021. ISBN 978-3-030-82404-4.

ÇAĞDAŞ, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 35, n. 1, p. 77–87, jan. 2011. ISSN 01989715.

CANCHO, R. Ferrer-i; GÓMEZ-RODRÍGUEZ, C.; ESTEBAN, J. L.; ALEMANY-PUIG, L. Optimality of syntactic dependency distances. *Phys. Rev. E*, American Physical Society, v. 105, p. 014308, Jan 2022.

- CARDILLO, G. *MWWTEST: Mann-Whitney-Wilcoxon non parametric test for two unpaired samples*. 2009. MATLAB Central File Exchange. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25830-mwwtest>>. Acesso em: 21 julho 2024.
- CHAI, C. P. Comparison of text preprocessing methods. *Natural Language Engineering*, Cambridge University Press (CUP), v. 29, n. 3, p. 509–553, jun. 2022. ISSN 1469-8110.
- CHAKRABARTI, A. A course for teaching design research methodology. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, v. 24, n. 3, p. 317–334, ago. 2010. ISSN 0890-0604.
- CHEN, D.; MANNING, C. A fast and accurate dependency parser using neural networks. In: *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. [S.l.]: Association for Computational Linguistics, 2014.
- CHEN, R.; DENG, S.; LIU, H. Syntactic complexity of different text types: From the perspective of dependency distance both linearly and hierarchically. *Journal of Quantitative Linguistics*, Informa UK Limited, v. 29, n. 4, p. 510–540, dez. 2021. ISSN 1744-5035.
- CLASON, D. L.; DORMODY, T. J. Analyzing data measured by individual likert-type items. *Journal of Agricultural Education*, American Association for Agricultural Education, v. 35, n. 4, p. 31–35, dez. 1994. ISSN 1042-0541.
- CLEAR. *VerbNet. A Computational Lexical Resource for Verbs*. 2018. University of Colorado Boulder. Disponível em: <<https://www.incose.org/incose-member-resources/working-groups/Application/defense-systems>>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- CLIFF, N. Dominance statistics: Ordinal analyses to answer ordinal questions. *Psychological Bulletin*, American Psychological Association (APA), v. 114, n. 3, p. 494–509, nov. 1993. ISSN 0033-2909.
- CONDAMINES, A.; WARNIER, M. Towards the creation of a cnl adapted to requirements writing by combining writing recommendations and spontaneous regularities: example in a space project. *Language Resources and Evaluation*, Springer Science and Business Media LLC, v. 51, n. 1, p. 221–247, set. 2016. ISSN 1574-0218.
- CONROY, R. M. What hypotheses do “nonparametric” two-group tests actually test? *The Stata Journal: Promoting communications on statistics and Stata*, SAGE Publications, v. 12, n. 2, p. 182–190, jun. 2012. ISSN 1536-8734.
- DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, v. 13, n. 3, p. 319, set. 1989. ISSN 0276-7783.
- DE MARNEFFE, M.-C.; MANNING, C. D.; NIVRE, J.; ZEMAN, D. Universal dependencies. *Computational Linguistics*, MIT Press - Journals, p. 1–54, maio 2021.
- DE MARNEFFE, M.-C.; NIVRE, J. Dependency grammar. *Annual Review of Linguistics*, Annual Reviews, v. 5, n. 1, p. 197–218, jan. 2019. ISSN 2333-9691.
- DICK, J.; LLORENS, J. Using statement-level templates to improve the quality of requirements. In: *24th International Conference on Software and Systems Engineering and their Applications*. Paris: ICSSEA, 2012.

DIMENSIONS. *Which research categories and classification schemes are available in Dimensions?* 2022. Dimensions - Support Home - Solutions. Disponível em: <<https://dimensions.freshdesk.com/support/solutions/articles/23000018820-which-research-categories-and-classification-schemes-are-available-in-dimensions->>. Acesso em: 03 fev. 2024.

DIMENSIONS. *Why does Dimensions use article-level classification?* 2022. Dimensions - Support Home - Solutions. Disponível em: <<https://dimensions.freshdesk.com/support/solutions/articles/%2023000018822-why-does-%20dimensions-use-article-level-classification->>. Acesso em: 03 fev. 2024.

DRESCH, A. *Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção*. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. *Design science research : método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. ISBN 978-85-8260-298-0.

DYER, A. T. Revisiting dependency length and intervener complexity minimisation on a parallel corpus in 35 languages. In: *Proceedings of the 5th Workshop on Research in Computational Linguistic Typology and Multilingual NLP*. Dubrovnik: Association for Computational Linguistics, 2023.

ELSEVIER. *Scopus*. 2024. Disponível em: <<http://www.scopus.com>>. Acesso em: 09 fev. 2024.

EUA. Departamento de Defesa, *DoD Instruction 5000.89. Test and Evaluation*. [S.l.]: DoD, 2020.

EUA. Departamento de Defesa, *Department of Defense Releases the President's Fiscal Year 2024 Defense Budget*. 2024. U.S. Department of Defense. Disponível em: <<https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3326875/department-of-defense-releases-the-presidents-fiscal-year-2024-defense-budget/>>. Acesso em: 13 mar. 2023.

FAULCONBRIDGE, R. I.; RYAN, M. J. *Introduction to Systems Engineering*. 1. ed. Canberra: Argos Press, 2015.

FERNÁNDEZ, D. M.; WAGNER, S.; KALINOWSKI, M.; FELDERER, M.; MAFRA, P.; VETRÒ, A.; CONTE, T.; CHRISTIANSSON, M.-T.; GREER, D.; LASSENIUS, C.; MÄNNISTÖ, T.; NAYABI, M.; OIVO, M.; PENZENSTADLER, B.; PFAHL, D.; PRIKLADNICKI, R.; RUHE, G.; SCHEKELMANN, A.; SEN, S.; SPINOLA, R.; TUZCU, A.; VARA, J. L. de la; WIERINGA, R. Naming the pain in requirements engineering. *Empirical Software Engineering*, v. 22, n. 5, p. 2298–2338, out. 2017. ISSN 1382-3256.

FRAZIER, L. Syntactic complexity. In: _____. *Natural Language Parsing*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. p. 129–189.

FUTRELL, R.; MAHOWALD, K.; GIBSON, E. Large-scale evidence of dependency length minimization in 37 languages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 33, p. 10336–10341, ago. 2015. ISSN 0027-8424.

GALDINO, J. F.; SCHONS, D. L. Maquiavel e a importância do poder militar nacional. *Coleção Meira Mattos*, v. 16, n. 56, p. 369–384, 2022. ISSN 2316-4891.

GARDNER, M. J.; ALTMAN, D. G. Confidence intervals rather than p values: estimation rather than hypothesis testing. *British Medical Journal*, BMJ, v. 292, n. 6522, p. 746–750, mar. 1986. ISSN 1468-5833.

GARDNER-O'KEARNY, W. *swft - Shapiro-Wilk/Shapiro-Francia Tests*. 2021. MATLAB Central File Exchange. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/88778-swft-shapiro-wilk-shapiro-francia-tests>>. Acesso em: 17 julho 2024.

GÉNOVA, G.; FUENTES, J. M.; LLORENS, J.; HURTADO, O.; MORENO, V. A framework to measure and improve the quality of textual requirements. *Requirements Engineering*, Springer Science and Business Media LLC, v. 18, n. 1, p. 25–41, set. 2011. ISSN 1432-010X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00766-011-0134-z>>.

GEROSA, S. The Tower of Babel: when communicating becomes a nightmare. In: *PMI Global Congress 2008 - EMEA*. St Julian's: Project Management Institute, 2008. Disponível em: <<https://www.pmi.org/learning/library/tower-babel-communication-technique-8377>>. Acesso em: 09 out. 2022.

GIANNAKOPOULOU, D.; PRESSBURGER, T.; MAVRIDOU, A.; SCHUMANN, J. Automated formalization of structured natural language requirements. *Information and Software Technology*, v. 137, p. 106590, set. 2021. ISSN 0950-5849.

GIBSON, E.; FUTRELL, R.; PIANTADOSI, S. P.; DAUTRICHE, I.; MAHOWALD, K.; BERGEN, L.; LEVY, R. How efficiency shapes human language. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 23, n. 5, p. 389–407, maio 2019. ISSN 13646613.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-224-3169-8.

GLINZ, M. *A Glossary of Requirements Engineering Terminology*. 2.0.1. ed. Zurique: International Requirements Engineering Board, 2022. Disponível em: <https://www.ireb.org/content/downloads/1-cpre-glossary-2-0/ireb_cpre_glossary_en_2.0.1.pdf>. Acesso em: 13 out. 2022.

GLINZ, M.; LOENHOUD, H. van; STAAL, S.; BÜHNE, S. *Handbook for the CPRE Foundation Level according to the IREB Standard*. 1.1.0. ed. Zurique: International Requirements Engineering Board, 2022. Disponível em: <https://www.ireb.org/content/downloads/3-cpre-foundation-level-handbook/cpre_foundationlevel_handbook_en_v1.1.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2022.

GRODNER, D.; GIBSON, E. Consequences of the serial nature of linguistic input for sentential complexity. *Cognitive Science*, v. 29, n. 2, p. 261–290, 3 2005. ISSN 0364-0213.

GROßER, K.; AHMADIAN, A. S.; RUKAVITSYNA, M.; RAMADAN, Q.; JÜRJENS, J. Benchmarking requirement template systems: comparing appropriateness, usability, and expressiveness. *Requirements Engineering*, Springer Science and Business Media LLC, ago. 2024. ISSN 1432-010X.

HAHN, M.; XU, Y. Crosslinguistic word order variation reflects evolutionary pressures of dependency and information locality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 119, n. 24, jun. 2022. ISSN 1091-6490.

- HAIR, J. F.; BABIN, B. J.; BLACK, W. C.; ANDERSON, R. E. *Multivariate Data Analysis*. 8. ed. Boston: Cengage, 2019. ISBN 978-1-47-375654-0.
- HAITAO, L. Dependency distance as a metric of language comprehension difficulty. *The Journal of Cognitive Science*, v. 9, n. 2, p. 159–191, 2008. ISSN 1598-2327.
- HALLIGAN, R. J. Requirements writing patterns - what are the options? *PPI SyEN*, Ringwood, n. 110, mar. 2022.
- HARRINGTON, D.; D'AGOSTINO, R. B.; GATSONIS, C.; HOGAN, J. W.; HUNTER, D. J.; NORMAND, S.-L. T.; DRAZEN, J. M.; HAMEL, M. B. New guidelines for statistical reporting in the journal. *New England Journal of Medicine*, Massachusetts Medical Society, v. 381, n. 3, p. 285–286, jul. 2019. ISSN 1533-4406. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1056/NEJMe1906559>>.
- HAYS, D. Chomsky hierarchy. In: _____. *Encyclopedia of Computer Science*. 4. ed. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2003. p. 210–211. ISBN 978-0-47-086412-8.
- HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. Design science research in information systems. In: *Design Research in Information Systems*. Boston: Springer, 2010. p. 9–22. ISBN 978-1-4419-5653-8.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75, 2004. ISSN 0276-7783.
- HULL, E.; JACKSON, K.; DICK, J. *Requirements Engineering*. 3. ed. Londres: Springer London, 2011. ISBN 978-1-84996-404-3.
- INCOSE. *Systems Engineering Vision 2035*. 2021. Disponível em: <<https://www.incose.org/about-systems-engineering/se-vision-2035>>. Acesso em: 21 set. 2022.
- INCOSE. *Guide for Writing Requirements*. San Diego: International Council on Systems Engineering, 2023.
- INCOSE. *Defense Systems Working Group*. 2024. INCOSE. Disponível em: <<https://www.incose.org/incose-member-resources/working-groups/Application/defense-systems>>. Acesso em: 31 jan. 2024.
- ISO. *ISO/IEC 14977:1996 Information Technology - Syntactic Metalanguage - Extended BNF*. Genebra, 1996.
- ISO. *ISO 25010:2011 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Systems and software quality models*. Genebra, 2011.
- ISO. *ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering - System life cycle processes*. Genebra, 2015.
- ISO. *ISO 26262-1:2018 Road vehicles — Functional safety — Part 1: Vocabulary*. Genebra, 2018.
- ISO. *ISO/IEC/IEEE 29148:2018(E) Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering*. Genebra, 2018.

- JAMES, L. R.; DEMAREE, R. G.; WOLF, G. Estimating within-group interrater reliability with and without response bias. *Journal of Applied Psychology*, American Psychological Association (APA), v. 69, n. 1, p. 85–98, fev. 1984. ISSN 0021-9010.
- JIANG, J.; OUYANG, J. Minimization and probability distribution of dependency distance in the process of second language acquisition. In: _____. *Quantitative Analysis of Dependency Structures*. Berlim: De Gruyter, 2018. p. 167–190. ISBN 9-783-1105-7356-5.
- JIANG, L.; EBERLEIN, A. Selecting requirements engineering techniques based on project attributes - a case study. In: *14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'07)*. [S.l.]: IEEE, 2007. p. 269–278. ISBN 0-7695-2772-8.
- JING, Y.; LIU, H. Mean hierarchical distance augmenting mean dependency distance. In: NIVRE, J.; HAJIČOVÁ, E. (Ed.). *Proceedings of the Third International Conference on Dependency Linguistics (Depling 2015)*. Uppsala: Uppsala University, 2015. p. 161–170.
- JOHANNESSON, P.; PERJONS, E. *An Introduction to Design Science*. 1. ed. Kista: Springer, 2014. ISBN 978-3-319-10632-8.
- JURAFSKY, D.; MARTIN, J. H. *Speech and Language Processing*. 2019. Prévia não publicada da 3ª edição. Disponível em: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/old_oct19/ed3book.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2024.
- KASSAB, M.; LAPLANTE, P. The current and evolving landscape of requirements engineering in practice. *IEEE Software*, v. 39, n. 5, p. 76–83, 9 2022. ISSN 0740-7459.
- KAUR, A.; GULATI, S.; SINGH, S. Analysis of three formal methods-z, b and vdm. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, v. 01, n. 4, jun. 2012. ISSN 2278-0181.
- KERBY, D. S. The simple difference formula: An approach to teaching nonparametric correlation. *Comprehensive Psychology*, Ammons Scientific, v. 3, jan. 2014. ISSN 2165-2228.
- KOMORI, S.; SUGIURA, M.; LI, W. Examining MDD and MHD as syntactic complexity measures with intermediate Japanese learner corpus data. In: GERDES, K.; KAHANE, S. (Ed.). *Proceedings of the Fifth International Conference on Dependency Linguistics (Depling, SyntaxFest 2019)*. Paris: Association for Computational Linguistics, 2019. p. 130–135.
- KUHN, T. A survey and classification of controlled natural languages. *Computational Linguistics*, v. 40, n. 1, p. 121–170, mar. 2014. ISSN 0891-2017.
- LANA, C. A.; GUESSI, M.; ANTONINO, P. O.; ROMBACH, D.; NAKAGAWA, E. Y. A systematic identification of formal and semi-formal languages and techniques for software-intensive systems-of-systems requirements modeling. *IEEE Systems Journal*, v. 13, n. 3, p. 2201–2212, set. 2019. ISSN 1932-8184.
- LAPLANTE, P. A. *Requirements engineering for software and systems*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 978-1-138-19611-7.
- LARKIN, J. H.; SIMON, H. A. Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, Wiley, v. 11, n. 1, p. 65–100, jan. 1987. ISSN 1551-6709.

- LEAL, S. E.; DURAN, M. S.; SCARTON, C. E.; HARTMANN, N. S.; ALUÍSIO, S. M. Nilc-matrix: assessing the complexity of written and spoken language in brazilian portuguese. *Language Resources and Evaluation*, Springer Science and Business Media LLC, v. 58, n. 1, p. 73–110, out. 2023. ISSN 1574-0218.
- LEBRETON, J. M.; SENTER, J. L. Answers to 20 questions about interrater reliability and interrater agreement. *Organizational Research Methods*, SAGE Publications, v. 11, n. 4, p. 815–852, nov. 2007. ISSN 1552-7425.
- LEE, S. W. Methods for testing statistical differences between groups in medical research: statistical standard and guideline of life cycle committee. *Life Cycle*, Life Cycle, v. 2, jan. 2022. ISSN 2799-8894.
- LYONS, J. *Natural Language and Universal Grammar: Essays in Linguistic Theory*. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. ISBN 978-1-1391-6587-7.
- MANGAN, J.; LALWANI, C.; GARDNER, B. Combining quantitative and qualitative methodologies in logistics research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 34, n. 7, p. 565–578, ago. 2004. ISSN 0960-0035.
- MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, Institute of Mathematical Statistics, v. 18, n. 1, p. 50–60, mar. 1947. ISSN 0003-4851.
- MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, v. 15, n. 4, p. 251–266, dez. 1995. ISSN 0167-9236.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. ISBN 978-85-970-1076-3.
- MATTHEWS, P. H. *Syntax*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. (Cambridge textbooks in linguistics). ISBN 978-0-5212-2894-7.
- MAVIN, A.; WILKINSON, P.; HARWOOD, A.; NOVAK, M. Easy Approach to Requirements Syntax (EARS). In: *17th IEEE International Requirements Engineering Conference*. Atlanta: IEEE, 2009. p. 317–322. ISBN 978-0-7695-3761-0.
- MISHRA, A. D.; MUSTAFA, K. A review on security requirements specification by formal methods. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, v. 34, n. 5, fev. 2022. ISSN 1532-0626.
- MOBUS, G. E.; KALTON, M. C. *Principles of Systems Science*. 1. ed. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-1919-2.
- MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of web of science and scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, v. 106, n. 1, p. 213–228, jan. 2016. ISSN 0138-9130.
- MONTEQUÍN, V. R.; BALSERA, J. V.; FERNÁNDEZ, S. M. C.; FERNÁNDEZ, F. O. Exploring project complexity through project failure factors: Analysis of cluster patterns using self-organizing maps. *Complexity*, v. 2018, p. 1–17, 2018. ISSN 1076-2787.
- MONTGOMERY, L.; FUCCI, D.; BOURAFFA, A.; SCHOLZ, L.; MAALEJ, W. Empirical research on requirements quality: a systematic mapping study. *Requirements Engineering*, v. 27, n. 2, p. 183–209, jun. 2022. ISSN 0947-3602.

- MORE, N. T.; SAPRE, B. S.; CHAWAN, P. M. An insight into the importance of requirements engineering. *International Journal of Computer and Communication Technology*, p. 29–31, jan. 2017. ISSN 2231-0371.
- NAGLE, T.; DOYLE, C.; ALHASSAN, I. M.; SAMMON, D. The research method we need or deserve? a literature review of the Design Science Research landscape. *Communications of the Association for Information Systems*, v. 50, n. 1, p. 358–395, 2022. ISSN 15293181.
- NEFDT, R. M.; BAGGIO, G. Notational variants and cognition: The case of dependency grammar. *Erkenntnis*, Springer Science and Business Media LLC, jan. 2023. ISSN 1572-8420.
- NORMAN, G. Likert scales, levels of measurement and the “laws” of statistics. *Advances in Health Sciences Education*, v. 15, n. 5, p. 625–632, fev. 2010. ISSN 1382-4996.
- OBJECT MANAGEMENT GROUP. *Systems Modeling Language™ (SysML®) Version 1.7*. 2024. OMG Systems Modeling Language. Disponível em: <<https://www.omg.org/spec/SysML/1.7/PDF>>. Acesso em: 21 set. 2024.
- O'BRIEN, S. Controlling controlled english: An analysis of several controlled language rule sets. In: *EAMT-CLAW 03 - Joint Conference Combining the 8th International Workshop of the European Association for Machine Translation and the 4th Controlled Language Applications Workshop*. Dublin: [s.n.], 2003.
- OECD. *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. 1. ed. Paris: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2015. ISBN 978-92-642-3880-0.
- O'NEILL, T. A. An overview of interrater agreement on likert scales for researchers and practitioners. *Frontiers in Psychology*, v. 8, maio 2017. ISSN 1664-1078.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. Conselho Permanente, *CP/RES. 829 (1342/02) - Adoção das Diretrizes para a Elaboração de Documentos sobre Políticas e Doutrinas Nacionais de Defesa*. Washington D.C., 2002. Disponível em: <<http://www.oas.org/consejo/pr/resoluciones/res829.asp>>. Acesso em: 18 set. 2022.
- OSBORNE, T. *A Dependency Grammar of English: An introduction and beyond*. Amsterdã: John Benjamins Publishing Company, 2019. ISBN 978-9-0272-6228-8.
- PA, N. C.; ZIN, A. M. Managing communications challenges in requirement elicitation. In: *18th International Conference on Software Engineering and Computer Systems*. Berlin: Springer, 2011. p. 803–811.
- PACHECO, C.; GARCÍA, I.; REYES, M. Requirements elicitation techniques: a systematic literature review based on the maturity of the techniques. *IET Software*, v. 12, n. 4, p. 365–378, ago. 2018. ISSN 1751-8806.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H. *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3. ed. Londres: Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-319-2.
- PAKHOMOV, S.; CHACON, D.; WICKLUND, M.; GUNDEL, J. Computerized assessment of syntactic complexity in alzheimer's disease: a case study of iris murdoch's writing. *Behavior Research Methods*, Springer Science and Business Media LLC, v. 43, n. 1, p. 136–144, nov. 2010. ISSN 1554-3528.

