

Sistema FIEB



PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Proposta de método para construção de rotas de validação da tecnologia a partir da fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos

Saulo Queiroz Figliuolo



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

Saulo Queiroz Figliuolo

**Proposta de método para construção de rotas de validação da
tecnologia a partir da fase conceitual do processo de
desenvolvimento de produtos**

Dissertação de Mestrado

Salvador, 2022

SAULO QUEIROZ FIGLIUOLO

PROPOSTA DE MÉTODO PARA CONSTRUÇÃO DE ROTAS DE VALIDAÇÃO DA
TECNOLOGIA A PARTIR DA FASE CONCEITUAL DO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu do Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL.

Orientador: Prof. Dr. Valter Estevão Beal

Coorientador: Dr. Luis Alberto Breda Mascarenhas

Salvador, 2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

F471p Figliuolo, Saulo Queiroz

Proposta de método para construção de rotas de validação da tecnologia a partir da fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos. / Saulo Queiroz Figliuolo. – Salvador, 2022.

163 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Valter Estevão Beal.

Coorientador: Prof. Dr. Luis Alberto Breda Mascarenhas.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2022.

Inclui referências.

1. Desenvolvimento de produtos. 2. Validação da tecnologia. 3. Maturidade da tecnologia. 4. FMECA. 5. TRL – IRL. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Beal, Valter Estevão. III. Mascarenhas, Luis Alberto Breda. IV. Título.

CDD 658.575

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC**Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial**

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada “**Proposta de método para construção de rotas de validação da tecnologia a partir da fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos**” apresentada no dia 25 de novembro de 2022, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Assinado eletronicamente por:
Valter Estevão Beal
CPF: ***.452.669-**
Data: 28/11/2022 09:36:43 -03:00



Orientador:

Prof. Dr. Valter Estevão Beal
SENAI CIMATEC

Assinado eletronicamente por:
Luis Alberto Brêda Mascarenhas
CPF: ***.326.135-**
Data: 29/11/2022 16:59:44 -03:00



Coorientador:

Prof. Dr. Luis Alberto Breda Mascarenhas
FIEB

Assinado eletronicamente por:
Francisco Uchoa Passos
CPF: ***.670.117-**
Data: 01/12/2022 09:53:41 -03:00



Membro Interno:

Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos
SENAI CIMATEC

Assinado eletronicamente por:
Cristiano Vasconcellos Ferreira
CPF: ***.867.289-**
Data: 28/11/2022 10:48:02 -03:00



Membro Externo:

Prof. Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira
UFSC

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me apoiou e incentivou, mas principalmente a meu amado pai Sérgio (in memoriam), o meu grande herói!

Agradecimentos

Agradeço ao professor Valter Beal pelo incessante apoio e incentivo, dedicação, orientação e, principalmente, pela paciência, compreensão e amizade.

Aos professores Francisco Uchoa e Cristiano Vasconcelos e ao meu coorientador, Luis Breda, pelas críticas construtivas e indicações de como melhorar o resultado do meu trabalho.

À instituição SENAI CIMATEC por possibilitar e viabilizar a minha participação do programa de mestrado.

Agradeço a minha família, Soane minha irmã e Diogo meu cunhado (um irmão que a vida me deu), a meus pais Simone e Sérgio (*in memoriam*) que amo muito e fizeram tudo que podiam e não podiam para me proporcionar tudo de melhor. Obrigado por me incentivar e apoiar em todos os momentos!

À minha amada, companheira, amiga e parceira Néa por me ajudar, apoiar, incentivar, me ajudar a priorizar e, principalmente, por estar sempre ao meu lado!

Agradeço também aos colegas e amigos do SENAI CIMATEC que se fizeram presentes e que muito me ajudaram nessa trajetória.

A todos que participaram dessa conquista, o meu MUITO OBRIGADO!

Resumo

O desenvolvimento de produtos e tecnologias (DP&T) é um processo que envolve diversas atividades e um time técnico, normalmente, interdisciplinar, requerendo um tempo considerável de execução e investimentos significativos para a efetivação do projeto. Existem diversos métodos, ferramentas e procedimentos que se entrelaçam durante todo o ciclo de desenvolvimento. Atualmente, algumas metodologias de DP&T estão bem consolidadas e sendo largamente utilizadas por empresas e centros tecnológicos. Adicionalmente, nos últimos anos, a escala para identificar o nível de prontidão da tecnologia (TRL) tem se consolidado e muitas empresas estão utilizando a métrica para a comunicação e monitoramento dos desenvolvimentos. Junto com o TRL, vem o processo de avaliação da prontidão da tecnologia (TRA), que alguns órgãos e instituições tem disponibilizado, porém, não existe ainda um método para propor a construção de um planejamento estruturado de testes e avaliações que suporte o avanço da maturidade do desenvolvimento de maneira sistemática. O presente trabalho visa apresentar uma proposta para a construção de rotas de validação de produtos e/ou tecnologias quando estes ainda estão em uma fase inicial do desenvolvimento, neste caso, no projeto conceitual. O método proposto utiliza ferramentas tradicionais e largamente utilizadas como o FMEA / FMECA, associado tanto com avaliações de TRL e IRL do conceito, bem como, com um processo de identificação do nível de maturidade da instituição para execução do desenvolvimento. O método suporta a identificação antecipada de subsistemas e subconjuntos potencialmente críticos, que podem requerer maior esforço de testes e/ou validação ao longo do processo de concepção e desenvolvimento. A proposição desse método acontece no contexto de um centro tecnológico que, apesar de já empregar uma metodologia robusta e consolidada, ainda identifica uma variabilidade grande do processo de construção das rotas de validação de seus desenvolvimentos. Nessa situação, o método proposto assume características sistemáticas que possibilitam reduzir a subjetividade do processo e aumentar a qualidade final dos produtos desenvolvidos, através da identificação dos pontos críticos em subsistemas e subconjuntos nas fases iniciais do desenvolvimento. Por fim, o método proposto foi avaliado e testado por um time de técnicos multidisciplinar que têm realizado projetos para variados segmentos industriais. Os testes ocorreram tanto em projetos anteriores como em projetos que estavam em curso. Permitindo assim testar, avaliar e verificar a qualidade da contribuição trazida pelo emprego do novo método para a construção de rotas de validação de tecnologias em desenvolvimento.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produtos, Validação da tecnologia, Maturidade da tecnologia, FMEA/FMECA, TRL/IRL

Method proposal for technology assessment routes creation from conceptual phase of the product development process

Abstract

The development of products and technologies (DP&T) is a process that involves several activities and a technical team, usually interdisciplinary, requiring considerable execution time and significant investments for the project to be effective. There are several methods, tools and procedures that intertwine throughout the development cycle. Currently, some DP&T methodologies are well established and are widely used by companies and technology centers. Additionally, in recent years, the scale to identify the technology readiness level (TRL) has been consolidated and many companies are using the metric to communicate and monitor developments. Along with the TRL, comes the technology readiness assessment process (TRA), which some bodies and institutions have made available, however, there is still no method to propose the construction of a structured planning of tests and evaluations that supports the advancement of technology. developmental maturity in a systematic manner. The present work aims to present a proposal for the construction of validation routes for products and/or technologies when they are still in an initial phase of development, in this case, in the conceptual design. The proposed method uses traditional and widely used tools such as the FMEA / FMECA, associated both with TRL and IRL assessments of the concept, as well as with a process of identifying the maturity level of the institution for executing the development. The method supports the early identification of potentially critical subsystems and subassemblies, which may require greater testing and/or validation effort throughout the design and development process. The proposition of this method takes place in the context of a technological center that, despite already employing a robust and consolidated methodology, still identifies a large variability in the construction process of validation routes for its developments. In this situation, the proposed method assumes systematic characteristics that make it possible to reduce the subjectivity of the process and increase the final quality of the products developed, through the identification of critical points in subsystems and subassemblies in the initial stages of development. Finally, the proposed method was evaluated and tested by a multidisciplinary team of technicians who have carried out projects for various industrial segments. The tests took place both in previous projects and in projects that were in progress. Thus allowing to test, evaluate and verify the quality of the contribution brought by the use of the new method for the construction of validation routes for technologies under development.

Keywords: Product Development, Technology Validation, Technology Maturity, FMEA/FMECA, TRL/IRL.

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1. As fases do processo de desenvolvimento de produtos segundo a visão de diversos autores (Parte 01 de 02)</i>	7
<i>Tabela 2. As fases do processo de desenvolvimento de produtos segundo a visão de diversos autores (Parte 02 de 02)</i>	8
<i>Tabela 3. Principais métodos para busca de proposta de soluções</i>	11
<i>Tabela 4. Exemplo da utilização da matriz de Pugh</i>	13
<i>Tabela 5. Resumo de TRL: Marcos e resultados alcançados</i>	16
<i>Tabela 6. Resumo de TRL: Marcos e resultados alcançados (continuação)</i>	17
<i>Tabela 7. Base das avaliações da maturidade tecnológica ao longo da aquisição</i>	20
<i>Tabela 8. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Hardware</i>	21
<i>Tabela 9. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Hardware (continuação)</i>	22
<i>Tabela 10. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Software</i>	23
<i>Tabela 11. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Software (continuação)</i>	24
<i>Tabela 12. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Software (continuação)</i>	25
<i>Tabela 13. Requisitos de dados para cada nível de prontidão de tecnologia</i>	27
<i>Tabela 14. Resumo MRL</i>	30
<i>Tabela 15. Resumo IRL</i>	31
<i>Tabela 16. Resumo SRL</i>	32
<i>Tabela 17. Níveis de S, O e D de 1 a 4</i>	37
<i>Tabela 18. Níveis de S, O e D de 1 a 10</i>	37
<i>Tabela 19. Prioridade de intervenção nas causas</i>	53
<i>Tabela 20. TRL e IRL de acordo com a criticidade</i>	56
<i>Tabela 21. TPN níveis de prioridade</i>	61

Lista de Figuras

Figura 1. Modelo PDP _____	5
Figura 2. Passos do projeto conceitual _____	9
Figura 3. Desdobramento da função global _____	10
Figura 4. Matriz Morfológica e geração de conceitos _____	12
Figura 5. Níveis de Prontidão da Tecnologia _____	15
Figura 6. Processo de Avaliação da Tecnologia _____	18
Figura 7. Processo de Pensamento do TMA _____	19
Figura 8. Passos genéricos da Avaliação da Prontidão da Tecnologia _____	26
Figura 9. Captura de seção da Calculadora TRL da AFRL _____	28
Figura 10. Uma visão geral do uso de métodos de análise de risco na indústria norueguesa de petróleo e gás entre os entrevistados em empresas operadoras, empresas de engenharia e consultorias (N = 98). _____	34
Figura 11. Formulário básico para aplicação do FMECA _____	39
Figura 12. Procedimento metodológico _____	42
Figura 13. Fluxo de atividades do método proposto _____	51
Figura 14. Exemplo de estrutura funcional _____	52
Figura 15. Exemplo de estrutura do produto _____	54
Figura 16. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter o subconjunto _____	54
Figura 17. Exemplo de estrutura do produto _____	55
Figura 18. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter TRL e IRL _____	57
Figura 19. Fluxo IMA _____	58
Figura 20. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter IMA _____	59
Figura 21. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter TPN _____	61
Figura 22. Rota de validação da tecnologia _____	62
Figura 23. Distribuição das disciplinas dos participantes da pesquisa _____	66
Figura 24. Importância atribuída a necessidade de se ter um método padronizado para construção da rota de validação da tecnologia _____	67
Figura 25. Função global ROBIN _____	68
Figura 26. Recorte parcial da síntese funcional do ROBIN _____	69
Figura 27. Estrutura funcional ROBIN _____	70
Figura 28. C-FMECA dos subsistemas relacionados ao processo de deslocamento _____	71
Figura 29. Estrutura funcional com indicação do nível de risco através de cores _____	73
Figura 30. Conceito proposto para módulo de tração _____	73
Figura 31. Estrutura do produto com foco no módulo de tração da unidade de intervenção _____	74
Figura 32. Correlação entre estrutura funcional e estrutura do produto _____	75
Figura 33. Execução da avaliação de TRL e IRL para os subconjuntos _____	78
Figura 34. Execução da avaliação da maturidade interna _____	80
Figura 35. Obtenção do valor do TPN _____	82
Figura 36. (a) Rota de validação completa apresentada durante o projeto, (b) Testes previstos para o subconjunto do tracionador _____	84
Figura 37. (a) Rota de avaliação da tecnologia completa para o subconjunto módulo de tração construída a partir do método proposto, (b) Destaque para testes de avaliação para TRL 3 _____	86
Figura 38. Planilha de cálculo do TPN para o projeto Torre 2 _____	88
Figura 39. (a) Rota de validação da tecnologia completa para a âncora do projeto Torre 2, (b) Recorte para os testes identificados para os TRL 3 e 4 _____	90
Figura 40. Planilha de cálculo do TPN para o projeto Cold Bonded Repair _____	93

<i>Figura 41. (a) Rota de validação da tecnologia completa para o subconjunto de preparação superficial do projeto Cold Bonded Repair, (b) Recorte da rota para o TRL 3</i>	95
<i>Figura 42. Percentual de respondentes por área tecnológica do SENAI CIMATEC</i>	96

Lista de Siglas e Abreviaturas

AD² – *Advancement Degree of Difficulty Assessment*, Avaliação do Grau de Dificuldade de Avanço

CAX – *Computer Aided “X”*, “X” auxiliado por computador

CAD – *Computer Aided Design*, Projeto auxiliado por computador

CAE – *Computer Aided Engineering*, Engenharia auxiliada por computador

CAM – *Computer Aided Manufacturing*, Fabricação auxiliada por computador

CIMATEC – Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia

DFX – *Design for “X”*, Projeto para “X”

DIP&T – Desenvolvimento Integrado de Produto e Tecnologia

DOI – *Digital Object Identifier*, Identificador de Objeto Digital

DoD – *Department of Defense*, Departamento de Defesa

EPO – *European Patent Office*, Estritório de Patete Europeu

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*, Análise de Modo de Falha e Efeitos

FMECA - *Failure Mode and Effect Criticaly Analysis*, Análise de Modo de falha, efeitos e criticidade

GP – Gerente de Projeto

HAZID – *Hazard Identification Study*, Estudo de Identificação do Perigo

HAZOP – *Hazard and Operability Study*, Estudo de Perigo e Operabilidade

IA – Inteligência Artificial

IAE – Instituto de Aeronáutica e Espaço

ICT – Instituição de Ciência e Tecnologia

IEAv – Instituto de Estudos Avançados

IRT – *Independent Review Team*, Time de Revisão Independente

IMA – *Internal Maturity Assessment*, Avaliação da Maturidade Interna

IML – *Internal Maturity Level*, Nível da Maturidade Interna

IRL – *Integration Readiness Level*, Nível de Prontidão da Integração

ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica

LM – Lista de Materiais

LT – Líder Técnico

PHA – *Process Hazard Analysis*, Processo de Análise de Risco

QFD – *Quality Function Deployment*, Desdobramento da Função Qualidade

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PBS – *Product Breakdown Structure*, Estrutura de divisão de produto

PDI – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos

PG-CTE – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais

PoC – *Proof of concept*, prova de conceito

PPGGETEC – Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial

R&D – *Research and Development*, Pesquisa e Desenvolvimento

RPN – *Risk Priority Nymber*, Número de prioridade do risco

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SRL – *System Readiness Level* – Nível de Prontidão do Sistema

TA – *Technology Assessment*, Avaliação da Tecnologia

TAP – *Technology Assessment Process*, Processo de Avaliação da Tecnologia

TMA – *Technology Maturity Assessment*, Avaliação da Maturidade da Tecnologia

TPN – *Trial Priority Number*, Número de Prioridade de Teste

TQ – *Technology Qualification*, Qualificação da Tecnologia

TRA – *Technology Readiness Assessment*, Avaliação da Prontidão da Tecnologia

TRL – *Technology Readiness Level*, Nível de Prontidão da Tecnologia

WIPO – *World Intellectual Property Indicators*, Indicadores de Propriedade Intelectual

Mundial

Sumário

Resumo	xi
Abstract	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Figuras	xvii
Lista de Siglas e Abreviaturas	xix
Sumário	xxi
1 Introdução	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVO	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	4
2 Revisão da Literatura	5
2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	5
2.1.1 PROJETO CONCEITUAL	9
2.2 MATURIDADE TECNOLÓGICA	14
2.2.1 NÍVEL DE PRONTIDÃO DA TECNOLOGIA	14
2.2.2 AVALIAÇÃO DA PRONTIDÃO DA TECNOLOGIA	18
2.2.3 CALCULADORAS	27
2.2.4 OUTRAS MÉTRICAS	29
2.3 ANÁLISE DE RISCO	32
2.3.1 FMEA / FMECA	34
2.3.2 TIPOS DE FMEA	34
2.3.3 APLICAÇÃO DO FMECA	36
2.4 COMENTÁRIOS FINAIS	40
3 Métodos e Materiais	41
3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	42
3.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	43
3.3 PROPOSIÇÃO INICIAL DO MÉTODO	44
3.4 TESTE INICIAL – PROJETOS ANTERIORES – BAIXA COMPLEXIDADE	45
3.5 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DE MAPEAMENTO I	45
3.6 CONSOLIDAÇÃO DAS RESPOSTAS DOS TÉCNICOS	45
3.7 AJUSTES E MELHORIAS	46
3.8 CONSOLIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	46
3.9 APLICAÇÃO DO MÉTODO – PROJETOS ANTERIORES – COMPLEXIDADE ELEVADA	47
3.10 ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS	47
3.11 APLICAÇÃO – PROJETOS EM EXECUÇÃO	47
3.12 WORKSHOP DE APRESENTAÇÃO	47
3.13 ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS	48
3.14 QUESTIONÁRIO DE MAPEAMENTO III	48

3.15	ANÁLISE E CONSOLIDAÇÃO DA AVALIAÇÃO DOS TÉCNICOS	48
3.16	CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS	49
4	Apresentação do método	51
4.1	DEFINIÇÃO DA HIERARQUIA DA ESTRUTURA FUNCIONAL	52
4.2	APLICAÇÃO DO C-FMECA	52
4.3	IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CRÍTICOS	53
4.4	DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO PRODUTO	53
4.5	IDENTIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE VALIDAÇÃO	54
4.6	AVALIAÇÃO DO TRL E IRL DO CONCEITO	55
4.7	ANÁLISE DA MATURIDADE INTERNA PARA EXECUÇÃO DO CONCEITO	57
4.8	IDENTIFICAÇÃO DE SUBSISTEMAS PRIORITÁRIOS PARA TESTES	59
4.9	CONSTRUÇÃO DA ROTA DE VALIDAÇÃO	61
5	Resultados	65
5.1	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO MAPEAMENTO I	65
5.2	ESTUDO DE CASO EM PROJETOS ANTERIORES – ROBIN	67
5.2.1	DEFINIÇÃO DA HIERARQUIA DA ESTRUTURA FUNCIONAL	68
5.2.2	APLICAÇÃO DO C-FMECA	70
5.2.3	IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CRÍTICOS	72
5.2.4	DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO PRODUTO	73
5.2.5	IDENTIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE VALIDAÇÃO	76
5.2.6	AVALIAÇÃO TRL E IRL DO CONCEITO	76
5.2.7	ANÁLISE DA MATURIDADE INTERNA PARA EXECUÇÃO	79
5.2.8	IDENTIFICAÇÃO DE SUBSISTEMAS PRIORITÁRIOS	81
5.2.9	CONSTRUÇÃO DA ROTA DE VALIDAÇÃO	83
5.3	ESTUDO DE CASO EM PROJETOS EM EXECUÇÃO – TORRE 2	87
5.4	ESTUDO DE CASO EM PROJETOS EM EXECUÇÃO – <i>COLD BONDED REPAIR</i>	91
5.5	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO DE MAPEAMENTO II	96
5.6	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO DE MAPEAMENTO III	97
6	Conclusões	99
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	100
	Referências	103
	Anexo A – Questionário mapeamento I	109
	Anexo B – Respostas ao questionário de mapeamento I	115
	Anexo C – Questionário mapeamento II	119
	Anexo D – Respostas ao questionário de mapeamento II	123
	Anexo E – Questionário mapeamento III	129
	Anexo F – Respostas ao questionário de mapeamento III	133
	Anexo G – Formulário padrão para cálculo do TPN	137
	Produção Técnica e Científica	139

1 Introdução

A importância da pesquisa e desenvolvimento é algo que é reconhecido nacional e internacionalmente. Como exemplo, foi verificado que em 2018 o total de investimentos em P&D ao redor do mundo aproxima-se de US\$ 1,8 trilhões de Dólares. Os dois primeiros colocados nesse levantamento foram os Estados Unidos e a China, que juntos foram responsáveis por aproximadamente 47% do valor investido. (DESJARDINS, 2018).

Deixando um pouco de lado os valores investidos, mas ainda analisando o cenário do desenvolvimento, um excelente indicador relacionado ao desenvolvimento de novos produtos e tecnologias é a solicitação de proteção da propriedade intelectual, ou seja, os depósitos de patentes.

As solicitações de patentes têm aumentado constantemente nos últimos anos, mesmo passando por situações adversas, essas solicitações continuam em quantitativo bem elevado. Os dados compartilhados pelo Escritório Europeu de Patentes (EPO – *European Patents Office*) demonstra a tendência de crescimento dos depósitos ao longo dos últimos 5 anos. Além disso, está apresentada uma lista com os “Top 50” países em termos de depósito de patentes para o ano de 2021, onde os três primeiros colocados são Estados Unidos, Alemanha e Japão. O Brasil aparece apenas na 37ª posição, com 181 dos mais de 188 mil pedidos. As três maiores empresas em solicitações de patentes foram a Huawei, Samsung e LG (EPO, 2022).

Para o escritório brasileiro, apesar de haver alguma flutuação, as solicitações demonstram certa estabilidade. Para as empresas brasileiras, a PETROBRAS lidera o ranking de solicitações no ano de 2020, seguida pela BRASKEN e CNH Industrial. Juntas essas três empresas possuem mais de 70 solicitações de patente (WIPO, 2021).

Uma vez que evidenciados os níveis de recursos investidos em P&D, a quantidade de patentes que são geradas e a quantidade de empresas e instituições de pesquisas envolvidas, surge a seguinte pergunta:

“Apesar dos recursos investidos (tempo, pessoal, capital, etc.), poucos desenvolvimentos chegam a fase de produto, e ainda, muitos desses falham e acabam tendo pouca adesão pelo mercado. Por que isso acontece?”

Para começar a abordar este assunto primeiramente é importante ter uma real noção da taxa de sucesso / falha de novos produtos. Apesar de ser comumente veiculado que a taxa de falha de novos produtos é extremamente elevada, da ordem de 80%, isso é contestado por alguns pesquisadores. É possível identificar fontes que indicam que, na verdade, a taxa de falha de novos produtos é da ordem de 40% para alguns dos principais setores industriais, existindo assim, maior sucesso que fracasso no lançamento desses novos produtos no mercado (CASTELLION; MARKHAM, 2013).

Independente do percentual, existem fatores que acabam por reduzir as chances de sucesso de novos produtos, sendo que existem questões tanto técnicas como não técnicas

para que isso ocorra. Pesquisas foram realizadas para tentar identificar as principais causas relacionadas a falha na inserção de um novo produto no mercado. Entre elas, é possível relacionar (HOADLEY, 2019; MANENTI, 2015):

- Falta de adesão às necessidades dos clientes;
- Decisões ruins no ciclo de desenvolvimento;
- Demora de estar disponível para o mercado;
- Qualidade insatisfatória;
- Mudanças excessivas após o lançamento.

Boa parte desses indicadores estão relacionados ao processo de desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, assim, metodologias robustas e bem empregadas podem suportar o time de desenvolvimento a melhorar alguns desses indicadores. Esses métodos se referem não apenas ao processo de desenvolvimento, mas também, ao processo de validação desses produtos e por isso, uma preocupação deve ser para que as metodologias empregadas, apesar de sua robustez, não criem um ciclo de validação excessivo e/ou demasiadamente longo, bem como não sejam inseridas burocracias desnecessárias no ciclo. Esses são alguns dos pontos que são tratados como barreiras no processo de desenvolvimento de produto (PDP) (MEDTECHINTELLIGENCE, 2014).

Uma das formas de garantir que o produto desenvolvido esteja tanto de acordo com os seus requisitos técnicos como que atenda aos critérios de qualidade a ele impostos é submetê-lo a um processo de qualificação da tecnologia (TQ – *Technology Qualification*). Estes processos se tornaram tão importantes que existem normas e procedimentos para estruturá-los e indicar como devem ser desenvolvidos (YE et al., 2017).

Apesar de instituições e agências como *Det Norske Veritas* (DNV), *American Petroleum Institute* (API), *American Bureau of Shipping* (ABS), Bureau VERITAS, Lloyds Register e tantas outras indicarem normas e processos para definir os procedimentos de qualificação da tecnologia (YASSERI; BAHAI; YASSERI, 2018), nenhuma delas trazem indicações relacionadas às fases iniciais do PDP, ficando assim, os seguintes questionamentos em aberto:

- Como identificar quais funcionalidades incorrem em maior risco para o produto?
- Quais das soluções propostas reduzem as chances de sucesso do projeto?
- Como identificar quais parte são mais sensíveis e/ou críticas ao processo de qualificação?