- PALMER, D. D. Text preprocessing. In: INDURKHYA, N.; DAMERAU, F. J. (Ed.). *Handbook of Natural Language Processing*. 2. ed. Boca Raton: Chapman and Hall - CRC, 2010. p. 9–30.
- PALOMARES, C.; QUER, C.; FRANCH, X. Requirements reuse and requirement patterns: a state of the practice survey. *Empirical Software Engineering*, Springer Science and Business Media LLC, v. 22, n. 6, p. 2719–2762, dez. 2016. ISSN 1573-7616.
- PAULINO DINIS PESTANA, J. B. J. S. L. B. W. B. C. D. *Glossário Inglês-Português de Estatística*. 2. ed. Zurique: Sociedade Portuguesa de Estatística e Associação Brasileira de Estatística., 2011. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/343758/mod_folder/content/0/Glossario%20Ingl%C3%AAs%20Portugues-2a%20Edicao%20da%20SPE%20e%20ABE.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; NIEHAVES, B. Design science research genres: introduction to the special issue on exemplars and criteria for applicable design science research. *European Journal of Information Systems*, v. 27, n. 2, p. 129–139, mar. 2018. ISSN 0960-085X.
- PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A Design Science Research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45–77, dez. 2007. ISSN 0742-1222.
- PENFIELD, D. A. Choosing a two-sample location test. *The Journal of Experimental Education*, Informa UK Limited, v. 62, n. 4, p. 343–360, jul. 1994. ISSN 1940-0683.
- PIRES, M. F. de C. Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade no ensino. *Interface - Comunicação, Saúde, Educação*, v. 2, n. 2, p. 173–182, fev. 1998. ISSN 1414-3283.
- POHL, K.; RUPP, C. *Requirements Engineering Fundamentals: a study guide for the certified professional for requirements engineering exam, foundation level, IREB compliant*. 2. ed. Santa Barbara: Rocky Nook, 2015. ISBN 978-1-937538-77-4.
- PRAT, N.; COMYN-WATTIAU, I.; AKOKA, J. A taxonomy of evaluation methods for information systems artifacts. *Journal of Management Information Systems*, Informa UK Limited, v. 32, n. 3, p. 229–267, jul. 2015. ISSN 1557-928X.
- PRESTON, C. C.; COLMAN, A. M. Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. *Acta Psychologica*, Elsevier BV, v. 104, n. 1, p. 1–15, mar. 2000. ISSN 0001-6918.
- PRINCETON UNIVERSITY. *WordNet. A Lexical Database for English*. 2024. Princeton University. Disponível em: <<https://wordnet.princeton.edu/>>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- PURAO, S.; STOREY, V. C. Evaluating the adoption potential of design science efforts: The case of APSARA. *Decision Support Systems*, v. 44, n. 2, p. 369–381, jan. 2008. ISSN 0167-9236.
- RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, v. 2, n. 1, p. 21–33, 2011.

- RAZZAK, M. A.; ISLAM, M. N. Exploring and evaluating the usability factors for military application: A road map for HCI in military applications. *Human Factors and Mechanical Engineering for Defense and Safety*, v. 4, n. 1, p. 4, dez. 2020. ISSN 2509-8004.
- RESENDE, M. Algumas diferenças semânticas entre ‘dever’ e ‘poder’. *Versalete*, v. 3, n. 5, p. 36–49, jul.-dez. 2015. ISSN 2318-1028.
- RUSCIO, J. A probability-based measure of effect size: Robustness to base rates and other factors. *Psychological Methods*, American Psychological Association (APA), v. 13, n. 1, p. 19–30, 2008. ISSN 1082-989X.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Inteligência Artificial*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. ISBN 85-352-1177-2.
- RYAN, M. J.; WHEATCRAFT, L. S.; DICK, J.; ZINNI, R. An improved taxonomy for definitions associated with a requirement expression. In: *Systems Engineering / Test and Evaluation Conference SETE2014*. Adelaide: [s.n.], 2014.
- SARAÇLI, S.; DOĞAN, N.; DOĞAN, İ. Comparison of hierarchical cluster analysis methods by cophenetic correlation. *Journal of Inequalities and Applications*, Springer Science and Business Media LLC, v. 2013, n. 1, abr. 2013. ISSN 1029-242X.
- SAWILOWSKY, S. S. New effect size rules of thumb. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, The Netherlands Press, v. 8, n. 2, p. 597–599, nov. 2009. ISSN 1538-9472.
- SCARTON, C. E. *VerbNet.BR*. 2014. PortLEX - Recursos Léxicos para o processamento do português do Brasil. Disponível em: <<http://143.107.183.175:21380/portlex/index.php/pt/projetos/verbnnetbr>>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- SCOPUS. *What are Scopus subject area categories and ASJC codes?* 2023. Scopus: Access and use Support Center. Disponível em: <https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/12007/supporthub/scopus/>. Acesso em: 02 fev. 2024.
- SHAH, J. J.; KULKARNI, S. V.; VARGAS-HERNANDEZ, N. Evaluation of idea generation methods for conceptual design: Effectiveness metrics and design of experiments. *Journal of Mechanical Design*, v. 122, n. 4, p. 377–384, dez. 2000. ISSN 1050-0472.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, JSTOR, v. 52, n. 3/4, p. 591, dez. 1965. ISSN 0006-3444.
- SILVA, B. C. D. da; SCARTON, C. E. *WordNet.Br*. 2009. WordNet.Br 1.0 - Base de Verbos. Disponível em: <<http://www.nilc.icmc.usp.br/wordnetbr/index.html>>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- SIMON, H. A. *The sciences of the artificial*. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 2019. “Reissue of the third edition with a new introduction by John Laird.”. ISBN 978-02-625-3753-7.
- SINGH, V. K.; SINGH, P.; KARMAKAR, M.; LETA, J.; MAYR, P. The journal coverage of web of science, scopus and dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, v. 126, n. 6, p. 5113–5142, jun. 2021. ISSN 0138-9130.
- SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, Elsevier BV, v. 104, p. 333–339, nov. 2019. ISSN 0148-2963.

SORDI, J. O. de. *Elaboração de pesquisa científica: seleção, leitura e redação*. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. ISBN 978-85-022-1034-9.

STAHLSCHMIDT, S.; STEPHEN, D. From indexation policies through citation networks to normalized citation impacts: Web of science, scopus, and dimensions as varying resonance chambers. *Scientometrics*, v. 127, n. 5, p. 2413–2431, maio 2022. ISSN 0138-9130.

STEVENS, S. S. On the theory of scales of measurement. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 103, n. 2684, p. 677–680, 1946. ISSN 0036-8075, 1095-9203.

THABANE, L.; MA, J.; CHU, R.; CHENG, J.; ISMAILA, A.; RIOS, L. P.; ROBSON, R.; THABANE, M.; GIANGREGORIO, L.; GOLDSMITH, C. H. A tutorial on pilot studies: the what, why and how. *BMC Medical Research Methodology*, v. 10, n. 1, p. 1, dez. 2010. ISSN 1471-2288.

THE MATHWORKS INC. *Analyze Sentence Structure Using Grammatical Dependency Parsing*. 2022. MathWorks Help Center. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/textanalytics/ug/analyze-sentence-structure-using-grammatical-dependency-parsing.html>>. Acesso em: 08 abr. 2024.

THE MATHWORKS INC. *Hierarchical Clustering*. 2023. MathWorks Help Center. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/stats/hierarchical-clustering.html>>. Acesso em: 07 fev. 2024.

THONGGLIN, K.; CARDEY, S.; GREENFIELD, P. Controlled syntax for thai software requirements specification. In: *2012 IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*. [S.l.]: IEEE, 2012. v. 2, p. 964–969.

THUAN, N. H.; DRECHSLER, A.; ANTUNES, P. Construction of Design Science Research questions. *Communications of the Association for Information Systems*, p. 332–363, 2019. ISSN 1529-3181.

TORRACO, R. J. Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, SAGE Publications, v. 4, n. 3, p. 356–367, set. 2005. ISSN 1552-6712.

TREMBLAY, M. C.; HEVNER, A. R.; BERNDT, D. J. Focus groups for artifact refinement and evaluation in design research. *Communications of the Association for Information Systems*, v. 26, 2010. ISSN 1529-3181.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, B. *Design Science Research in Information Systems*. 2021. Disponível em: <<http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

VAISHNAVI, V. K.; KUECHLER, W. *Design Science Research Methods and Patterns*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4987-1526-3.

VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. Feds: a framework for evaluation in design science research. *European Journal of Information Systems*, v. 25, n. 1, p. 77–89, jan. 2016. ISSN 0960-085X.

- VENABLE, J. R. A framework for Design Science Research activities. In: KHOSROWPOUR, M. (Ed.). *Emerging Trends and Challenges in Information Technology Management: Proceedings of the 2006 Information Resource Management Association Conference*. Washington, DC: Idea Group Publishing, 2006.
- WALLS, J. G.; WIDMEYER, G. R.; SAWY, O. A. E. Building an information system design theory for vigilant EIS. *Information Systems Research*, v. 3, n. 1, p. 36–59, mar. 1992. ISSN 1047-7047.
- WASSERSTEIN, R. L.; LAZAR, N. A. The asa statement on p-values: Context, process, and purpose. *The American Statistician*, Informa UK Limited, v. 70, n. 2, p. 129–133, abr. 2016. ISSN 1537-2731.
- WHEATCRAFT, L. S.; RYAN, M. J. Communicating requirements - effectively! *INCOSE International Symposium*, v. 28, n. 1, p. 716–732, jul. 2018. ISSN 2334-5837.
- WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14*. Nova York: ACM Press, 2014. p. 1–10. ISBN 9781450324762.
- WU, H.; LEUNG, S.-O. Can likert scales be treated as interval scales?—a simulation study. *Journal of Social Service Research*, Informa UK Limited, v. 43, n. 4, p. 527–532, jun. 2017. ISSN 1540-7314.
- YADAV, H.; MITTAL, S.; HUSAIN, S. A reappraisal of dependency length minimization as a linguistic universal. *Open Mind*, MIT Press, v. 6, p. 147–168, 2022. ISSN 2470-2986.
- YAN, J. Influences of dependency distance on the syntactic development of deaf and hard-of-hearing students. In: _____. *Quantitative Analysis of Dependency Structures*. Berlin: De Gruyter, 2018. p. 191–212. ISBN 978-311-0573-565.
- YANG, J. Syntactic hierarchy depth: Distribution, interrelation and cross-linguistic properties. *Journal of Quantitative Linguistics*, Informa UK Limited, v. 26, n. 2, p. 129–145, maio 2018. ISSN 1744-5035.
- YILMAZ, S.; DALY, S. R.; SEIFERT, C. M.; GONZALEZ, R. Evidence-based design heuristics for idea generation. *Design Studies*, v. 46, p. 95–124, set. 2016. ISSN 0142-694X.
- YNGVE, V. H. *A model and an hypothesis for language structure*. Cambridge, 1960. Disponível em: <<https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/4453/RLE-TR-369-06411244.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 26 set. 2024.
- YOUNG, R. R. *The Requirements Engineering Handbook*. 1. ed. Norwood: Artech House, 2004.
- ZAKI-ISMAIL, A.; OSAMA, M.; ABDELRAZEK, M.; GRUNDY, J.; IBRAHIM, A. Requirements formality levels analysis and transformation of formal notations into semi-formal and informal notations. In: *Software Engineering and Knowledge Engineering Conference*. Redwood City: KSI Research, 2021. p. 303–308. ISSN 2325-9000.

APÊNDICE A – LISTA DE TRABALHOS SELECIONADOS NA ILR

- [A.01] Denger, C., Berry, D. M., & Kamsties, E. (2003). Higher quality requirements specifications through natural language patterns. In *Proceedings IEEE International Conference on Software - Science, Technology and Engineering (SwSTE'03)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/swste.2003.1245428>
- [A.02] Jain, P., Verma, K., Kass, A., & Vasquez, R. G. (2009). Automated review of natural language requirements documents. In *Proceedings of the 2nd India software engineering conference - ISEC '09*. ACM. <https://doi.org/10.1145/1506216.1506224>
- [A.03] Mavin, A., Wilkinson, P., Harwood, A., & Novak, M. (2009). Easy Approach to Requirements Syntax (EARS). In *2009 17th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/re.2009.9>
- [A.04] Gopalakrishnan, S., & Sindre, G. (2010). A study on Mobile Requirements Elicitation by Boilerplate Requirements Specification Language. In *2010 International Conference on Electronic Business*. ICEB.
- [A.05] Majumdar, D., Sengupta, S., Kanjilal, A., & Bhattacharya, S. (2011). Adv-EARS: A Formal Requirements Syntax for Derivation of Use Case Models. In *Advances in Computing and Information Technology* (pp. 40–48). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22555-0_5
- [A.06] Thongglin, K., Cardey, S., & Greenfield, P. (2012). Controlled Syntax for Thai Software Requirements Specification. In *2012 IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2012)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ictai.2012.136>
- [A.07] Ferreira, D. A., & Silva, A. R. (2013). RSL-PL: A linguistic pattern language for documenting software requirements. In *2013 3rd International Workshop on Requirements Patterns (RePa)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/repa.2013.6602667>
- [A.08] Carvalho, G., Falcão, D., Barros, F., Sampaio, A., Mota, A., Motta, L., & Blackburn, M. (2014). NAT2TEST_{SCR}: Test case generation from natural language requirements based on SCR specifications. In *Science of Computer Programming (Vol. 95, pp. 275–297)*. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2014.06.007>
- [A.09] Ellen, C., Bösch, M., & Peikenkamp, T. (2014). MTBF Inconsistency Analysis on Inferred Product Breakdown Structures. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 108–118). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10557-4_14

- [A.10] Ferrari, A., Spagnolo, G. O., Martelli, G., & Menabeni, S. (2014). From commercial documents to system requirements: an approach for the engineering of novel CBTC solutions. In *International Journal on Software Tools for Technology Transfer* (Vol. 16, Issue 6, pp. 647–667). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s10009-013-0298-6>
- [A.11] Ibrahim, N., Wan Kadir, W. M. N., & Deris, S. (2014). Documenting requirements specifications using natural language requirements boilerplates. In *2014 8th. Malaysian Software Engineering Conference (MySEC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/mysec.2014.6985983>
- [A.12] Riaz, M., King, J., Slankas, J., & Williams, L. (2014). Hidden in plain sight: Automatically identifying security requirements from natural language artifacts. In *2014 IEEE 22nd International Requirements Engineering Conference (RE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/re.2014.6912260>
- [A.13] Schrap, M., & Peters, M. (2014). Semantic annotation of a formal grammar by SemanticPatterns. In *2014 IEEE 4th International Workshop on Requirements Patterns (RePa)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/repa.2014.6894838>
- [A.14] Antonino, P. O., Trapp, M., Barbosa, P., & Sousa, L. (2015). The Parameterized Safety Requirements Templates. In *2015 IEEE/ACM 8th International Symposium on Software and Systems Traceability (SST)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/sst.2015.12>
- [A.15] Autili, M., Grunske, L., Lumpe, M., Pelliccione, P., & Tang, A. (2015). Aligning Qualitative, Real-Time, and Probabilistic Property Specification Patterns Using a Structured English Grammar. In *IEEE Transactions on Software Engineering* (Vol. 41, Issue 7, pp. 620–638). IEEE. <https://doi.org/10.1109/tse.2015.2398877>
- [A.16] Carson, R. S. (2015). Implementing Structured Requirements to Improve Requirements Quality. In *INCOSE International Symposium* (Vol. 25, Issue 1, pp. 54–67). Wiley. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2015.00048.x>
- [A.17] Castro, M. M. H., Bezerra, J. M., & Hirata, C. M. (2015). A CNL for requirements as the basis to automate tasks of critical system development. In *2015 IEEE/AIAA 34th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/dasc.2015.7311474>
- [A.18] Mahmud, N., Seceleanu, C., & Ljungkrantz, O. (2015). ReSA: An ontology-based requirement specification language tailored to automotive systems. In *10th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/sies.2015.7185035>
- [A.19] Marko, N., Leitner, A., Herbst, B., & Wallner, A. (2015). Combining Xtext and OSLC for Integrated Model-Based Requirements Engineering. In *2015 41st Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/seaa.2015.11>

- [A.20] Aysolmaz, B., Leopold, H., Reijers, H. A., & Demirörs, O. (2018). A semi-automated approach for generating natural language requirements documents based on business process models. In *Information and Software Technology* (Vol. 93, pp. 14–29). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.08.009>
- [A.21] Alomari, R., & Elazhary, H. (2018). Implementation of a Formal Software Requirements Ambiguity Prevention Tool. In *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* (Vol. 9, Issue 8). The Science and Information Organization. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2018.090854>
- [A.22] Apaza, R. D. G., Barrios, J. E. M., Becerra, D. A. I., & Quispe, J. A. H. (2018). ERS-TOOL. In *Proceedings of the International Conference on Geoinformatics and Data Analysis, ICGDA '18*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3220228.3220255>
- [A.23] Kamalrudin, M., Mustafa, N., & Sidek, S. (2018). A Template for Writing Security Requirements. In *Communications in Computer and Information Science* (pp. 73–86). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7796-8_6
- [A.24] Madala, K., Do, H., & Aceituna, D. (2018). A combinatorial approach for exposing off-nominal behaviors. In *Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering, ICSE '18*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3180155.3180204>
- [A.25] Vallejo, P., Mazo, R., Jaramillo, C., & Medina, J. M. (2020). Towards a new template for the specification of requirements in semi-structured natural language. In *Journal of Software Engineering Research and Development* (Vol. 8, p. 3). Sociedade Brasileira de Computacao - SB. <https://doi.org/10.5753/jserd.2020.473>
- [A.26] Wang, F., Yang, Z.-B., Huang, Z.-Q., Liu, C.-W., Zhou, Y., Bodeveix, J.-P., & Filali, M. (2020). An Approach to Generate the Traceability Between Restricted Natural Language Requirements and AADL Models. In *IEEE Transactions on Reliability* (Vol. 69, Issue 1, pp. 154–173). IEEE. <https://doi.org/10.1109/tr.2019.2936072>
- [A.27] Giannakopoulou, D., Pressburger, T., Mavridou, A., & Schumann, J. (2020). Generation of Formal Requirements from Structured Natural Language. In *Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (pp. 19–35). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44429-7_2
- [A.28] Hu, J., Hu, J., Wang, W., Kang, J., Wang, H., & Gao, Z. (2020). Constructing Formal Specification Models from Domain Specific Natural Language Requirements. In *2020 6th International Symposium on System and Software Reliability (ISSSR)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/issr51244.2020.00017>.
- [A.29] Sleimi, A., Ceci, M., Sabetzadeh, M., Briand, L. C., & Dann, J. (2020). Automated Recommendation of Templates for Legal Requirements. In *2020 IEEE 28th International Requirements Engineering Conference (RE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/re48521.2020.00027>

- [A.30] Brtis, J. S., McEvilley, M. A., & Pennock, M. J. (2021). Resilience Requirements Patterns. In *INCOSE International Symposium* (Vol. 31, Issue 1, pp. 570–584). Wiley. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2021.00855.x>
- [A.31] Kravari, K., Antoniou, C., & Bassiliades, N. (2021). SENSE: A Flow-Down Semantics-Based Requirements Engineering Framework. In *Algorithms* (Vol. 14, Issue 10, p. 298). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/a14100298>
- [A.32] Veizaga, A., Alferez, M., Torre, D., Sabetzadeh, M., & Briand, L. (2021). On systematically building a controlled natural language for functional requirements. In *Empirical Software Engineering* (Vol. 26, Issue 4). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s10664-021-09956-6>
- [A.33] Yang, Z., Bao, Y., Yang, Y., Huang, Z., Bodeveix, J.-P., Filali, M., & Gu, Z. (2021). Exploiting augmented intelligence in the modeling of safety-critical autonomous systems. In *Formal Aspects of Computing* (Vol. 33, Issue 3, pp. 343–384). ACM. <https://doi.org/10.1007/s00165-021-00543-6>
- [A.34] Mocos, K., Nestoridis, T., Katsaros, P., & Bassiliades, N. (2022). Semantic Modeling and Analysis of Natural Language System Requirements. In *IEEE Access* (Vol. 10, pp. 84094–84119). IEEE. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3197281>
- [A.35] Maiden, N., Manning, S., Jones, S., & Greenwood, J. (2004). Towards Pattern-Based Generation of Requirements from System Models. In *Proceedings of the Tenth International Workshop on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality (REFSQ'2004) Workshop*.
- [A.36] Konrad, S., & Cheng, B. H. C. (2005). Real-time specification patterns. In *Proceedings of the 27th international conference on Software engineering - ICSE '05*. ACM. <https://doi.org/10.1145/1062455.1062526>
- [A.37] Tjong, S. F. (2006). Natural language interfaces for requirements engineering. University of Nottingham. https://cs.uwaterloo.ca/~dberry/FTP_SITE/software.distribution/SriTjong/ImprovingQualityOfNLRSthruNLReqsPatterns.pdf
- [A.38] Withall, S. (2007). *Software Requirement Patterns*. Microsoft Press.
- [A.39] Grunske, L. (2008). Specification patterns for probabilistic quality properties. In *Proceedings of the 13th international conference on Software engineering - ICSE '08*. <https://doi.org/10.1145/1368088.1368094>
- [A.40] Lamar, C. (2009). *Linguistic Analysis of Natural Language Engineering Requirements*. [PhD dissertation, Clemson University]. https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/671/