1.1 Justificativa

O SENAI CIMATEC, enquanto instituição de ciência e tecnologia (ICT), tem se dedicado ao desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, devido ao aumento das demandas e a crescente necessidade de alcançar resultados de melhor qualidade e em menor prazo, a ICT

passou a fazer uso de uma metodologia própria baseada nas mais robustas e bem consolidadas existentes na bibliografia. Denominada de Desenvolvimento Integrado de Produto e Tecnologia (DIP&T), esta passou a suportar todos os desenvolvimentos realizados pelo SENAI CIMATEC.

Dentro do contexto dos desenvolvimentos realizados pela ICT, entende-se que projetos de PD&I, na maioria dos casos, acabam por associar o desenvolvimento do produto ao desenvolvimento de tecnologia, uma vez que ocasionalmente a tecnologia necessária ou escolhida para ser embarcada ao produto pode não estar madura o suficiente, ocasionando o chamado desenvolvimento simultâneo de produto e tecnologia ou inovação dupla (BRILHUIS-MEIJER; PIGOSSO; MCALOONE, 2016).

Apesar da robustez da metodologia, ao longo dos trabalhos que foram sendo desenvolvidos, observou-se que há uma brecha no processo de desenvolvimento quando o assunto é o planejamento do processo de validação desse novo produto ou tecnologia.

Durante a execução dos projetos observou-se que não há um critério que auxilie no processo de identificar, por exemplo, quais partes e/ou subsistemas dos desenvolvimentos são mais críticos, ou seja, que exijam maior esforço no processo de desenvolvimento e validação. Dessa forma, tem ocorrido a priorização de testes e/ou ações que não estão diretamente ligadas ao cerne do problema que o projeto / produto visa solucionar. Isso acaba por reduzir as chances do produto ser bem-sucedido, elevam a probabilidade de retrabalho e aumentam os custos do projeto.

Além disso, pesquisas apontaram que essa situação identificada na ICT, na verdade, é uma questão recorrente em diversas empresas e instituições de pesquisa e desenvolvimento (P&D) ao redor do mundo, até mesmo algumas das empresas mais maduras e consolidadas no mercado se deparam com essa complicada situação.

Por esse motivo, o presente trabalho visa identificar e analisar os processos de desenvolvimento de produtos e tecnologias para propor um método, complementar às metodologias PDP existentes, de maneira a possibilitar a construção de uma rota de validação do produto ainda na fase de projeto conceitual.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para a construção de rotas de validação de produto e/ou tecnologia a partir da fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos.

1.3 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, foram propostos como objetivos específicos:

- Pesquisar e identificar os processos de desenvolvimento de produtos e de avaliação da maturidade aplicados a desenvolvimentos;
- Propor um método de construção de rota de validação da tecnologia a partir da fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos;
- Testar o método e avaliar sua efetividade através de estudos de caso.

1.4 Organização do Documento

Esta seção apresenta, de maneira sucinta, a estrutura e organização deste trabalho, isto é, como foi realizada a divisão entre capítulos e seções, bem como o conteúdo presente em cada um desses.

No capítulo 1 a Introdução é realizada uma breve contextualização do problema, bem como é apresentada a justificativa que motivou a execução do trabalho. Além disso, são apresentados os objetivos, geral e específicos, e a sua estruturação.

No capítulo 2 de Revisão da Literatura, são discorridos os principais temas em relação à execução do trabalho, além das suas referências mais importantes. As principais temáticas apresentadas são: Metodologia de desenvolvimento de produtos; Métricas para identificação da maturidade de tecnologia e seus processos de avaliação; ferramentas para a análise de risco.

No capítulo 3 de Métodos e Materiais, são abordados os aspectos relacionados ao método de execução do presente trabalho, bem como, ferramentas que foram utilizadas para alcançar o resultado.

O capítulo 4, Apresentação do método, conforme o nome sugere, o método desenvolvido é apresentado em detalhes, explicado o passo a passo para o seu emprego nos projetos.

No capítulo 5, os Resultados gerados com a execução do presente trabalho são apresentados, ou seja, as respostas dos questionários de mapeamento são apresentadas, bem como os resultados obtidos com a aplicação do método nos projetos utilizados como estudo de caso.

Por fim, o capítulo 6 as Conclusões obtidas com o trabalho são compartilhadas evidenciando os pontos mais relevantes, além disso, sugestões de trabalhos futuros / complementares serão indicadas nessa seção.

2 Revisão da Literatura

Nesta seção, estão apresentados e discutidos os temas mais significativos para este trabalho.

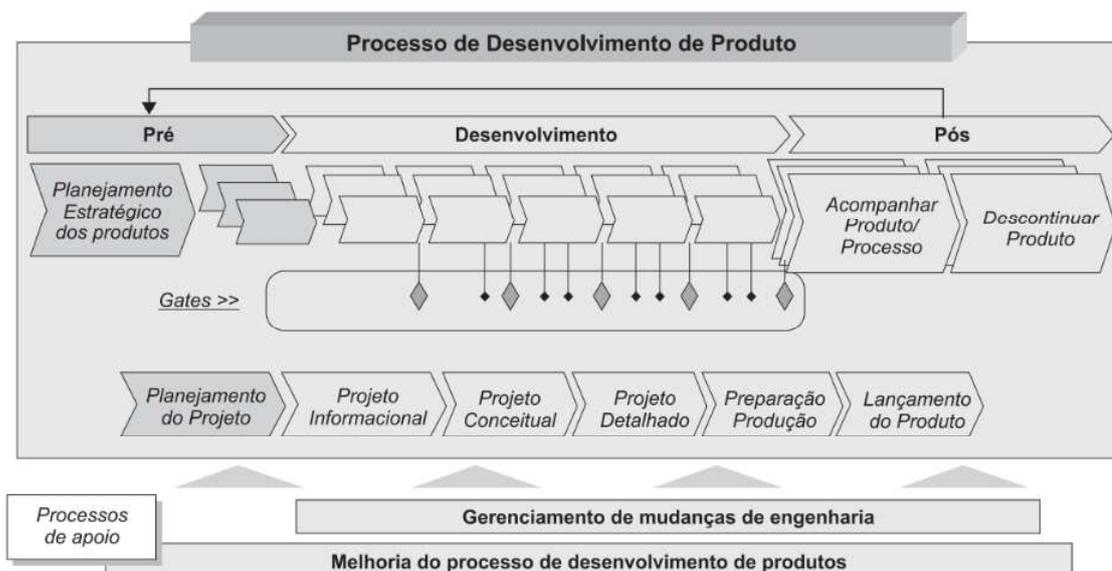
2.1 Processo de desenvolvimento de produtos

A ação de desenvolver um novo produto consiste em uma série de atividades pelas quais se busca obter as especificações de projeto desse produto e do seu processo de produção, baseando-se nas necessidades do mercado, na tecnologia disponível e considerando as estratégias do produto e da empresa (ROZENFELD et al., 2006).

De maneira geral, o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) está relacionado a uma série de fases, tarefas e atividades conectadas e complementares. Tais ações podem ocorrer de forma sequencial ou simultânea, possuindo especificidades atreladas ao produto que será desenvolvido. Assim, é possível inferir que desenvolver produtos é uma atividade complexa, com objetivos que podem ser conflitantes e que comumente não estão bem definidos. Precisando ser monitorado e gerenciado para garantir a efetividade do produto e do processo (ENSSLIN et al., 2011).

A Figura 1 apresenta o processo de DP, que está organizado e dividido entre macrofases e fases. A exemplo, as macrofases são: Pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. A macrofase de desenvolvimento dá ênfase aos aspectos tecnológicos para a definição do produto propriamente dito.

Figura 1. Modelo PDP



Fonte: Rozenfeld, et al., 2006.

A macrofase de desenvolvimento pode ser dividida em fases, na Figura 1 ficam evidenciadas algumas possíveis fases. Esse é um modelo de PDP, entretanto, existem alguns outros que, se assemelham. A Tabela 1 apresenta um condensado da visão das fases do PDP para diversos autores, sendo possível confirmar os seguintes objetivos para cada fase: Primeira fase – Estabelecer as especificações do projeto do produto a ser desenvolvido; Segunda fase – Desenvolvimento de concepções alternativas; Terceira fase – Definição da configuração básica do produto; Quarta fase – Detalhamento final. Assim, a macrofase de desenvolvimento pode ser dividida nas fases: Informacional, conceitual, preliminar e detalhado (ROMANO, 2003).

Independente da nomenclatura adotada em cada uma das fases essas são marcadas pela execução de atividades e apresentação de resultados específicos. A seguir estão listadas e brevemente descritas cada uma das principais etapas do projeto.

- Projeto informacional:

De maneira geral o objetivo dessa fase é levantar a maior quantidade possível de informações pertinentes ao assunto e garantir que o time do projeto seja capaz de familiarizar-se com o que vai ser desenvolvido. Ou seja, estão imbuídos de pesquisar para responder as seguintes perguntas: o que, porque, para que, como, onde, com o que, quando e quem (LIMA, 2002).

- Projeto Conceitual:

Nessa fase acontece a concepção das proposta de solução advinda da necessidade identificada do problema (FORCELLINI, 2003). A proposta de solução é concebida através de técnicas de abstração, estabelecimento de estruturas funcionais e buscando-se princípios de operação que combinem com as funcionalidades estabelecidas (PAHL et al., 2007).

- Projeto Preliminar:

Está é a quarta etapa do macroprocesso de desenvolvimento do PDP que tem por finalidade estabelecer o *layout* final do produto e determinar a viabilidade econômica da solução proposta. Diversas atividades devem ser realizadas, elas envolvem questões que estão relacionadas com requisitos de forma / dimensões, posições, materiais, segurança, ergonomia, definição de componentes, processos e procedimentos para manufatura, entre outros (ROMANO, 2003).

- Projeto Detalhado:

A fase de projeto detalhado é responsável pela finalização dos processos de projetos e encaminhamento da documentação para a produção (PAHL et al., 2007). Algumas de suas atividades foram iniciadas na fase preliminar devendo ser finalizadas na fase atual, como dimensionamentos, desenhos técnicos de peças, especificação para produção, documentação de suporte a montagem, treinamento, entre outros (LUCAS AREND, 2003).

Tabela 1. As fases do processo de desenvolvimento de produtos segundo a visão de diversos autores (Parte 01 de 02)

Autor	Fases						
	Elaboração do projeto			Implementação			
	1	2	3	4	5	6	7
Baxter (1998)	Especificação do projeto	Projeto conceitual	Projeto da configuração	Projeto detalhado	Projeto para fabricação		
Magrab (1997)	Definição do produto	Geração de projetos variados	Avaliação dos projetos	Projeto do produto e do processo	Manufatura e montagem		
Pahl e Beitz (1996)	Clarificação da tarefa	Projeto conceitual	Projeto preliminar	Projeto detalhado			
Hubka e Eder (1996)	Definição do problema	Projeto conceitual	Projeto preliminar	Detalhamento	Protótipo e testes		
Clausing (1995)	Conceito		Projeto		Preparação	Produção	
Ulrich e Eppinger (1995)	Desenvolvimento de conceito		Projeto nível de sistema	Projeto detalhado	Testes e melhorias	Produção e lançamento	
Schulmann (1994)	Estudos preliminares	Criação	Execução tridimensional (modelos)	Realização (aperfeiçoamento técnico, protótipos e custos)	Industrialização		
Ullma (1992)	Planejamento (desenvolvimento da especificação)	Projeto conceitual	Projeto do produto	Produção			
Wheelwright e Clark (1992)	Projeto do produto e do processo de manufatura		Projeto de manufatura	Produção piloto	Lançamento		
Pugh (1991)	Especificação do projeto de produto	Projeto conceitual	Projeto detalhado		Manufatura		
Andreassen e Hein (1987)	Investigação da necessidade	Princípio do produto	Projeto do produto		Preparação da produção	Produção	

Fonte: Adaptado de Romano, 2003.

Tabela 2. As fases do processo de desenvolvimento de produtos segundo a visão de diversos autores (Parte 02 de 02)

Autor	Fases						
	Elaboração do projeto			Implementação			
	1	2	3	4	5	6	7
Bonsiepe (1984)	Definição do problema	Anteprojecto geração de alternativas	Projeto (avaliação, decisão, escolha)	Realização	Análise final da solução		
Back (1983)	Estudo de viabilidade		Projeto preliminar	Projeto detalhado, revisão e testes	Planejamento da produção	Planejamento do marketing	
Barroso Neto (1982)	Definição do produto	Anteprojecto geração de alternativas	Projeto	Construção do protótipo	Produção experimental		
Bomfim, Nagel e Rossi (1977)	Compreensão da necessidade	Processos de solução e análise	Desenvolvimento		Implantação		
Archer (1974)	Pesquisa preliminar	Estudos de exequibilidade	Desenvolvimento do desenho do produto	Desenvolvimento do(s) modelo(s)	Estudos de comercialização	Desenvolvimento da produção	Planejamento da produção
Cain (1969)	Investigação	Concepção do projeto	Projeto do produto	Desenvolvimento do produto	Testes	Documentação para produção	

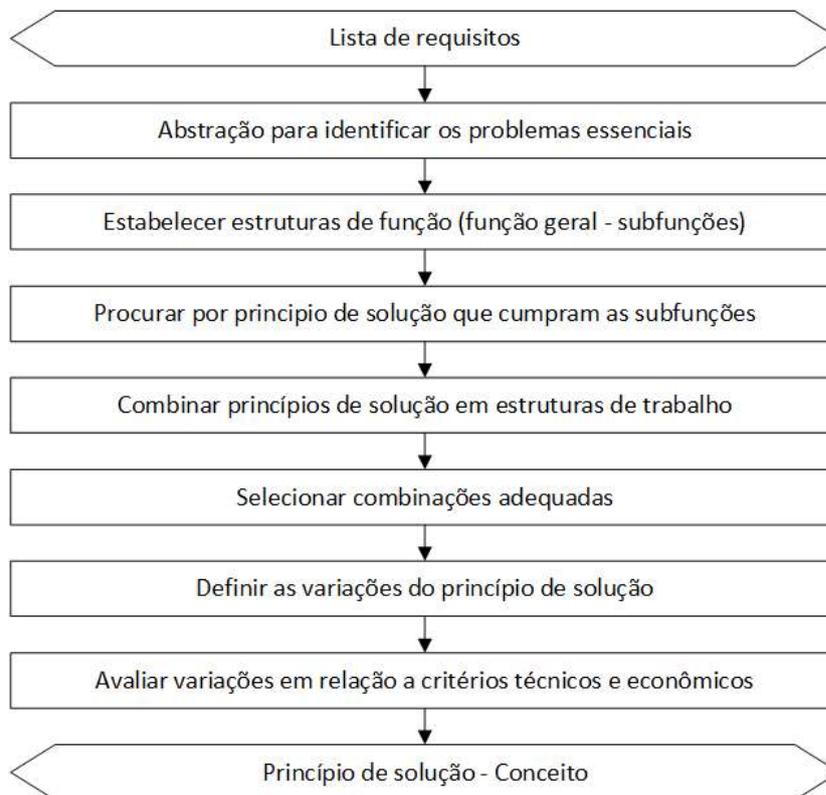
Fonte: Adaptado de Romano, 2003.

2.1.1 Projeto conceitual

O projeto conceitual é a etapa que se realiza após a conclusão do projeto informacional. Nesse momento, a geração de uma concepção acontece, advinda da necessidade identificada do problema (FORCELLINI, 2003). Pode-se dizer então, que os principais pacotes de trabalho estão relacionados à busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema do projeto, são eles: Modelar funcionalmente o produto, desenvolver princípios de solução para as funções e alternativas de soluções para o produto e selecionar a concepção do produto (ROZENFELD et al., 2006).

De maneira complementar, é possível identificar na bibliografia processos pouco mais detalhados da etapa conceitual estabelecendo algumas atividades que devem ser realizadas, estando brevemente apresentadas através do fluxograma ilustrado na Figura 2 (PAHL et al., 2007).

Figura 2. Passos do projeto conceitual



Fonte: Adaptado de PAHL et al., 2007

A seguir, as principais atividade da fase de projeto conceitual estão apresentadas e detalhadas de como devem ser executadas, são elas: Modelar funcionalmente o produto, desenvolver princípios de solução para as funções e alternativas de soluções para o produto e selecionar a concepção do produto.

2.1.1.1 Modelar funcionalmente o produto

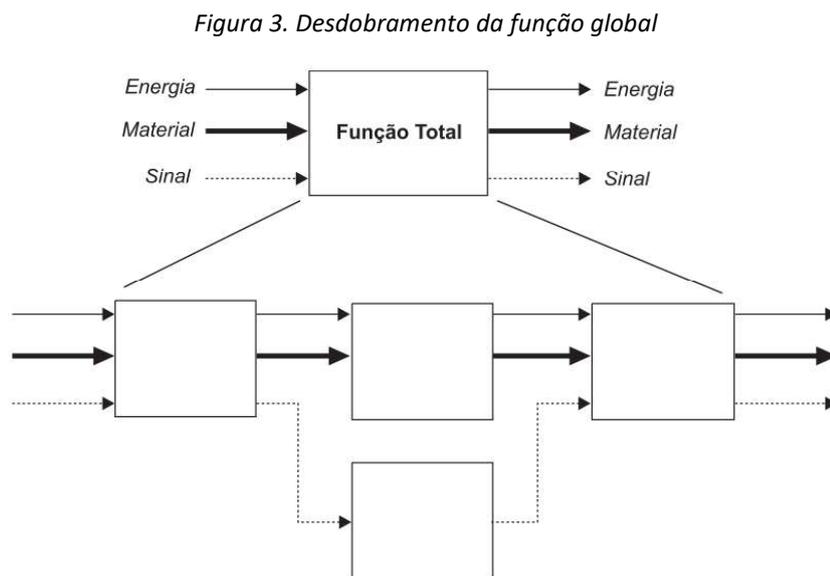
O processo de gerar um modelo funcional serve para dar suporte ao time de desenvolvimento do projeto a iniciar o processo de materialização do conceito. Assim, esses modelos permitem que um determinado produto seja representado por meio de suas funcionalidades / funções, tanto para as realizadas internamente (realizada pelas suas partes / componentes), quanto às realizadas externamente (interações com o ambiente / usuário) (ROZENFELD et al., 2006).

Inicialmente é necessário definir uma função global que deverá ser executada pelo produto, posteriormente esta é dividida em funções parciais que, por sua vez, deve ser sucessivamente dividida até a obtenção de suas funções elementares (MELO, 2015).

Esse tipo de estrutura relaciona uma descrição técnica e física do sistema proposto sendo necessário indicar também os fluxos básicos de energia, materiais e sinais.

- É chamado de sinal toda as formas de informação que são transportadas dentro do processo;
- A manipulação de materiais pode ser necessária na execução das funções do produto;
- A energia é sempre necessária quando é necessário realizar a transformações físico-químicas.

A Figura 3 apresenta, de forma genérica, o processo de decomposição da função global em uma função de menor complexidade. Além disso, também é possível observar o fluxo da energia, material e do sinal entre as funções. É importante salientar que não é incomum que algumas funções não façam, simultaneamente, parte do fluxo de energia, material e sinal.



Fonte: Rozenfeld, et al., 2006.

Outra questão importante é que o referido processo pode dar origem a diferentes estruturas funcionais e que todas elas podem satisfazer a função global. Essas são chamadas estruturas ou sínteses alternativas e podem ser obtidas facilmente através dos seguintes métodos: divisão ou combinação de funções, mudança da disposição de funções individuais; mudança do tipo de ligação; alteração das fronteiras do sistema.

Para proceder com o processo de seleção de qual estrutura representa melhor o produto em concepção é possível utilizar uma matriz de decisão. Sendo que esta pode utilizar como critérios tanto as necessidades dos clientes como as especificações meta do produto.

Apesar de ainda não se falar de propostas de solução nessa atividade, é comum associar algumas pressuposições ou princípios de solução às estruturas funcionais durante o processo de construção das mesmas.

2.1.1.2 Desenvolver princípios de solução para as funções e alternativas de soluções para o produto

Esse pacote de atividades é responsável por iniciar o processo de dar forma às funções. À cada uma das funções da síntese funcional escolhida, podem ser atribuídas uma ou mais propostas de solução. É importante ressaltar que, nas propostas de solução, não se deve explicitar os materiais que serão utilizados e sim atributos referentes a esses materiais e/ou componentes (ROZENFELD et al., 2006).

Atualmente existem uma grande variedade de métodos de criatividade, entretanto esses podem ser organizados em três grandes grupos, conforme apresentado na Tabela 3 (FORCELLINI, 2003).

Tabela 3. Principais métodos para busca de proposta de soluções

Classificações	Métodos
Convencionais	Pesquisa bibliográfica; Análise de sistemas naturais; Análise de sistemas técnicos existentes; Analogias; Medições e testes em modelos.
Intuitivos	<i>Brainstorming</i> ; Método 635; Método Delphi; Sinergia; Analogia direta; Analogia simbólica; Combinação de métodos.
Discursivos	Estudo sistemático de sistemas técnicos; Estudo sistemático com o uso de esquemas de classificação; Uso de catalogo de projeto; TRIZ - teoria da solução de problemas inventivos; Método da matriz morfológica.

Fonte: Adaptado de FORCELLINI, 2003

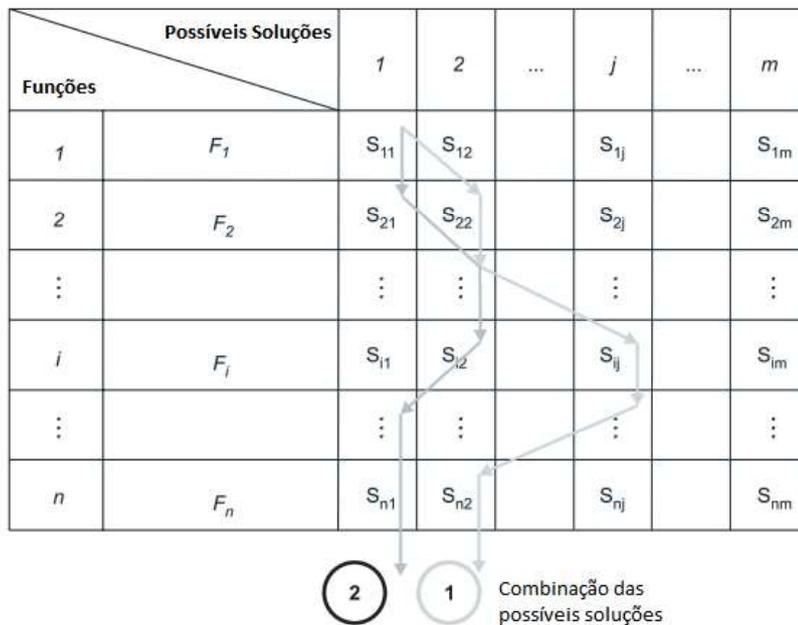
O método morfológico é o mais comumente utilizado dentro do PDP. Este consiste em segmentar um problema complexo em partes menores e mais simples, buscando / propondo possíveis soluções para estes.

O desenvolvimento da matriz morfológica é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- Listar as funções do produto, obtidas através da síntese funcional, na primeira coluna da matriz;
- Identificar e listar possíveis propostas de soluções para cada uma das funções existentes;
- Explorar as possíveis combinações entre soluções para obter diferentes conceitos do produto a ser desenvolvido.

Os passos supracitados estão representados graficamente na Figura 4, onde a saída desse processo são os diversos conceitos gerados para o produto.

Figura 4. Matriz Morfológica e geração de conceitos



Fonte: Rozenfeld, et al., 2006

2.1.1.3 Selecionar a concepção do produto

Nesse momento do projeto, o objetivo principal é definir qual das combinações (conceitos) deverá seguir para a próxima etapa do projeto. Essas deverão passar por um processo de análise e avaliação para identificar qual delas é a mais aderente e robusta para atendimento dos requisitos do produto.

Como as propostas de solução conceitual do produto ainda são muito limitadas e abstratas, faz-se necessária a utilização de métodos / procedimentos sistemáticos para direcionar a escolha / definição do melhor conceito (ROZENFELD et al., 2006).

Atualmente a técnica mais utilizada para ranquear e selecionar o(s) melhor(es) conceito(s) é a matriz de Pugh. É uma ferramenta simples que compara os conceitos entre si através de critérios previamente especificados. As propostas de conceito deverão estar organizadas no eixo horizontal da matriz, enquanto os critérios no eixo vertical (JOSHI et al., 2019; MULLER; BJØRNSSEN; PENNOTTI, 2011)

Para os critérios é comum a utilização das especificações-meta, que podem ser aplicadas parcialmente ou em sua totalidade, ou ainda as necessidades dos clientes, que é o mais usual quando o nível de abstração das soluções ainda é muito elevado (ROZENFELD et al., 2006).

Após montada a matriz é necessário definir um conceito com referência e os demais serão comparados com esse. Para aqueles que apresentarem uma solução melhor que a da referência deve ser pontuado como positivo (1) e quando a solução da referência for a melhor opção, o conceito deve ter pontuação negativa (-1). Quando os conceitos comparados tiverem soluções jugadas como semelhantes, estes deverão receber pontuação nula (0). Assim, o conceito que, ao final do processo, alcançar o maior score será classificado como a solução mais adequada (JOSHI et al., 2019; ROZENFELD et al., 2006). Um exemplo da matriz preenchida é apresentado na Tabela 4, onde o conceito “C2” obteve a maior pontuação.