- [A.41] Post, A., Menzel, I., & Podelski, A. (2011). Applying Restricted English Grammar on Automotive Requirements - Does it Work? A Case Study. In *Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (pp. 166–180). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19858-8_17
- [A.42] Farfeleder, S. (2012). *Requirements Specification and Analysis for Embedded Systems*. [PhD dissertation, Vienna University of Technology, Faculty of Informatics]. https://www.researchgate.net/publication/258341008_Requirements_Specification_and_Analysis_for_Embedded_Systems
- [A.43] Rupp, C. (2014). *Requirements Templates - The Blueprint of your Requirement*. Sophist. https://www.sophist.de/fileadmin/user_upload/Bilder_zu_Seiten/Publikationen/RE6/Webinhalte_Buchteil_3/Requirements_Templates_-_The_Blue_Print_of_your_Requirements_Rupp.pdf
- [A.44] Pohl, K., & Rupp, C. (2015). *Requirements Engineering Fundamentals: a study guide for the certified professional for requirements engineering exam, foundation level, IREB compliant (2nd Edition)*. Rocky Nook.
- [A.45] Eckhardt, J., Vogelsang, A., Femmer, H., & Mager, P. (2016). Challenging Incompleteness of Performance Requirements by Sentence Patterns. In *2016 IEEE 24th International Requirements Engineering Conference (RE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/re.2016.24>
- [A.46] Stachtari, E., Mavridou, A., Katsaros, P., Bliudze, S., & Sifakis, J. (2018). Early validation of system requirements and design through correctness-by-construction. In *Journal of Systems and Software* (Vol. 145, pp. 52–78). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.07.053>
- [A.47] International Organization for Standardization. (2018). *Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering (ISO Standard No. 29148:2018)*. <https://www.iso.org/standard/72089.html>
- [A.48] Dick, J. (2003). *Repository. Requirements Boilerplates*. <https://web.archive.org/web/20130712020608/http://freespace.virgin.net:80/gb-jedi/books/re/boilerplates/repository.htm>
- [A.49] Johannessen, V. (2012). *CESAR - text vs. boilerplates*. [MSc dissertation, Norwegian University of Science and Technology, Department of Computer and Information Science]. https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/252997/566314_FULLTEXT01.pdf?sequence=2
- [A.50] Daun, M., Fockel, M., Holtmann, J., & Tenbergen, B. (2013). *Goal-scenario-oriented requirements engineering for functional decomposition with bidirectional transformation to controlled natural language: Case study “body control module” (ICB-Research Report No. 55)*. Universität Duisburg-Essen. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/75284/1/746990383.pdf>

- [A.51] The REUSE Company. (2020). SOPHIST Master Patterns Knowledge Library, V1.0. The REUSE Company. <https://www.reusecompany.com/wp-content/uploads/2020/08/SOPHIST-Master-Patterns-Library.pdf>
- [A.52] USA Department of Defense. (2021). Joint Service Specification Guides. <https://acqnotes.com/acqnote/tasks/joint-service-specification-guides>
- [A.53] Halligan, R. J. (2022). Requirements Writing Patterns – What are the Options?. In PPI SyEN (Edition 110, pp. 35-44). <https://www.ppi-int.com/systems-engineering-newsjournal/ppi-syen-110/>
- [A.54] Renault, S., Méndez-Bonilla, Ó., Franch, X., & Quer, C. (2009). A Pattern-Based method for building requirements documents in call-for-tender processes. In International Journal of Computer Science and Applications (Vol. 6, Issue 5, pp. 175-202). Elsevier BV. https://www.researchgate.net/publication/40427036_A_pattern-based_method_for_building_requirements_documents_in_call-for-tender_processes

APÊNDICE B – DIMENSÕES TAXONÔMICAS E CLASSIFICAÇÕES DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ARTEFATOS

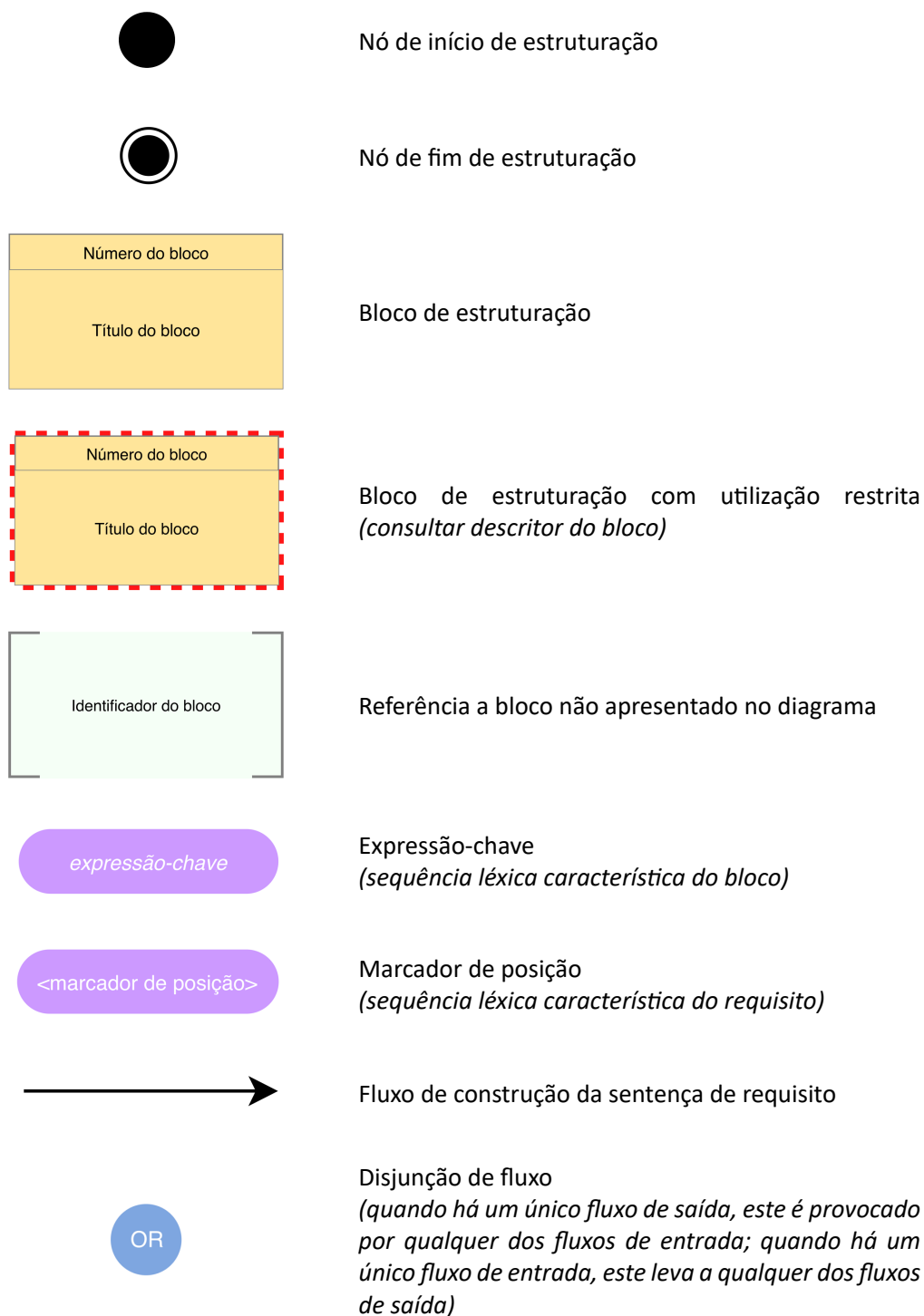
Simplificação da taxonomia desenvolvida por (PRAT; COMYN-WATTIAU; AKOKA, 2015):

1. **Técnica de Avaliação** - a dimensão fundamental, baseada no paradigma de pesquisa.
 - a) *Observacional* - aplica o artefato no ambiente real, em um ou mais projetos.
 - b) *Analítica* - examina as estruturas, funções ou propriedades inerentes ao artefato.
 - c) *Experimental* - aplica o artefato em ambiente controlado, ou com dados artificiais.
 - d) *Testagem* - executa as interfaces do artefato, em busca de falhas ou defeitos.
 - e) *Descritiva* - demonstra a utilidade do artefato pela construção de um cenário detalhado de utilização ou por informações advindas da literatura.
 - f) *Baseada em perguntas* - avalia por opiniões, pensamentos, ou reações de participantes secundários, sem aplicação concreta do artefato.
2. **Forma de avaliação** - a abordagem específica da avaliação.
 - a) *Quantitativa* - as características do artefato são criticadas em bases numéricas.
 - b) *Qualitativa* - as características do artefato são criticadas com base numa escala de valores (ainda que seja posteriormente codificada em dados numéricos).
 - c) *Encadeamento lógico* - as características do artefato são criticadas com base na linguagem natural, em argumentos ou inferências.
 - d) *Prova formal* - as características do artefato são criticadas com base no rigor matemático, em desenvolvimento de sentenças algébricas ou numéricas.
3. **Participantes secundários** - quais seres humanos tomam parte na avaliação, descontando os diretamente envolvidos na sua construção.
 - a) *Estudantes* - aprendizes em geral, não-proficientes no domínio de aplicação do artefato.
 - b) *Profissionais* - praticantes que trabalham no domínio de aplicação do artefato, em ambiente de negócio.
 - c) *Pesquisadores* - praticantes que trabalham no domínio de aplicação do artefato, em ambiente acadêmico.
 - d) *Qualquer combinação dos anteriores.*

- e) *Nenhum* - ninguém que não estivesse diretamente envolvido na construção do artefato tomou parte na avaliação.
4. **Nível de avaliação** - a distinção feita entre avaliações em um artefato teórico ou em um exemplar construído.
- a) *Abstração* - avaliação do artefato idealizado.
 - b) *Instanciação* - avaliação de uma realização concreta do artefato.
5. **Relatividade da avaliação** - determina se, e contra o quê, o artefato é comparado na avaliação.
- a) *Absoluta* - avaliação do artefato *per se*.
 - b) *Relativa à ausência de artefato* – comparação do desempenho com e sem o uso do artefato.
 - c) *Relativa a artefatos semelhantes* – comparação do desempenho com o uso do artefato e com o uso de uma ou mais soluções similares já existentes.

APÊNDICE C – DIAGRAMAS DE DEFINIÇÃO E DESCRITORES DE BLOCOS DO ARTEFATO

Legenda:



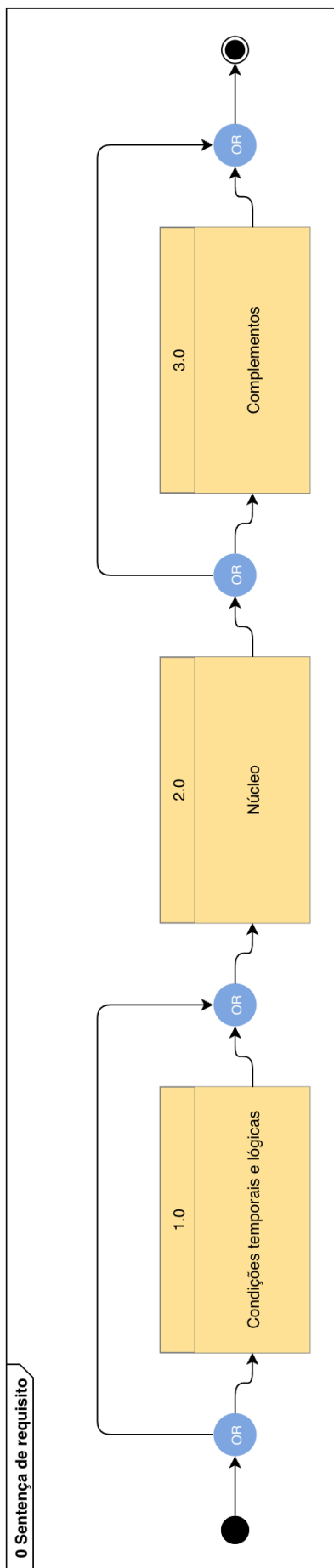


Figura C.1 – Diagrama representativo do Bloco 0 – Sentença de requisito.

0 – SENTENÇA DE REQUISITO

Descrição	Período escrito em linguagem natural que comunica a obrigatoriedade de certo Agente em executar certa função ou possuir certa característica dentro de restrições preestabelecidas.
Uso	Bloco básico e obrigatório na declaração do requisito.
Justificativa	O bloco constitui a estruturação mais genérica da linguagem natural para documentação de requisitos, permitindo segregar os fatores condicionantes, o núcleo e os complementos do requisito.
Fonte original	[A.43]
Inovação	Tradução e preparação do bloco para pormenorização dos constituintes.

1.0 – CONDIÇÕES TEMPORAIS E LÓGICAS

Descrição	Conjunto de circunstâncias, eventos ou características que delimitam a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	Utilize este bloco sempre que o requisito for aplicável apenas na ocorrência de certas condições.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional, verificabilidade e adequação do requisito à necessidade do usuário, permitindo a articulação de diversas cláusulas condicionantes.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. Os componentes do bloco foram expandidos e alterados.

2.0 – NÚCLEO

Descrição	Estrutura principal da Sentença de Requisito, que caracteriza a funcionalidade esperada do sistema de interesse.
Uso	Bloco obrigatório na declaração do requisito. Nele são determinados o sistema de interesse, o modal de obrigação e a funcionalidade a ser apresentada pelo agente.
Justificativa	Por ser o cerne do requisito, o bloco se relaciona com todos os atributos de qualidade. É nele que se declaram as necessidades dos stakeholders a serem atendidas pelo sistema.
Fonte original	[A.43]
Inovação	Pormenorização dos constituintes.

3.0 - COMPLEMENTOS

Descrição	Expressões que qualificam ou reduzem o escopo da ação realizada pelo agente ou do objeto da ação.
Uso	Utilize este bloco sempre que o correto enunciado do requisito exigir que a atividade realizada pelo Agente ou um ou mais dos Objetos da ação sejam restringidos em sua definição ou qualificados de certo modo.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.53]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. Os componentes do bloco foram expandidos e alterados.

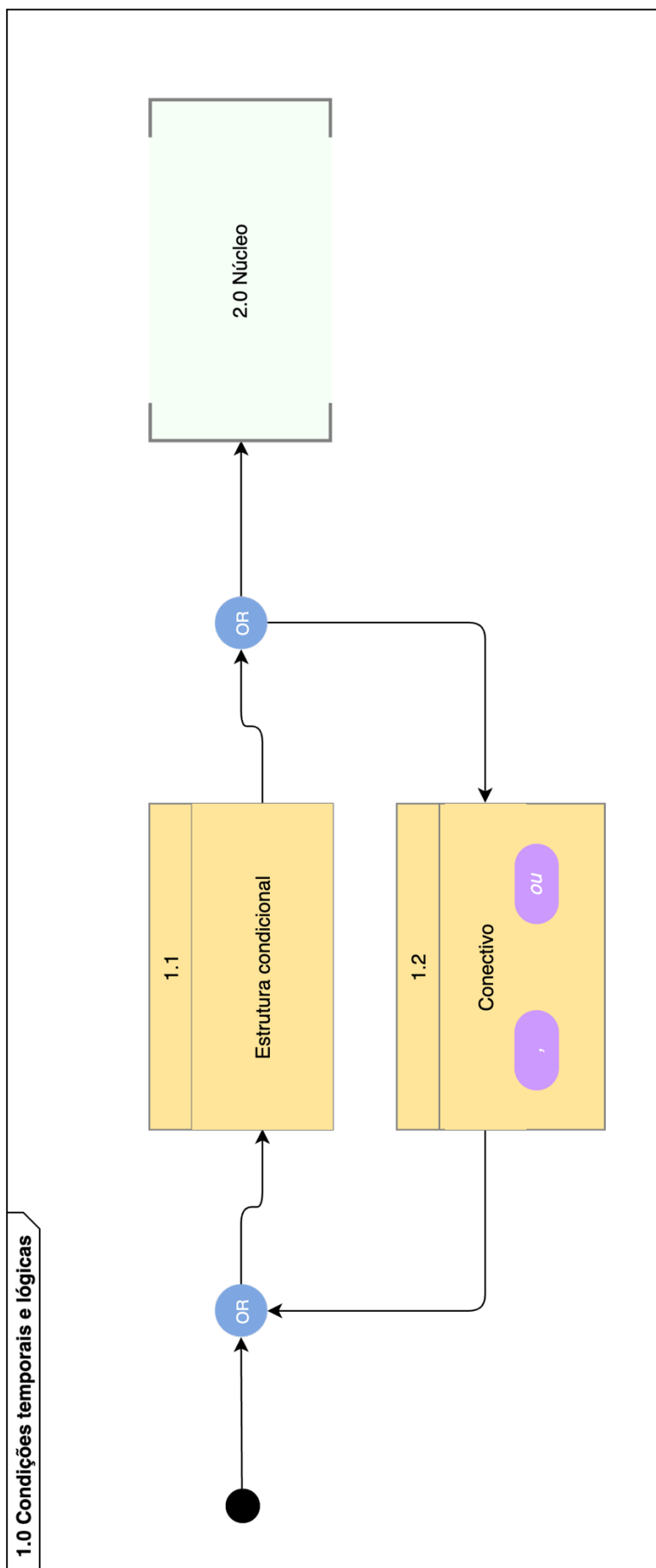


Figura C.2 – Diagrama representativo do Bloco 1.0 – Condições temporais e lógicas.

1.1 – ESTRUTURA CONDICIONAL

Descrição	Declaração individual de circunstância, evento ou característica que delimita a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	Utilize este bloco para individualizar cada uma das condições aplicáveis à exigência do requisito.
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade do requisito, permitindo que cada condição seja declarada conforme a estrutura mais conveniente à sua natureza.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. O número de componentes do bloco foi expandido.

1.2 – CONECTIVO	
Descrição	Elemento de ligação entre estruturas condicionais.
Uso	<p>Utilize este bloco para coordenar condições temporais e lógicas entre si. A expressão-chave “;” significa que a condição anterior e a posterior devem ser simultaneamente válidas para a aplicabilidade do núcleo do requisito.</p> <p>A expressão-chave “ou” significa que basta que uma das condições (seja a anterior, seja a posterior) esteja válida, para a aplicabilidade do núcleo do requisito.</p> <p>Exemplos: <i>“No caso de possuir Modo_Segurança, enquanto o Modo_Segurança estiver ativado, o Sistema deve impedir o acesso de Usuário_Anônimo.”</i> <i>“Quando ocorrer Violação ou quando ocorrer Entrada_Não_Autorizada, o Sistema deve acionar o Sistema_Alarme.”</i></p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a expressividade e não-ambiguidade do requisito, permitindo a declaração de condições múltiplas, sem que haja dúvidas interpretativas com relação à obrigatoriedade de atendimento de todas as condições para aplicabilidade do núcleo do requisito.</p> <p>A supressão da expressão “e” se deve a possíveis ambiguidades interpretativas.</p>
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores permitiam ambiguidade interpretativa na coordenação de condições.

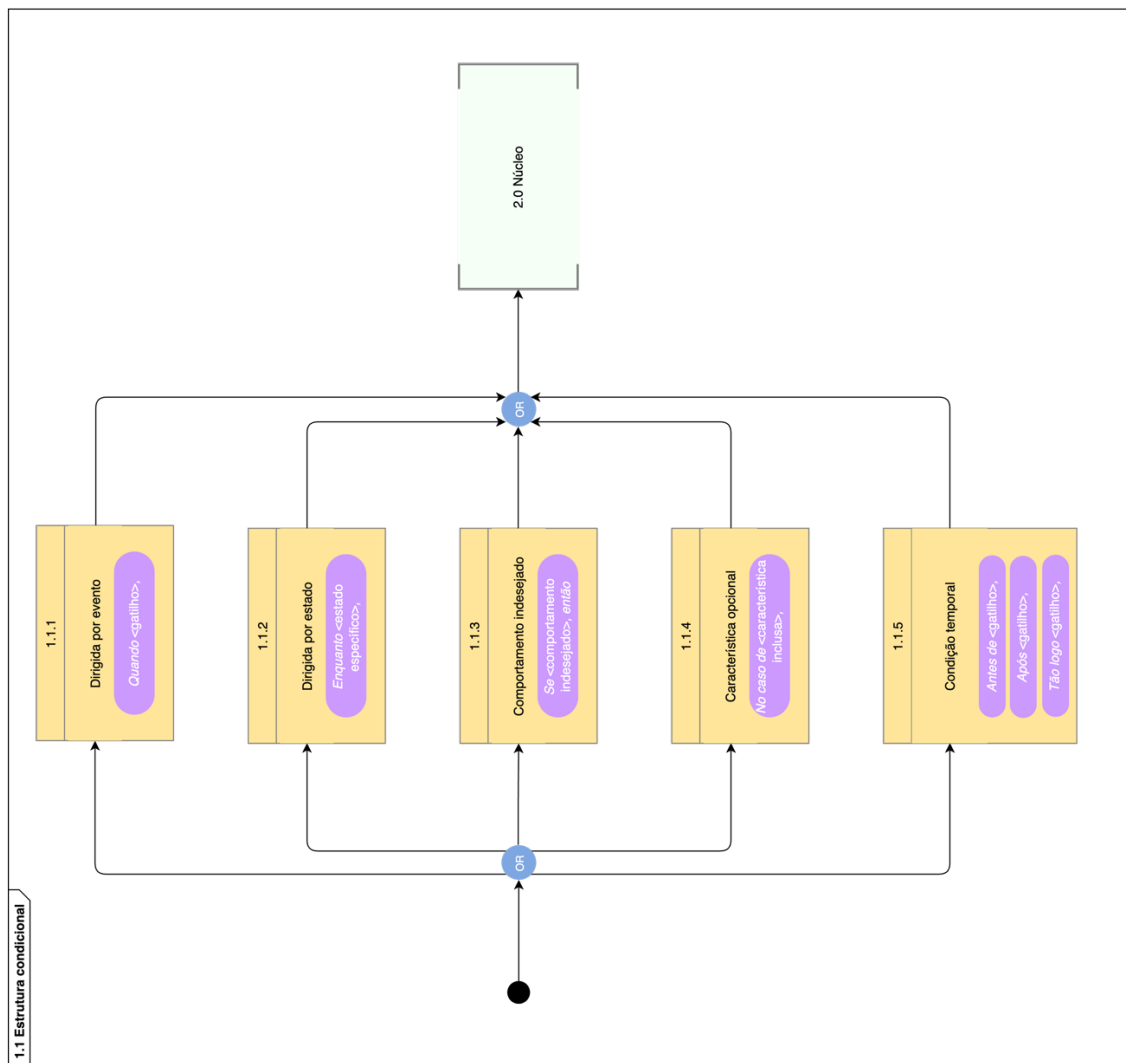


Figura C.3 – Diagrama representativo do Bloco 1.1 – Estrutura condicional.

1.1.1 – DIRIGIDA POR EVENTO

Descrição	Declaração individual de evento que delimita a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	<p>Utilize este bloco para ressaltar que o requisito é aplicável se, e somente se, o evento “gatilho” ocorrer. A palavra-chave é <i>quando</i> e o evento deve ser inserido no marcador de posição <gatilho>.</p> <p>Exemplo: <i>“Quando ocorrer Entrada Não Autorizada, o Sistema deve acionar o Sistema_Alarme.”</i></p>
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade do requisito, permitindo a declaração de condições baseadas na ocorrência de eventos particulares.
Fonte original	[A.03]
Inovação	Tradução e reformulação do bloco para apresentação em forma de diagrama.

1.1.2 – DIRIGIDA POR ESTADO

Descrição	Declaração individual de estado que delimita a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	<p>Utilize este bloco para ressaltar que o requisito é aplicável se, e somente se, o agente do requisito encontrar-se em determinada situação. A palavra-chave é <i>enquanto</i> e o estado deve ser inserido no marcador de posição <em estado específico>.</p> <p>Exemplo: <i>“Enquanto em Espera, o Monitor deve possuir potência de, no máximo, 1,00 W.”</i></p>
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade do requisito, permitindo a declaração de condições baseadas na permanência em estados particulares.
Fonte original	[A.03]
Inovação	Tradução e reformulação do bloco para apresentação em forma de diagrama.

1.1.3 – COMPORTAMENTO INDESEJADO

Descrição	Declaração individual de estado ou evento indesejado, que força a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	<p>Utilize este bloco para ressaltar que o requisito é aplicável se, e somente se, houver a ocorrência de um fenômeno que escapa da operação normal do sistema. A expressão-chave é <i>se...então</i> e o evento ou estado indesejado deve ser inserido no marcador de posição <condição ou evento>.</p> <p>Exemplo: <i>“Se ocorrer falha de funcionamento do Sistema_Gerador, então o Sistema_Aquisição_De_Dados deve permanecer em Estado_De_Operação por, no mínimo, 900 s.”</i></p>
Justificativa	O bloco contribui para a completude do conjunto de requisitos, incentivando a previsão de comportamentos indesejáveis e tratamento de erros na operação do sistema.
Fonte original	[A.03]
Inovação	Tradução e reformulação do bloco para apresentação em forma de diagrama.

1.1.4 – CARACTERÍSTICA OPCIONAL

Descrição	Declaração individual de existência de uma característica do agente que delimita a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	Utilize este bloco para ressaltar que o requisito é aplicável se, e somente se, o agente do requisito possuir certa funcionalidade ou for dotado de certo componente. A expressão-chave é <i>no caso de</i> e a característica opcional deve ser inserida no marcador de posição <i><característica inclusa></i> . Exemplo: <i>“<u>No caso de possuir cão</u>, a Pistola deve possuir sistema de rebatimento seguro do cão.”</i>
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade do requisito, permitindo a declaração de condições baseadas em configurações particulares do sistema.
Fonte original	[A.03]
Inovação	Tradução e reformulação do bloco para apresentação em forma de diagrama.

1.1.5 – CONDIÇÃO TEMPORAL

Descrição	Declaração individual de sequência temporal que delimita a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	<p>Utilize este bloco para ressaltar que o requisito descreve um comportamento do agente que deve ocorrer com certa relação temporal a um evento “gatilho”, não necessariamente instantâneo. O evento deve ser inserido no marcador de posição <gatilho>.</p> <p>A expressão-chave <i>Antes de</i> significa que o núcleo do requisito é aplicável antes do início do evento.</p> <p>A expressão-chave <i>Após</i> significa que o núcleo do requisito é aplicável após o término do evento.</p> <p>A expressão-chave <i>Tão logo</i> significa que o núcleo do requisito é aplicável após o início do evento (sem que haja necessidade de esperar sua conclusão).</p> <p>Exemplo: <i>“Após processamento da Lista De Alvos pelo Sistema De Aquisição, o Sistema_De_Visualização deve informar ao Observador os Alvos Próximos.”</i></p>
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade do requisito, permitindo a declaração de condições baseadas em sequências de atividades.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Tradução e reformulação do bloco para apresentação em forma de diagrama.

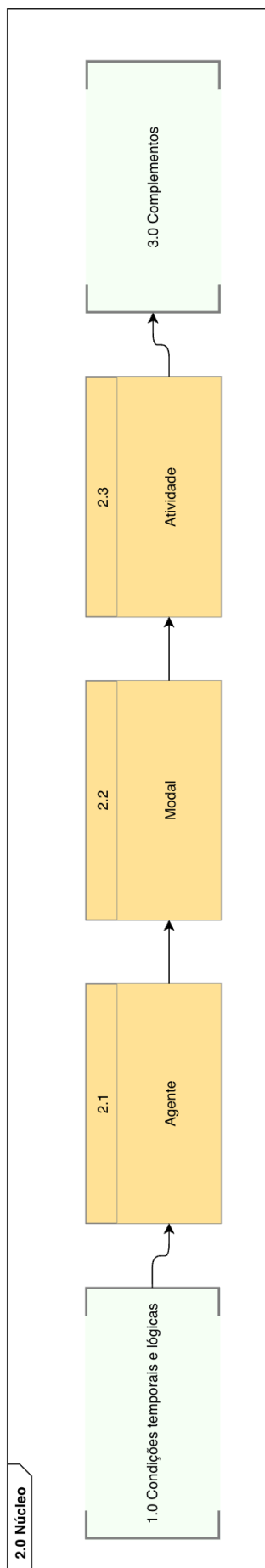


Figura C.4 – Diagrama representativo do Bloco 2.0 - Núcleo.

2.1 – AGENTE

Descrição	Sistema, subsistema ou componente responsável pela característica descrita no requisito.
Uso	Bloco obrigatório na declaração do requisito. Deve especificar de forma clara e precisa o sujeito da frase, no nível sistêmico correto.
Justificativa	Ao colocar o sujeito como agente do requisito, direciona-se o uso da voz ativa, deixando mais evidente qual é o elemento responsável pela conformidade à exigência. Por consequência, o bloco contribui para a verificabilidade do requisito.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Pormenorização dos constituintes.

2.2 – MODAL

Descrição	Indicador da atitude normativa do requisito.
Uso	Bloco obrigatório na declaração do requisito. Nele é determinada a obrigatoriedade ou proibição da Atividade.
Justificativa	O bloco permite a modulação deontica do requisito. Optou-se por restringir as opções à obrigatoriedade absoluta e à proibição absoluta. Outras modulações, como o desejo, a permissão, e a mera constatação factual, não devem constar na declaração do requisito, podendo ser expressas por Atributos, tais como a Prioridade.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Restrição de opções e adaptação às particularidades do idioma português.

2.3 – ATIVIDADE

Descrição	Identificador da funcionalidade esperada do sistema de interesse.
Uso	Bloco obrigatório na declaração do requisito. Nele é identificado o Outorgado (se houver), e determinado o processo executado pelo Agente ou pelo Outorgado, ou ainda a característica a ser apresentada pelo Agente.
Justificativa	A funcionalidade a ser atendida pelo sistema de interesse é um elemento central do requisito, estando relacionado a todos os fatores de qualidade.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Pormenorização dos constituintes.

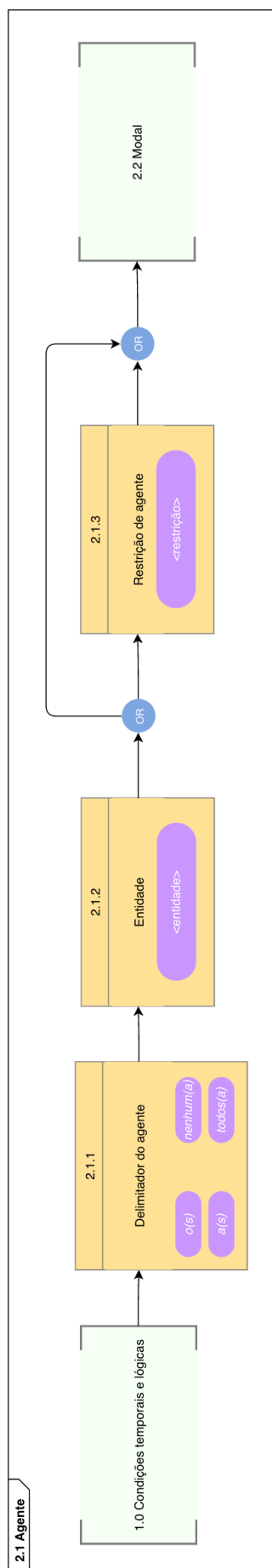


Figura C.5 – Diagrama representativo do Bloco 2.1 - Agente.

2.1.1 – DELIMITADOR DO AGENTE

Descrição	Indicador do sentido individual ou quantificado do Agente.
Uso	<p>Bloco obrigatório na declaração do requisito. As expressões-chaves marcadas pelos artigos definidos <i>o(s) / a(s)</i> devem ser utilizadas quando o Agente possuir significado individualizado, determinado pela mera denominação da Entidade. As expressões-chave <i>todos(as) / nenhum(a)</i> devem ser utilizadas quando houver necessidade de se referir ao Agente na forma quantificada da Entidade.</p> <p>Exemplos: <i>“A Pistola deve possuir Guarda-mato.”</i> <i>“Todos Subsistemas_De_Monitoramento devem permitir aos Observadores comunicar-se diretamente com os Comandantes_De_Viatura.”</i></p>
Justificativa	O uso do delimitador auxilia na correta identificação do agente responsável pelo comportamento descrito e na compreensibilidade do requisito.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Adição do delimitador <i>nenhum(a)</i> .

2.1.2 – ENTIDADE

Descrição	Identificador concreto do agente.
Uso	<p>Bloco obrigatório na declaração do requisito. Deve ser preenchido com o nome do sistema, subsistema ou componente responsável pela execução da funcionalidade ou apresentação da característica desejada. Deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Exemplo: <i>“A <u>Pistola</u> deve possuir <u>Guarda-mato</u>.”</i></p>
Justificativa	<p>Por intermédio da declaração da entidade se especifica o elemento responsável pelo cumprimento da exigência do requisito, no nível sistêmico correto, ao mesmo tempo em que se evita que o sujeito da frase se torne a função ou característica a ser apresentada pelo elemento.</p> <p>O formato <i>Abc_X</i> para a entidade ressalta sua posição e chama atenção para a necessidade de sua definição em Glossário.</p>
Fonte original	[A.25]
Inovação	Adição de formatação.

2.1.3 – RESTRIÇÃO DO AGENTE

Descrição	Moderação de classe do agente.
Uso	<p>Use este bloco quando o requisito não for aplicável a todos os elementos abarcados pela definição da entidade. O marcador de posição <restrição> deve ser preenchido com a qualificação, estado ou condição que restringe o agente no universo de seus semelhantes.</p> <p>Exemplo: <i>“Os Subsistemas EVT que comunicarem dados a entidades externas ao Sistema EVT devem possuir interface LAN (10/100 Mbit/s), no padrão Ethernet – RJ-45.”</i></p>
Justificativa	O bloco permite restringir o agente a um subconjunto de sua classe geral. Não se confunde com uma Condição, pois o requisito (na ausência de Condição) é sempre aplicável, mas apenas aos Agentes abarcados pela restrição imposta.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Melhor definição do uso e justificativa do bloco.

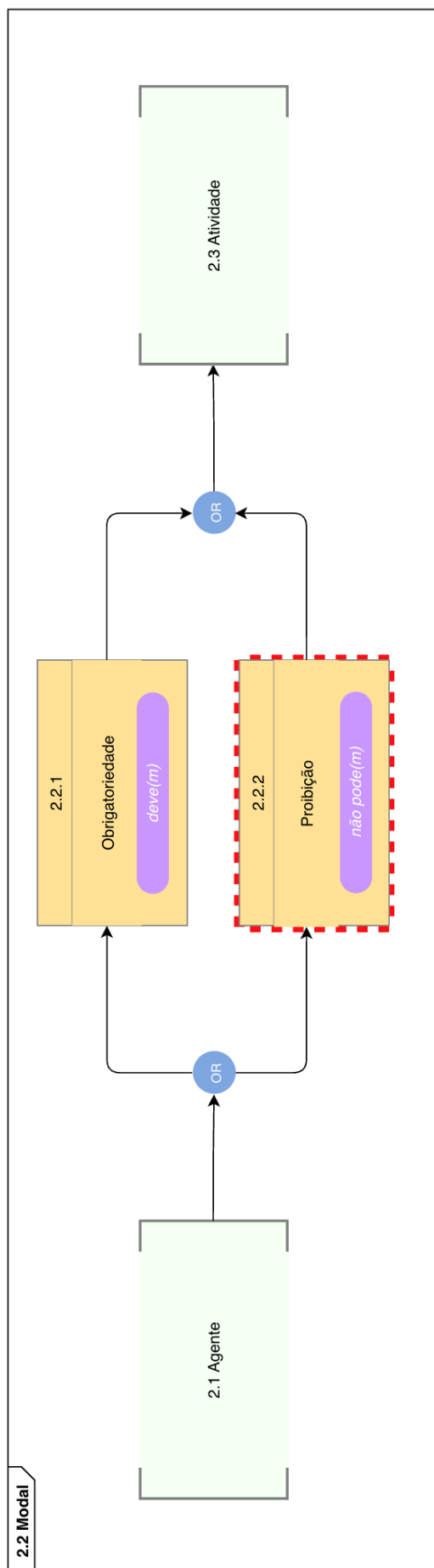


Figura C.6 – Diagrama representativo do Bloco 2.2 – Modal.

2.2.1 – OBRIGATORIEDADE

Descrição	Indicador de atitude normativa positiva do requisito.
Uso	Use este bloco para estabelecer a obrigatoriedade da Atividade para atendimento ao requisito. Utilize o verbo <i>dever</i> como expressão-chave, conjugado na 3ª pessoa do indicativo, singular ou plural, conforme o agente. Exemplo: <i>“A Pistola <u>deve</u> possuir Guarda-mato.”</i>
Justificativa	O bloco permite identificar de forma explícita e uniforme a modalidade obrigatória do requisito, contribuindo para a não-ambiguidade e correção do requisito.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Restrição de opções e adaptação às particularidades do idioma português.

2.2.2 – PROIBIÇÃO

Descrição	Indicador de atitude normativa negativa do requisito.
Uso	<p>Use este bloco para estabelecer a proibição da Atividade para atendimento ao requisito.</p> <p>Utilize uma das expressões-chave “<i>não pode</i>” ou “<i>não podem</i>”, conforme o número do agente.</p> <p>EVITE O USO DESTE BLOCO, OPTANDO PELA OBRIGATORIEDADE SEMPRE QUE POSSÍVEL.</p> <p>Exemplo: “O SiAAIH <u>não pode</u> interferir no envelope dos comandos de voo da aeronave.”</p>
Justificativa	A concessão de normatização negativa justifica-se pela ocasional inviabilidade de especificar uma funcionalidade ou característica do agente sem o uso do <i>não</i> , ou pela perda considerável de fluidez no texto em idioma português sem tal artifício.
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores não atendiam as particularidades do idioma português.

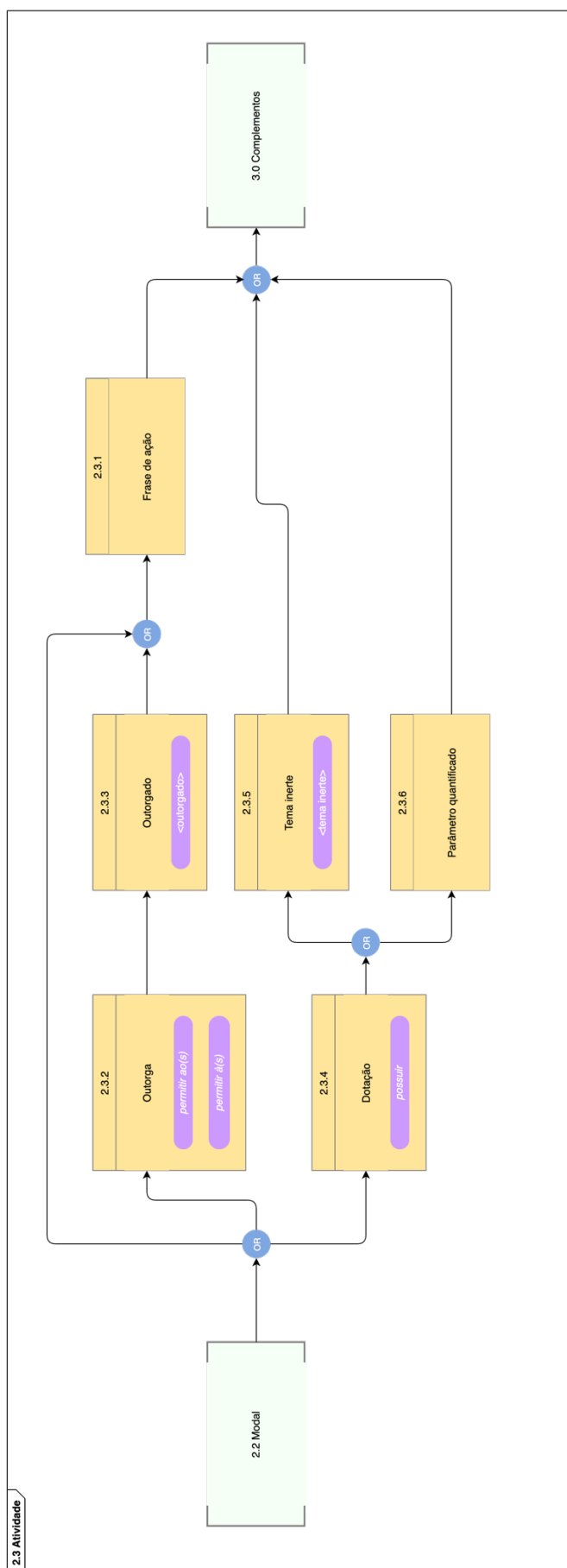


Figura C.7 – Diagrama representativo do Bloco 2.3 – Atividade.

2.3.1 – FRASE DE AÇÃO

Descrição	Identificador de capacidade executada ou apresentada por Agente ou Outorgado.
Uso	Utilize este bloco para estabelecer o processo executado pelo Agente ou pelo Outorgado, ou ainda a característica a ser apresentada pelo Agente.
Justificativa	A ação de um sistema de interesse ou de um terceiro é elemento central do requisito, estando relacionado a todos os fatores de qualidade.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Pormenorização dos constituintes.

2.3.2 – OUTORGA

Descrição	Identificador de outorga de funcionalidade.
Uso	<p>Utilize este bloco quando a responsabilidade pela execução da Frase de Ação não for do Agente, mas de outro elemento. Neste caso, a responsabilidade do Agente é a de outorgar a funcionalidade ao Outorgado.</p> <p>As expressões-chave são “<i>permitir à</i>”, “<i>permitir ao</i>”, “<i>permitir às</i>” e “<i>permitir aos</i>”, conforme gênero e número do Outorgado.</p> <p>Exemplo: “O Sistema_De_Comunicação deve <u>permitir ao</u> Operador configurar 20 canais pré-sintonizados.”</p>
Justificativa	O bloco permite a imediata identificação da natureza de outorga da Atividade, aumentando a expressividade do requisito sem prejuízo à sua legibilidade.
Fonte original	[A.25]
Inovação	Adaptação às particularidades do idioma português.

2.3.3 – OUTORGADO

Descrição	Identificador de elemento capacitado em funcionalidade.
Uso	<p>Utilize este bloco em complemento ao de Outorga, a fim de identificar o elemento responsável pela execução da Frase de Ação.</p> <p>Preencha com a expressão nominal que caracteriza o outorgado. Se consistir em sistema, subsistema ou componente, deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Exemplo: <i>“O Sistema_De_Comunicação deve permitir ao <u>Operador</u> configurar 20 canais pré-sintonizados.”</i></p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.</p> <p>O formato <i>Abc_X</i> para o elemento ressalta sua posição e chama atenção para a necessidade de sua definição em Glossário.</p>
Fonte original	[A.25]
Inovação	Pormenorização dos constituintes e estabelecimento de formatação.

2.3.4 – DOTAÇÃO

Descrição	Identificador de dotação de característica.
Uso	Utilize este bloco quando o núcleo da atividade declarada no requisito não consistir em uma Frase de Ação, mas na provisão de certo componente estrutural ou parâmetro ao Agente. A expressão-chave é “ <i>possuir</i> ”. Exemplo: “A Viatura deve <u>possuir</u> largura total de, no máximo, 4,00 m.”
Justificativa	O bloco permite a imediata identificação da natureza de dotação da Atividade, aumentando a expressividade do requisito sem prejuízo à sua legibilidade.
Fonte original	[A.42]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. Os complementos do bloco foram expandidos e alterados.

2.3.5 – TEMA INERTE

Descrição	Identificador de componente estrutural do Agente.
Uso	<p>Utilize este bloco em complemento ao de Dotação, sempre que a necessidade indicar que o Agente deve possuir certo componente estrutural.</p> <p>Preencha o marcador de posição <tema inerte> com a expressão nominal que caracteriza o componente estrutural. Se consistir em sistema, subsistema, ou componente específico definido em Glossário, deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Exemplo: <i>“A Pistola deve possuir <u>Guarda-mato</u>.”</i></p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.</p> <p>O formato <i>Abc_X</i> para o elemento ressalta sua posição e chama atenção para a necessidade de sua definição em Glossário.</p>
Fonte original	[A.42]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama.

2.3.6 – PARÂMETRO QUANTIFICADO

Descrição	Identificador de propriedade quantificada do Agente.
Uso	Utilize este bloco em complemento ao de Dotação, sempre que a necessidade indicar que o Agente deve possuir propriedade quantificada.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.42]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama e seus componentes foram pormenorizados.