Tabela 4. Exemplo da utilização da matriz de Pugh

Necessidades dos clientes	Peso	C1	C2	C3	C3	C5	C6	C7
Redução de custo de intervenção	9	REFERÊNCIA	-1	1	1	-1	0	0
Redução da mobilização de equipamentos e pessoas durante a intervenção (gestão da logística) (SMS)	9		1	-1	-1	1	0	1
O sistema deve garantir a sua segurança e a do ambiente	9		1	-1	-1	1	0	1
Deve ser capaz de ultrapassar (se possível) obstáculos e equipamentos internos ao poço	9		1	-1	-1	1	0	0
Resgatável por outra unidade de intervenção ou por pescaria por arame (caso necessário)	9		0	0	0	0	0	0
Sistema simples de usar	6		1	-1	-1	-1	0	0
Fácil montagem e manutenção	6		1	0	0	1	0	0
Facilitar a movimentação e transporte	6		1	0	0	1	0	1
Fácil instalação do sistema no poço	6		1	-1	-1	1	0	1
Utilização de componentes e materiais de mercado	3		-1	0	0	-1	0	0
Pontuação			39	-30	-30	27	0	30

Fonte: autoria própria.

Um ponto importante é que esse é um método comparativo, assim, o processo deve ser feito em duas etapas. A primeira para selecionar os conceitos de maior pontuação. Após isso, devem ser descartados os demais conceitos e o processo deve ser refeito dessa vez adotando uma nova referência. Assim, saber-se-á realmente o conceito mais bem avaliado.

2.2 Maturidade tecnológica

De maneira geral, o desenvolvimento de sistemas complexos está repleto de riscos associados ao custo, prazo e quesitos técnicos que devem ser trabalhados por todo o time de projeto, desde o gestor do programa até o time técnico. Dada os riscos existentes, um deles acaba por chamar mais atenção, que é a falta de maturidade do desenvolvimento. Este precisa ser tratado de maneira adequada para mitigar a inviabilização de um desenvolvimento, devido ao avanço para fases subsequentes sem que o mesmo tenha atingido a maturidade requerida para a movimentação (SAUSER et al., 2009).

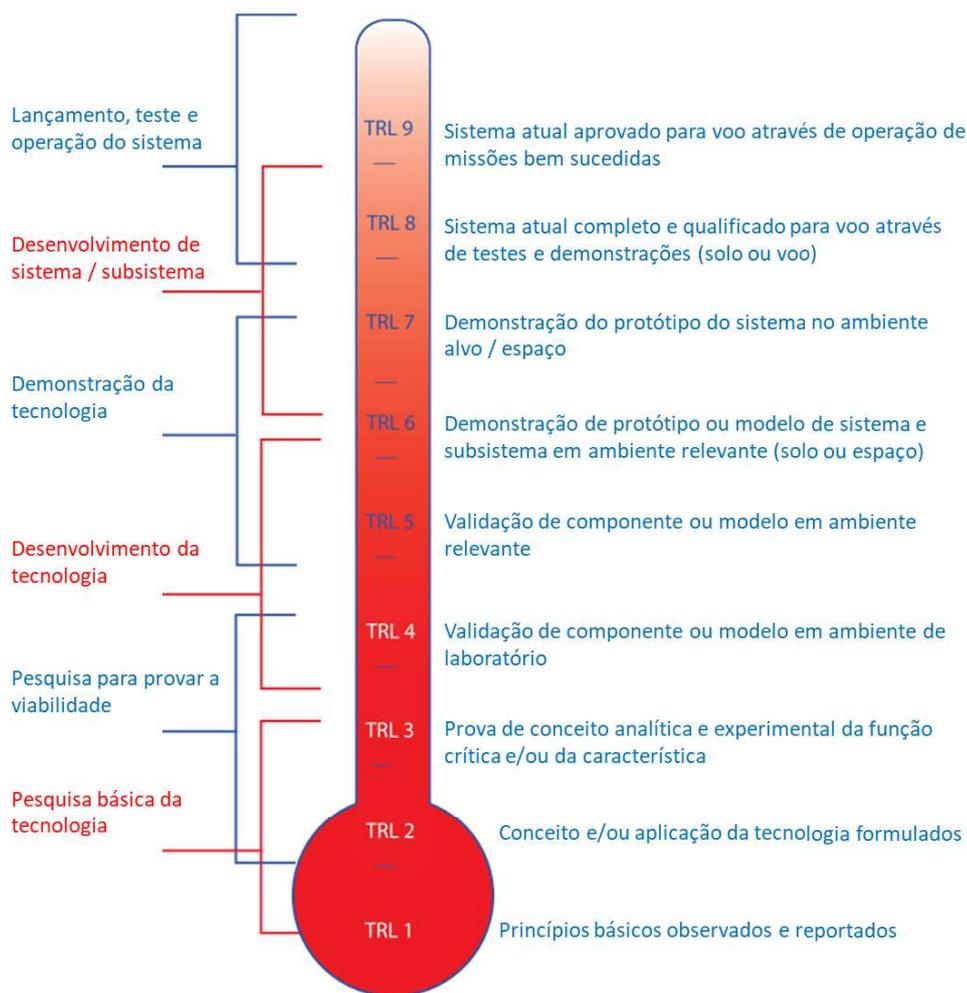
Existem variadas formas de avaliar a maturidade de um desenvolvimento, a seguir, algumas delas serão apresentadas.

2.2.1 Nível de prontidão da tecnologia

O nível de prontidão da tecnologia (TRL – *Technology Readiness Level*) é a forma mais básica de descrição da performance de um determinado sistema. Este começou a ser desenvolvido da década de 70 na NASA por Stan Sadin, inicialmente continha sete (07) níveis. Com os avanços dos estudos, foi trabalhado até que em meados da década de 90 John Mankins definiu os nove (09) níveis que são utilizados como referência até o presente momento (MANKINS, 1995; NASA, 2016; STRAUB, 2015).

A Figura 5 apresenta a representação clássica da NASA, o termômetro da tecnologia. Sendo que os nove níveis de TRL estão apresentados na Tabela 5 e Tabela 6 com a sua descrição e os marcos que identificam que o referido nível foi alcançado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Figura 5. Níveis de Prontidão da Tecnologia



Fonte: Adaptado de NASA 2016

Tabela 5. Resumo de TRL: Marcos e resultados alcançados

NÍVEL DE MATURIDADE DA TECNOLOGIA	MARCO ALCANÇADO PELO ELEMENTO	TRABALHO REALIZADO (DOCUMENTADO)
TRL 1 – Princípios de base observados e relatados	Aplicações potenciais são identificadas após observações de base, mas o conceito do elemento ainda não está formulado.	Expressão dos princípios de base previstos para o uso. Identificação de potenciais aplicações.
TRL 2 – Conceito e/ou aplicação da tecnologia formulados	Formulação de potenciais aplicações e conceito preliminar do elemento. Nenhuma prova de conceito ainda realizada.	Formulação de aplicações em potencial. Projeto conceitual preliminar do elemento, fornecendo entendimento de como os princípios básicos podem ser usados.
TRL 3 – Prova de conceito analítica e experimental da função crítica e/ou da característica	O conceito do elemento é elaborado e o desempenho esperado é demonstrado por meio de modelos analíticos suportados por dados experimentais / características.	Requisitos de desempenho preliminares (podem objetivar diversas missões), incluindo definição de requisitos de desempenho funcionais. Projeto conceitual do elemento. Entrada de dados experimentais, definição e resultados de experimentos laboratoriais. Modelos analíticos do elemento para a prova de conceito.
TRL 4 – Verificação funcional em ambiente laboratorial do componente e/ou maquete	O desempenho funcional do elemento é demonstrado por ensaios com maquete em ambiente laboratorial.	Requisitos de desempenho preliminares (pode objetivar várias missões) com definição de requisitos de desempenho funcionais. Projeto conceitual do elemento. Plano de ensaio funcional. Definição da maquete para verificação de desempenho funcional. Relatórios de ensaios com a maquete.
TRL 5 – Verificação em ambiente relevante da função crítica do componente e/ou maquete	As funções críticas do elemento são identificadas e o ambiente relevante associado é definido. Maquetes não necessariamente em escala real, são construídas para verificar o desempenho por meio de ensaios em ambiente relevante, sujeito a efeitos de escala.	Definição preliminar dos requisitos de desempenho e do ambiente relevante. Identificação e análise das funções críticas do elemento. Projeto preliminar do elemento, sustentado por modelos apropriados para a verificação das funções críticas. Plano de ensaio das funções críticas. Análise de efeitos de escala. Definição da maquete para a verificação da função crítica. Relatórios de ensaios com a maquete.

Fonte: ABNT NBR ISO 16290:2015

Tabela 6. Resumo de TRL: Marcos e resultados alcançados (continuação)

NÍVEL DE MATURIDADE DA TECNOLOGIA	MARCO ALCANÇADO PELO ELEMENTO	TRABALHO REALIZADO (DOCUMENTADO)
TRL 6 – Modelo demonstrando as funções críticas do elemento em um ambiente relevante	As funções críticas do elemento são verificadas e o desempenho é demonstrado em ambiente relevante com modelões representativos em formato, configuração e função.	Definição de requisitos de desempenho e do ambiente relevante. Identificação e análise das funções críticas do elemento. Projeto do elemento, sustentado por modelos apropriados para a verificação das funções críticas. Plano de ensaios da função crítica. Definição do modelo para as verificações das funções críticas. Relatórios dos ensaios com o modelo.
TRL 7 – Modelo demonstrado o desempenho do elemento para o ambiente operacional	O desempenho é demonstrado para o ambiente operacional no solo ou, se necessário, no espaço. Um modelo representativo, refletindo totalmente todos os aspectos de projeto do modelo de voo, é construído e ensaiado com margens de segurança adequadas para demonstrar o desempenho em ambiente operacional.	Definição de requisitos de desempenho, incluindo definição do ambiente operacional. Definição e realização do modelo. Plano de ensaio do modelo. Resultados de ensaios com o modelo.
TRL 8 – Sistema real completo e aceito para voo (“qualificado para voo”)	O modelo de voo é qualificado e integrado ao sistema final pronto para voo.	Modelo de voo é construído e integrado no sistema final. Aceitação para o voo do sistema final.
TRL 9 – Sistema real “demonstrado em voo” por meio de operações em missão bem-sucedida	A tecnologia está madura. O elemento está em serviço com sucesso, para a missão designada, no ambiente operacional real.	Comissionamento em fase inicial de operação. Relatório de operação em órbita.

Fonte: ABNT NBR ISO 16290:2015

Desde então o TRL teve boa aceitação no meio técnico / científico, acabou por ser incorporado em elevado número de empresas e institutos de PDI. Isso reforça a importância de uma forma sistemática para comunicar o nível de prontidão de uma nova tecnologia ou de novas aplicações de tecnologias existentes em sistemas (US GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, 2020).

2.2.2 Avaliação da prontidão da tecnologia

Juntamente com a expansão do uso do TRL, surge a necessidade de se padronizar o processo de avaliação para garantir o atingimento de cada um dos níveis. O processo de avaliação da prontidão da tecnologia (TRA – *Technology Readiness Assesment*) é utilizado para avaliar o real nível TRL de um desenvolvimento.

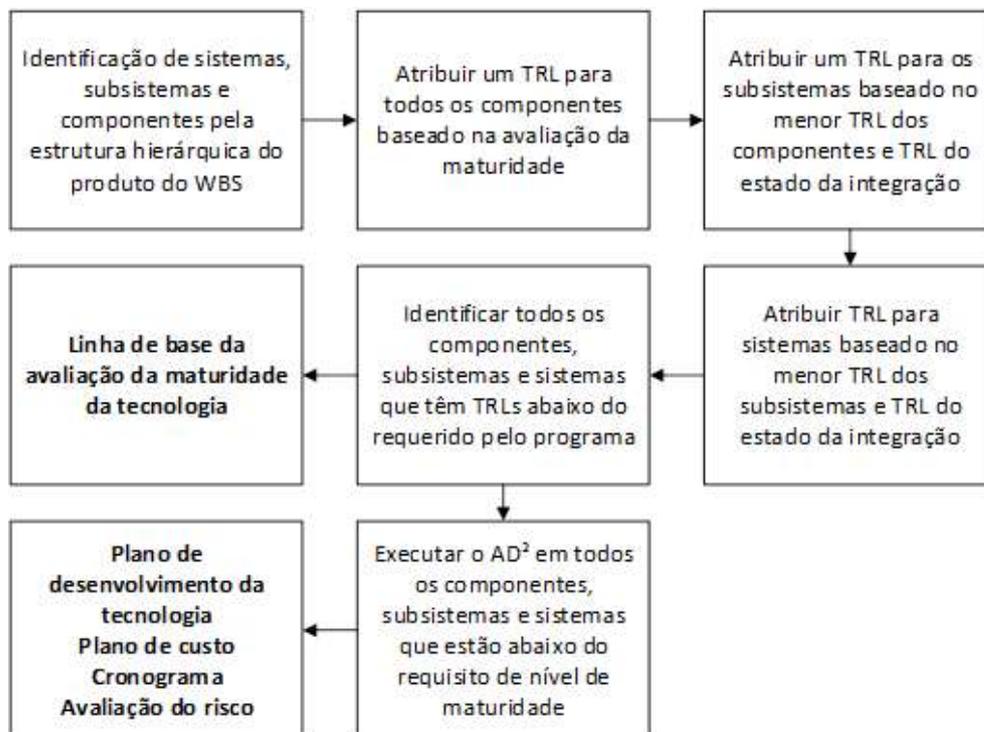
De maneira geral, um TRA deve ser conduzido em diversos momento do ciclo de vida de uma nova tecnologia ou novo sistema. Esse processo deve incluir, entre outros aspectos, uma análise completa do sistema e diversos estudos do desenvolvimento (MANKINS, 2009).

Para isso, algumas organizações criaram métricas para padronizar e deixar o processo mais robusto. A seguir, serão apresentados algumas das principais formas identificadas para realizar o processo de avaliação da maturidade da tecnologia.

2.2.2.1 NASA Technology Assessment (TA)

O processo de avaliação da tecnologia (TA) da NASA é composto, conforme apresentado na Figura 6, de duas partes, a primeira é a Avaliação da Maturidade da Tecnologia (TMA – *Technology Maturity Assessment*), necessária para determinação do TRL, e a segunda etapa é Avaliação do Grau de Dificuldade de Avanço (AD² - *Advancement Degree of Difficulty Assessment*), que é utilizada para compreender o que é necessário para realizar o avanço da maturidade. Sendo que este processo deve ser realizado diversas vezes ao longo do desenvolvimento do projeto (NASA, 2016).

Figura 6. Processo de Avaliação da Tecnologia

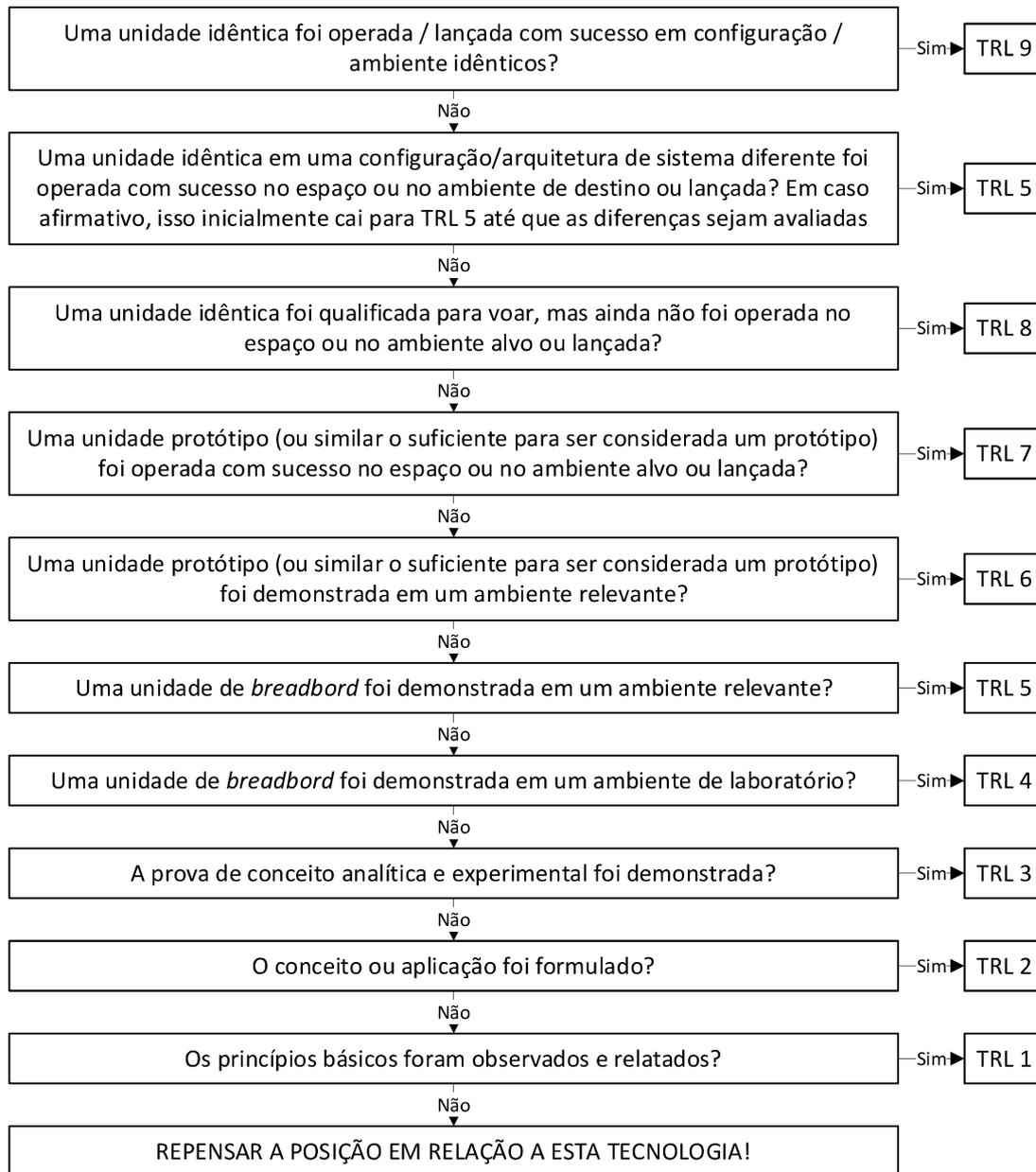


Fonte: Adaptado de NASA, 2016

Todo o processo é iterativo, inicia desde a fase conceitual do projeto estabelecendo e identificando as tecnologias críticas, custos, cronograma e planos de mitigação do risco.

Por conseguinte, a Figura 7 apresenta o fluxo da avaliação da maturidade da tecnologia utilizado no processo de TMA.

Figura 7. Processo de Pensamento do TMA



Fonte: Adaptado de NASA, 2016

2.2.2.2 United States Department of Defense

O Departamento de Defesa (DoD – *Department of Defense*) é um departamento federal responsável pela coordenação e supervisão de todas as agências relativas à segurança nacional e forças armadas dos Estados Unidos da América (EUA). O TRA é um processo forma,

sistemático, baseado em métricas e acompanhado por relatórios que avalia a maturidade de tecnologias críticas de *hardware* e *software* a ser utilizada em sistemas. Sendo conduzido por um time de revisão independente (IRT – *Independent Review Team*) e por especialistas no assunto (SME – *Subject Matter Experts*) (U. S. DOD, 2009)

O modelo do TRA proposto é baseado no processo de identificação de Elementos de Tecnologia Crítica (CTE – *Critical Technology Elements*). Há uma indicação de que todos os programas relacionados à aquisição de sistemas de defesa devem passar formalmente pelo processo de avaliação da tecnologia para os marcos B e C. Apesar de ser um requisito apenas para os marcos B e C, as boas práticas de avaliações iniciais da maturidade da tecnologia sugerem avaliar a maturidade dos projetos antes do marco A. A Tabela 7 apresenta uma breve descrição das bases de avaliação da maturidade tecnológica ao longo do processo de aquisição.

Tabela 7. Base das avaliações da maturidade tecnológica ao longo da aquisição

	MARCO A	MARCO B	MARCO C
Base da identificação da CTE	Avaliação inicial da maturidade tecnológica	Nível atual do projeto e requisitos do documento de desenvolvimento de capacidades	Artigos planejados para produção inicial de baixo custo (ou a versão limitada de implantação de um sistema de tecnologia da informação), TRAs anteriores e projeto final
Status da identificação da CTE	Potenciais CTE	CTE – tecnologias atuais em um projeto preliminar	CTE artigos planejados para produção inicial de baixo custo (ou a versão limitada de implantação de um sistema de tecnologia da informação)
Método de avaliação	Avaliado em avaliações iniciais da maturidade tecnológica e no plano de maturação da tecnologia	Avaliado no TRA marco B	Avaliado no TRA marco C
Documentação	Submissão informal ao DRD e atualizações correspondentes ao apêndice de estratégia de desenvolvimento da tecnologia	TRA marco B	TRA marco C

Fonte: Adaptado de U.S. DoD, 2009

Um ponto introduzido pelo DoD é a classificação preliminar das CTE em hardware e software, que leva a classificações um pouco diferentes das previamente discutidas. Essas definições estão apresentadas, respectivamente, nas tabelas a seguir.

Por fim, o processo do TRA segundo o DoD pode ser resumido nos seguintes passos, são eles: Estabelecer o cronograma da TRA; Formar um time de revisão independente;

Identificar candidatas a CTE; Finalizar as CTE por meio da coordenação; Coletar evidências da maturidade da CTE; Consolidar o relatório do processo da TRA.

Tabela 8. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Hardware

TRL	DEFINIÇÃO	DESCRIÇÃO	INFORMAÇÃO DE SUPORTE
1	Princípios básicos observados e relatado	Nível mais baixo de prontidão tecnológica. A pesquisa científica começa a ser traduzida em pesquisa e desenvolvimento aplicado (P&D). Os exemplos podem incluir estudos de artigos das propriedades básicas de uma tecnologia.	Pesquisa publicada que identifica os princípios das bases desta tecnologia. Referências a quem, onde, quando.
2	Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulado	A invenção começa. Uma vez observados os princípios básicos, as aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e pode não haver provas ou análises detalhadas para apoiar as suposições. Os exemplos são limitados a estudos analíticos.	Publicações ou outras referências que descrevam a aplicação que está sendo considerada e que forneçam análises para apoiar o conceito.
3	Função crítica analítica e experimental e/ou prova de conceito característica	A P&D ativa é iniciada. Isso inclui estudos analíticos e estudos de laboratório para validar fisicamente as previsões analíticas de elementos separados da tecnologia. Exemplos incluem componentes que ainda não são integrados ou representativos.	Resultados de testes laboratoriais realizados para medir parâmetros de interesse e comparação com previsões analíticas para subsistemas críticos. Referências a quem, onde e quando esses testes e comparações foram realizados.
4	Validação de componentes e/ou <i>breadboard</i> em ambiente laboratorial	Os componentes tecnológicos básicos são integrados para estabelecer que funcionarão em conjunto. Isso é relativamente “baixa fidelidade” em comparação com o eventual sistema. Os exemplos incluem a integração de hardware “ad hoc” no laboratório.	Conceitos de sistema que foram considerados e resultados de testes tipo <i>breadboard</i> em escala laboratorial. Referências a quem fez este trabalho e quando. Forneça uma estimativa de como o hardware da placa de ensaio e os resultados dos testes diferem dos objetivos esperados do sistema.
5	Validação de componentes e/ou <i>breadboard</i> em um ambiente relevante	A fidelidade da tecnologia <i>breadboard</i> aumenta significativamente. Os componentes tecnológicos básicos são integrados com elementos de suporte razoavelmente realistas para que possam ser testados em um ambiente simulado. Exemplos incluem integração laboratorial de “alta fidelidade” de componentes.	Os resultados do teste de um sistema tipo <i>breadboard</i> de laboratório são integrados a outros elementos de suporte em um ambiente operacional simulado. Como o “ambiente relevante” difere do ambiente operacional esperado? Como os resultados do teste se comparam às expectativas? Quais problemas, se houver, foram encontrados? O sistema de protoboard foi refinado para se aproximar mais dos objetivos esperados do sistema?

Fonte: Adaptado de U.S. DoD, 2009

Tabela 9. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Hardware (continuação)

TRL	DEFINIÇÃO	DESCRIÇÃO	INFORMAÇÃO DE SUPORTE
6	Modelo de sistema / subsistema ou demonstração de protótipo em um ambiente relevante	Modelo representativo ou sistema protótipo, que está muito além do TRL 5, é testado em um ambiente relevante. Representa um grande passo na prontidão demonstrada de uma tecnologia. Os exemplos incluem testar um protótipo em um ambiente de laboratório de alta fidelidade ou em um ambiente operacional simulado.	Resultados de testes de laboratório de um sistema protótipo que está próximo da configuração desejada em termos de desempenho, peso e volume. Como o ambiente de teste difere do ambiente operacional? Quem realizou os testes? Como o teste se compara com as expectativas? Quais problemas, se houver, foram encontrados? Quais são/foram os planos, opções ou ações para resolver problemas antes de passar para o próximo nível?
7	Demonstração do protótipo do sistema em um ambiente operacional	Protótipo próximo ou no sistema operacional planejado. Representa um grande avanço em relação ao TRL 6, exigindo a demonstração de um protótipo de sistema real em um ambiente operacional (por exemplo, em uma aeronave, em um veículo ou no espaço).	Resultados do teste de um sistema protótipo em um ambiente operacional. Quem realizou os testes? Como o teste se comparou com as expectativas? Quais problemas, se houver, foram encontrados? Quais são/foram os planos, opções ou ações para resolver problemas antes de passar para o próximo nível?
8	Sistema real concluído e qualificado por meio de teste e demonstração	A tecnologia provou funcionar em sua forma final e sob as condições esperadas. Em quase todos os casos, este TRL representa o fim do verdadeiro desenvolvimento do sistema. Exemplos incluem teste de desenvolvimento e avaliação do sistema em seu sistema de armas pretendido para determinar se ele atende às especificações do projeto.	Resultados do teste do sistema em sua configuração final sob a faixa esperada de condições ambientais nas quais se espera que ele opere. Avaliação se atenderá aos seus requisitos operacionais. Quais problemas, se houver, foram encontrados? Quais são/foram os planos, opções ou ações para resolver problemas antes de finalizar o projeto?
9	Sistema real comprovado por meio de operações de missão bem-sucedidas	Aplicação real da tecnologia em sua forma final e sob condições de missão, como aquelas encontradas em testes e avaliações operacionais. Os exemplos incluem o uso do sistema em condições de missão operacional.	Relatório de testes e avaliações operacionais.