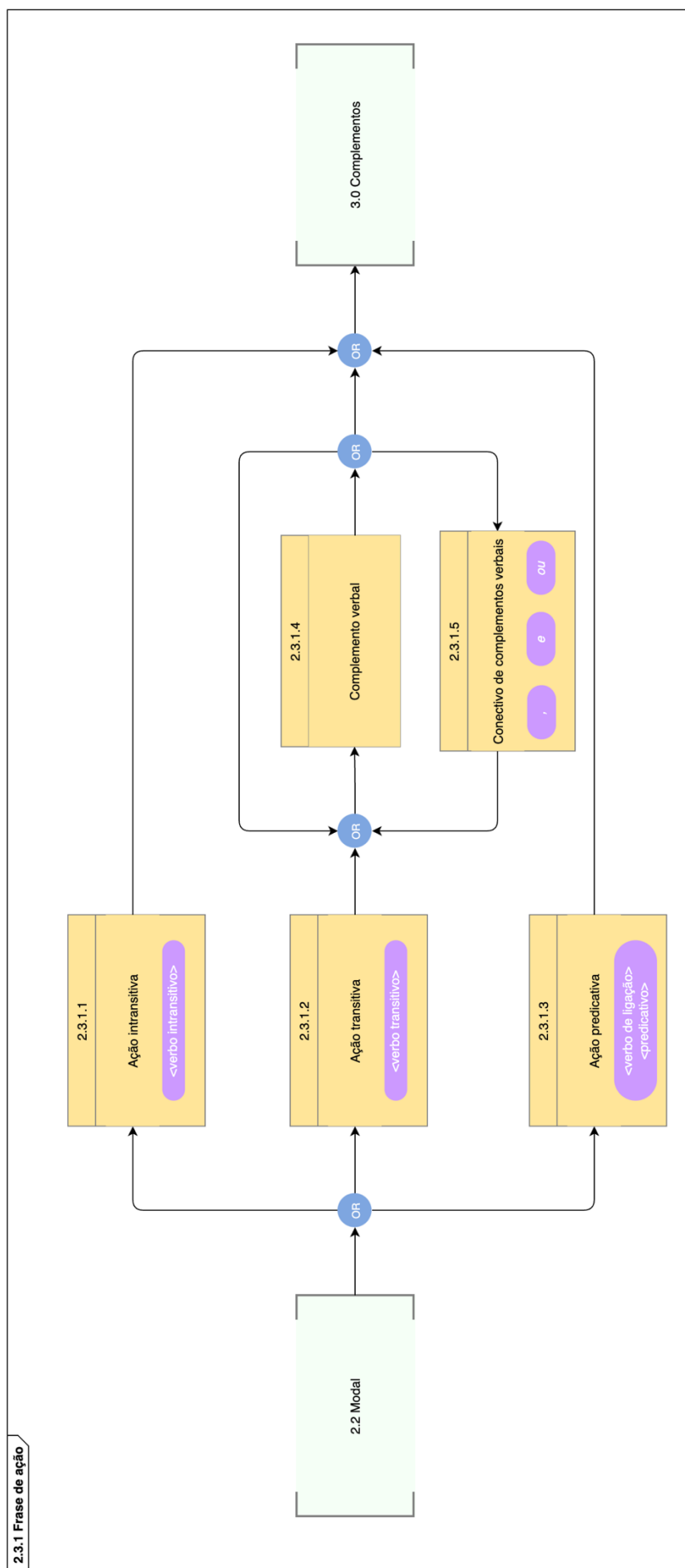


Figura C.8 – Diagrama representativo do Bloco 2.3.1 – Frase de ação.

2.3.1.1 – AÇÃO INTRANSITIVA

Descrição	Identificação de atividade realizada pelo agente, sem objeto.
Uso	<p>Use este bloco quando a ação realizada pelo agente for caracterizada por um verbo intransitivo, que possui, em conjunto com o Agente e o Modal, significado completo.</p> <p>O marcador de posição <verbo intransitivo> deve ser preenchido com o verbo intransitivo pertinente à ação esperada, no infinitivo.</p> <p>Exemplo: “O Sistema deve <u>inicializar</u> em não mais que 20 s, a partir do comando do Operador.”</p>
Justificativa	O bloco permite a indicar a ação principal do requisito, sempre que não houver necessidade de complemento verbal para seu completo entendimento, contribuindo para a completude e a expressividade do requisito.
Fonte original	[A.40]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama.

2.3.1.2 – AÇÃO TRANSITIVA

Descrição	Identificação de atividade realizada pelo agente, com objeto.
Uso	<p>Use este bloco quando a ação realizada pelo agente for caracterizada por um verbo transitivo, que carece de complemento verbal para adquirir significado completo.</p> <p>O marcador de posição <verbo transitivo> deve ser preenchido com o verbo transitivo pertinente à ação esperada, no infinitivo.</p> <p>Exemplo: “Quando ocorrer <i>Entrada_Não_Autorizada</i>, o Sistema deve <u>acionar</u> o <i>Sistema_Alarme</i>.”</p>
Justificativa	O bloco permite a indicar a ação principal do requisito, sempre que esta carecer de complemento verbal para seu completo entendimento, contribuindo para a completude e a expressividade do requisito.
Fonte original	[A.40]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama.

2.3.1.3 – AÇÃO PREDICATIVA

Descrição	Identificação de qualidade ou estado a ser apresentado pelo agente.
Uso	<p>Use este bloco quando a exigência principal do requisito referir-se a certa característica, qualidade ou estado a ser apresentado pelo agente, ao invés da execução de um processo.</p> <p>O marcador de posição <verbo de ligação> deve ser preenchido com o verbo de ligação pertinente à transitoriedade esperada, no infinitivo.</p> <p><i>Ser</i>, para um estado permanente.</p> <p><i>Estar</i>, para um estado transitório.</p> <p><i>Tornar</i>, para mudança de estado.</p> <p><i>Permanecer</i>, para continuidade de estado.</p> <p>O marcador de posição <predicativo> deve ser preenchido com o termo nominal ou adjetivo correspondente ao estado exigido.</p> <p>Exemplo: <i>“O Paraquedas_Piloto deve <u>ser do tipo Colapsável</u>.”</i></p>
Justificativa	O bloco permite a indicar a ação principal do requisito quando esta for de natureza predicativa, contribuindo para a completude e a expressividade do requisito.
Fonte original	[A.40]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama e adaptado às particularidades do idioma português.

2.3.1.4 – COMPLEMENTO VERBAL

Descrição	Parte da oração que completa o sentido da ação transitiva.
Uso	Use este bloco quando a atividade realizada pelo agente for uma ação transitiva.
Justificativa	O bloco permite a indicação de argumentos que dão sentido ao verbo transitivo descritor da ação, promovendo completude ao requisito.
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores não atendiam as particularidades do idioma português.

2.3.1.5 – CONECTIVO DE COMPLEMENTOS VERBAIS

Descrição	Elemento de ligação entre Complementos Verbais.
Uso	<p>Utilize este bloco se a legibilidade exigir a coordenação de mais de um complemento verbal da ação transitiva, cuidando para que o requisito não deixe de ser singular.</p> <p>As expressões-chave “,” e “e” significam que os complementos anterior e posterior são simultaneamente aplicáveis à ação transitiva.</p> <p>A expressão-chave “ou” significa que basta que um dos complementos - seja o anterior, seja o posterior – seja atendido para conformidade ao requisito.</p> <p>Exemplos: <i>“O HMD deve informar aos Pilotos o tipo de armamento em uso, a condição de uso, a Linha_De_Tiro e a Linha_De_Visada.”</i> <i>“A Pistola deve permitir ao Usuário instalar kit de Simulação_Viva ou kit Simunition.”</i></p>
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade e não-ambiguidade do requisito, permitindo a declaração de complementos verbais múltiplos, sem que haja dúvidas interpretativas com relação à obrigatoriedade de atendimento a todas as estruturas complementares.
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores permitiam ambiguidade interpretativa na coordenação de complementos.

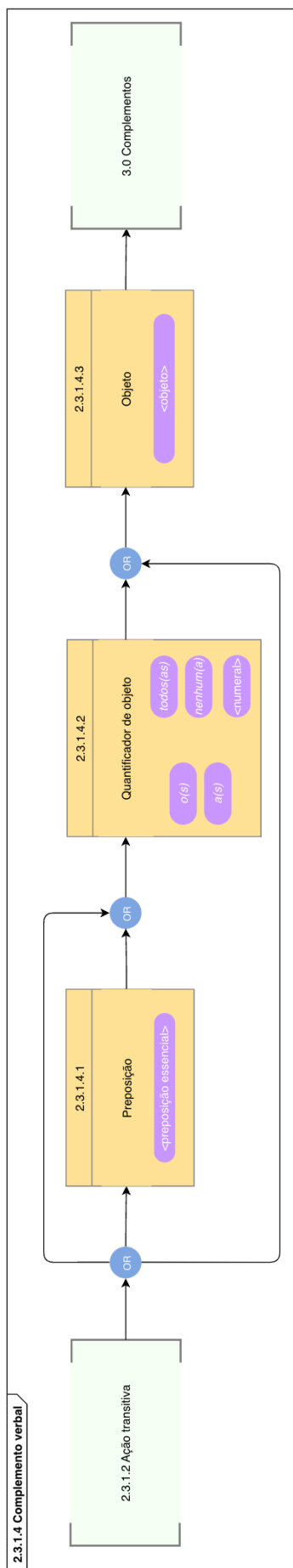


Figura C.9 – Diagrama representativo do Bloco 2.3.1.4 – Complemento verbal.

2.3.1.4.1 – PREPOSIÇÃO

Descrição	Elemento que liga o verbo transitivo indireto ao seu objeto.
Uso	<p>Use este bloco quando a regência do verbo que caracteriza a ação transitiva exigir emprego de preposição.</p> <p>No marcador de posição deve ser inserida uma preposição essencial, como <i>a, ante, após, até, com, contra, de, desde, em, entre, para, perante, por, sem, sob</i> e <i>sobre</i>.</p> <p>Exemplo: “O Fuzil deve permitir ao Operador municiar o Carregador <u>com</u> 30 Cartuchos.”</p>
Justificativa	O bloco permite a redação do requisito conforme a correta gramática do idioma português, mitigando possíveis ambiguidades e promovendo a compreensibilidade do requisito.
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores não atendiam as particularidades do idioma português.

2.3.1.4.2 – QUANTIFICADOR DE OBJETO

Descrição	Indicador do sentido individual ou quantificado do objeto.
Uso	<p>Os artigos definidos <i>o(s) / a(s)</i> devem ser utilizados quando o objeto possuir significado individualizado, determinado por sua mera denominação.</p> <p>Os pronomes <i>todos(as) / nenhum(a)</i>, ou qualquer numeral, devem ser utilizados quando houver necessidade de se referir ao objeto na forma quantificada.</p> <p>Observar que pode ocorrer contração do quantificador com a preposição.</p> <p>Exemplo: “O Fuzil deve permitir ao Operador municiar <u>o</u> Carregador com <u>30</u> Cartuchos.”</p>
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores não atendiam as particularidades do idioma português.

2.3.1.4.3 – OBJETO

Descrição	Núcleo principal do Complemento Verbal.
Uso	<p>Preencha com o substantivo alvo da ação transitiva do Agente ou do Outorgado. Se consistir em sistema, subsistema ou componente, deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Exemplo: “O Fuzil deve permitir ao Operador municiar o <u>Carregador</u> com 30 <u>Cartuchos</u>.”</p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.</p> <p>O formato <i>Abc_X</i> para o objeto ressalta sua posição e chama atenção para a necessidade de sua definição em Glossário.</p>
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores não atendiam as particularidades do idioma português.

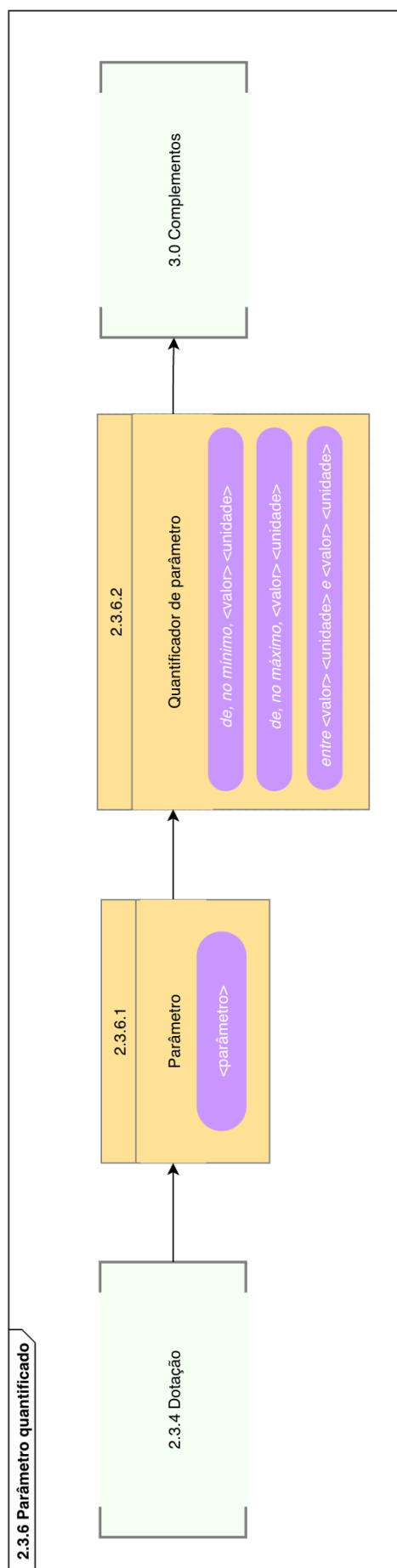


Figura C.10 – Diagrama representativo do Bloco 2.3.6 – Parâmetro quantificado.

2.3.6.1 – PARÂMETRO

Descrição	Identificador de propriedade do Agente a ser quantificada.
Uso	Preencha o marcador de posição <parâmetro> com a expressão nominal que caracteriza a propriedade a ser quantificada. Exemplo: <i>“A Viatura deve possuir <u>largura total</u> de, no máximo, 4,00 m.”</i>
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.42]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama.

2.3.6.2 – QUANTIFICADOR DE PARÂMETRO

Descrição	Identificador quantitativo do valor da propriedade a ser apresentada pelo Agente.
Uso	<p>Escolha uma das expressões-chave “<i>de, no mínimo,</i>”, “<i>de no máximo,</i>” ou “<i>entre ... e</i>” conforme a necessidade indicar.</p> <p>Preencha o marcador de posição <valor> com o número que caracteriza o limite quantitativo imposto ao parâmetro.</p> <p>Partes decimais do valor, se expressas, devem ser separadas da parte inteira por uso de vírgula, no formato <i>11,11</i>.</p> <p>Preencha o marcador de posição <unidade> com a unidade de medida coerente ao valor.</p> <p>A menos que imposto pelo projeto, com justificativa constante nos atributos do requisito, devem ser escolhidas unidades de medida pertencentes ao Sistema Internacional de Unidades.</p> <p>Exemplo: <i>“A Viatura deve possuir largura total <u>de, no máximo, 4,00 m.</u>”</i></p>
Justificativa	O bloco mitiga o risco de uso de termos subjetivos ou de escape, além de uniformizar padrões de expressão numérica e dimensional entre os requisitos.
Fonte original	[A.42]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama, seus componentes foram pormenorizados, e houve estabelecimento de formatação.

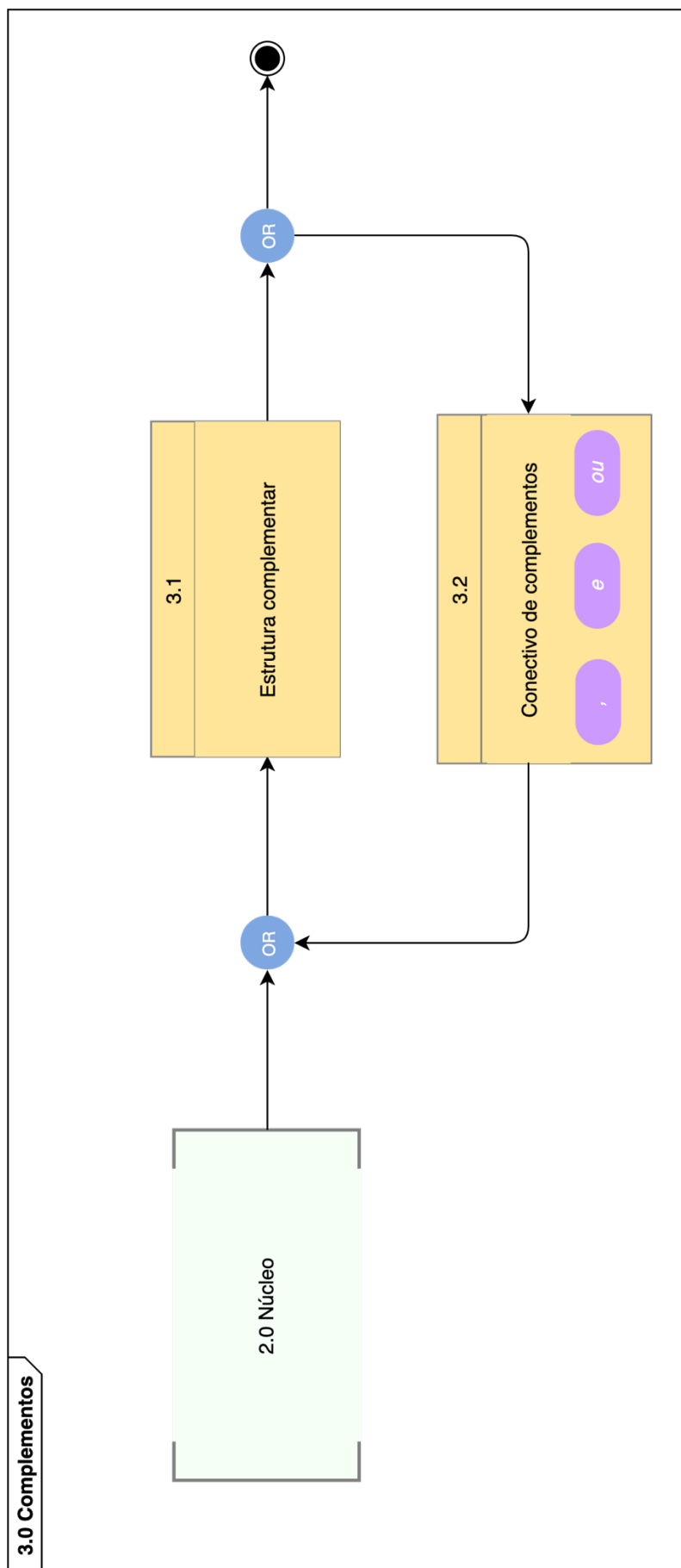


Figura C.11 – Diagrama representativo do Bloco 3.0 – Complementos.

3.1 – ESTRUTURA COMPLEMENTAR

Descrição	Declaração individual de circunstância, tempo ou modo que qualifica a ação ou o objeto da ação no requisito.
Uso	Utilize este bloco para individualizar cada um dos complementos aplicáveis à exigência do requisito.
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade do requisito, permitindo que cada complemento seja declarado conforme a estrutura mais conveniente à sua natureza.
Fonte original	[A.53]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. Os componentes do bloco foram expandidos e alterados.

3.2 – CONECTIVO DE COMPLEMENTOS

Descrição	Elemento de ligação entre estruturas complementares.
Uso	<p>Utilize este bloco para coordenar as diversas estruturas complementares do requisito.</p> <p>As expressões-chave “,” e “e” significam que os complementos anterior e posterior são simultaneamente aplicáveis ao núcleo do requisito. Utilize “,” para coordenar complementos de mesma natureza (restrições da ação, refinamento do objeto e exceções para a ação) e “e” para coordenar complementos de natureza distinta.</p> <p>A expressão-chave “ou” significa que basta que um dos complementos – seja o anterior, seja o posterior – seja atendido para conformidade ao requisito.</p> <p>Exemplos: <i>“Enquanto em Estado_De_Operação, o Radar deve detectar granadas de morteiro de calibre igual e superior a 120 mm, à distância de 8000 m, com probabilidade superior a 95%.”</i> <i>“A Viatura deve permanecer Operacional por, no mínimo, 20 anos <u>ou</u> até completar 200.000 km trafegados com base nas Condições_De_Rodagem.”</i></p>
Justificativa	O bloco contribui para a expressividade e não-ambiguidade do requisito, permitindo a declaração de complementos múltiplos, sem que haja dúvidas interpretativas com relação à obrigatoriedade de atendimento a todas as estruturas complementares.
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores permitiam ambiguidade interpretativa na coordenação de complementos.