Fonte: Adaptado de U.S. DoD, 2009

Tabela 10. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Software

TRL	DEFINIÇÃO	DESCRIÇÃO	INFORMAÇÃO DE SUPORTE
1	Princípios básicos observados e relatado	Nível mais baixo de prontidão de tecnologia de software. Um novo domínio de software está sendo investigado pela comunidade de pesquisa básica. Este nível se estende ao desenvolvimento de uso básico, propriedades básicas da arquitetura de software, formulações matemáticas e algoritmos gerais.	Atividades básicas de pesquisa, artigos de pesquisa, <i>white papers</i> revisados por pares, <i>point papers</i> , modelo de laboratório inicial do conceito básico podem ser úteis para fundamentar o TRL.
2	Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulado	Uma vez observados os princípios básicos, as aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e pode não haver provas ou análises detalhadas para apoiar as suposições. Os exemplos são limitados a estudos analíticos usando dados sintéticos.	Atividades de pesquisa aplicada, estudos analíticos, pequenas unidades de código e artigos comparando tecnologias concorrentes.
3	Função crítica analítica e experimental e/ou prova de conceito característica	A P&D ativa é iniciada. O nível em que a viabilidade científica é demonstrada por meio de estudos analíticos e laboratoriais. Esse nível se estende ao desenvolvimento de ambientes de funcionalidade limitada para validar propriedades críticas e previsões analíticas usando componentes de software não integrados e dados parcialmente representativos.	Algoritmos executados em um processador substituto em um ambiente de laboratório, componentes instrumentados operando em um ambiente de laboratório, resultados de laboratório mostrando a validação de propriedades críticas.
4	Validação de módulo e/ou subsistema em ambiente de laboratório (ou seja, ambiente de desenvolvimento de protótipo de software).	Os componentes básicos de software são integrados para estabelecer que funcionarão juntos. Eles são relativamente primitivos no que diz respeito à eficiência e robustez em comparação com o sistema eventual. O desenvolvimento da arquitetura foi iniciado para incluir questões de interoperabilidade, confiabilidade, capacidade de manutenção, extensibilidade, escalabilidade e segurança. Emulação com elementos atuais/legados conforme apropriado. Protótipos desenvolvidos para demonstrar diferentes aspectos do eventual sistema.	Desenvolvimento de tecnologia avançada, protótipo autônomo resolvendo um problema sintético em grande escala ou protótipo autônomo processando conjuntos de dados totalmente representativos.

Fonte: Adaptado de U.S. DoD, 2009

Tabela 11. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Software (continuação)

TRL	DEFINIÇÃO	DESCRIÇÃO	INFORMAÇÃO DE SUPORTE
5	Validação de módulo e/ou subsistema em ambiente relevante.	Nível em que a tecnologia de software está pronta para iniciar a integração com sistemas existentes. As implementações do protótipo estão em conformidade com o ambiente/interfaces de destino. Experiências com problemas realistas. Interfaces simuladas para sistemas existentes. Arquitetura de software do sistema estabelecida. Os algoritmos são executados em um(s) processador(es) com características esperadas no ambiente operacional.	Diagrama da arquitetura do sistema em torno do elemento de tecnologia com requisitos críticos de desempenho definidos. Análise de seleção de processador, Simulação/Estimulação (Sim / Stim) Plano de construção de laboratório. Software colocado sob gestão de configuração. Componentes comerciais de prateleira / governamentais prontos para uso (COTS / GOTS) na arquitetura de software do sistema são identificados.
6	Validação de módulo e/ou subsistema em um ambiente relevante de ponta a ponta.	Nível em que a viabilidade de engenharia de uma tecnologia de software é demonstrada. Este nível se estende a implementações de protótipos de laboratório em problemas realistas em grande escala nos quais a tecnologia de software é parcialmente integrada com sistemas de hardware/software existentes.	Resultados de testes de laboratório de um pacote protótipo que está próximo da configuração desejada em termos de desempenho, incluindo interfaces físicas, lógicas, de dados e de segurança. Comparações entre ambiente testado e ambiente operacional entendido analiticamente. Medições de análise e teste que quantificam a contribuição para os requisitos de todo o sistema, como taxa de transferência, escalabilidade e confiabilidade. Análise de humano-computador (ambiente de usuário) iniciada.
7	Demonstração do protótipo do sistema em um ambiente operacional de alta fidelidade.	Nível em que a viabilidade do programa de uma tecnologia de software é demonstrada. Este nível se estende a implementações de protótipos de ambiente operacional, onde a funcionalidade de risco técnico crítico está disponível para demonstração e um teste em que a tecnologia de software está bem integrada com sistemas operacionais de hardware / software.	Propriedades tecnológicas críticas são medidas em relação aos requisitos em um ambiente operacional

Fonte: Adaptado de U.S. DoD, 2009

Tabela 12. Nível de Prontidão da Tecnologia (TRL) para Software (continuação)

TRL	DEFINIÇÃO	DESCRIÇÃO	INFORMAÇÃO DE SUPORTE
8	Sistema real concluído e missão qualificada por meio de teste e demonstração em um ambiente operacional.	Nível em que uma tecnologia de software é totalmente integrada com sistemas operacionais de hardware e software. A documentação de desenvolvimento de software está completa. Todas as funcionalidades testadas em cenários simulados e operacionais.	Documentação publicada e cronograma de compilação de atualização de tecnologia do produto. Reserva de recursos de software medida e rastreada.
9	Sistema real comprovado por meio de recursos operacionais comprovados em missões bem-sucedidas.	Nível em que uma tecnologia de software é facilmente repetível e reutilizável. O software baseado na tecnologia é totalmente integrado aos sistemas operacionais de hardware / software. Toda a documentação do software verificada. Experiência operacional bem-sucedida. Sustentar o suporte de engenharia de software no local. Sistema real.	Relatórios de gerenciamento de configuração de produção. Tecnologia integrada em um "assistente" de reutilização.

Fonte: Adaptado de U.S. DoD, 2009

2.2.2.3 European Space Agency

A Agência Espacial Europeia (ESA – *European Space Agency*), fundada em 1975 e com missão de planejar o desenvolvimento da capacidade espacial da Europa, é uma organização internacional com sede em Paris e que reúne 22 Estados-Membros (ESA, [s.d.]).

É indicado que o processo detalhado de TRA depende das especificidades do sistema aplicado, entretanto, existem alguns passos gerais para a efetiva condução do TRA, são eles: Definição formal dos termos de referência para a avaliação; Identificação dos principais dados de suporte; Identificação dos participantes do TRA; Desenvolvimento e entrega de dados de tecnologia para o TRA; Implementação do TRA; Desenvolvimento do relatório do TRA (TEC-SHS, 2008).

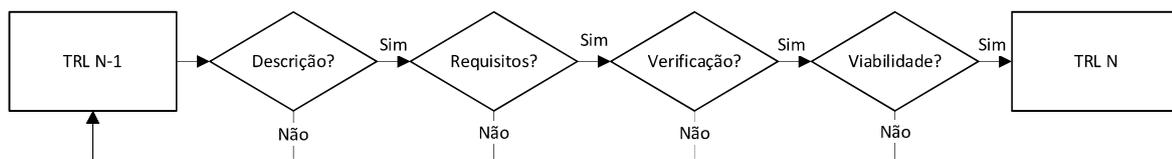
No processo de avaliação proposto pela ESA, um conjunto de critérios são aplicados no TRA e um critério específico de saída, sendo que um determinado nível de TRL só é atingido se os vários aspectos de maturidade desse nível forem alcançados. O processo é conduzido baseado em um fluxograma que passa através de quatro critérios sendo, descrição, requisitos, verificação e viabilidade. A Figura 8 apresenta as etapas do processo genérico do TRA proposto pela ESA.

Os critérios indicam:

- Descrição: A descrição dos detalhes da pesquisa e desenvolvimento que foi realizado, ou do avanço tecnológico;

- **Requisitos:** O grau em que uma aplicação futura de uma tecnologia é conhecida e se as características da aplicação estão bem definidas o suficiente para julgar se uma nova tecnologia será capaz de atender a esses requisitos;
- **Verificação:** O ambiente em que cada teste da nova tecnologia ocorreu e o grau de similaridade entre o ambiente de teste e o ambiente operacional;
- **Viabilidade:** A viabilidade futura da tecnologia que está sendo avançada, incluindo viabilidade técnica (risco) e programática (esforço), precisa ser claramente estabelecida.

Figura 8. Passos genéricos da Avaliação da Prontidão da Tecnologia



Fonte: Adaptado de TEC-SHS, 2008

O processo deve ser seguido, respondendo-se aos questionamentos apresentados no procedimento de referência e mantendo o registro de cada um dos aspectos questionados e resultados alcançados. A Tabela 13 indica os requisitos associados a cada nível tecnológico conforme previsto pela ESA.

Tabela 13. Requisitos de dados para cada nível de prontidão de tecnologia

APLICAÇÃO	TRL	DESCRIÇÃO	REQUISITO	VERIFICAÇÃO	VIABILIDADE
Ampla gama de aplicações	1	Princípio físico	Capacidade necessária	Analítico ou experimental	Avanço técnico e programático para o próximo nível (N=1 a 8)
	2	Conceito básico	Funcionalidade necessária	Analítico ou experimental	
	3	Características chave	Requisitos básicos	Experimental ou simulação	
	4	Tecnologia completa (laboratório)	Requisitos completos (Faixa e interações mais estreitas)	Experimento rigoroso	
Família de aplicações	5	Tecnologia completa e interações (ambiente relevante)	Requisitos completo (específico)	Testes Rigorosos do Componente e/ou <i>breadboard</i> em ambiente relevante	
	6	Tecnologia completa em sistemas e subsistemas	Requisitos completo (sistemas e subsistemas)	Teste rigoroso de sistemas e/ou subsistemas em ambiente relevante	
Definição preliminar para aplicação específica	7	Tecnologia completa em sistemas e subsistemas	Requisitos completos no ambiente espacial (sistemas e subsistemas)	Demonstração no espaço	
Aplicação específica	8	Tecnologia completa no sistema (manufaturado)	Sistema e requisitos de qualificação completos	Campanha de qualificação	
	9	Fabricação e planos de operação finais	Requisitos de performance e fabricação	Operação de verificação de sistemas (incluindo vida)	

Fonte: Adaptado de TEC-SHS, 2008

2.2.3 Calculadoras

O uso das métricas do TRL foi tão amplamente difundido que atualmente algumas instituições buscaram desenvolver ferramentas, algoritmos e/ou softwares para suportar o processo de análise da maturidade de projetos em desenvolvimento.

O Laboratório de Pesquisa da Força Aérea (AFRL – *Air Force Research Laboratory*), é uma organização de pesquisa operada pelo Comando da força aérea dos Estados Unidos, dedicada a liderar a descoberta, o desenvolvimento e a integração de tecnologias de combate acessíveis para nossas forças aéreas, espaciais e cibernéticas (AIRFORCE, 2021).

Em 2003, um *White Papert* foi publicado indicando a necessidade do Departamento de Defesa (US DoD) exigia que os sistemas com uso intensivo de hardware e software exibam

um nível apropriado de maturidade como parte dos critérios de entrada nos pontos de decisão de marcos. Além disso, estava indicado que, naquele momento, não haviam guias que indicassem como medir a maturidade da tecnologia ou produto (NOLTE; KENNEDY; DZIEGIEL, 2003).

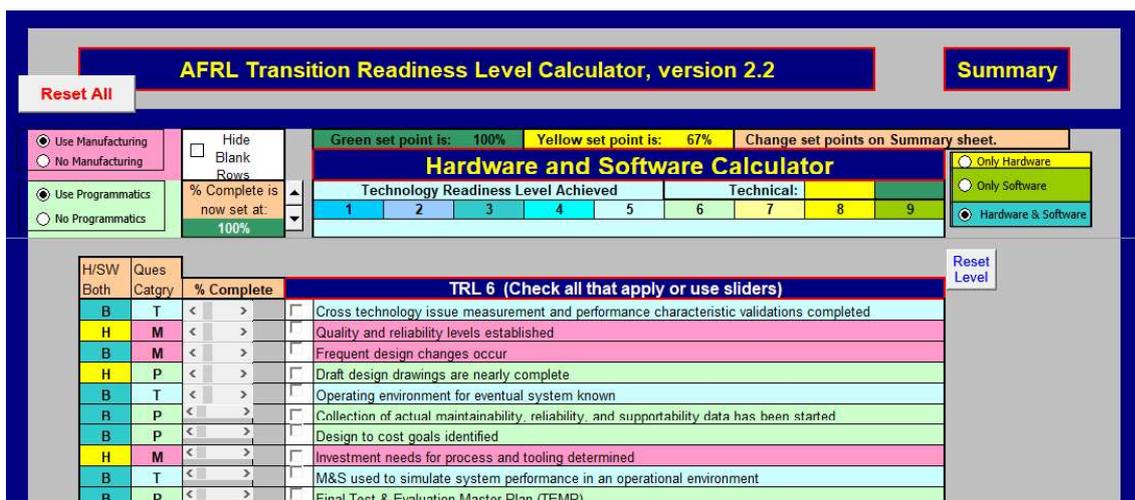
Com sua versão inicial publicada em 2002 e a última versão do registro sendo a 2.2, publicada em 2004, está é indicada como uma ferramenta para aplicar o TRL em programas de desenvolvimento. Foi construída baseada em uma planilha eletrônica, esta permite ao usuário determinar o TRL alcançado pelo projeto após responder uma série de perguntas sobre o item em desenvolvimento.

A planilha de cálculo do TRL possui um algoritmo incorporado que, ao responder às perguntas, indica se o nível indicado foi qualificado como verde, amarelo ou vermelho. Sendo:

- Verde: Se no nível atual e nos anteriores respondeu perguntas indicando atendimento as métricas em, pelo menos, 80% dos itens;
- Amarelo: Se no nível atual e nos anteriores respondeu perguntas indicando atendimento as métricas em, pelo menos, 67% dos itens;
- Vermelho: Se no nível atual e nos anteriores respondeu perguntas indicando não ter atendido às métricas para qualificação verde ou amarelo.

A calculadora da AFRL faz uso de métricas como o TRL, MRL (*Manufacturin Readiness Level*) e PRL (*Programmatic Readiness Level*), além de relacionar aspectos de *hardware* e *software*. A Figura 9 apresenta uma seção da planilha de cálculo, demonstrando a sua interface.

Figura 9. Captura de seção da Calculadora TRL da AFRL



Fonte: TRL Calculator, 2004

Uma vez estando disponível para o uso geral, a calculadora da AFRL pôde ser estudada e empregada em diversas situações. Entretanto, algumas análises indicam que, apesar de precursora, esta ferramenta possuía algumas vulnerabilidades e possíveis pontos de melhoria.

Empresas de defesa da Turquia, por exemplo, após analisar as métricas TRL em diversos aspectos, acabaram por encomendar um aprimoramento na ferramenta de cálculo de TRL, fazendo-a ser desenvolvida em uma linguagem de programação, incorporando métricas como o IRL (*Integration Readiness Level*), analisando aspectos de processos produtivos, além de novas funcionalidades como indicação de criticidade e possibilidade de realizar *upload* de arquivos para compartilhar com os gestores do programa (ALTUNOK; ÇAKMAK, 2010).

Em 2019, uma aluna do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais (PG-CTE) – uma parceria entre os institutos Tecnológico da Aeronáutica (ITA), de Estudos Avançados (IEAv) e de Aeronáutica e Espaço (IAE) – desenvolveu como parte do seu curso de mestrado, uma metodologia para avaliação do TRL. Gerando como resultado uma calculadora, também construída sobre uma planilha eletrônica, para avaliar a prontidão da tecnologia usando como referência aspectos relacionados à norma NBR ISSO 16290:2015, NASA, DoD, ESA e o *layout* da calculadora AFRL (ROCHA, 2019).

2.2.4 Outras métricas

Apesar do TRL ser uma métrica de elevada importância, análises mais específicas e diversificadas acabaram por demandar a composição de outros parâmetros que, o TRL isoladamente não demonstrava capacidade para avaliar os diversos aspectos necessários (MARLYANA; TONTOWI; YUNIARTO, 2018). Por isso, alguns pesquisadores e agências acabaram por introduzir algumas outras métricas como: *Design Readiness Level*, *Manufacturing Readiness Level*; *Software Readiness Level*; *Operational Readiness Level*; *Human Readiness Levels*; *Habitation Readiness Level*; *Capability Readiness Levels*; *System Readiness Level*; *Integration Readiness Level* (SAUSER et al., 2009).

Além das métricas listadas anteriormente, existem diversas outras métricas que não foram citadas neste documento, cada uma delas têm sua importância, contribuição e relevância para o processo de avaliação da maturidade. Assim, a seguir, estão brevemente apresentadas algumas das métricas que entendeu-se ter maior afinidade com o presente trabalho.

2.2.4.1 MRL

O conceito inicial de Nível de Prontidão da Manufatura (MRL – *Manufacturing Readiness Level*) foi proposto por Dan Cundiff em 2003 com o propósito de aumentar a capacidade do TRL na determinação da maturidade de uma tecnologia (NOLTE; KENNEDY; DZIEGIEL, 2003). O MRL é indicado como uma métrica que avalia processo de engenharia de um sistema e a maturidade dos processos de fabricação associados a essa tecnologia (SAUSER et al., 2006).

O MRL foi definido para ser uma escala onde, cada nível de TRL fosse como um pré-requisito, sendo que a numeração da escala indica uma gradação não linear da maturidade (US GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, 2020).

O US DoD, em seu *deskbook* indica um resumo dos 10 níveis do MRL, bem como uma descrição de cada um desses níveis (US DEPARTMENT OF DEFENSE, 2022). A Tabela 14 apresenta uma breve descrição de cada um dos níveis do MRL.

Tabela 14. Resumo MRL

MRL	DEFINIÇÃO
1	Implicações básicas da manufatura identificada
2	Conceitos de Fabricação Identificados
3	Prova de Conceito de Fabricação Desenvolvida
4	Capacidade de produzir componentes protótipos em ambiente de laboratório
5	Capacidade de produzir componentes de protótipo em uma produção relevante
6	Capacidade de produzir um protótipo de sistema ou subsistema em uma produção ambiente relevante
7	Capacidade de produzir sistemas, subsistemas ou componentes em um ambiente representativo da produção
8	Capacidade da linha piloto demonstrada; pronto para começar a baixa taxa inicial de produção
9	Produção de baixa taxa demonstrada; Capacidade para iniciar a produção em carga plena
10	Produção em carga plena demonstrada e boas práticas de <i>Lean</i> empregadas

Fonte: Adaptado de US DoD, 2022.

2.2.4.2 IRL

O nível de prontidão da integração (IRL – *Integration Readiness Level*) pode definido como uma métrica para a avaliação sistemática de interface de interação para várias tecnologias (SAUSER et al., 2006).

Uma vez que o IRL permite avaliar a maturidade da integração entre dois ou mais componentes, este acaba por reduzir as incertezas associadas ao processo de integrar componentes e tecnologias em um sistema, bem como suportar o processo de adequação de requisitos ao desenvolvimento do sistema (SAUSER et al., 2009).

O IRL inicialmente foi proposto em sete níveis que representavam as camadas do *Open System Interconnect* (OSI), porém posteriormente foi atualizado para conter nove níveis ficando condizente com a escala do TRL (JIMENEZ; MAVRIS, 2013).

A Tabela 15 apresenta um resumo das descrições de cada um dos níveis previstos na métrica IRL (US GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, 2020).

Tabela 15. Resumo IRL

IRL	DEFINIÇÃO
1	Foi identificado um conceito de alto nível para integração.
2	Existe algum nível de especificidade de requisitos para caracterizar a interação entre os componentes.
3	O projeto de integração detalhado foi definido para incluir todos os detalhes da interface
4	Validação de funções inter-relacionadas entre componentes integradores em um ambiente de laboratório
5	Validação de funções inter-relacionadas entre componentes de integração em um ambiente relevante
6	Validação de funções inter-relacionadas entre componentes de integração em um ambiente relevante de ponta a ponta
7	Demonstração da integração do protótipo do sistema em um ambiente operacional de alta fidelidade
8	Integração do sistema concluída e missão qualificada por meio de teste e demonstração em um ambiente operacional
9	A integração do sistema é comprovada por meio de recursos de operações bem-sucedidos e comprovados em missão

Fonte: Adaptado de US GAO, 2020.

2.2.4.3 SRL

O nível de maturidade de um sistema (SRL – *System Readiness Level*) é um índice desenvolvido de forma a avaliar a maturidade de um sistema, sendo uma função do TRL dos componentes / tecnologias do sistema a da subsequente integração entre eles (SAUSER et al., 2006).

A aplicação desse processo de avaliação é realizada através de uma matriz que relaciona os diversos componentes de um sistema, a integração desses componentes dentro de um subsistema, além da integração entre componentes de subsistemas diferentes. Onde os valores de TRL e IRL são indicados e o valor do SRL pode ser obtido através de cálculos simplificados (YASSERI, 2013).

Já existem propostas para tentar ampliar a representatividade da análise do SRL, onde, além das métricas do TRL e IRL, o processo de avaliação leva também em consideração o MRL. Esta métrica foi denominada de SRL⁺ (MARLYANA; TONTOWI; YUNIARTO, 2018).

A Tabela 16 apresenta um resumo das descrições de cada um dos níveis previstos na métrica SRL (US GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, 2020).

Tabela 16. Resumo SRL

SRL	DEFINIÇÃO
1	As soluções de materiais alternativos do sistema deveriam ter sido consideradas
2	A solução de material do sistema deve ter sido identificada
3	Tecnologias imaturas de alto risco do sistema devem ter sido identificadas e prototipadas
4	As especificações e restrições de desempenho do sistema devem ter sido definidas e a linha de base foi alocada
5	O desenvolvimento de tecnologia de componentes de alto risco do sistema deveria ter sido concluído; componentes do sistema de baixo risco identificados.
6	A integrabilidade do componente do sistema deveria ter sido validada.
7	A capacidade de limite do sistema deve ter sido demonstrada no nível de desempenho operacional usando interfaces operacionais.
8	A interoperabilidade do sistema deve ter sido demonstrada em um ambiente operacional.
9	O sistema atingiu a capacidade operacional inicial e pode satisfazer os objetivos da missão.

Fonte: Adaptado de US GAO, 2020.

2.3 Análise de risco

De maneira geral, a indústria, durante todo o ciclo de vida de produtos, equipamentos, instalações industriais e tantos outros, tem a necessidade de avaliar os riscos associados às diversas condições que esses sistemas são submetidos. Devido a esta condição, ao longo do tempo, diversos métodos e ferramentas foram desenvolvidos para identificar, avaliar, monitorar e mitigar os riscos (ANDERSEN; MOSTUE, 2012; DUNJÓ et al., 2010; LEIMEISTER; KOLIOS, 2018; LOWESMITH; HANKINSON; CHYNOWETH, 2014)

O processo de análise do risco está associado a três princípios fundamentais, a avaliação do risco (a), o gerenciamento do risco (b) e a comunicação do risco (c) (MODARRES, 2006). Estes são definidos como:

- a) Processo através do qual a probabilidade, frequência e magnitude da perda ou falha do sistema é estimado e/ou medido;
- b) Processo através do qual o potencial (probabilidade ou frequência) da magnitude e potencializadores do risco são estimados, medidos, minimizados e controlados;
- c) processo através do qual informações sobre a natureza e consequências do risco, a forma de lidar e gerenciar este risco são compartilhadas e discutidas entre os envolvidos na situação.

De maneira geral existem três grupos de análise de risco, as qualitativas, as quantitativas e as mistas. Como o próprio nome sugere, as análises qualitativas são aquelas onde não se dispõem ou não existem dados suficiente para realizar uma análise quantitativa.

Entretanto, relações com o sistema associando o risco / perigo, causa de falhas, eventos, modo de falha, efeito e consequências podem ser demonstradas e, com isso, é possível estimar confiabilidade, probabilidade e consequências dessas condições através de métodos qualitativos (LEIMEISTER; KOLIOS, 2018).

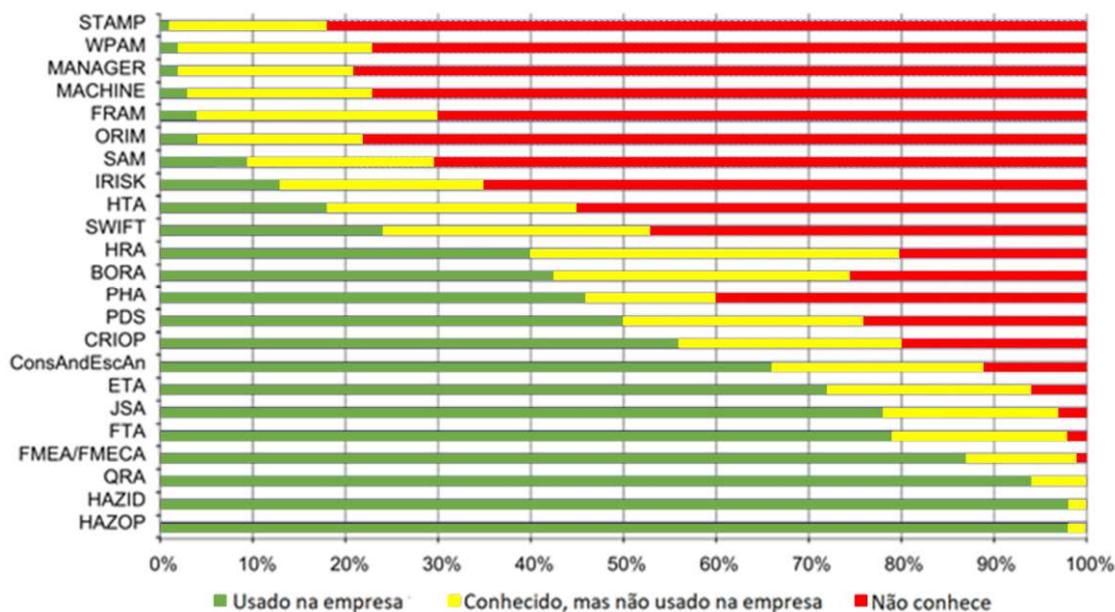
Como exemplo do uso e aplicação das ferramentas de análise de risco, uma pesquisa foi desenvolvida com empresas do setor de óleo e gás (O&G) na Noruega, identificando quais as ferramentas mais utilizadas. As respostas foram divididas em: Usado na empresa; Ouviu falar, mas não usa na empresa; Nunca ouviu falar. A Figura 10 compatibiliza o resultado geral da pesquisa onde mais de 80% dos entrevistados indicaram que as ferramentas mais utilizadas são QRA/TRA, HAZID, HAZOP e FMEA/FMECA (ANDERSEN; MOSTUE, 2012).

Este resultado demonstra que, das quatro ferramentas mais populares, três delas são de análises qualitativas e por isso mais adequadas com o contexto do presente trabalho que está associado ao desenvolvimento de novos produtos e /ou novas tecnologias.

A metodologia HAZOP, *hazard and operability* ou perigo e operabilidade, é uma técnica do processo de análise de perigo (PHA – *Process Hazard Analysis*) mundialmente utilizada não apenas para o estudo do risco de um sistema, mas também sua operabilidade, avaliando o efeito dos desvios das condições de projeto. O HAZOP é principalmente aplicado em situações de plantas químicas, que trabalham com variáveis de processo como temperatura e pressão. Dentre outros documentos de engenharia, os diagramas de fluxo de processos (PFD – *Process Flow Diagrams*) e os Diagramas de tubulação e instrumentação (P&ID – *Piping and Instrumentation Diagram*) são o ponto de partida do procedimento (DUNJÓ et al., 2010).

O HAZID (*Hazard Identification Study* – Estudo de Identificação do Perigo) é um processo que quebra o projeto em suas partes e/ou componentes para uma análise mais detalhada. Esta análise auxilia o processo de identificação de perigos que podem causar ferimentos pessoais, danos e perdas de ativos, danos ambientais, perda de produção, entre outros. O HAZID pode ser baseado na hierarquia de controle do perigo, estes requerem alguma forma de controle para mitigar os riscos. O uso dessa ferramenta nas fases iniciais do projeto podem apoiar na determinação da viabilidade técnica do projeto (SIDDIQUI et al., 2014).

Figura 10. Uma visão geral do uso de métodos de análise de risco na indústria norueguesa de petróleo e gás entre os entrevistados em empresas operadoras, empresas de engenharia e consultorias (N = 98).



Fonte: Adaptado de ANDERSEN; MOSTUE, 2012

2.3.1 FMEA / FMECA

O *Failure Modes and Effect Analysis* – Análise de Modo de Falha e Efeitos (FMEA) foi introduzido no final da década de 40 para estudar problemas que surgiam em sistemas militares. Ao longo dos anos esse método passou por modificações e aprimoramentos através de normas e publicações científicas (SPREAFICO; RUSSO; RIZZI, 2017).

De maneira geral, é possível definir o FMEA como uma ferramenta de projeto, utilizada para prover as informações necessárias para aprimorar os sistemas, a escolha de componentes ou instruções de usuário para reduzir o risco ao se colocar o sistema para operar (STÅLHANE, 2015).

Inicialmente o FMEA é indicado como uma ferramenta de análise de risco qualitativa, entretanto, se combinada com análise de criticidade, este passa a ser indicado como uma ferramenta semiquantitativa ou mista, onde utiliza tanto aspectos qualitativos como quantitativos de análise da confiabilidade. Sendo então indicado como Análise de Modo de falha, efeitos e criticidade (FMECA – *Failure Mode Effects and Criticality Analysis*). Isso acontece com a adição dos parâmetros de severidade (S) do efeito, ocorrência (O) do modo de falha e detectabilidade (D) da causa da falha. Uma vez definidos os valores para esses parâmetros, o número de prioridade do risco (RPN – *Risk Priority Number*) pode ser calculado (LEIMEISTER; KOLIOS, 2018).

2.3.2 Tipos de FMEA

De maneira geral, o uso / aplicação do FMEA deve acontecer desde os estágios mais iniciais do desenvolvimento e continuar durante toda a vida do produto ou serviço. Devido à

essa abrangente usabilidade, acabou-se por categorizar o FMEA em quatro tipos, são eles (SHARMA; SRIVASTAVA, 2018; SINGH; KHANDUJA, 2012; STAMATIS, 2003):

- *System FMEA*: Também conhecido como *Concept FMEA*, é utilizado em estágios iniciais de conceito, antes mesmo da definição das possíveis soluções. Este foca nos potenciais modo de falha das funções dos sistemas;
 - Saídas: lista de potenciais modos de falha, lista de sistemas potenciais para detecção de modos de falha e lista de potenciais ações para mitigar modos de falha;
 - Benefícios: Ajuda na seleção da melhor alternativa para o *design* do sistema, na determinação de redundâncias, na determinação de procedimentos básicos de diagnóstico, no aumento da probabilidade de considerar potenciais problemas e na identificação de falhas de sistema e na interação entre sistemas;
- *Design FMEA*: Com foco nos componentes, o propósito de identificar e prevenir falhas nos produtos que estão relacionadas ao seu projeto, ou seja, antes mesmo destes serem lançados ou mesmo manufaturados;
 - Saídas: lista de potenciais modos de falha, lista de características significativas / críticas, lista de ações potenciais para mitigar modos de falha, lista de métodos para identificar parâmetros para teste / inspeção / detecção e lista de recomendações para características críticas;
 - Benefícios: Estabelece prioridades para ações de melhorias, documenta o racional das modificações, gera informação para o processo de verificação e testes, ajuda na identificação de características críticas, suporta a avaliação de requisitos de sistema, ajuda na identificação e mitigação de questões de segurança e identifica falhas nos momentos iniciais das fases de desenvolvimento de produto;
- *Process FMEA*: Utilizado para analisar os processos de manufatura e montagem para identificar possíveis modos de falha oriundos desses processos;
 - Saídas: lista de potenciais modos de falha, lista de características significativas / críticas e lista de ações potenciais para mitigar modos de falha
 - Benefícios: Identificar deficiências do processo e oferecer um plano de correção, identificar características críticas para desenvolver planos de controle, estabelece prioridade nas ações de correção e documentar o racional das mudanças;
- *Service FMEA*: Empregado para avaliar o serviço do equipamento depois que este está sendo utilizado / manuseado pelo cliente;

- Saídas: lista de erros, lista de processos / atividades críticas, lista de potenciais gargalos e lista para monitorar as funções de sistema / processo;
- Benefícios: Suporta as análises de fluxo de trabalho, do sistema/processo, de identificação de deficiências, que auxiliam no plano de controle e geram o racional das mudanças.

2.3.3 Aplicação do FMECA

Conforme indicado anteriormente, a essência do FMECA é identificar e prevenir problemas potenciais. Este método consiste em quantificar características e parâmetros que, ao serem combinados, indicam a criticidade de uma determinada situação.

Um time, normalmente multidisciplinar, utiliza de técnicas como *brainstorming* e análises de causa e efeito para identificar potenciais modos de falha, efeito do modo de falha e potenciais causas para cada modo de falha. Ainda relacionados aos modos de falha, é necessário atribuir uma pontuação para a Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). Por fim, o número de prioridade do risco (RPN, *Risk Priority Number*) é calculado e os modos de falhas são classificados de acordo o valor do RPN (FARRIS et al., 2007; SHARMA; SRIVASTAVA, 2018; SINGH; KHANDUJA, 2012).

Os parâmetros Severidade, Ocorrência e Detecção, são descritos como:

- Severidade (S): Indica a gravidade que o efeito da falha afeta o sistema ou o seu usuário;
- Ocorrência (O): Indica a probabilidade da falha ocorrer;
- Detecção (D): Mede a visibilidade da falha, que é a ação requerida para um modo de falha ser identificado pelas inspeções de controle.

O valor RPN, por sua vez é calculado através do produto da severidade, ocorrência e detecção, conforme indicado na Eq. 1.

$$RPN = S \times O \times D$$

Eq. 1

Os parâmetros S, O e D podem assumir valores que variam de um mínimo a um máximo, mesmo essas escalas têm diferenças se avaliado diferentes referências.

Como exemplo a *European Cooperation for Space Standardization* (ECSS), utiliza estes parâmetros variando de 1 a 4, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Níveis de S, O e D de 1 a 4

NÍVEIS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO
4	Catastrófica	Provável	Extremamente improvável
3	Crítica	Ocasional	Improvável
2	Maior	Remota	Provável
1	Negligenciável	Extremamente remota	Muito provável

Fonte: Adaptado de ECSS, 2009

Por outro lado, existem outros autores que utilizam de escalas que vão do 1 ao 10, conforme disponível na Tabela 18 (STAMATIS, 2003).

Tabela 18. Níveis de S, O e D de 1 a 10

NÍVEIS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO
10	Efeito perigoso	Quase certo	Quase impossível
9	Efeito de potencial perigo	Muito Alta	Remoto
8	Inoperável, mas seguro	Alta	Muito leve
7	Performance severamente afetada, mas funcional e seguro	Moderadamente alta	Leve
6	Performance degradada, mas operável e seguro	Média	Baixa
5	Efeito moderado no desempenho	Baixa	Média
4	Menor efeito no desempenho	Leve	Moderadamente alta
3	Efeito leve no desempenho	Muito leve	Alta
2	Efeito muito leve no desempenho	Remota	Muito Alta
1	Sem efeito	Quase impossível	Quase certa

Fonte: Adaptado de STAMATIS, 2003

Devida a importância que o método tomou ao longo dos anos, normas foram desenvolvidas para padronizar sua aplicação, bem como uma série de documentos guia também foram desenvolvidos, alguns deles estão listados a seguir (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2015):

- IEC 60812, *Analysis Techniques for System Reliability*;
- *US Military Standard MIL-STD-1629A, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* (cancelada em 1998, mas continua sendo largamente utilizada como referência);

- *US Army Technical Manual TM 5-698-4, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities, 2006;*
- *IMCA M166, Guidelines for Failure Modes and Effects Analyses (FMEA)*
- *IMCA M178, FMEA Management*
- *IMO MSC Circular 645, Guidelines for Vessels with DP Systems*
- *IMO HSC Code, Annex 4, Procedures for failure mode and effects analysis*
- *USCG MSC Guidelines for Qualitative Failure Analysis Procedure Number: E2-18 Revision Date: 11/10/2011*
- *USCG Marine Technical Notice 02-11, Review of Vital System Automation and Dynamic Positioning System Plans, refers to 46 CFR 62.20-3*

Todo o processo descrito é realizado com apoio de uma tabela que deve ser preenchida com o time de trabalho (projeto/desenvolvimento, serviço, manutenção, etc.) visando a realização de uma análise o mais abrangente possível.

Apesar dos diversos trabalhos técnicos, científicos e mesmo dos direcionamentos normativos, não existe um formato padronizado ou único para a realização do FMEA / FMECA, sendo este adaptado nas mais variadas maneiras para suportar as necessidades específicas de cada trabalho e/ou atividade. Dessa forma, entende-se que, apesar da diversificação do formulário do FMEA / FMECA, alguns campos acabam sendo mantidos.

Além dos já indicados, severidade, ocorrência, detectabilidade e RPN, é necessário documentar as seguintes avaliações: função avaliada, potencial modo de falha identificado, potencial causa da falha, potencial efeito da falha, modo de detecção do modo de falha. Após isso, deve-se indicar ações necessárias para mitigar os modos de falha identificados e essas ações deverão ter um responsável pela aplicação, bem como devem gerar uma redução em, pelo menos, um dos parâmetros S, O ou D, causando redução do RPN.

A Figura 11 apresenta os campos necessários para um formulário genérico de aplicação do método (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2015; EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS), 2009; SINGH; KHANDUJA, 2012; STAMATIS, 2003).

Figura 11. Formulário básico para aplicação do FMECA

ID	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito da falha	S	Potencial causa da falha	O	Método de detecção	D	R P N	Ações	Resp.	Resultado das ações				
												Ações tomadas	S	O	D	R P N

Fonte: Adaptado de STAMATIS, 2003

2.4 Comentários finais

De maneira geral, o PDP carrega a responsabilidade de nortear o desenvolvimento de maneira a estabelecer rotas eficientes para alcançar o resultado almejado, sendo que as metodologias identificadas, de maneira geral, puxam para a fases iniciais a responsabilidade de estabelecer o princípio de solução, conferindo sua forma e indicando a concepção inicial de como este produto ou tecnologia deverá funcionar.

Por outro lado, estas fases geram propostas de solução com mais baixo nível de maturidade e ao longo do desenvolvimento, atividades e ações precisam ser executadas com o objetivo de forçar que essa proposta de solução avance em termos de maturidade até o nível objetivado pelo projeto. Para monitorar e comunicar isso, parâmetros e procedimentos foram estabelecidos e costumam ser aplicados de maneira abrangente nos projetos.

Entretanto, observa-se que muitas das ações necessárias para validar que o objeto do desenvolvimento alcance a maturidade desejada, acaba sendo identificada e planejada tardiamente, incorrendo em riscos de não atingir os parâmetros de sucesso / qualidade estabelecidos para o nível de maturidade em questão.

A análise de modo de falha, que é uma ferramenta utilizada ao longo do processo de desenvolvimento, atua de maneira complementar visando identificar os riscos inerentes à solução proposta, podendo ser aplicada, de maneiras diversas, dependendo da fase do projeto, do nível de maturidade da solução e da maturidade da equipe.

Entende-se que, é possível aumentar a qualidade dos projetos de desenvolvimento realizados se, desde a fase de projeto conceitual, for possível identificar e estabelecer uma rotina estruturada de ações vislumbrando a avaliação e validação do objeto em desenvolvimento. Por outro lado, a intenção também é possibilitar a priorização de testes visando identificar aqueles que estão associados a questões de mais críticas e assim ser possível focar naqueles que irão reduzir, de maneira mais significativa, as chances de falha do desenvolvimento.

Assim, deseja-se fazer que o produto do desenvolvimento seja exposto a testes e avaliações, podendo ser realizadas de forma analíticas e/ou virtuais e/ou físicas, que sirvam para demonstrar que a solução em desenvolvimento está atendendo aos requisitos estabelecidos, suas funcionalidades e atingindo os parâmetros de performance desejados.

Dessa forma, pressupõe-se que é possível propor um método estruturado a ser aplicado ainda na fase de projeto conceitual que possibilite, através do uso de técnicas de análise de risco e avaliação de maturidade, identificar e estruturar uma rotina de avaliações sucessivas e incrementais, visando realizar a validação de que o objeto do desenvolvimento atingiu os parâmetros de qualidade estabelecidos pelo projeto.

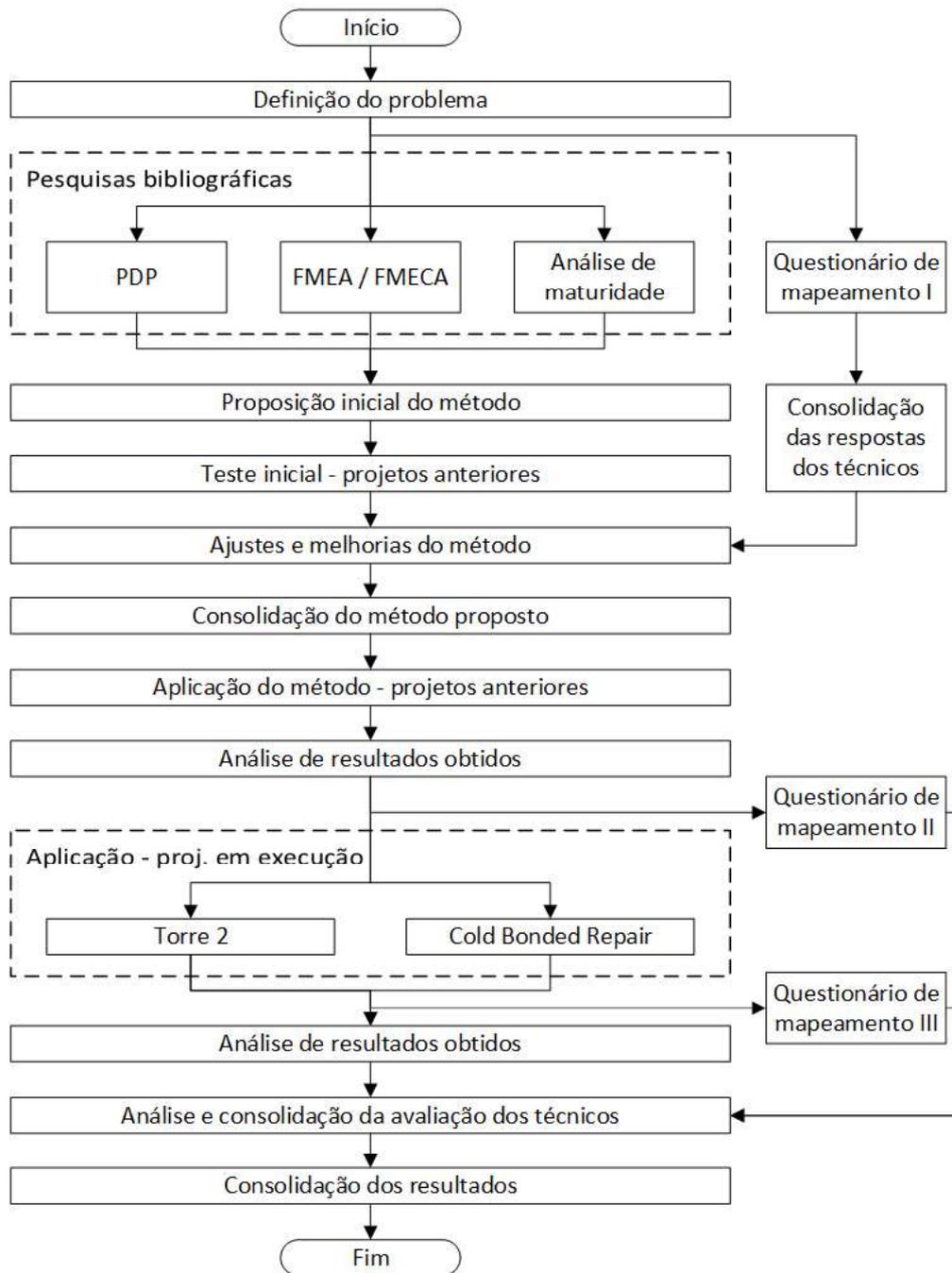
3 Métodos e Materiais

O presente capítulo tem por objetivo apresentar o processo de desenvolvimento deste trabalho, indicando quais passos foram seguidos e quais ferramentas foram utilizadas até a obtenção dos resultados.

A problemática utilizada como fonte inspiradora para a execução do trabalho foi observada a partir do ano de 2018 na execução de atividades relacionadas a projetos de pesquisa desenvolvimento e inovação inseridos no ecossistema do ICT SENAI CIMATEC. Que, mesmo após a implantação da metodologia DIP&T ainda era possível observar a falta de parâmetro e/ou sistematização entre os conceitos dos projetos para a proposição de testes e validações que o produto ou tecnologia deverá passar ao longo de seu desenvolvimento.

A Figura 12 apresenta um fluxograma detalhado das etapas realizadas para a construção do presente trabalho, iniciando com o processo de identificação da problemática, evidenciando etapas de pesquisa bibliográfica, construção, testes e aplicação do método até a avaliação final sobre a efetividade e qualidade do método proposto.

Figura 12. Procedimento metodológico



Fonte: Autoria própria

3.1 Definição do problema

Esta foi a primeira etapa do processo que compreende a pesquisa relacionada ao presente trabalho, nele foi identificada e estabelecida a problemática do trabalho.

O processo de identificação ocorreu dentro do contexto de execução de projetos de PDI no SENAI CIMATEC, onde este, identificando o aumento da complexidade dos projetos

que estavam sendo desenvolvidos pelo seu time de técnicos e pesquisadores desenvolveu e implantou uma metodologia própria para o Desenvolvimento Integrado de Produtos e Tecnologias (DIP&T). Esta foi baseada nos métodos mais bem conceituados e consolidados da literatura.

Entretanto ainda após alguns anos utilizando a DIP&T, principalmente durante a execução de projetos multidisciplinares, de elevada complexidade e onde a quantidade de incerteza era maior, observava-se que as diferentes disciplinas presentes possuíam opiniões diversas acerca de provas de conceito e testes que deveriam ser realizados visando a validação do produto e/ou tecnologia em desenvolvimento.

Inicialmente essa divergência foi atribuída à diversificação da experiência do time e do seu variado nível de maturidade técnica, uma vez que nos times técnicos dos projetos executados pela instituição possuem desde doutores à estudantes de nível técnico e graduação, passando por profissionais mais dedicados à academia e outros que com a visão mais prática da indústria.

Porém, com o avançar do tempo, os projetos executados e alguns problemas ficaram cada vez mais evidentes e recorrentes, são eles:

- Aumento de tempo requerido para ajuste do protótipo durante a fase de testes;
- Identificação de não atendimento à requisitos do projeto;
- Testes e/ou provas de conceito que não apresentavam uma redução do risco do desenvolvimento efetiva;
- Retrabalho para ajuste de conceito estabelecido para o desenvolvimento devido à falta de robustez técnica;
- Entre outros.

Os itens relacionados acima acabam sempre influenciando tanto no custo, quanto no prazo do desenvolvimento que sempre são aspectos de elevada relevância para projetos de PDI.

Devido às questões elencadas, resolveu-se aprofundar os estudos visando identificar maneiras de minimizar ou sanar tais ocorridos.

3.2 Pesquisa bibliográfica

Uma vez identificado o problema a ser resolvido, iniciou-se uma busca para verificar, de acordo com as bibliografias, como esses aspectos eram tratados por outros pesquisadores e empresas com atuação em projetos de PDI.

Após algumas leituras iniciais, observou-se que as temáticas desenvolvimento de produtos, avaliação de maturidade e análise de risco estavam sempre envolvidas e, por isso,

houve uma intensificação dos estudos. A seguir, estão listados os principais motivadores para focar em casa uma dessas linhas, são eles:

- Desenvolvimento de produtos, de forma a melhorar a compreensão nos métodos relacionados ao processo de obtenção de novos produtos e tecnologias;
- Níveis de maturidade, prontidão e capacidade, devido ao processo de avaliação utilizado atualmente para o desenvolvimento de novos produtos, que utilizam essas escalas para tecnologia, integração, sistemas, manufatura, entre outros parâmetros;
- Ferramentas utilizadas para a identificação de riscos técnicos aplicados ao desenvolvimento e uso de equipamentos diversos.

Após melhor compreender esses aspectos, iniciou-se a tentativa de construir uma proposta de solução para o problema enfrentado.

3.3 Proposição inicial do método

Após realização dos estudos e aprofundamentos teóricos indicados anteriormente, foi possível estabelecer que o foco do presente trabalho está voltado para um conjunto de ações necessárias a garantir o avanço da maturidade do produto e/ou tecnologia ao longo do processo de desenvolvimento.

Para isso, foi idealizado que a proposta de solução para o problema indicado perpassa por criar um planejamento, ainda na fase conceitual do projeto, para que objeto em desenvolvimento seja capaz de avançar para as próximas fases tanto reduzindo os riscos como elevando a maturidade das soluções associadas ao conceito proposto.

Visando atender a este anseio, foi construída uma versão inicial de um método que fosse capaz de auxiliar o time técnico a construir uma rota de validação do produto e/ou tecnologia de maneira a identificar os fatores de risco da solução funcional proposta e uma análise de maturidade para o conceito de acordo com a sua estrutura hierárquica.

O método inicial propunha realizar uma avaliação de risco sobre as funções estabelecidas na síntese funcional do projeto, identificando e quantificando o risco associado a cada uma das funções necessárias ao produto / tecnologia. Posteriormente, ao se definir qual a proposta final de solução, ou seja, o conceito que seguirá para as próximas fases do projeto, seria realizado uma análise detalhada do nível de prontidão do sistema.