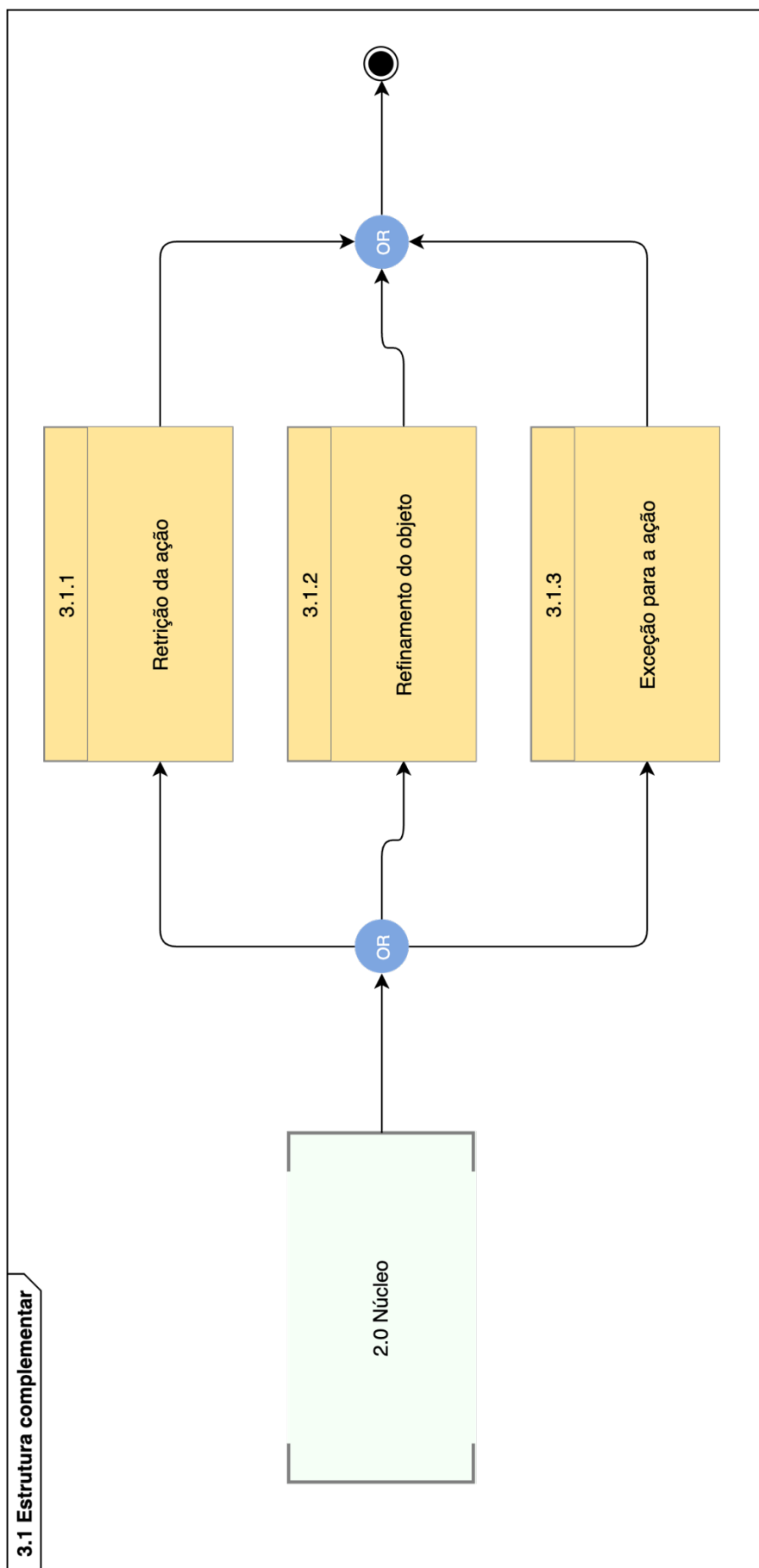


Figura C.12 – Diagrama representativo do Bloco 3.1 – Estrutura complementar.

3.1.1 - RESTRIÇÃO DA AÇÃO

Descrição	Qualificador que restringe o escopo da atividade realizada pelo agente principal do requisito, ou lhe impõem limites.
Uso	Utilize este bloco sempre que for necessário especificar uma ou mais características da ação em si do agente (não do objeto da ação).
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.53]
Inovação	Em complemento à fonte original, o bloco encontra-se subdividido em componentes que detalham as possibilidades de restringir a execução da ação.

3.1.2 – REFINAMENTO DO OBJETO

Descrição	Qualificador que especifica, detalha ou restringe o Tema inerte ou um Complemento verbal da ação transitiva realizada pelo Agente ou Outorgado.
Uso	Utilize este bloco sempre que for necessário qualificar uma ou mais características de objetos da atividade.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.53]
Inovação	Em complemento à fonte original, o bloco encontra-se subdividido em componentes que detalham as possibilidades de qualificar o objeto da ação.

3.1.3 – EXCEÇÃO PARA A AÇÃO

Descrição	Qualificador que indica a possibilidade de circunstância, evento ou característica que suprima a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	Utilize este bloco sempre que a ocorrência de certa exceção tornar o requisito dispensável.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade. Notar que o bloco é, de certa forma, a antítese da Estrutura Condicional, posto que a eventualidade da Exceção Para a Ação retira a obrigatoriedade do requisito, ao passo que a eventualidade da Estrutura Condicional exige o requisito.
Fonte original	[A.53]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama e seus componentes foram pormenorizados.

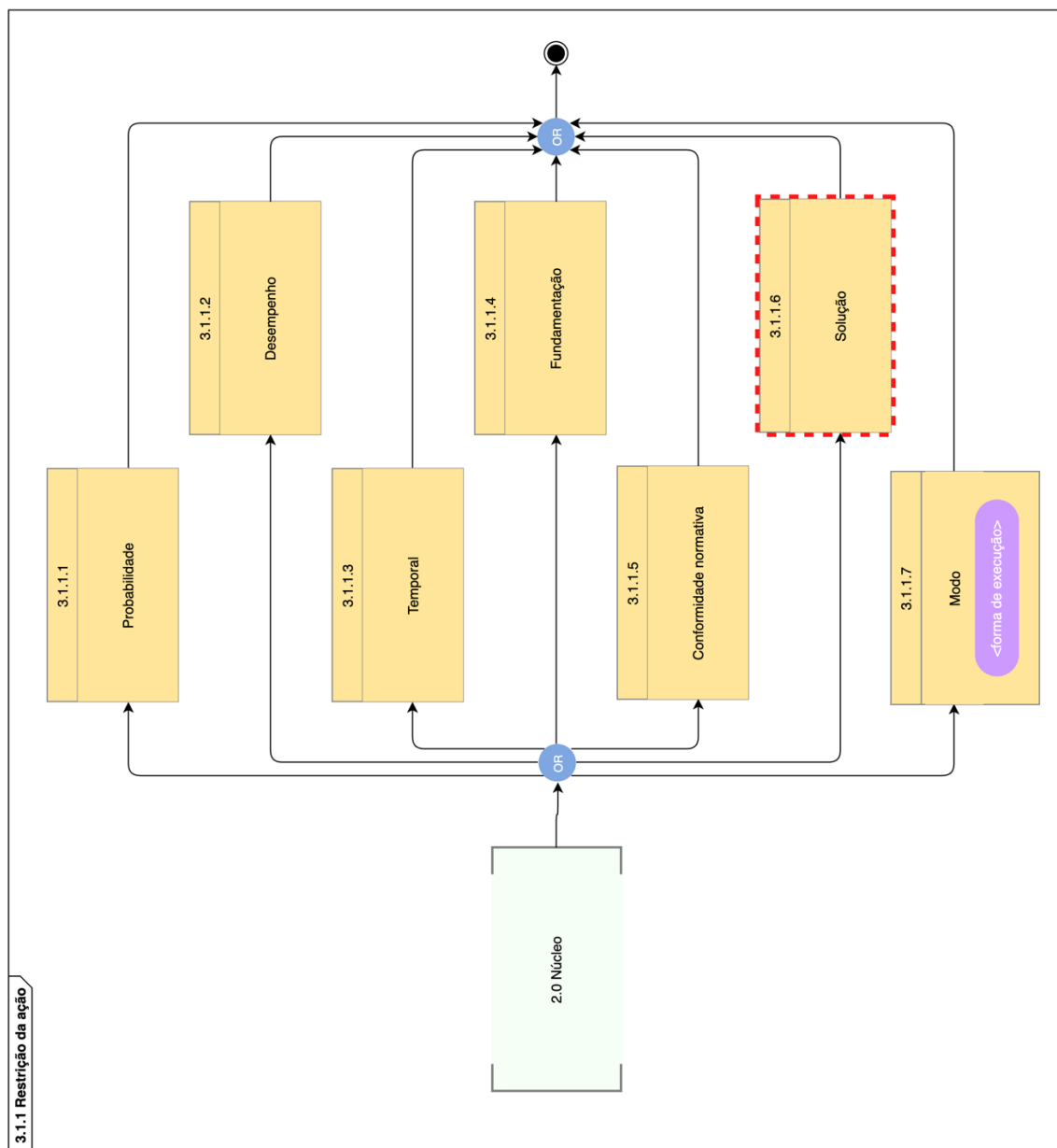


Figura C.13 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.1.1 – Restrição da ação.

3.1.1.1 - PROBABILIDADE

Descrição	Qualificador que impõe caráter não-determinístico à atividade realizada pelo agente principal do requisito.
Uso	Utilize este bloco sempre que houver necessidade de propor limites quantitativos à ocorrência ou sucesso da ação descrita no requisito.
Justificativa	O bloco permite a redação de requisitos sem a imposição de absolutos inexequíveis, impossíveis de verificação sem um número infinito de avaliações, contribuindo, portanto, com a viabilidade, verificabilidade e correção do requisito.
Fonte original	[A.15]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. Em complemento à fonte original, o bloco encontra-se subdividido em componentes que detalham as possibilidades de restrições probabilísticas da ação.

3.1.1.2 - DESEMPENHO

Descrição	Qualificador que impõe metas de capacidade ou rendimento à atividade realizada pelo agente principal do requisito.
Uso	Utilize este bloco sempre que houver necessidade de propor limites quantitativos à eficiência ou eficácia com que o agente pratica a ação descrita no requisito.
Justificativa	O bloco permite a redação de requisitos com metas de desempenho apropriadas à entidade alvo da análise, contribuindo para a completude e verificabilidade do requisito.
Fonte original	[A.11]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. Em complemento à fonte original, o bloco encontra-se subdividido em componentes que detalham as possibilidades de restrições de eficiência ou eficácia da ação.

3.1.1.3 - TEMPORAL

Descrição	Qualificador que impõe dependências temporais à atividade realizada pelo agente principal do requisito.
Uso	Utilize este bloco sempre que houver necessidade de propor limites quantitativos à duração, periodicidade ou ordem com que o agente pratica a ação descrita no requisito.
Justificativa	O bloco permite a redação de requisitos com dependências temporais apropriadas à entidade alvo da análise, contribuindo para a completude, não-ambiguidade e verificabilidade do requisito.
Fonte original	[A.36]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama. Em complemento à fonte original, o bloco encontra-se subdividido em componentes que detalham as possibilidades de restrições temporais da ação.

3.1.1.4 – FUNDAMENTAÇÃO

Descrição	Qualificador que impõe critério não-normatizado à forma de execução da Atividade.
Uso	Utilize este bloco sempre que houver necessidade de estabelecer um elemento não-normatizado (como um calendário, um banco de dados, ou o resultado de outro processo do sistema) como base para a ação descrita no requisito.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama e seus componentes foram pormenorizados.

3.1.1.5 – CONFORMIDADE NORMATIVA

Descrição	Qualificador que impõe critério normatizado à forma de execução da Atividade.
Uso	Utilize este bloco sempre que houver necessidade de estabelecer um elemento normatizado (Portaria, Decreto, padrão profissional etc) como base para a ação descrita no requisito.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama e seus componentes foram pormenorizados.

3.1.1.6 – SOLUÇÃO

Descrição	Qualificador que impõe implementação específica como forma de execução da Atividade.
Uso	Utilize este bloco sempre que houver necessidade de estabelecer uma solução particular como meio para a ação descrita no requisito. EVITE O USO DESTE BLOCO, OPTANDO PELA LIBERDADE DE SOLUÇÃO SEMPRE QUE POSSÍVEL. As justificativas para uso deste bloco devem estar descritas nos atributos do requisito.
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade. A concessão da possibilidade de restrição de solução de implementação justifica-se pela ocasional imposição por parte de <i>stakeholders</i> ou de terceiros.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama e seus componentes foram pormenorizados. Foi ressaltada a necessidade de justificativa para o uso do bloco.

3.1.1.7 – MODO

Descrição	Qualificador que impõe modalidade específica à forma de execução da Atividade.
Uso	<p>Utilize este bloco sempre que houver necessidade de estabelecer uma característica específica como modo da ação descrita no requisito, não reduzível às demais restrições de ação previstas.</p> <p>Preencha o marcador de posição <forma de execução> com a expressão que caracterize a modalidade de execução da atividade.</p> <p>Se houver menção a elemento do Glossário, este deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Exemplo: <i>“O Fuzil deve permitir ao Operador realizar a Desmontagem_De_1º_Escalão sem o auxílio de ferramentas.”</i></p>
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade. A introdução do bloco Modo estabelece uma estrutura de redação de requisitos com restrições de ação em formato generalizado.
Fonte original	Próprio.
Inovação	Soluções anteriores não tratavam de restrições que não fossem predefinidas.

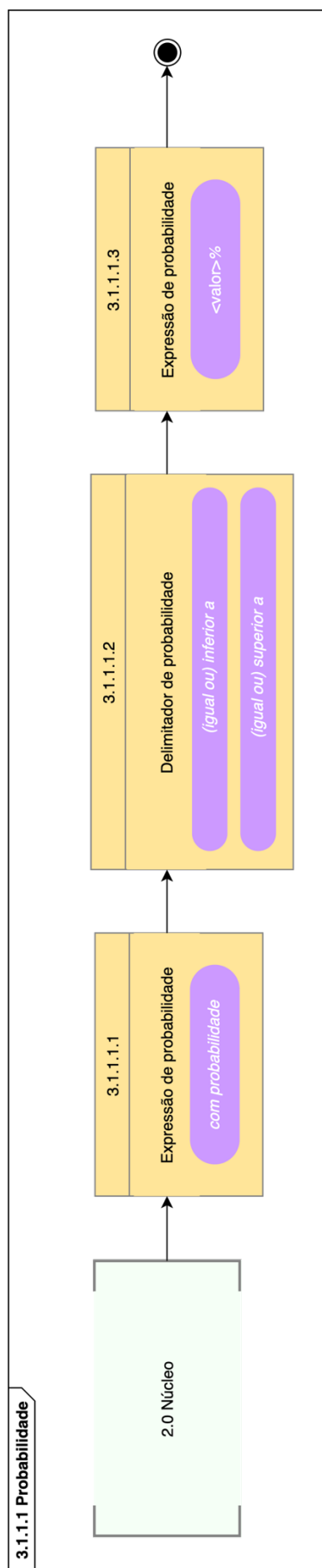


Figura C.14 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.1.1 – Probabilidade.

3.1.1.1.1 – EXPRESSÃO DE PROBABILIDADE

Descrição	Identificador de complemento do tipo Probabilidade.
Uso	Inicie o qualificador probabilístico com a expressão-chave “ <i>com probabilidade</i> ”.
Justificativa	<p>O bloco permite a imediata identificação da natureza probabilística do complemento introduzido, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.</p> <p>Exemplo: <i>“Enquanto em Estado_De_Operação, o Radar deve detectar granadas de morteiro de calibre igual e superior a 120 mm, à distância de 8000 m, <u>com probabilidade superior a 95%</u>.”</i></p>
Fonte original	[A.15]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama.

3.1.1.1.2 – DELIMITADOR DE PROBABILIDADE

Descrição	Identificador qualitativo da origem e sentido da probabilidade ideal de ocorrência ou sucesso da ação.
Uso	Utilize uma das expressões-chave “ <i>inferior a</i> ” ou “ <i>igual ou inferior a</i> ” quando a necessidade indicar que a ocorrência da ação é indesejada. Utilize uma das expressões-chave “ <i>superior a</i> ” ou “ <i>igual ou superior a</i> ” quando a necessidade indicar que a ocorrência da ação é desejada. Exemplo: <i>“Enquanto em Estado_De_Operação, o Radar deve detectar granadas de morteiro de calibre igual e superior a 120 mm, à distância de 8000 m, com probabilidade <u>superior a</u> 95%.”</i>
Justificativa	O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.
Fonte original	[A.15]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama.

3.1.1.1.3 – VALOR DA PROBABILIDADE

Descrição	Identificador quantitativo do limite admissível à probabilidade de ocorrência ou sucesso da ação.
Uso	<p>Preencha o marcador de posição <valor> com o número, entre 0 e 100, correspondente à probabilidade percentual limite para ocorrência da ação, seguido do caractere “%”.</p> <p>Partes decimais do valor, se expressas, devem ser separadas da parte inteira por uso de vírgula, no formato <i>11,11%</i>.</p> <p>Exemplo: <i>“Enquanto em Estado_De_Operação, o Radar deve detectar granadas de morteiro de calibre igual e superior a 120 mm, à distância de 8000 m, com probabilidade superior a <u>95%</u>.”</i></p>
Justificativa	O bloco mitiga o risco de uso de termos subjetivos ou de escape, além de uniformizar padrões de expressão numérica entre os requisitos.
Fonte original	[A.15]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama, e foi uniformizada a expressão numérica.

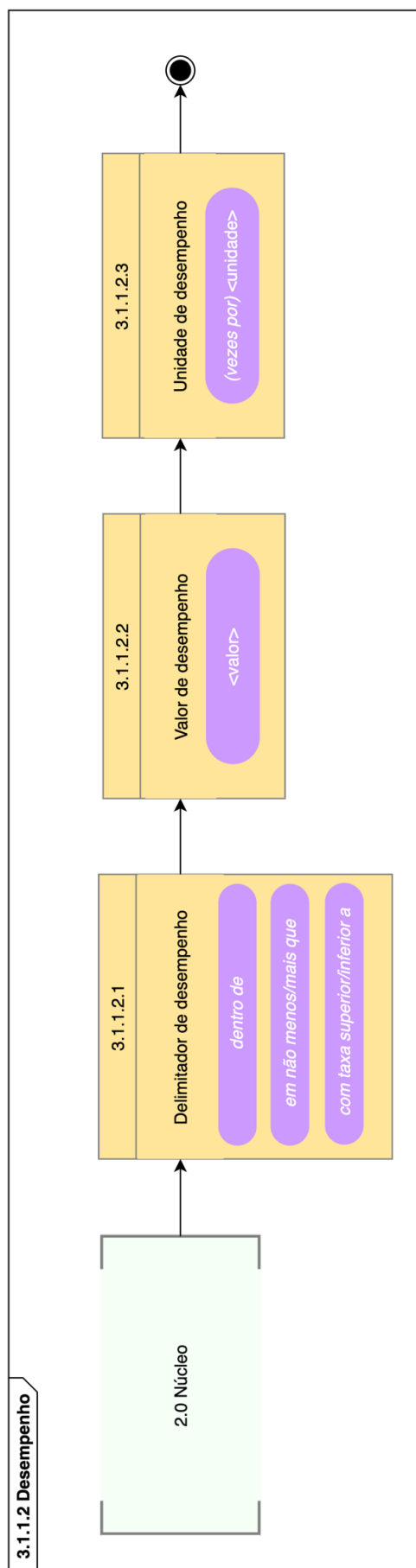


Figura C.15 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.1.2 – Desempenho.

3.1.1.2.1 – DELIMITADOR DE DESEMPENHO

Descrição	Identificador qualitativo do modo de delimitação da capacidade ou rendimento da atividade realizada pelo agente.
Uso	<p>Utilize a expressão-chave “dentro de” quando for necessário limitar o tempo, velocidade, volume, ou outro fator de desempenho a um intervalo.</p> <p>Utilize uma das expressões-chave “em não menos que” ou “em não mais que” quando for necessário limitar o tempo, velocidade, volume, ou outro fator de desempenho a um valor mínimo ou máximo.</p> <p>Utilize uma das expressões-chave “com taxa superior a” ou “com taxa inferior a” quando for necessário limitar o tempo, velocidade, volume, ou outro fator de desempenho a um valor mínimo ou máximo, definido como razão entre duas grandezas.</p> <p>Exemplo: <i>“O Sistema_Emissor deve transmitir dados ao Sistema_Receptor, a 8000 m, <u>com taxa superior a 3,50 kbps.</u>”</i></p>
Justificativa	O bloco permite a identificação da natureza da restrição introduzida, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.
Fonte original	[A.11]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama, e simplificado no número de opções de expressões-chaves disponíveis.

3.1.1.2.2 – VALOR DE DESEMPENHO

Descrição	Identificador quantitativo da capacidade ou rendimento da atividade realizada pelo agente.
Uso	<p>Preencha o marcador de posição <valor> com o número que caracteriza o limite de tempo, velocidade, volume, ou o outro fator de desempenho imposto à ação.</p> <p>Partes decimais do valor, se expressas, devem ser separadas da parte inteira por uso de vírgula, no formato <i>11,11</i>.</p> <p>Exemplo: <i>“O Sistema_Emissor deve transmitir dados ao Sistema_Receptor, a 8000 m, com taxa superior a <u>3,50</u> kbps.”</i></p>
Justificativa	O bloco mitiga o risco de uso de termos subjetivos ou de escape, além de uniformizar padrões de expressão numérica entre os requisitos.
Fonte original	[A.11]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama, e foi uniformizada a expressão numérica.

3.1.1.2.3 – UNIDADE DE DESEMPENHO

Descrição	Identificador dimensional da capacidade ou rendimento da atividade realizada pelo agente.
Uso	<p>Preencha o marcador de posição <unidade> com a unidade de medida, coerente com o valor, que caracteriza o limite de tempo, velocidade, volume, ou o outro fator de desempenho imposto à ação.</p> <p>A menos que imposto pelo projeto, com justificativa constante nos atributos do requisito, devem ser escolhidas unidades de medida pertencentes ao Sistema Internacional de Unidades.</p> <p>Utilize a expressão-chave “vezes por”, antes do marcador de posição <unidade>, quando a unidade de medida for uma taxa definida como razão entre número de ocorrências e tempo.</p> <p>Exemplo: “O Sistema_Emissor deve transmitir dados ao Sistema_Receptor, a 8000 m, com taxa superior a 3,50 <u>kbps</u>.”</p>
Justificativa	O bloco complementa o Valor De Desempenho e prevê utilização apropriada e consistente das unidades de medida entre os requisitos, contribuindo para a não-ambiguidade, correção e verificabilidade do requisito.
Fonte original	[A.11]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama, e foi uniformizada a expressão dimensional.