Feito isso, o último passo era o de descrever todos os testes e experimentos necessários a mitigar os riscos identificados e fazer cada solução e os conjuntos que compõem o conceito aumentar sua maturidade. Assim podendo construir um mapa ou fluxo de testes requeridos até atingir entrega final do projeto em desenvolvimento.

Uma vez que a primeira versão estava disponível, o passo seguinte a ser executado foi testá-la.

3.4 Teste inicial – projetos anteriores – baixa complexidade

Este foi a primeira vez que tentou-se aplicar o método para auxiliar o processo de construção da rota de validação do produto / tecnologia de um projeto. Para isso, optou-se por utilizar como estudo de caso um projeto real e de baixa complexidade, porém que já fazendo que o método fosse testado lidando com características como multidisciplinaridade e inovação.

Neste foi utilizado o projeto cujo objetivo era desenvolver um sensor intraoral, entretanto este precisava passar por alguns testes que visavam coletar dados durante um teste acelerado de vida útil. Para isso, foi desenvolvida uma máquina de teste e a versão inicial do método foi utilizado para esta avaliação.

3.5 Aplicação do questionário de mapeamento I

Em paralelo com as etapas de pesquisa informacional, proposição inicial do método e teste inicial, foi desenvolvido um questionário para ser aplicado dentro do SENAI CIMATEC e respondido por colaboradores que estão envolvidos direta ou indiretamente com a execução dos projetos.

Este questionário teve como propósito coletar a opinião / visão dos times de projetos que lidam atualmente com o processo de avanço da maturidade do desenvolvimento e o planejamento prévio das atividades de testes e validações, que vão desde a realização das provas de conceito, passando por testes de integração, até atingir avaliação de performance do protótipo / produto em desenvolvimento.

O questionário estruturado foi composto por 22 perguntas agrupadas em seções. De maneira geral as questões foram planejadas para coletar as seguintes informações dos respondentes:

- Formação e tempo de atuação profissional;
- Função e campo de atuação;
- Nível de conhecimento e aplicação de metodologias de desenvolvimento de produtos;
- Uso e dificuldade de construção de rotas de validação.

O questionário completo como foi aplicado está disponível no Anexo A – Questionário mapeamento I – desde documento.

3.6 Consolidação das respostas dos técnicos

Nesta etapa ocorreu a consolidação das respostas coletadas através do questionário, sendo totalizados 26 respondentes. As respostas obtidas pelo questionário forneceram informações importantes e agregaram diretamente ao método a opinião dos participantes.

As respostas enviadas estão disponíveis no Anexo B – Respostas ao questionário de mapeamento I – desde documento.

Esta etapa ocorreu em paralelo com a etapa de teste inicial.

3.7 Ajustes e melhorias

O teste realizado no projeto, bem como as respostas ao questionário indicaram pontos que poderiam ser melhorados e inseridos ao método, assim, esta etapa consistiu em ajustar o procedimento proposto de acordo com essas novas informações.

Tanto o uso do método quanto o questionário trouxeram percepções que direcionaram as modificações, o principal aspecto foi em fazer que a ferramenta não incluísse “burocracias” ou um grande esforço em sua execução. Ações como a construção de um formulário único e a simplificação do processo de avaliação da maturidade do conceito foram as principais ações realizadas nesta etapa.

Após realizadas as melhorias e ajustes foi possível seguir para a próxima etapa que foi a de consolidação do método.

3.8 Consolidação do método proposto

Entende-se como consolidação do método o momento, a partir do qual, fosse possível explicitar através de ações bem definidas todo o sequenciamento de atividades que devem ser executadas para a aplicação do método.

Então, foi estabelecido um fluxograma do processo que passou a nortear a aplicação do método visando a sua reprodução assertiva nos próximos projetos e um formulário padrão para auxiliar o processo de identificação de itens de maior criticidade para o procedimento de redução de risco e aumento de maturidade.

De maneira geral, a intenção é que a aplicação desse método seja de fácil execução, que não exija um esforço elevado do time, que remova o caráter subjetivo e padronize o processo de obtenção de rotas de validação utilizada nos projetos de desenvolvimento.

Ao término da aplicação do método, espera-se que o projeto disponha de um documento técnico que indique o sequenciamento de ações, experimentação e testes para aumentar as chances de sucesso do produto ou tecnologia em desenvolvimento.

É importante ressaltar que a rota que foi construída como resultado a utilização do método, assim como diversos documentos de projeto, é algo que deve ser acompanhado e, principalmente, pode ser ajustada de acordo com os resultados obtidos a cada momento do projeto. Uma vez que prever o curso completo do desenvolvimento é uma tarefa de elevada complexidade.

3.9 Aplicação do método – projetos anteriores – complexidade elevada

Ainda em um período experimental, a intenção dessa fase é submeter o método proposto e agora consolidado a mais um teste em um projeto executado anteriormente.

Neste caso, um projeto de desenvolvimento de um sistema robótico para aplicação em poços de petróleo em ambiente *offshore, subsea*, do pré-sal e com características de pressão e temperatura elevadas. Agora um projeto muito mais desafiador e complexo, mas mantendo a característica da multidisciplinaridade em sua execução.

Então, nessa etapa, a aplicação do método visa a obtenção de rota de validação do produto utilizando um método estruturado. Devido à complexidade do projeto, neste caso, foi utilizado apenas uma parte do sistema para desenvolver o estudo de caso.

3.10 Análise de resultados obtidos

Nesta etapa, a intenção foi poder realizar um comparativo entre duas rotas de validação do produto, sendo que uma delas foi obtida com o uso de um método estruturado para suportar o processo e outra que foi construída sem o suporte do método.

Assim, foi possível evidenciar as principais diferenças de resultados obtidos e identificar a vantagem do uso do método proposto no presente trabalho.

3.11 Aplicação – projetos em execução

De posse do método já consolidado para a construção de rotas de validação do produto / tecnologia e o autor tendo executado o método completo pelo menos uma vez em uma situação real, neste momento a intenção foi apresentar o método para outros técnicos e pesquisadores visando a aplicação em projetos em execução.

Para isso foram escolhidos dois projetos, com características diferentes para que se pudesse realizar a aplicação do método e assim, posteriormente, inferir sobre a sua usabilidade e efetividade.

Os projetos para o novo teste foram:

- Torre 2: onde entre outros entregáveis, será desenvolvida uma âncora terrestre recuperável para ser aplicada em estruturas móveis;
- *Cold Bonded Repair*: Será desenvolvida uma ferramenta automatizada para aplicação de fixadores para estruturas e acessórios em ambiente submarino.

3.12 Workshop de apresentação

Em paralelo com a aplicação do método nos projetos em execução, foi realizado um workshop para apresentar o método proposto para outros colaboradores e pesquisadores que não apenas os que estão aplicando o método nos projetos. O público principal desse workshop foram os gerentes de projeto (GP) e líderes técnicos (LT), uma vez que são os

colaboradores que direcionam, fomentam e monitoram tanto o uso das metodologias e boas práticas como execução dos projetos.

Ao término da apresentação, foi realizada uma seção de perguntas e respostas, bem como aplicado o questionário de mapeamento II para coletar a opinião e sugestões do time de GPs e LTs.

O questionário completo como foi aplicado está disponível no Anexo C – Questionário mapeamento II

3.13 Análise de resultados obtidos

Após a aplicação do método nos projetos cada um deles dispõe de sua própria rota de validação, assim, a intenção dessa etapa foi avaliar os resultados obtidos, inferindo sobre a qualidade e melhoria dos resultados se comparado ao processo não estruturado como era utilizado anteriormente.

3.14 Questionário de mapeamento III

O presente questionário teve como finalidade realizar a coleta de informações com os técnicos que utilizaram o método proposto para mapear as suas indicações e opiniões, principalmente, quanto a:

- Facilidade de compreensão;
- Usabilidade;
- Capacidade de identificar itens (subsistemas / subconjuntos) que exigem maior esforço durante o processo de validação;
- Reuso do método.

O questionário completo como foi aplicado está disponível no Anexo E – Questionário mapeamento III desde documento.

3.15 Análise e consolidação da avaliação dos técnicos

Nesta etapa ocorreu a consolidação das respostas coletadas através dos questionários de mapeamento II e III, sendo totalizados 37 e 8 respondentes respectivamente. As respostas obtidas pelos questionários indicam a opinião dos técnicos para o uso do método proposto e pontos de melhorias que poderiam ser incorporadas no procedimento.

As respostas enviadas estão disponíveis nos Anexo D – Respostas ao questionário de mapeamento II e Anexo F – Respostas ao questionário de mapeamento III desde documento.

3.16 Consolidação dos resultados

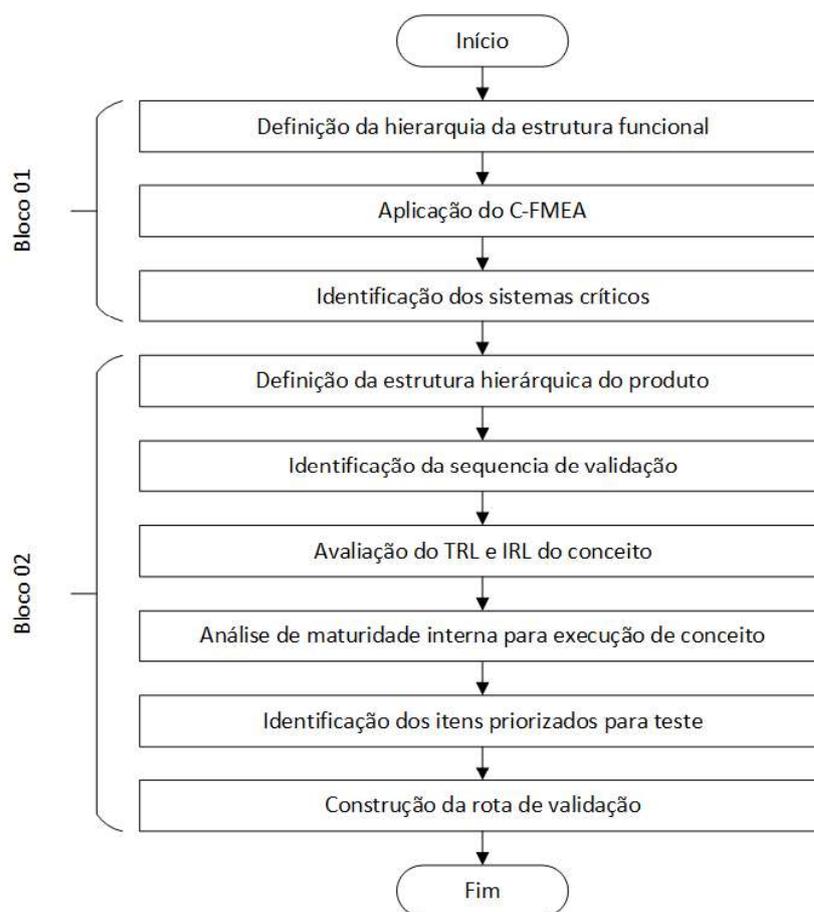
Por fim, após realizar toda as etapas anteriores, nesta ocorreu a consolidação dos resultados alcançados, verificando se os objetivos do presente trabalho foram alcançados, bem como a identificação de pontos de melhorias e sugestões para trabalhos futuros.

4 Apresentação do método

Esta seção irá apresentar o método proposto, evidenciando o processo que deve ser realizado até a obtenção da rota de validação do produto ou tecnologia.

O fluxo e as atividades que devem ser realizadas para a aplicação do método proposto estão apresentadas na Figura 13, sendo composto por dois blocos de ações e 7 atividades ao todo, sendo que este tem sua aplicação durante a fase conceitual do projeto e será desenvolvido em paralelo com as atividades tradicionais da fase.

Figura 13. Fluxo de atividades do método proposto



Fonte: Autoria própria

Tomando como base a sequência de atividades do projeto conceitual apresentada na Figura 2, o início do procedimento é a partir das atividades previstas no bloco 01, que devem ser realizadas após a definição da síntese funcional, bem como, para iniciar as atividades do bloco 02, é necessário que o conceito do produto já tenha sido selecionado.

Eventualmente, o processo de geração e seleção de conceitos poderá demandar mais tempo que o necessário para finalizar as atividades previstas para o Bloco 01, assim, é possível ajustar o tempo de execução para que as três primeiras atividades sejam realizadas em

paralelo com as atividades do conceitual que levarão à definição do conceito, caso não seja feito dessa forma, poderá haver um hiato ao longo da aplicação do método, até que o conceito seja selecionado e as atividades do bloco 02 sejam iniciadas.

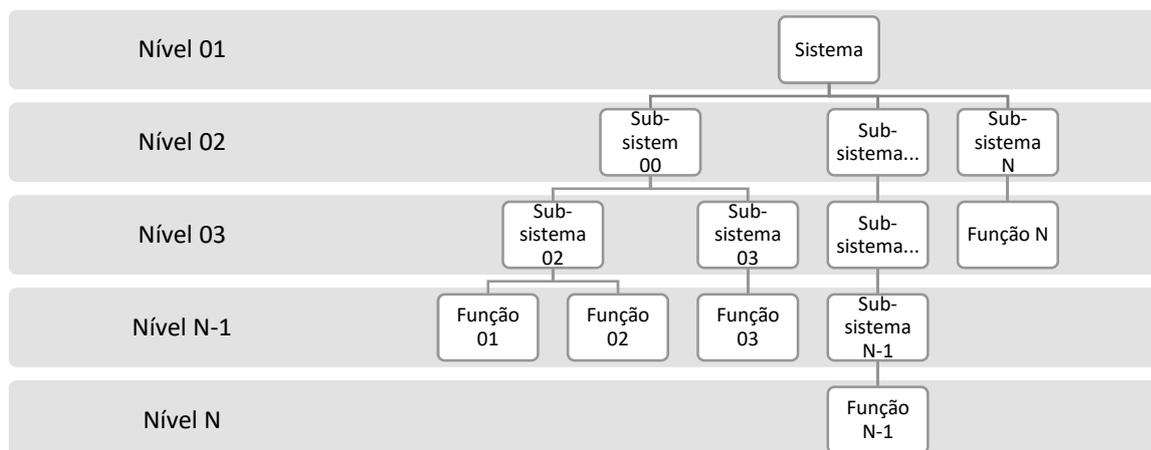
Nos tópicos que seguem, cada uma das atividades terá sua execução explicada de maneira detalhada.

4.1 Definição da hierarquia da estrutura funcional

A estrutura funcional é uma forma de organização hierárquica das funções identificadas na síntese funcional. Elas devem ser agrupadas por afinidade de maneira a constituir grupamentos que serão denominados subsistemas. Os subsistemas podem ser constituídos de diversos níveis, a depender da complexidade do projeto em desenvolvimento.

Assim, funções agrupadas formam subsistemas, os subsistemas também podem ser agrupados formando outros subsistemas. O primeiro ou maior nível é chamado de sistema e a estrutura pode ter tantos níveis quanto seja necessário para representar completamente a solução. Um exemplo está disponível na Figura 14.

Figura 14. Exemplo de estrutura funcional



Fonte: Autoria própria

Conforme evidenciado, essa atividade só pode ser realizada após a finalização da síntese funcional e é a primeira atividade do método proposto

4.2 Aplicação do C-FMECA

A segunda atividade a ser realizada é o C-FMECA que, conforme visto na seção 2.3, busca a identificação dos potenciais modos de falha de cada um dos subsistemas existentes na estrutura funcional.

Dessa maneira, cada um dos subsistemas é avaliado levando-se em conta apenas as funções que estes têm que realizar, seguindo assim todo o processo já apresentado na seção 2.3.3. Neste caso, foi tomado como referência que a escala RPN que vai de 0 (zero) a 100

(cem), sendo que a pontuação máxima para severidade, probabilidade e detectabilidade são, respectivamente, 4 (quatro), 5 (cinco) e 5 (cinco).

Um aspecto que precisa ser lembrado é que, apesar do FMECA utilizar índices numéricos, este ainda é uma ferramenta com características qualitativas. O sucesso de sua aplicação está associado à participação de técnicos e pesquisadores experientes que sejam capazes indicar informações de qualidade e consigam associá-la com seus respectivos índices de severidade, ocorrência e detectabilidade.

4.3 Identificação dos sistemas críticos

Após realizar as análises cabíveis sobre cada um dos subsistemas presentes na estrutura funcional, o valor do RPN será o norteador da criticidade, indicando o nível de prioridade que cada subsistema tem nas próximas etapas, no presente caso, segue-se a escala indicada na Tabela 19. Assim, cada faixa de valores do RPN indica tanto um nível de risco quanto o seu respectivo nível de prioridade.

Findada esta análise, será necessário aguardar o curso de desenvolvimento do projeto conceitual até que a solução conceitual seja definida para poder seguir com os passos seguintes do presente método.

Tabela 19. Prioridade de intervenção nas causas

RPN	COR	RISCO	PRIORIDADE
0 até 20	Verde	Menor	Mínima
20 até 40	Verde claro	Marginal	Baixa
40 até 60	Amarelo	Alto	Média
60 até 100	Vermelho	Crítico	Alta

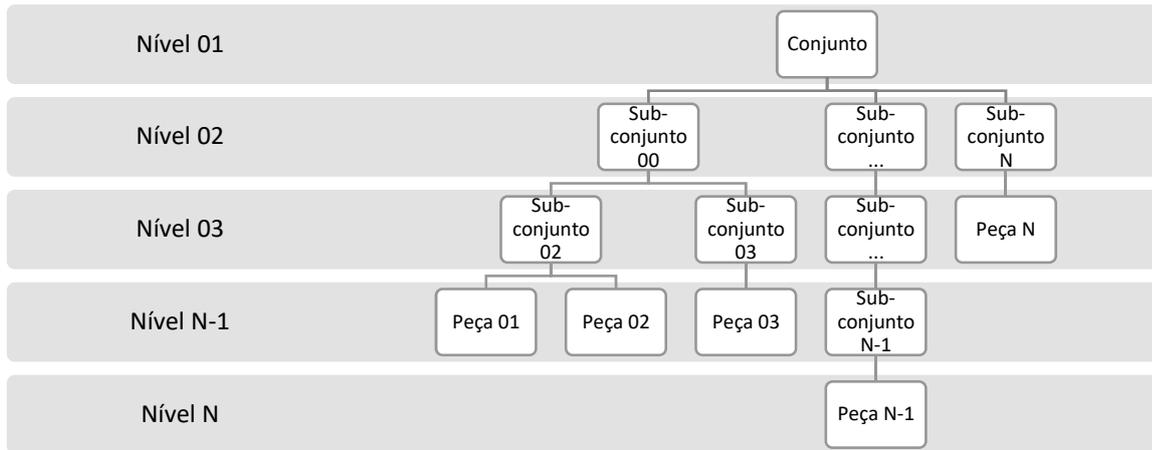
Fonte: Autoria própria

4.4 Definição da estrutura hierárquica do produto

Uma vez que o princípio de solução ou conceito foi definido, significa que é possível retomar as atividades do método proposto.

A estrutura do produto ou, como também é conhecida, *Product Breakdown Structure* (PBS), de maneira similar à estrutura funcional, é uma organização hierárquica de agrupamento que visa apresentar a divisão do produto em conjunto, subconjuntos e peças. A Figura 15 mostra um exemplo de representação da PBS.

Figura 15. Exemplo de estrutura do produto



Fonte: Autoria própria

Uma vez que as estruturas funcional e de produto estão disponíveis é possível correlacionar os subsistemas aos subconjuntos, uma vez que tanto um subsistema pode estar distribuído em um ou mais subconjuntos, como um subconjunto pode conter partes de um ou mais subsistemas.

O procedimento de correlacionar os subsistemas aos subconjuntos pode ser realizado de duas formas diferentes, gráfica e tabela. A via gráfica é extremamente visual, entretanto, para as análises subsequentes, não oferece uma boa condição de avaliação. Por isso, para fazer as avaliações necessárias, optou-se por relacionar esses itens via tabela, onde, na folha padrão do FMECA, foi adicionada uma coluna chamada “Conjunto / Subconjunto” que está associado ao subsistema indicado na linha. A Figura 16 demonstra como ficou essa variação.

Figura 16. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter o subconjunto

ID	Subsistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectibilidade	RPN	Conjunto/ subconjunto
----	------------	------------------	------------------------	-----------------	------------	-------------------	---------------	-------------------------	------------------------	-----------------	-----	-----------------------

FMECA padrão
Novo

Fonte: Adaptado de STAMATIS, 2003

4.5 Identificação da sequência de validação

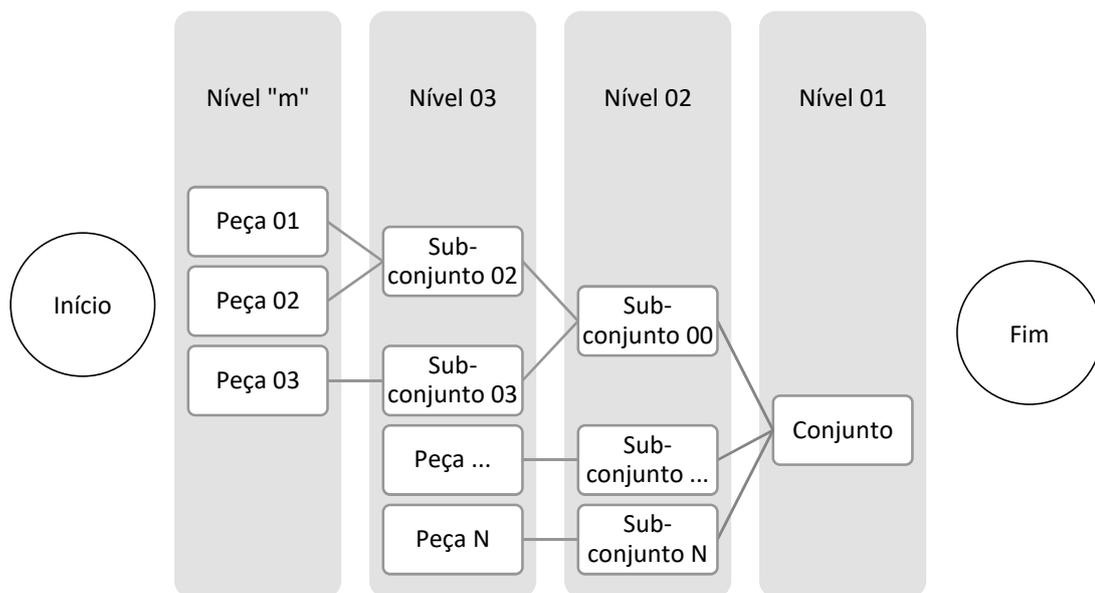
A sequência de validação deriva diretamente da estrutura do produto, sendo realizada sempre do nível mais baixo (Nível N) para o nível mais elevado (Nível 01).

Ao longo dos próximos passos, será evidenciado que nem todos os subsistemas e subconjuntos precisam dispor do mesmo esforço de validação, assim, é necessário identificar

quais desses precisam passar pelas etapas de validação e, seguindo a estrutura do produto, possíveis sequências são identificadas.

A Figura 17 exemplifica como transformar a estrutura de produto em uma sequência de testes, iniciando pela esquerda, no nível mais baixo, analisando inicialmente peças / componentes individualizados. Em seguida, passando para o próximo nível, onde esses itens são arranjados de maneira a formar um subconjunto, quando a interação entre eles é avaliada também.

Figura 17. Exemplo de estrutura do produto



Fonte: Autoria própria

Esses passos deverão ser seguidos, testando componentes individualmente, depois agrupados, formando subconjuntos, por conseguinte, testando subconjuntos agrupados que formam outros subconjuntos de maior nível hierárquico, até atingir o nível 01, de conjunto. Quando todos os itens anteriores terão sido avaliados.

Ao atingir o nível de conjunto, significa que os testes e validações estão sendo realizados com o nível de integração máxima dos sistemas / subconjuntos e as respostas individuais interferem no todo.

4.6 Avaliação do TRL e IRL do conceito

De posse da estrutura do produto, é possível iniciar o procedimento de avaliação do TRL e IRL. Essa avaliação é baseada nas pesquisas conduzidas na fase informacional do projeto, onde artigos, patentes e similares são pesquisados e analisados. É muito importante não confundir esta ação com um TRA.

Neste caso, é sugerido que um grupo composto com profissionais das principais competências envolvidas no desenvolvimento esteja reunido e de posse da PBS e do conceito

do produto. Cada subconjunto deverá ser analisado de maneira a identificar, de acordo com as pesquisas da fase informacional, o nível de maturidade das tecnologias que o compõe, bem como, a maturidade da integração dessas tecnologias.

Como existem múltiplos aspectos ou domínios nessa análise, deve-se utilizar como referência principal aqueles aspectos que mais reduzirem os indicadores de maturidade. Neste caso, também é recomendado que os fatores identificados como mais relevantes sejam registrados.

Conforme visto anteriormente na seção 2.2, ambas escalas vão de 1 a 9, sendo que o menor valor indica menor maturidade e o maior valor maior maturidade. Assim, na Tabela 20 é possível ver a referência adotada para o uso do método, correlacionando a maturidade do conjunto com a prioridade que deve ser dada a este para a realização de testes e validações.

A prioridade está relacionada ao esforço necessário para poder atingir uma solução robusta, segura e eficiente. Sendo que prioridade baixa indica que o esforço requerido com testes e validações é baixo e este esforço aumenta à medida que a prioridade caminha para os níveis mais elevados. Os TRL e IRL de níveis 1 e 2 são considerados críticos, pois, devida a baixa maturidade, pode exigir desenvolvimentos simultâneos de produto e tecnologia, que pode aumentar, de maneira significativa, o esforço do time de desenvolvimento.

Tabela 20. TRL e IRL de acordo com a criticidade

TRL	IRL	COR	PRIORIDADE
1	1		Crítica
2	2		Crítica
3	3		Alta
4	4		Alta
5	5		Média
6	6		Média
7	7		Baixa
8	8		Mínima
9	9		Mínima

Fonte: Autoria própria

Para realizar esta etapa, mais 3 (três) novas colunas foram anexadas a folha padrão de FMECA, essas colunas são: TRL, IRL e Observações TRA. Conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter TRL e IRL

ID	Subsistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectibilidade	RPN	Conjunto/subconjunto	TRL	IRL	Obs. TRA
FMECA padrão											Novo				

Fonte: Adaptado de STAMATIS, 2003

4.7 Análise da maturidade interna para execução do conceito

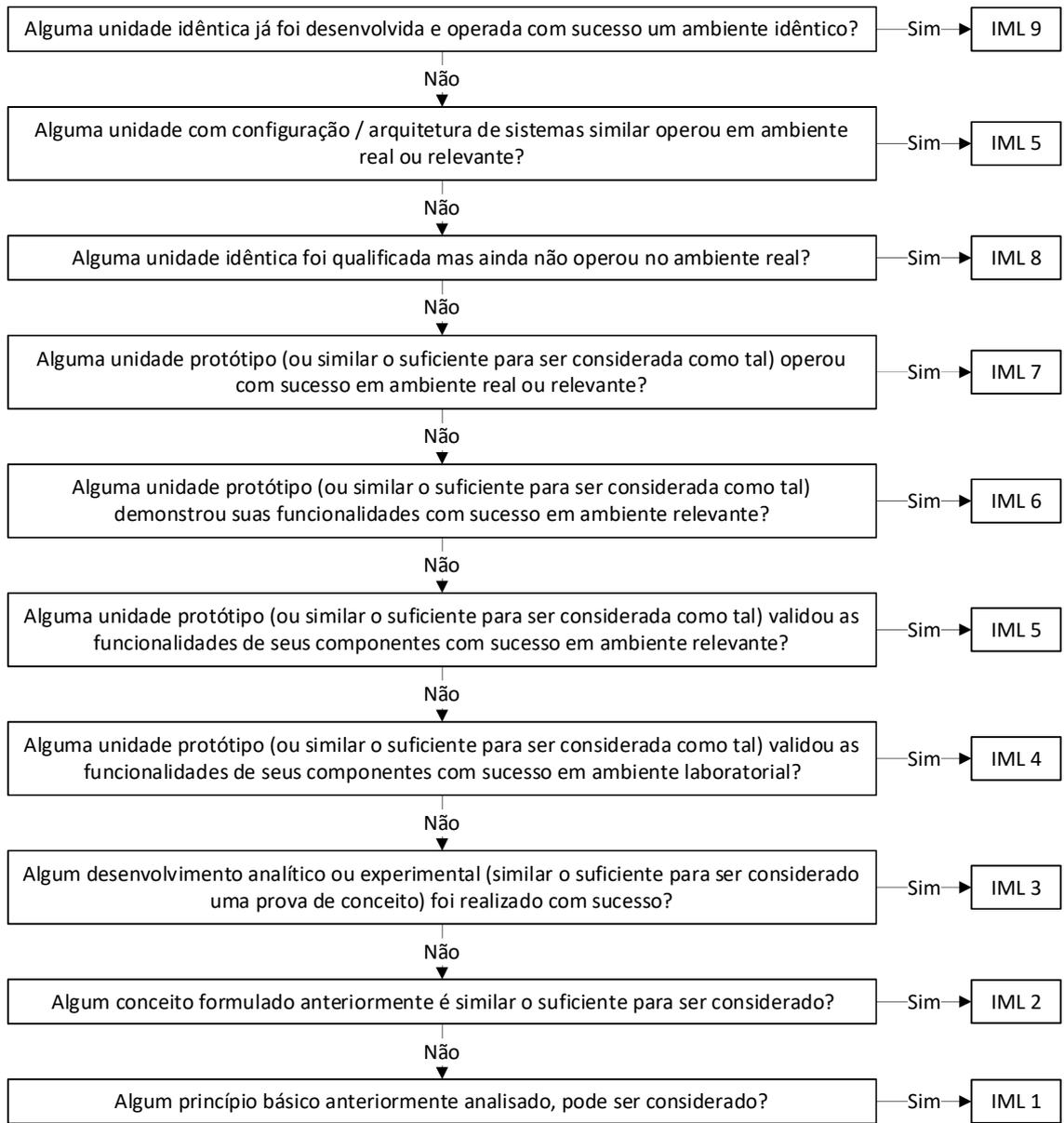
Nesta etapa do processo, já se sabe quais os subsistemas possuem maior risco, bem como, quais subconjuntos possuem menor nível de maturidade (tecnologia e integração), agora a intenção é avaliar a maturidade do time do projeto para executar o desenvolvimento com base no conceito definido para o produto.

Para isso, o procedimento de TRA apresentado pela NASA foi adaptado para que fosse possível realizar um processo de avaliação da maturidade interna (*Internal Maturity Assessment – IMA*) com foco na determinação do nível de maturidade interna (*Internal Maturity Level – IML*).

Assim como as escalas de TRL e IRL, o IML também possui 9 (nove) níveis que podem ser acessados a partir da avaliação apresentada na Figura 19, sendo que os questionamentos devem ser feitos de maneira a identificar se um ou mais membros do time possuem algum nível de familiaridade para reproduzir as tecnologias e integrações propostas nos subconjuntos que compõem o novo produto.

Esse processo permite ao time, durante sua execução, não apenas definir ações que possam ajudar a elevar o IML reduzindo o risco do desenvolvimento, bem como identificar em qual das disciplinas / domínios do produto há menor maturidade. A exemplo, situações em que é possível a incorporação de novos membros ao time das disciplinas, sejam esses colaboradores da própria instituição, ou mesmo, contratações externas.

Figura 19. Fluxo IMA



Fonte: Adaptado de NASA, 2016

Para realizar o registro desse processo de maneira objetiva e rápida, outras duas colunas foram integradas ao modelo da FMECA, conforme está demonstrado na Figura 20.

Figura 20. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter IMA

ID	Subsistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectibilidade	RPN	Conjunto/ subconjunto	TRL	IRL	Obs. TRA	IML	Obs. IMA
FMECA padrão											Novo						

Fonte: Adaptado de STAMATIS, 2003

4.8 Identificação de subsistemas prioritários para testes

Este é o penúltimo passo do método proposto, o que acaba por calcular o número de prioridade de teste (*Trial Priority Number* – TPN). O TPN foi concebido ao longo do presente trabalho para ser utilizado como balizador e assim, suportar o processo de identificação do quão crítico é o par subsistema / subconjunto é para o desenvolvimento, revelando quais desses itens irão requerer maior esforço no processo de testes e validações. Assim, o TPN é obtido a partir de uma expressão matemática que leva em consideração os seguintes parâmetros: RPN, TRL, IRL e IML.

Antes de apresentar como calcular o valor do TPN é importante entender dois aspectos relacionados aos números que representa os valores de RPN, TRL, IRL e IML.

Primeiramente, a escala de RPN tem aumento da criticidade enquanto seu valor aumenta, entretanto, para os valores de TRL, IRL e IML o inverso é verdadeiro, ou seja, a criticidade aumenta à medida que seus valores diminuem. Isso indica que o TPN é inversamente proporcional aos TRL, IRL e IML. Dessa forma, quando for calcular o valor de TPN, será necessário utilizar uma razão inversa para esses parâmetros.

Se os valores de maturidade vão de 1 a 9, ao tratar dos seus inversos, estes passam a estar em um intervalo que vai de aproximadamente 0 (zero) até 1. O que implica no segundo aspecto, o valor máximo da escala do RPN, que agora é cem vezes maior que os outros parâmetros. Na tentativa de amenizar esta diferença, o valor de RPN será sempre dividido por 10 (dez) para manter a proporção inicial entre as escalas e diminuir a distorção no resultado dos valores de TPN. Assim, o valor de TPN pode ser calculado conforme evidenciado na Eq. 2.

$$TPN = \frac{RPN}{10} \times \frac{1}{TRL} \times \frac{1}{IRL} \times \frac{1}{IML} \quad \text{Eq. 2}$$

Após avaliar a expressão que define o valor TPN é possível inferir a extensão de sua escala, que inicia em valores tendendo a zero, quando o RPN é mínimo e os valores de TRL, IRL e IML são 9. Por outro lado, se o valor de RPN é máximo (100) e os valores de TRL, IRL e IML são mínimos (1), a expressão do TPN resulta no valor máximo de 10. Ficando assim definida a amplitude da escala do TPN.

Conforme sugerido pelo próprio nome, essa escala deveria ser dividida em estágios que indicariam a criticidade de trabalhar em cada uma dessas faixas e o quanto se deve priorizar itens que estejam nessa pontuação em relação aos procedimentos de testes e validações.

Assim, uma segmentação foi proposta pelo autor, a partir da combinação de cenários entre os parâmetros. A Tabela 21 apresenta alguns cenários combinados com as pontuações de TPN atingidas e o nível de prioridade que deve ser dado para cada seguimento.

Agora é necessário fazer uma avaliação sobre o significado de cada um dos níveis de prioridade apresentados, são eles:

- **Mínima:** Subsistemas apresentam o menor risco, as soluções previstas para os subconjuntos apresentam TRL e IRL em níveis máximos de maturidade e, por fim, a maturidade do time de projeto é elevada para executar a solução proposta. Isso demonstra que testes e validações não são necessários e é possível partir diretamente para a solução final;
- **Baixa:** Os riscos para os subsistemas são definidos como marginal, o TRL e IRL ainda estão em níveis elevados (de 7 a 9), entretanto o IML começa a atingir níveis intermediários (6) que é o principal fator de aumento da prioridade. Neste nível alguns testes mais específicos já são necessários;
- **Média:** O RPN está no limite superior da reunião marginal, TRL e IRL estão mais concentrados em valores intermediários (5 a 7) e IML começa a atingir níveis baixos (de 3 a 6). Como estão sendo utilizados itens com baixa maturidade tecnologia e pouco nível de integração, testes mais específicos são recomendados para poder avaliar melhor o desempenho conjunto dessas soluções;
- **Alta:** Os RPN dos subsistemas atingem o nível alto, as tecnologias utilizadas ainda estão em estágios de comprovação (4 a 6), sendo que a integração entre elas ainda está em nível conceitual (3 a 4) e a maturidade do time está classificada como baixa a inexistente (1 a 3). É uma situação em que muitos testes devem ser realizados, tanto para escolher as tecnologias, avaliar suas integrações, performances e outros itens, assim, muito esforço será despendido para dar continuidade ao desenvolvimento;
- **Crítica:** Nessa classe de prioridade, todos os parâmetros estão em seus estados de mais elevado risco. É uma região, como o nome já sugere, de elevada criticidade, pois a tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento, sua integração ainda não foi identificada em bibliografias, patentes e similares, além disso, o time técnico tem praticamente nenhum conhecimento sobre o campo. É provável que a tecnologia tenha que ser desenvolvida simultaneamente com o produto.

Tabela 21. TPN níveis de prioridade

RPN	TRL	IRL	IML	TPN	Nível de prioridade
100	1	1	1	10,0000	Crítica $0,6667 < TPN \leq 10,0000$
90	3	1	1	3,0000	
80	4	1	1	2,0000	
80	4	3	1	0,6667	Alta $0,0667 < TPN \leq 0,6667$
70	5	3	3	0,1556	
60	6	3	3	0,1111	
60	6	4	3	0,0833	
60	6	5	3	0,0667	Média $0,0149 < TPN \leq 0,0667$
50	7	5	5	0,0286	
50	7	6	6	0,0198	
50	8	7	6	0,0149	Baixa $0,0053 < TPN \leq 0,0149$
40	9	7	6	0,0106	
40	9	8	7	0,0079	
30	9	9	7	0,0053	Mínima $TPN \leq 0,0053$
1	9	9	9	0,0001	

Fonte: Autoria própria

Por fim, é necessário apresentar a planilha de análise da prioridade em seu estágio completo, incluindo a última coluna que é responsável pelo cômputo do valor de TPN, a Figura 21 demonstra então o cabeçalho final da ferramenta acessório, onde todas as análises realizadas foram incorporadas a ao padrão original do FMECA.

Figura 21. Cabeçalho do FMECA adaptado para conter TPN

ID	Subsistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectibilidade	RPN	Conjunto/subconjunto	TRL	IRL	Obs. TRA	IML	Obs. IMA	TPN
----	------------	------------------	------------------------	-----------------	------------	-------------------	---------------	-------------------------	------------------------	-----------------	-----	----------------------	-----	-----	----------	-----	----------	-----

FMECA padrão
Novo

Fonte: Adaptado de STAMATIS, 2003

Um formulário padronizado para o cálculo do TPN está disponível no Anexo G – Formulário padrão para cálculo do TPN, deste documento.

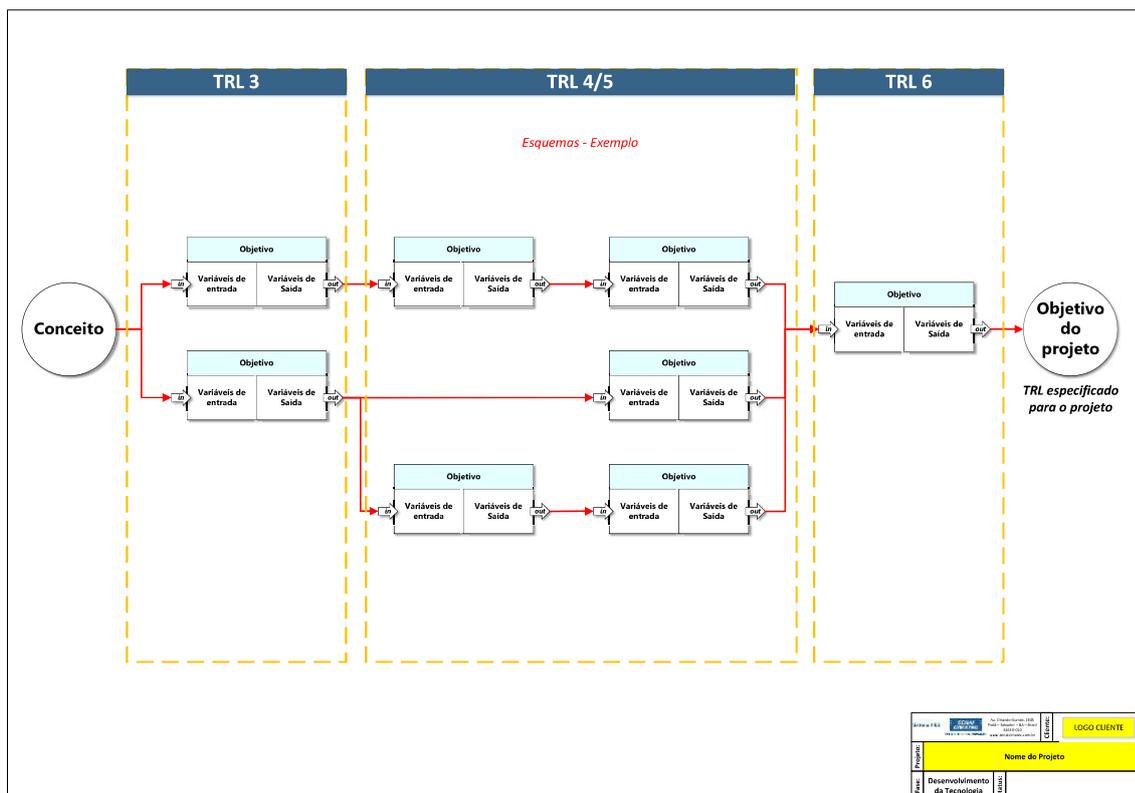
4.9 Construção da rota de validação

Uma vez que todos os passos anteriores foram realizados com sucesso, as informações necessárias ao processo já disponíveis, podendo ser iniciado o processo de construção da

proposta de rota de validação da tecnologia. Sendo necessário agora organizar os dados disponíveis e estruturar os testes necessários de acordo com um layout representativo.

A Figura 22 apresenta o modelo utilizado pelo ICT para a construção de rotas de validação da tecnologia, entretanto, como foi informado anteriormente, o processo de construção até então era realizado sem um método específico de suporte. Neste caso, o presente trabalho fará uso do formato do documento proposto pelo ICT e irá preenchê-lo utilizando as informações que foram levantadas ao longo dos passos apresentados neste trabalho.

Figura 22. Rota de validação da tecnologia



Fonte: Metodologia DIP&T SENAI CIMATEC

Para construir a rota propriamente dita, os seguintes passos devem ser realizados:

1. Identificar o nível de maturidade final do desenvolvimento e o nível de maturidade mais baixo dos componentes / subconjuntos;
2. Representar os níveis de maturidade que serão trabalhados;
3. Distribuir os componentes e subconjuntos sobre seus devidos níveis de maturidade inicial;
4. Indicar os testes e validações necessários para que cada nível de subconjunto avance sua maturidade até que o sistema / conjunto atinja a maturidade final desejada.

É importante notar que o presente trabalho não irá abordar o processo de especificação de testes e procedimentos de validação, como as ações aqui indicadas são genéricas é improvável conseguir abranger todas as possibilidades, por isso a definição dos testes não é abordada.

No próximo capítulo, são apresentadas aplicações práticas do processo através de projetos reais desenvolvido no ICT SENAI CIMATEC.

5 Resultados

Nesta seção são apresentados os principais resultados alcançados por meio da execução do presente trabalho, e está estruturada da seguinte forma:

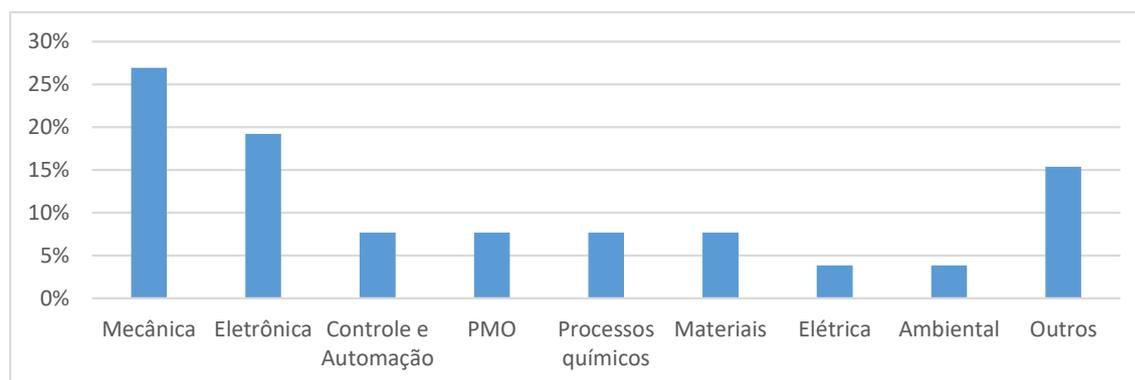
- Análise das respostas obtidas com o formulário de mapeamento I: Questionário utilizado inicialmente para poder avaliar a opinião do time sobre o processo atual de construção das rotas de validação dos projetos
- Análise dos resultados obtidos com a aplicação do método: submeter o método proposto para ser executado em conjunto com outras pessoas do time técnico de projetos e assim avaliar e validar a aplicabilidade, usabilidade e aceitação do método.
 - Estudo de caso em projetos anteriores – ROBIN
 - Estudo de caso em projetos em execução – TORRE 2
 - Estudo de caso em projetos em execução – *Cold Bonded Repair*
- Análise das respostas obtidas com o formulário de mapeamento II: Questionário utilizado para apresentar e introduzir o método proposto para uma parte do time de colaboradores que possuem papéis de liderança em projetos do SENAI CIMATEC, coletando a opinião deles quanto ao método.
- Análise das respostas obtidas com o formulário de mapeamento III: Questionário utilizado para coletar a opinião do time técnico sobre o método e sua aplicação nos projetos.

5.1 Análise do questionário mapeamento I

O primeiro questionário, está disponível no Anexo A – Questionário mapeamento I, foi respondido por 26 colaboradores do SENAI CIMATEC, a seguir estão indicados os resultados obtidos a partir das respostas do questionário.

A Figura 23 apresenta o percentual de respondentes para as principais áreas de atuação da engenharia que participaram da pesquisa, esses resultados foram obtidos da questão 06.

Figura 23. Distribuição das disciplinas dos participantes da pesquisa



Fonte: Autoria própria

Dentre os respondentes, através da questão 07 é possível ver que mais de 45% possuem o título de mestre, aproximadamente, 30% têm alguma especialização no currículo e os demais são doutores, graduados e/ou técnicos.

Por meio das questões 08, 09 e 10 é possível identificar, respectivamente, que aproximadamente 60% dos entrevistados são profissionais atuantes no mercado a mais de 10 anos, mais de 70% deles atuam muito frequentemente com projetos do tipo PDI e que mais de 60% das pessoas atuam com PDI há mais de 5 anos.

Com as respostas das questões 11, 12 e 13 é possível observar que aproximadamente 90% dos entrevistados estão ligados diretamente às atividades técnicas de projeto (entre liderança e execução), a grande maioria deles (mais de 90%) indicam ter um conhecimento de razoável a bom de metodologias de desenvolvimento de produto e tecnologia e 100% dos participantes indicam utilizar, pelo menos, alguns processos e ferramentas associados às metodologias de DP.

As questões a partir da 14 estão relacionadas a identificar como os participantes lidam com a identificação e/ou planejamento do conceito para que este enfrente o processo de maturação e validação.

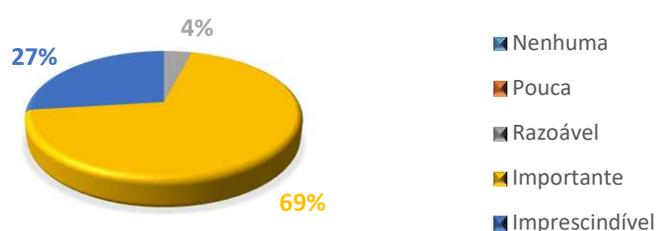
As respostas das questões 14 e 15 indicam que mais da metade dos entrevistados acham de fácil a muito fácil visualizar as etapas subsequentes à geração que o conceito deve ser submetido visando o processo de aumento de maturidade e validação e ainda que, no mesmo percentual de respondentes, frequentemente realizam o processo de construção da rota de validação do produto nos projetos que participam.

Ao avaliar os resultados das questões 16 e 17, é possível verificar que aproximadamente 70% das pessoas acreditam que o processo de construção da rota de validação possui dificuldade, no mínimo, moderada, sendo que esse percentual supera os 80% quando são questionados sobre a subjetividade do processo de construção das rotas.

Ao serem questionados sobre a padronização tanto da construção das rodas, quanto dos resultados delas obtidos, mais 80% das respostas da questão 18 indicaram que diferem de maneira razoável, além disso, 100% dos entrevistados classificam, através da questão 19, como importante e/ou imprescindível a um projeto de desenvolvimento de produto e/ou tecnologia, a existência da rota de validação.

Por fim, como é possível visualizar na Figura 24, mais de 95% dos participantes da entrevista classificam a importância de se ter um processo padronizado de importante a imprescindível quando responderam à questão 20 do formulário.

Figura 24. Importância atribuída a necessidade de se ter um método padronizado para construção da rota de validação da tecnologia



Fonte: Autoria própria

Toda as respostas ao questionário estão disponíveis no Anexo B – Respostas ao questionário de mapeamento I.

5.2 Estudo de caso em projetos anteriores – ROBIN

Após o processo de consolidação do método, entendeu-se que o procedimento estava pronto para ser executado com foco na obtenção de resultados, assim, iniciou-se o teste com um segundo projeto, maior e mais complexo, denominado ROBIN, que é um sistema complexo para realização de intervenções leves (*lighthworkover*) em poços de petróleo *offshore subsea*. O ROBIN foi estruturado de forma a possuir:

- Uma unidade casulo ou simplesmente caso, sendo responsável por acoplar-se com a árvore de natal molhada, armazenar as partes que formam a unidade de intervenção, suportar a pressão do poço, entre outras funções
- A unidade de intervenção ou robô, sendo responsável por entrar no poço e deslocar-se até a região onde irá executar a intervenção, é formada por módulos para armazenar energia, realizar o deslocamento, controlar o robô e realizar as operações de intervenção.