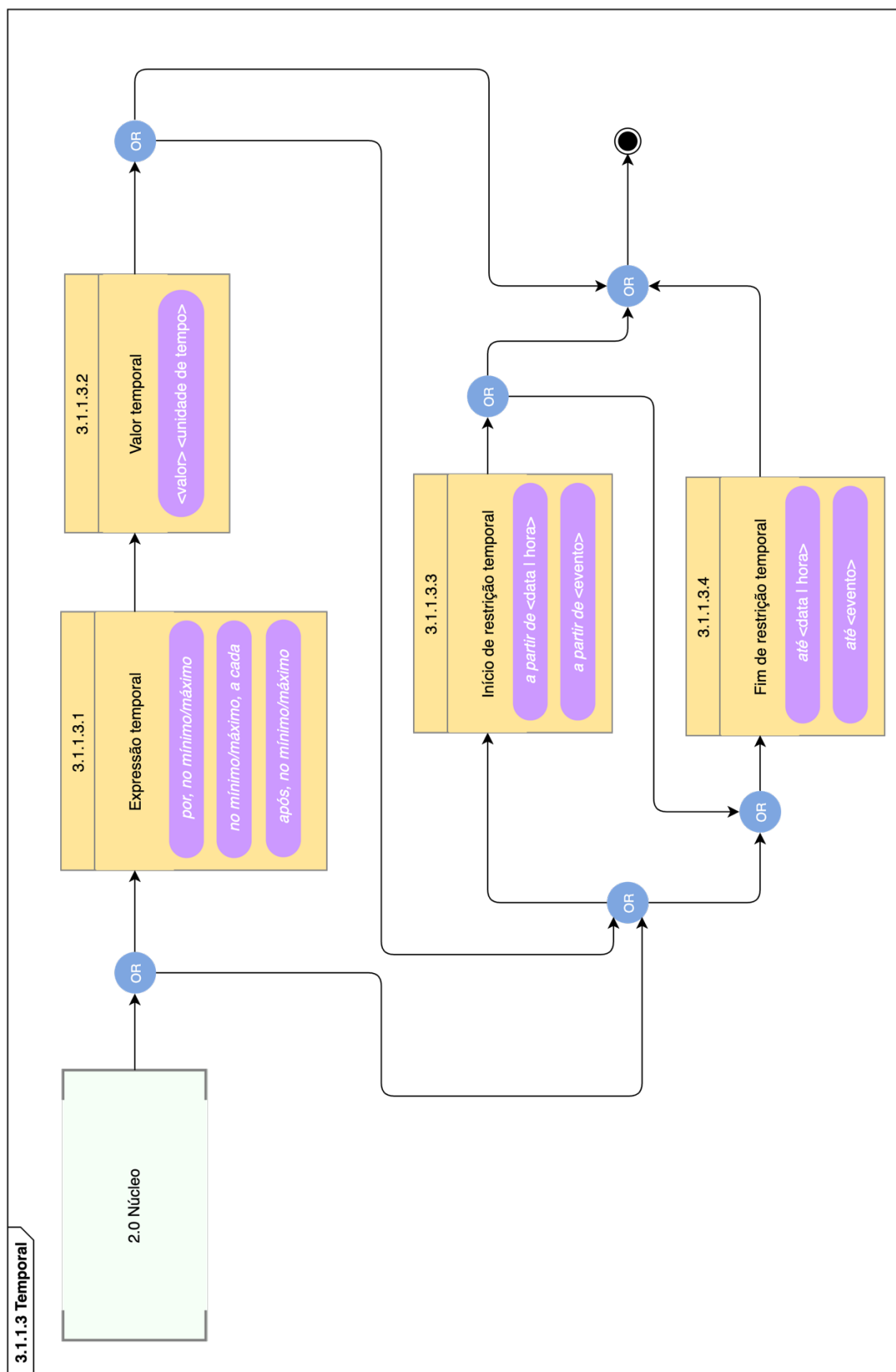


Figura C.16 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.1.3 – Temporal.

3.1.1.3.1 – EXPRESSÃO TEMPORAL

Descrição	Identificador qualitativo do modo de delimitação temporal da atividade realizada pelo agente.
Uso	<p>Utilize uma das expressões-chave “<i>por, no mínimo,</i>” ou “<i>por, no máximo</i>” quando for necessário limitar a duração de certa atividade.</p> <p>Utilize uma das expressões-chave “<i>no mínimo, a cada</i>” ou “<i>no máximo, a cada</i>” quando for necessário estabelecer periodicidade a certa atividade.</p> <p>Utilize uma das expressões-chave “<i>após, no mínimo,</i>” ou “<i>após, no máximo,</i>” quando for necessário estabelecer que a atividade realizada pelo agente deve se ordenar após a ocorrência de certo momento ou evento.</p> <p>Exemplo: <i>“Se ocorrer falha de funcionamento do Sistema_Gerador, então o Sistema_Aquisição_De_Dados deve permanecer em Estado_De_Operação por, no mínimo, 900 s.”</i></p>
Justificativa	O bloco permite a identificação da natureza da restrição temporal introduzida, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.
Fonte original	[A.36]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama.

3.1.1.3.2 – VALOR TEMPORAL

Descrição	Identificador quantitativo da delimitação temporal da atividade realizada pelo agente.
Uso	<p>Preencha o marcador de posição <valor> com o número que caracteriza o limite de tempo imposto à ação.</p> <p>Partes decimais do valor, se expressas, devem ser separadas da parte inteira por uso de vírgula, no formato <i>11,11</i>.</p> <p>Preencha o marcador de posição <unidade de tempo> com a unidade de tempo coerente ao valor.</p> <p>A menos que imposto pelo projeto, com justificativa constante nos atributos do requisito, deve ser escolhido o segundo (s) como unidade de medida.</p> <p>Exemplo: <i>“Se ocorrer falha de funcionamento do Sistema_Gerador, então o Sistema_Aquisição_De_Dados deve permanecer em Estado_De_Operação por, no mínimo, 900 s.”</i></p>
Justificativa	O bloco mitiga o risco de uso de termos subjetivos ou de escape, além de prever utilização apropriada e consistente das expressões numéricas e unidades de medida entre os requisitos, contribuindo para a não-ambiguidade, correção e verificabilidade do requisito.
Fonte original	[A.36]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama, e foi uniformizada a expressão numérica e a unidade de medida.

3.1.1.3.3 – INÍCIO DE RESTRIÇÃO TEMPORAL

Descrição	Identificador inicial da delimitação temporal para a atividade realizada pelo agente.
Uso	<p>Utilize este bloco quando for necessário estabelecer um momento ou evento que inicie a contagem de tempo para a restrição temporal. O bloco é obrigatório quando a Expressão Temporal indicar restrição do tipo ordenação.</p> <p>Inicie o bloco com a expressão-chave “, a partir de”.</p> <p>Se a contagem de tempo se iniciar pelo transcurso de certa data ou hora, preencha o marcador de posição <data hora> com o valor que caracteriza o momento inicial.</p> <p>Se a contagem de tempo se iniciar pela ocorrência de certo evento, preencha o marcador de posição <evento> com a descrição que caracteriza o evento inicial.</p> <p>Exemplo: <i>“O Sistema deve gerar Log de todos os Eventos_ Relevantes, a partir do término da Inicialização, até o início do Desligamento, exceto se estiver no Estado_De_Espera.”</i></p>
Justificativa	O bloco complementa a Expressão Temporal e mitiga o risco de uso de termos subjetivos ou de escape, contribuindo para a completude do requisito.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi adaptado para utilização em restrições temporais e reformulado para apresentação em forma de diagrama.

3.1.1.3.4 – FIM DE RESTRIÇÃO TEMPORAL

Descrição	Identificador final da delimitação temporal para a atividade realizada pelo agente.
Uso	<p>Utilize este bloco quando for necessário estabelecer um momento ou evento que finalize a contagem de tempo para a restrição temporal. Inicie o bloco com a expressão-chave “até”.</p> <p>Se a contagem de tempo se finalizar pelo transcurso de certa data ou hora, preencha o marcador de posição <data hora> com o valor que caracteriza o momento final.</p> <p>Se a contagem de tempo se finalizar pela ocorrência de certo evento, preencha o marcador de posição <evento> com a descrição que caracteriza o evento final.</p> <p>Exemplo: <i>“O Sistema deve gerar Log de todos os Eventos_Relevantes, a partir do término da Inicialização, até o início do Desligamento, exceto se estiver no Estado_De_Espera.”</i></p>
Justificativa	O bloco complementa a Expressão Temporal e mitiga o risco de uso de termos subjetivos ou de escape, contribuindo para a completude do requisito.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi adaptado para utilização em restrições temporais e reformulado para apresentação em forma de diagrama.

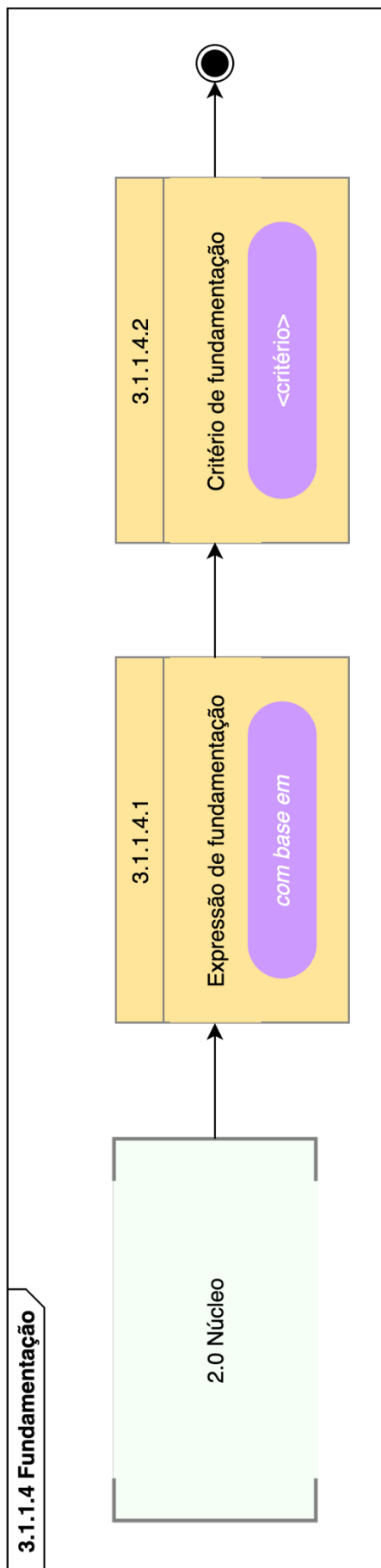


Figura C.17 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.1.4 – Fundamentação.

3.1.1.4.1 – EXPRESSÃO DE FUNDAMENTAÇÃO

Descrição	Identificador de complemento do tipo Fundamentação.
Uso	<p>Inicie o qualificador com a expressão-chave “<i>com base em</i>”. A preposição “<i>em</i>” pode sofrer contração com o eventual artigo que preceder o Critério de Fundamentação.</p> <p>Exemplo: “<i>O Binóculo deve armazenar nos atributos do Arquivo_De_Vídeo a localização do Observador, <u>com base nas</u> coordenadas globais de latitude e longitude.</i>”</p>
Justificativa	O bloco permite a imediata identificação da natureza fundamental do complemento introduzido, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama.

3.1.1.4.2 – CRITÉRIO DE FUNDAMENTAÇÃO

Descrição	Identificador de critério para complemento do tipo Fundamentação.
Uso	<p>Utilize este bloco para estabelecer o elemento não-normalizado (como um calendário, um banco de dados, ou o resultado de outro processo do sistema) que servirá como base para a ação descrita no requisito. Preencha o marcador de posição <critério> com a expressão nominal que caracteriza a base. Se consistir em elemento do Glossário, deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtração (“_”).</p> <p>Exemplo: <i>“O Binóculo deve armazenar nos atributos do Arquivo_De_Vídeo a localização do Observador, com base nas <u>coordenadas globais de latitude e longitude.</u>”</i></p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.</p> <p>O formato <i>Abc_X</i> para o elemento ressalta sua posição e chama atenção para a possibilidade de sua definição em Glossário.</p>
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama. Foi aberta possibilidade de padronização de formato.

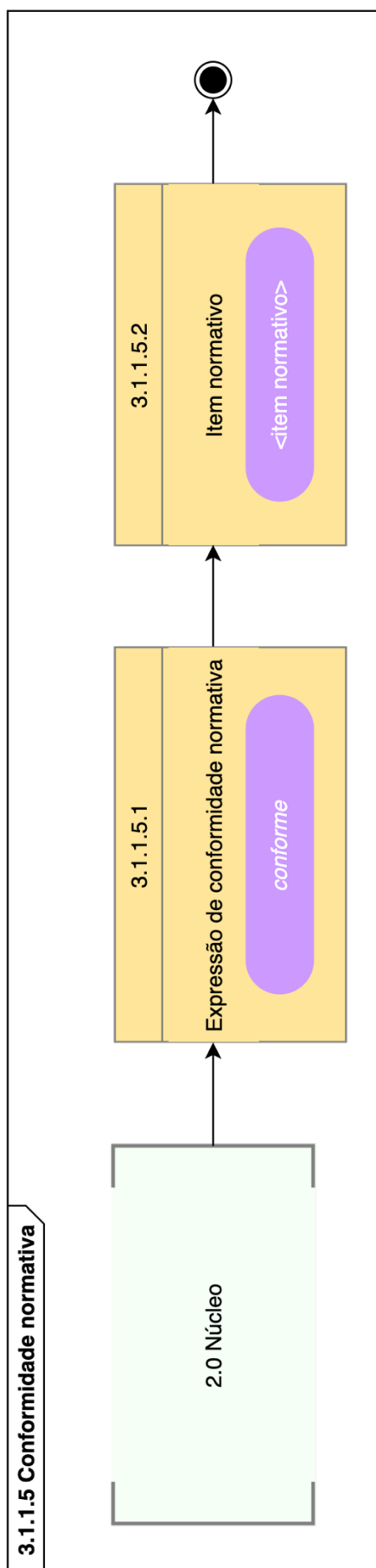


Figura C.18 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.1.5 – Conformidade normativa.

3.1.1.5.1 – EXPRESSÃO DE CONFORMIDADE NORMATIVA

Descrição	Identificador de complemento do tipo Conformidade Normativa.
Uso	Inicie o qualificador com a expressão-chave “conforme”. Exemplo: <i>“O MVN deve permitir ao Usuário instalar o MVN em trilho padrão militar para armas curtas, <u>conforme</u> Seções 4 e 5 da norma MIL-STD-1913, Notice 1, de 10 JUN 1999.”</i>
Justificativa	O bloco permite a imediata identificação da natureza fundamental do complemento introduzido, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama.

3.1.1.5.2 – ITEM NORMATIVO

Descrição	Identificador de item normativo para complemento do tipo Conformidade Normativa.
Uso	<p>Utilize este bloco para estabelecer o elemento normatizado (Portaria, Decreto, padrão profissional etc) que servirá como base para a ação descrita no requisito.</p> <p>Preencha o marcador de posição <item normativo> com a expressão nominal que caracteriza a norma. Indique os artigos, parágrafos ou outros marcadores aplicáveis ao requisito, evitando a mera menção da norma como um todo. Identifique a data ou versão da norma a ser consultada.</p> <p>Exemplo: <i>“O MVN deve permitir ao Usuário instalar o MVN em trilho padrão militar para armas curtas, conforme <u>Seções 4 e 5 da norma MIL-STD-1913, Notice 1, de 10 JUN 1999.</u>”</i></p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.</p> <p>A padronização da especificação normativa contribui para a não-ambiguidade e para a verificabilidade do requisito.</p>
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama. Foi padronizada a especificação de item normativo.

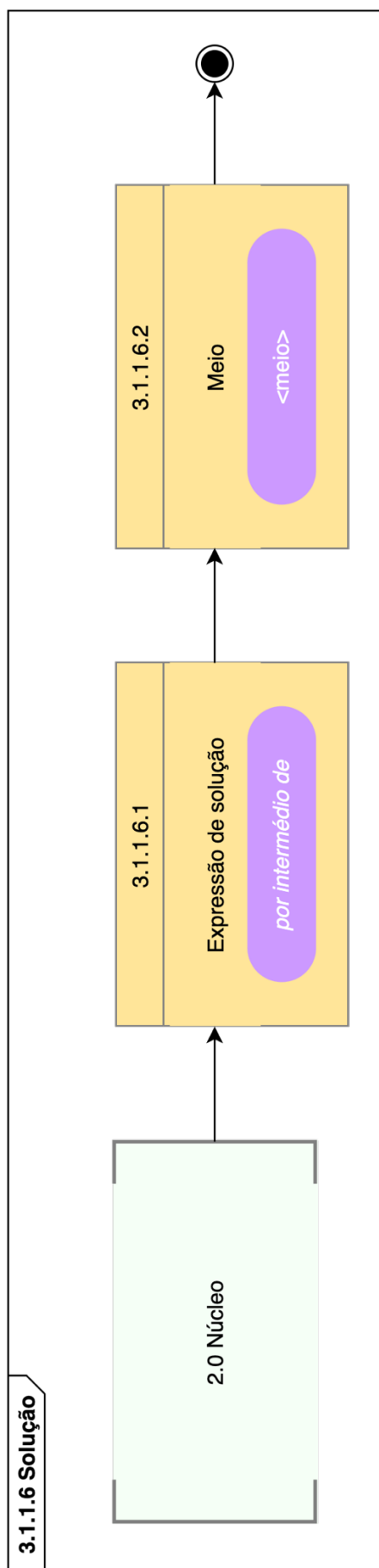


Figura C.19 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.1.6 – Solução.

3.1.1.6.1 – EXPRESSÃO DE SOLUÇÃO

Descrição	Identificador de complemento do tipo Solução.
Uso	Inicie o qualificador com a expressão-chave “ <i>por intermédio de</i> ”. Exemplo: <i>“Enquanto Descarregada, a Pistola deve alertar o Atirador do Descarregamento, <u>por intermédio de</u> indicador táctil.”</i>
Justificativa	O bloco permite a imediata identificação da natureza restritiva de solução do complemento introduzido, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama.

3.1.1.6.2 – MEIO

Descrição	Identificador de meio para complemento do tipo Solução.
Uso	<p>Utilize este bloco para estabelecer o meio que servirá como implementação imposta para a ação descrita no requisito. Preencha o marcador de posição <meio> com a expressão nominal que caracteriza a implementação. Se consistir em elemento do Glossário, deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Exemplo: <i>“Enquanto Descarregada, a Pistola deve alertar o Atirador do Descarregamento, por intermédio de <u>indicador táctil</u>.”</i></p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.</p> <p>O formato <i>Abc_X</i> para o elemento ressalta sua posição e chama atenção para a possibilidade de sua definição em Glossário.</p>
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama. Foi aberta possibilidade de padronização de formato.

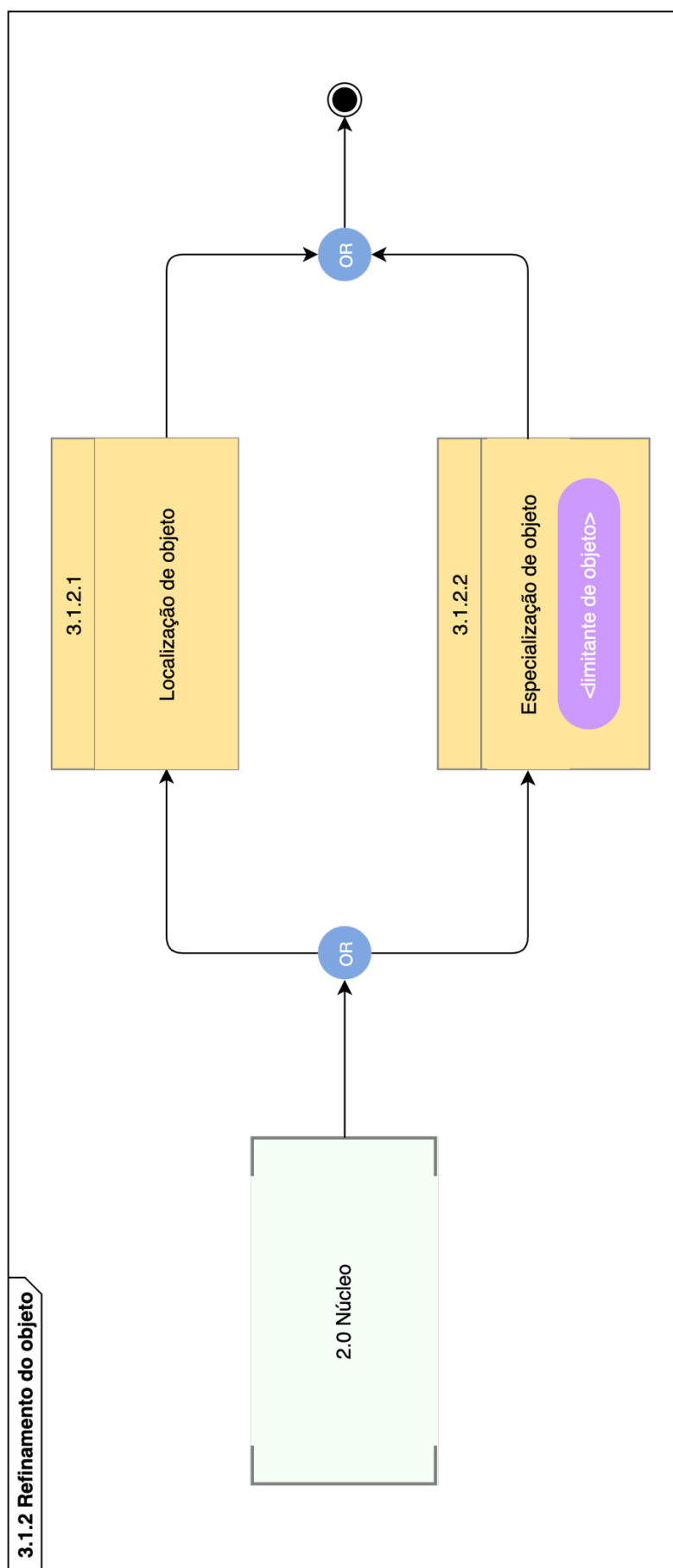


Figura C.20 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.2 – Refinamento do objeto.

3.1.2.1 – LOCALIZAÇÃO DE OBJETO

Descrição	Qualificador que delimita o objeto da atividade aos pertencentes a certa localização, física ou lógica.
Uso	Utilize este bloco sempre que houver necessidade de restringir o Tema inerte ou os alvos de certa ação transitiva do Agente ou Outorgado aos presentes em certa localização, seja esta física ou lógica.
Justificativa	O bloco permite a redação de requisitos com dependências locais apropriadas à entidade alvo da ação, contribuindo para a expressividade, completude, não-ambiguidade e verificabilidade do requisito.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado para apresentação em forma de diagrama e seus componentes foram pormenorizados.

3.1.2.2 – ESPECIALIZAÇÃO DE OBJETO

Descrição	Qualificador que delimita o objeto da atividade aos pertencentes a qualquer classe não baseada em localização.
Uso	<p>Utilize este bloco sempre que houver necessidade de restringir o Tema inerte ou os alvos de certa ação transitiva do Agente ou Outorgado conforme regras não baseadas em localização.</p> <p>Preencha o marcador de posição <limitante de objeto> com a expressão que caracteriza a restrição.</p> <p>Se houver menção a elemento do Glossário, este deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Se houver menção a item normativo, indique os artigos, parágrafos ou outros marcadores aplicáveis ao objeto, evitando a mera menção da norma como um todo. Identifique a data ou versão da norma a ser consultada.</p> <p>Exemplo: <i>“O Terminal deve possuir câmera <u>com resolução de 1920 x 1080 pixels.</u>”</i></p>
Justificativa	O bloco permite a redação de requisitos com variadas dependências apropriadas à entidade alvo da ação, contribuindo para a expressividade, completude, não-ambiguidade e verificabilidade do requisito. Há, ainda diretrizes relativas à padronização de nomenclaturas e destaque em Glossário.
Fonte original	[A.53]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama. Foi aberta possibilidade de padronização de formatos.

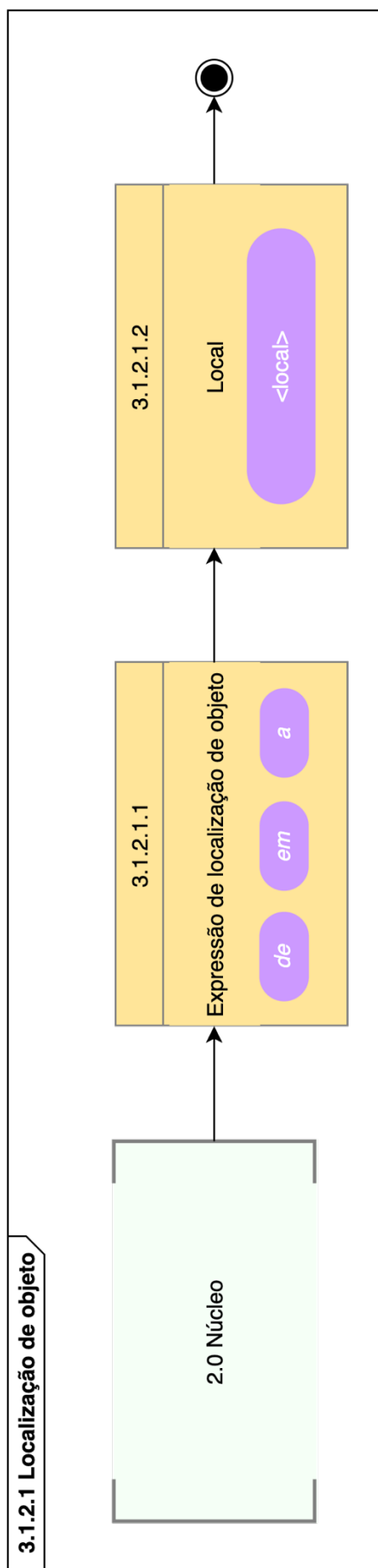


Figura C.21 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.2.1 – Localização de objeto.

3.1.2.1.1 – EXPRESSÃO DE LOCALIZAÇÃO DE OBJETO

Descrição	Identificador de complemento do tipo Localização de objeto.
Uso	<p>Inicie o qualificador com uma das expressões-chave “de”, “em” ou “a”. Todas as expressões podem sofrer contração com o eventual artigo que preceder o Local.</p> <p>Exemplo: <i>“Enquanto em Estado_De_Operação, o Radar deve detectar granadas de morteiro de calibre igual e superior a 120 mm, à distância de 8000 m, com probabilidade superior a 95%.”</i></p>
Justificativa	O bloco permite a imediata identificação da natureza restritiva de localização do objeto do complemento introduzido, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama. Houve acréscimo no número de expressões-chave.

3.1.2.1.2 – LOCAL

Descrição	Identificador de local para complemento do tipo Localização de Objeto.
Uso	<p>Utilize este bloco para estabelecer o local que servirá como restrição do Tema inerte ou o alvo da ação transitiva descrita no requisito. Preencha o marcador de posição <local> com a expressão nominal que caracteriza a necessidade. O local pode ser tanto uma entidade física, quanto uma entidade lógica. Se consistir em elemento do Glossário, deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Exemplo: <i>“Enquanto em Estado_De_Operação, o Radar deve detectar granadas de morteiro de calibre igual e superior a 120 mm, à <u>distância de 8000 m</u> com probabilidade superior a 95%.”</i></p>
Justificativa	<p>O bloco contribui para a completude funcional do requisito e de sua expressividade.</p> <p>O formato <i>Abc_X</i> para o elemento ressalta sua posição e chama atenção para a possibilidade de sua definição em Glossário.</p>
Fonte original	[A.32]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama. Foi aberta possibilidade de padronização de formato.

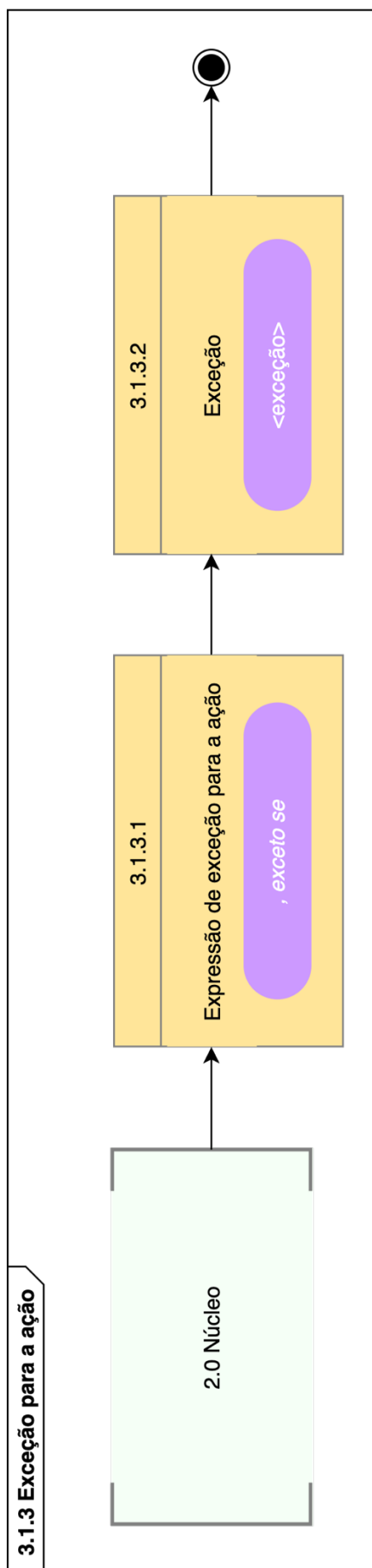


Figura C.22 – Diagrama representativo do Bloco 3.1.3.3 – Exceção para a ação.

3.1.3.1 – EXPRESSÃO DE EXCEÇÃO PARA A AÇÃO

Descrição	Identificador de complemento do tipo Expressão Para a Ação.
Uso	Inicie o qualificador com a expressão-chave “, <i>exceto se</i> ”.
Justificativa	<p>O bloco permite a imediata identificação da natureza restritiva de localização do objeto do complemento introduzido, dando suporte ao entendimento e melhorando a legibilidade do requisito.</p> <p>Exemplo: <i>“O Sistema deve gerar Log de todos os Eventos_Relevantes, a partir do término da Inicialização, até o início do Desligamento, <u>exceto se</u> estiver no Estado_De_Espera.”</i></p>
Fonte original	[A.53]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama, com indicação de expressão-chave exclusiva.

3.1.3.2 – EXCEÇÃO

Descrição	Circunstância, evento ou característica que suprime a obrigatoriedade de atendimento ao requisito.
Uso	<p>Preencha o marcador de posição <exceção> com a expressão que caracteriza a causa de inexigência do requisito.</p> <p>Se houver menção a elemento do Glossário, este deve ser escrito com a inicial maiúscula e, se composto por mais de uma palavra, a separação entre as mesmas deverá ser representada por subtraço (“_”).</p> <p>Se houver menção a item normativo, indique os artigos, parágrafos ou outros marcadores aplicáveis ao objeto, evitando a mera menção da norma como um todo. Identifique a data ou versão da norma a ser consultada.</p> <p>Exemplo: <i>“O Sistema deve gerar Log de todos os Eventos_Relevantes, a partir do término da Inicialização, até o início do Desligamento, exceto se <u>estiver no Estado De Espera.</u>”</i></p>
Justificativa	O bloco permite a redação de requisitos com variadas naturezas de exceção, contribuindo para a expressividade, completude, não-ambiguidade e verificabilidade do requisito. Há, ainda diretrizes relativas à padronização de nomenclaturas e destaque em Glossário.
Fonte original	[A.53]
Inovação	O bloco foi reformulado e traduzido para apresentação em forma de diagrama. Foi aberta possibilidade de padronização de formatos.

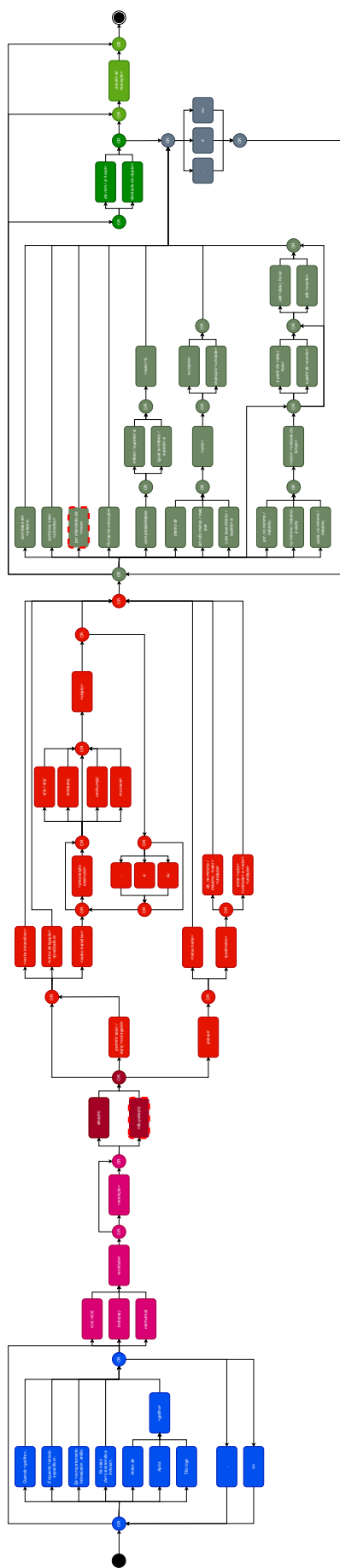


Figura C.23 – Diagrama sintético do fluxo de expressões-chave e marcadores de posição.

APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O Sr(a) está sendo convidado(a) a ser participante do projeto de pesquisa intitulado “*Estruturação de linguagem natural para documentação de requisitos de sistemas e materiais de emprego militar no idioma português*”, de responsabilidade do pesquisador Leonardo de Mello Barbosa.

Por favor, leia cuidadosamente o que se segue e pergunte ao pesquisador responsável sobre qualquer dúvida que permanecer. Caso se sinta esclarecido(a) sobre as informações que estão neste Termo e aceite fazer parte do estudo, manifeste seu aceite ao final desta página. Saiba que o Sr(a) tem total direito de não participar.

1. O trabalho tem por objetivo indicar, de forma bem fundamentada e validada, uma estruturação de linguagem natural, ou seja, uma paleta de matrizes textuais, para documentação de requisitos de SMEM, adequada aos interesses do Exército Brasileiro. A linguagem natural, por sua expressividade e facilidade de uso, é mundialmente o instrumento mais empregado para documentação de requisitos, embora esteja sujeita à ambiguidade, incompletude e inconsistência. Para mitigar esses e outros defeitos, a Engenharia de Requisitos recomenda o uso de estruturas de linguagem natural (também chamadas de *boilerplates*). Estes artefatos, apesar de numerosos na literatura anglófona, são praticamente inexistentes em português, justificando a pesquisa.

2. O envolvimento do voluntário nesta pesquisa consistirá na participação em uma atividade de aproximadamente cinco horas de duração (duas horas síncronas e três horas assíncronas), realizada em ambiente virtual.

- Inicialmente, os participantes receberão uma instrução de aproximadamente duas horas a respeito da pesquisa desenvolvida, seus objetivos e métodos, do papel deles na mesma, bem como da utilização do artefato para documentação de requisitos de SMEM. Receberão cópia digital das regras da estruturação de linguagem natural em tela.
- Os participantes, isoladamente e sem auxílio além da documentação recebida, aplicarão as regras do artefato sobre um conjunto de sentenças de RO e RTLI previamente escolhido pelo pesquisador, dando origem a uma série de sentenças reescritas. O pesquisador terá dimensionado o conjunto de forma que a etapa possa ser cumprida em até duas horas.
- Os participantes responderão um questionário elaborado pelo pesquisador, formado por três partes. As duas primeiras partes são compostas por elementos fechados, nas quais o participante responderá itens a respeito de sua percepção do artefato. A terceira parte consistirá em um elemento aberto, no qual o participante tecerá suas considerações gerais a respeito da estruturação de linguagem natural desenvolvida. Estima-se que o participante levará, aproximadamente, uma hora para preencher o questionário.

3. Os principais riscos ao participante na execução da atividade relacionam-se às possibilidades de constrangimento na resposta às questões, aos eventuais prejuízos à sua rotina de trabalho, e na fadiga mental pelo esforço intelectual despendido. Para mitigar tais riscos, o participante será esclarecido da necessidade de sinceridade nas respostas, terá o superior imediato cientificado da participação (se assim o desejar), e será estimulado a fazer pausas de 10 minutos após cada 50 minutos de trabalho.

4. Os principais benefícios da participação dos voluntários relacionam-se à validação do artefato. Este já terá tido seu desempenho avaliado de forma objetiva, em métricas inseridas num modelo matemático-linguístico. A atividade em tela, porém, servirá para análise do seu comportamento no ambiente real para o qual foi projetado, de forma empírica, pela observação e estudo das percepções e opiniões do possível usuário.

5. O participante poderá se recusar a participar da pesquisa ou se retirar da mesma em qualquer momento.

6. Não há qualquer valor monetário a receber ou a pagar aos voluntários pela participação.

7. Os dados coletados serão utilizados única e exclusivamente para fins desta pesquisa, e os resultados poderão ser publicados.

Qualquer dúvida, pedimos a gentileza de entrar em contato com Maj Mello Barbosa, pesquisador responsável pela pesquisa, telefone [OMITIDO], e-mail [OMITIDO], ou com o orientador, Cel R/1 Carrilho, email [OMITIDO].

Declaro ter sido informado e concordo em ser participante do projeto de pesquisa acima descrito.

ANEXO A – REGRAS INCOSE PARA REDAÇÃO DE SENTENÇAS DE REQUISITOS



INCOSE Guide to Writing Requirements v4 – Summary Sheet

Rules for Need and Requirement Statements and Sets of Needs and Requirements

<p>Accuracy</p> <p>R1 - Structured Statements: Need and requirement statements must conform to one of the agreed patterns, thus resulting in a well-structured complete statement.</p> <p>R2 - Active Voice: Use the active voice in the need or requirement statement with the responsible entity clearly identified as the subject of the sentence.</p> <p>R3 - Appropriate Subject-Verb: Ensure the subject and verb of the need or requirement statement are appropriate to the entity to which the statement refers.</p> <p>R4 - Defined Terms: Define all terms used within the need statement and requirement statement within an associated glossary and/or data dictionary.</p> <p>R5 - Definite Articles: Use the definite article “the” rather than the indefinite article “a”.</p> <p>R6 - Common Units of Measure: When stating quantities, all numbers should have appropriate and consistent units of measure explicitly stated using a common measurement system in terms of the thing the number refers.</p> <p>R7 - Vague Terms: Avoid the use of vague terms that provide vague quantification, such as “some”, “any”, “allowable”, “several”, “many”, “a lot of”, “a few”, “almost always”, “very nearly”, “nearly”, “about”, “close to”, “almost”, and “approximate”. Avoid vague adjectives such as “ancillary”, “relevant”, “routine”, “common”, “generic”, “significant”, “flexible”, “expandable”, “typical”, “sufficient”, “adequate”, “appropriate”, “efficient”, “effective”, “proficient”, “reasonable” and “customary.”</p> <p>R8 - Escape Clauses: Avoid the inclusion of escape clauses that state vague conditions or possibilities, such as “so far as possible”, “as little as possible”, “where possible”, “as much as possible”, “if it should prove necessary”, “if necessary”, “to the extent necessary”, “as appropriate”, “as required”, “to the extent practical”, and “if practicable”.</p> <p>R9 - Open-Ended Clauses: Avoid open-ended, non-specific clauses such as “including but not limited to”, “etc.” and “and so on”.</p>	<p>R23 - Supporting Diagram, Model, or ICD: When a need or requirement is related to complex behavior, refer to a supporting diagram, model, or ICD.</p> <p>Completeness</p> <p>R24 – Pronouns: Avoid the use of personal and indefinite pronouns.</p> <p>R25 – Headings: Avoid relying on headings to support explanation or understanding of the need or requirement.</p> <p>Realism</p> <p>R26 – Absolutes: Avoid using unachievable absolutes such as 100% reliability, 100% availability, all, every, always, never, etc.</p> <p>Conditions</p> <p>R27 - Explicit Conditions: State conditions’ applicability explicitly instead of leaving applicability to be inferred from the context.</p> <p>R28 - Multiple Conditions: Express the propositional nature of a condition explicitly for a single action instead of giving lists of actions for a specific condition.</p> <p>Uniqueness</p> <p>R29 – Classification: Classify needs and requirements according to the aspects of the problem or system it addresses.</p> <p>R30 - Unique Expression: Express each need and requirement once and only once.</p> <p>Abstraction</p> <p>R31 – Solution Free: Avoid stating implementation in a need statement or requirement statement unless there is rationale for constraining the design.</p> <p>Quantifiers</p> <p>R32 - Universal Qualification: Use “each” instead of “all”, “any”, or “both” when universal quantification is intended.</p> <p>Tolerance</p> <p>R33 - Range of Values: Define each quantity with a range of values appropriate to the entity to which the quantity applies and against which the entity will be verified or validated.</p>
<p>Concision</p> <p>R10 - Superfluous Infinitives: Avoid the use of superfluous infinitives such as “to be designed to”, “to be able to”, “to be capable of”, “to enable”, “to allow”.</p> <p>R11 - Separate Clauses: Use a separate clause for each condition or qualification.</p> <p>Non-ambiguity</p> <p>R12 - Correct Grammar, 13 - Correct Spelling, 14 - Correct Punctuation: Use correct grammar, spelling, punctuation.</p> <p>R15 - Logical Expressions: Use a defined convention to express logical expressions such as “[X AND Y]”, “[X OR Y]”, “[X XOR Y]”, “[NOT [X OR Y]]”.</p> <p>R16 - Use of “Not”: Avoid the use of “not.”</p> <p>R17 - Use of Oblique Symbol: Avoid the use of the oblique (“/”) symbol except in units, i.e., Km/hr, or fractions.</p> <p>Singularity</p> <p>R18 - Single Thought Sentence: Write a single sentence that contains a single thought conditioned and qualified by relevant sub-clauses.</p> <p>R19 - Combinators: Avoid words that join or combine clauses, such as “and”, “or”, “then”, “unless”, “but”, “as well as” “but also”, “however”, “whether”, “meanwhile”, “whereas”, “on the other hand”, or “otherwise”.</p> <p>R20 - Purpose Phrases: Avoid phrases that indicate the “purpose of”, “intent of”, or “reason for” the need statement or requirement statement.</p> <p>R21 - Parentheses: Avoid parentheses and brackets containing subordinate text.</p> <p>R22 - Enumeration: Enumerate sets explicitly instead of using a group noun to name the set.</p>	<p>Quantification</p> <p>R34 - Measurable Performance: Provide specific measurable performance targets appropriate to the entity to which the need or requirement is stated and against which the entity will be verified to meet.</p> <p>R35 - Temporal Dependencies: Define temporal dependencies explicitly instead of using indefinite temporal keywords such as “eventually”, “until”, “before”, “after”, “as”, “once”, “earliest”, “latest”, “instantaneous”, “simultaneous”, and “at last”.</p> <p>Uniformity of Language</p> <p>R36 - Consistent Terms and Units: Ensure each term and unit of measure used throughout need and requirement sets as well as associated models and other SE artefacts developed across the lifecycle are consistent with the project’s defined ontology.</p> <p>R37 – Acronyms: If acronyms are used, they must be consistent throughout need and requirement sets as well as associated models and other SE artefacts developed across the lifecycle.</p> <p>R38 – Abbreviations: Avoid the use of abbreviations in needs and requirement statements as well as associated models and other SE lifecycle artefacts.</p> <p>R39 - Style Guide: Use a project-wide style guide for individual need statements and requirement statements.</p> <p>R40 - Decimal Format: Use a consistent format and number of significant digits for the specification of decimal numbers.</p> <p>Modularity</p> <p>R41 - Related Needs and Requirements: Group related needs and requirements together.</p> <p>R42 – Structured Sets: Conform to a defined structure or template for organizing sets of needs and requirements.</p>