Devido a elevada complexidade, foi utilizado uma pequena parte do equipamento que estava relacionado ao deslocamento dentro da coluna de produção, denominado módulo de tração. A seguir, serão apresentados cada um dos passos do procedimento e quais resultados

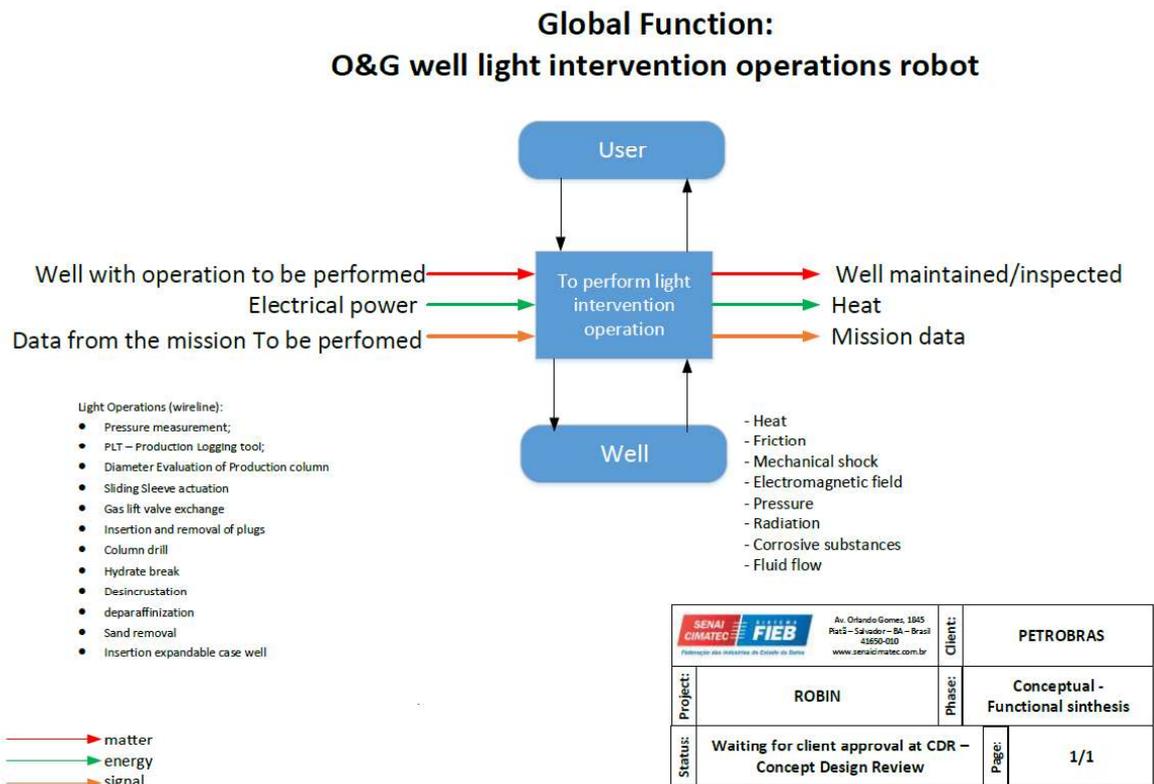
foram alcançados. A execução a seguir será apresentada conforme etapas do processo apresentadas na Figura 13.

É importante ressaltar que, devido às questões de confidencialidade e sigilo que envolvem os projetos utilizados como estudos de caso durante o desenvolvimento do presente trabalho, algumas das imagens inseridas ao longo dessa seção tiveram, propositalmente, sua resolução e dimensão reduzidas.

5.2.1 Definição da hierarquia da estrutura funcional

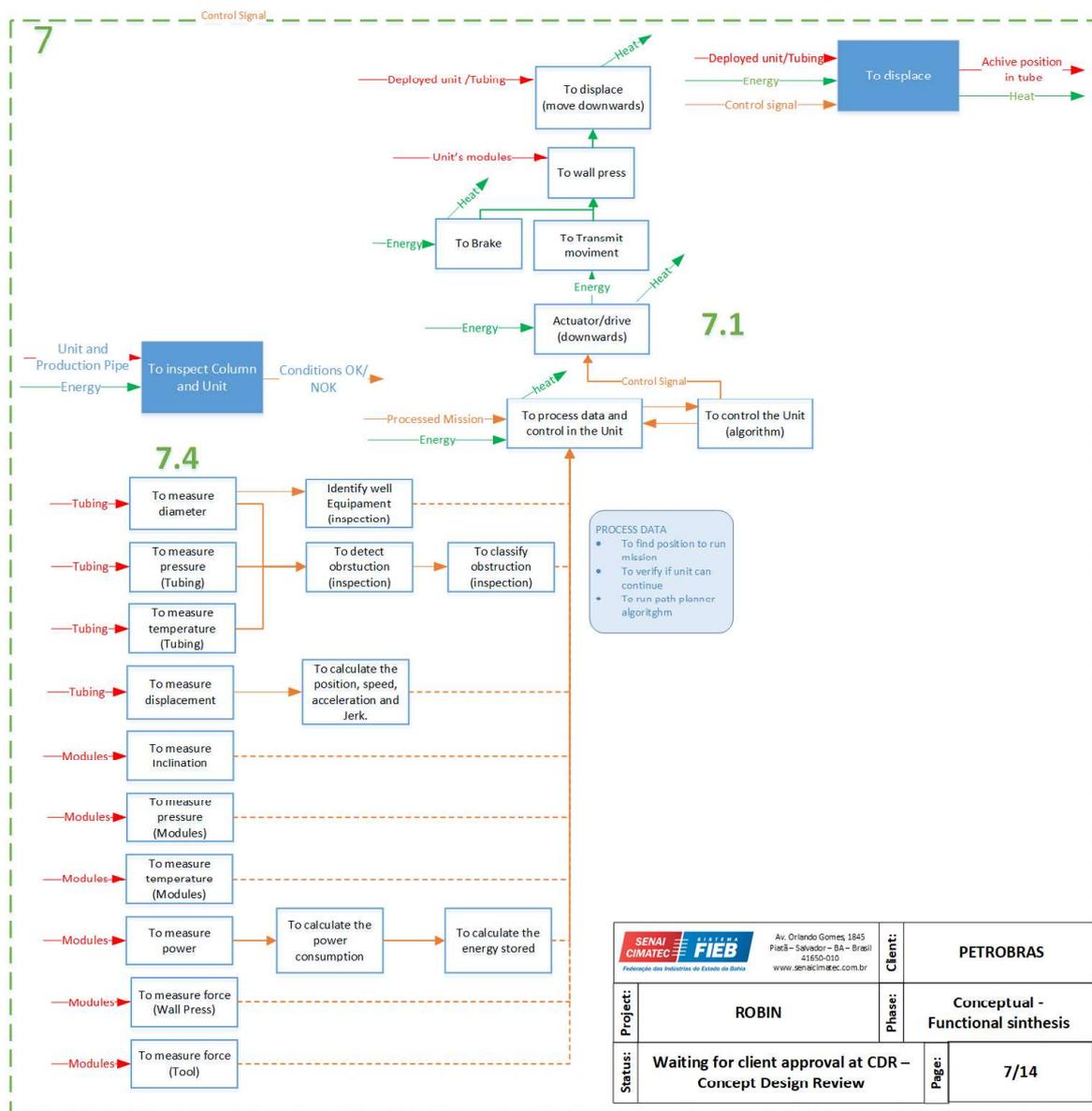
Uma vez que a síntese funcional do sistema está pronta, é possível iniciar a primeira atividade do bloco 01, que é etapa de definição da hierarquia da estrutura funcional. A Figura 25 apresenta a função global definida para o ROBIN que é de “Realizar operações de intervenções leves” e a Figura 26 apresenta um recorte da síntese funcional proposta para o sistema completo.

Figura 25. Função global ROBIN



Fonte: Autoria própria

Figura 26. Recorte parcial da síntese funcional do ROBIN



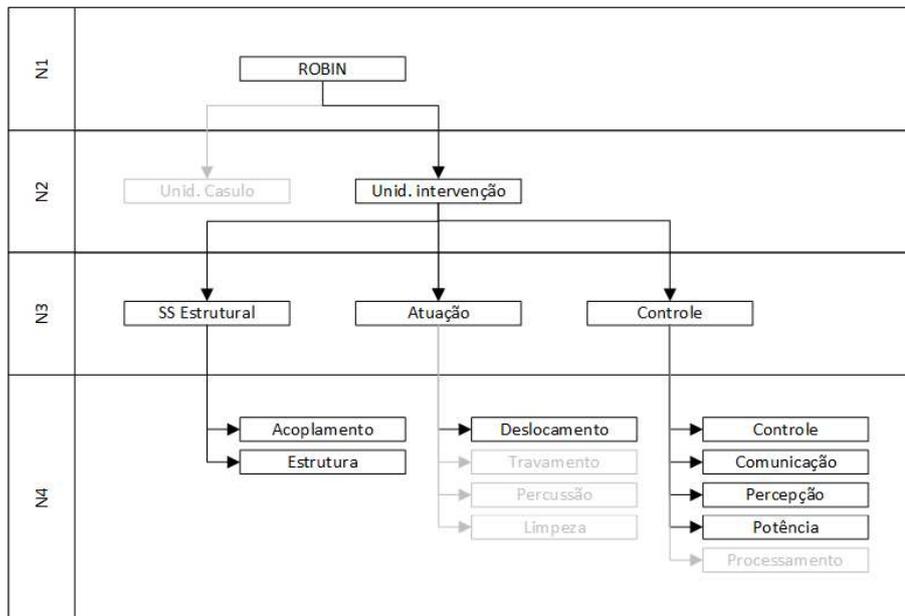
Fonte: Autoria própria

De maneira resumida, para deslocar-se internamente ao poço, foram identificadas funcionalidades como: Ativar motores do mecanismo de ajuste de dimensão, ajustar-se à dimensão da coluna, imprimir pressão de contato na coluna, ativar motores de deslocamento, monitorar características de operação do ambiente externo, monitorar características de operação do ambiente interno, transferir potência para eletrônicos, transferir sinal entre componentes eletrônicos, processar sinais coletados, comandar atuadores, etc.

Baseado nas funções que foram definidas para o ROBIN, foi possível construir uma estrutura funcional baseada no sistema completo. Este estudo de caso, conforme indicado anteriormente, devido à complexidade do projeto concentrou suas atenções nas ações, funcionalidades e equipamentos relacionados ao deslocamento do robô dentro da coluna de

produção, a Figura 27 apresenta a estrutura funcional do ROBIN dando ênfase aos sistemas e subsistemas associados ao procedimento de deslocamento do robô, assim, os itens deixados em cinza claro são aqueles que não estão diretamente relacionados ao deslocamento do sistema.

Figura 27. Estrutura funcional ROBIN



Fonte: Autoria própria

5.2.2 Aplicação do C-FMECA

Conforme explicado, o C-FMECA consiste na avaliação dos riscos técnicos associados às funcionalidades que fazem parte de cada um dos subsistemas, assim, com base nos subsistemas apresentados na estrutura funcional, um C-FMECA é realizado utilizando-se do formulário padrão do TPN (ver Anexo G – Formulário padrão para cálculo do TPN).

Neste momento, o foco está em identificar o valor de RPN associado a cada um dos subsistemas e seus prováveis modos de falha. A Figura 28 apresenta um recorte do formulário TPN com preenchimento apenas das colunas relacionadas ao C-FMECA. Em uma análise visual rápida, já é possível ter uma resposta de subsistemas que possuem maior valor de RPN através da escala de cores associada ao valor do risco, conforme apresentado na Tabela 19.

Figura 28. C-FMECA dos subsistemas relacionados ao processo de deslocamento

ID	Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectabilidade	RPN	Conjunto/ Subconjunto	T R L	I R L	OBS. TRA	I M L	OBS. IMA	T P N	
1	Acoplamento	acoplamento mecânico entre módulos e/ou ferramentas	falha estrutural	Soltura entre módulos e/ou ferramentas	4	dimensionamento equivocado, sobrecarga mecânica, ataque químico, efeito de temperatura.	3	Dimensionamento para cargas estimadas, avaliação de situações críticas de sobrecarga, avaliação de compatibilidade físico-química	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48								
2	Acoplamento	Transferência de sinal e potência entre módulos	Redução e/ou perda da capacidade de transmissão de sinal e/ou potência	Falha (parcial ou completa) na comunicação, perda (parcial ou completa) de potência	4	Perda de dados durante a missão, falta de controle momentâneo, perda de potência disponível para componentes eletro-eletrônicos.	3	Seleção de conector certificado e homologado para características de operação do equipamento	Leitura indireta de sinal e potência através de instrumentos no módulos	4	48								
3	Estrutura	Conter componentes eletro-eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	Ataque químico acelerado	2	caracterização correta do ambiente de trabalho, dimensionamento com base nas características do ambiente	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	32								
4	Estrutura	Conter componentes eletro-eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	cargas e sobrecarga de operação	3	caracterização correta do ambiente de trabalho e dos procedimentos que serão executados, dimensionam com base nas cagas padrão e cargas acidentais de operação.	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48								
5	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Carga excessiva	3	caracterização correta do ambiente de trabalho e dos procedimentos que serão executados, dimensionam com base nas cagas padrão e cargas acidentais de operação.	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	4	48								
6	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Falta de força para tracionar	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planejadas	monitoramento do deslocamento via sensores (encoder e CCL), medição da corrente e potência consumida pelos motores, drivers e componentes eletro-eletrônicos	5	60								
7	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Força de contato insuficiente	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planejadas	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	5	60								
8	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Rodas não alcançam a parede do tubo	4	Dimensionamento de acordo com o ambiente de trabalho, proteção contra obstrução por corpo externo, compatibilidade físico-química com ambiente	encoder para monitorar expansão do mecanismo, medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos, teste entre missões, comparar com informações de outros módulos e características (projeto) do poço	4	64								

Fonte: Autoria própria

Neste recorte, é possível visualizar que alguns subsistemas tiveram valor RPN mais elevado, indicando que aquele subsistema e funcionalidade imprimem maiores riscos ao desenvolvimento. Ainda nesse processo, são identificadas características funcionais que possam ser inseridas para mitigar o risco quando em operação.

5.2.3 Identificação dos sistemas críticos

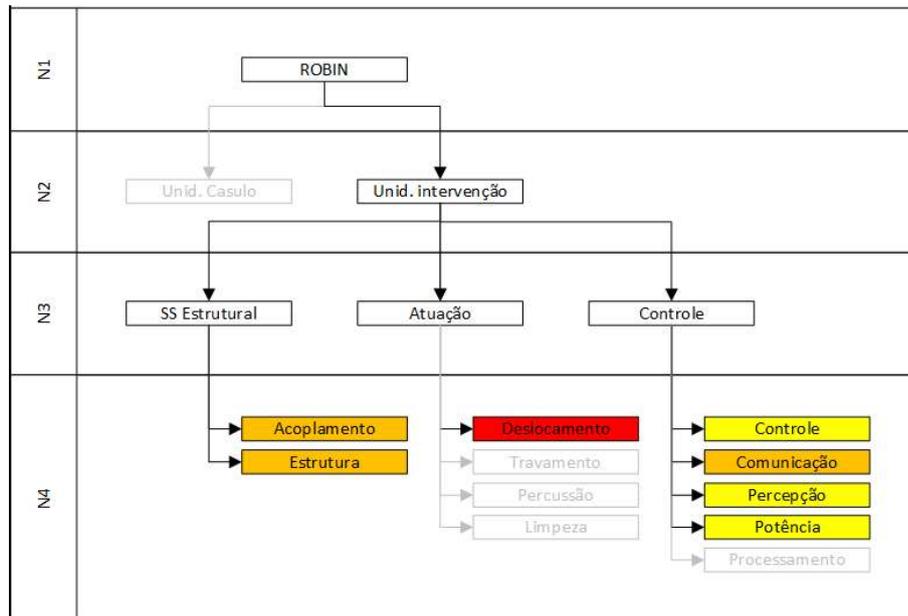
Uma vez realizado o C-FMECA, os subsistemas de maior criticidade ficam evidenciados através do índice RPN, indicando que, quanto maior o RPN do referido subsistema, mais crítico este é para o processo.

Através da Figura 28 é possível verificar índice RPN de alguns dos subsistemas e assim, comparando com a Tabela 19, é possível inferir o nível de risco associado a cada um deles e o nível de prioridade deles, que pode ser traduzido como a atenção requerida para eles, de maneira a evitar que o risco se converta gerando a falha do sistema em questão.

Uma ação de saída dessa primeira etapa do processo poderia ser uma revisão da síntese funcional, visando ajustes que pudessem reduzir o risco associado ao modo de falha indicado. Caso não seja possível identificar qualquer modificação ou ajuste, esses itens deverão ficar sinalizados com a sua criticidade para a realização das próximas etapas do processo. A Figura 29 demonstra uma representação da estrutura funcional com o esquema de cores que indica o índice RPN associado aos subsistemas. Isso permite uma visualização rápida e eficiente dos itens mais críticos no sistema.

Após findar essa etapa, será necessário aguardar a realização do processo de geração e seleção de conceitos padrão das metodologias de PDP. Um ponto interessante é que, ao realizar esse processo de análise de modo de falha, o time técnico já começa a ter uma visão mais crítica da proposta de solução que está em construção, alertando-os dos riscos associados às funções, subsistemas e sistemas.

Figura 29. Estrutura funcional com indicação do nível de risco através de cores



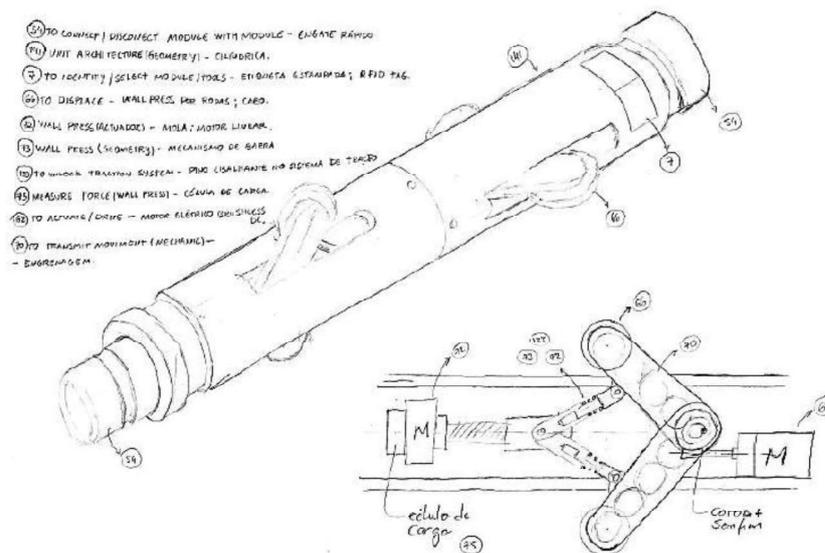
Fonte: Autoria própria

Esta ação finaliza o bloco 01 com as três primeiras atividades do método proposto, para iniciar a próxima atividade é necessário que a solução / conceito seja definido.

5.2.4 Definição da estrutura hierárquica do produto

Após ter caminhado pelo fluxo de geração e escolha / priorização do conceito, o método proposto pode ser retomado, no estudo de caso em questão, o conceito foi definido e está apresentado na Figura 30, podendo assim, iniciar as atividades do bloco 02.

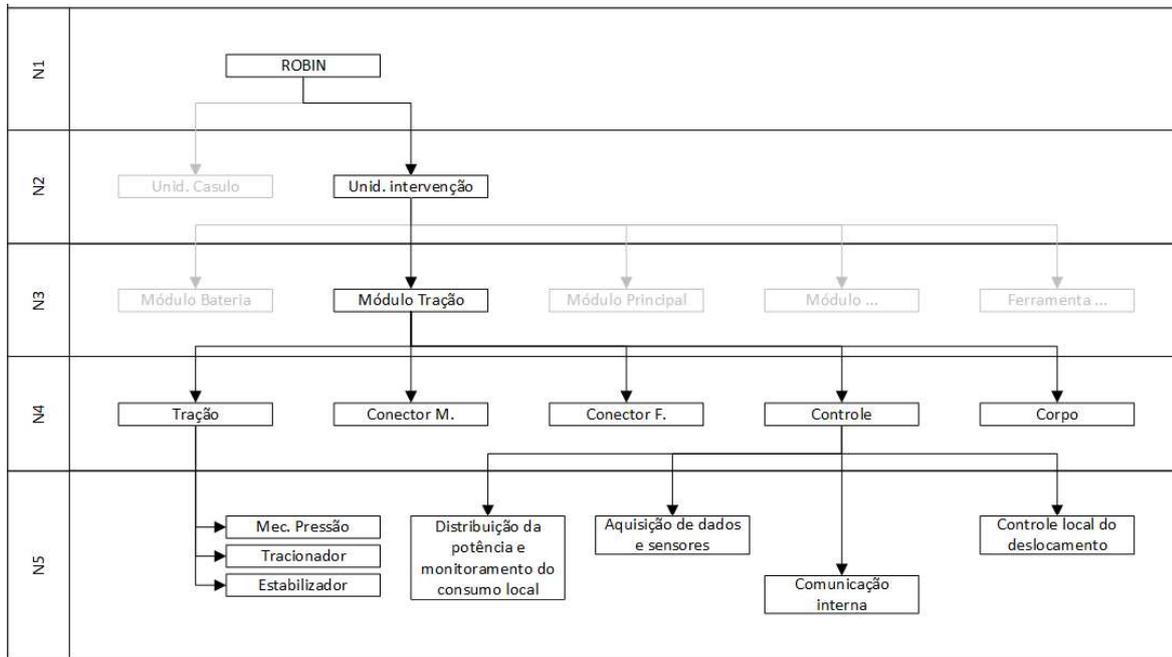
Figura 30. Conceito proposto para módulo de tração



Fonte: Autoria própria

Agora, o que será feito é a definição da estrutura hierárquica do produto baseado na solução proposta, identificando os principais conjuntos, subconjuntos e componentes e associando-os em níveis hierárquicos. A Figura 31 apresenta a PBS do ROBIN com foco no módulo de tração da unidade de intervenção.

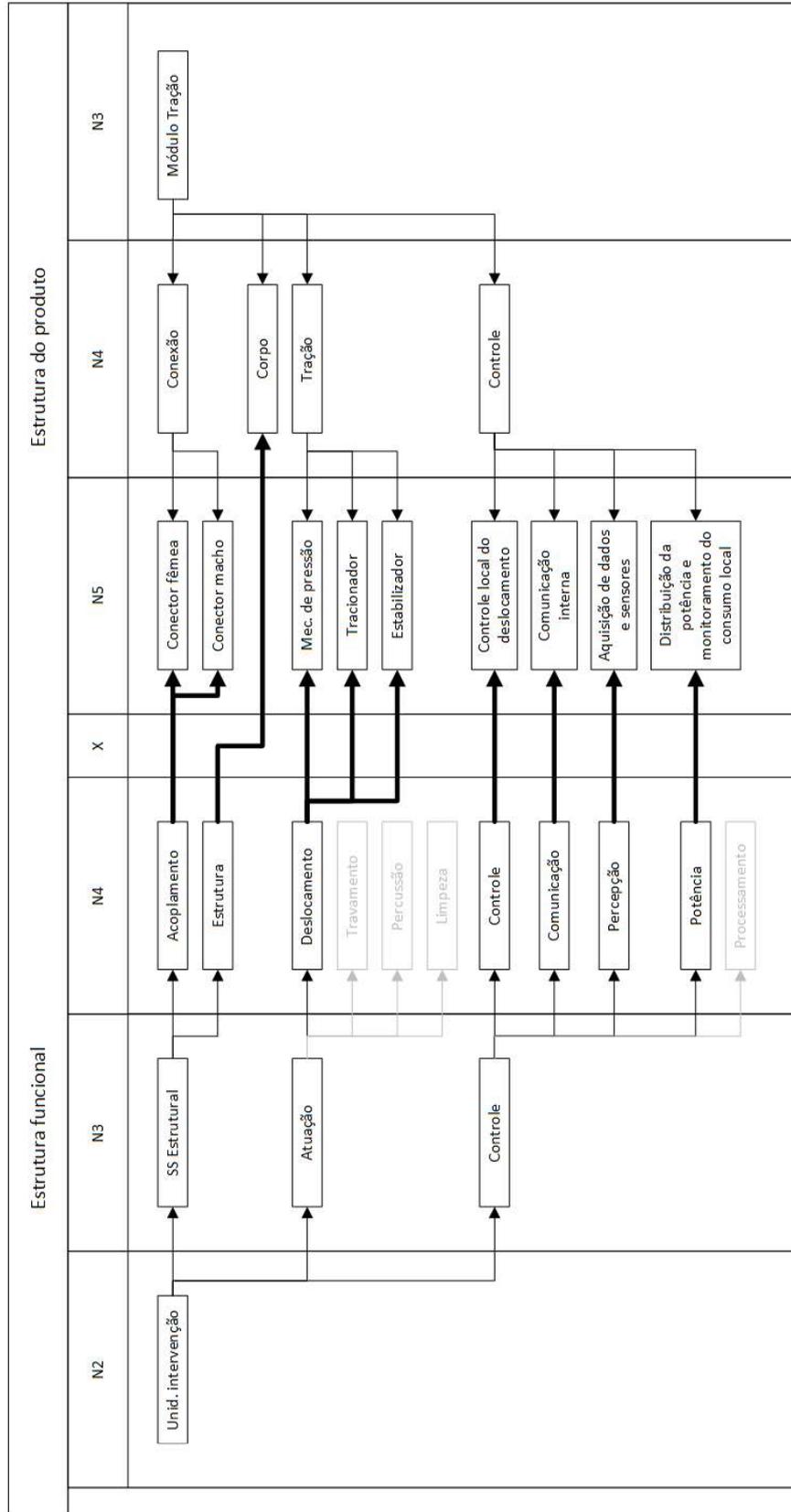
Figura 31. Estrutura do produto com foco no módulo de tração da unidade de intervenção



Fonte: Aatoria própria

Neste ponto é importante correlacionar os subsistemas apresentados na estrutura funcional com os subconjuntos apresentados na PBS. A Figura 32 exemplifica uma forma gráfica de correlação entre as duas estruturas trabalhadas. A vantagem de utilizar a forma gráfica é que está é mais inteligível aos membros do time do projeto, entretanto, esta correlação pode ser realizada de outras formas.

Figura 32. Correlação entre estrutura funcional e estrutura do produto



Fonte: Autoria própria

Uma observação importante é que a estrutura do produto construída na fase de conceito pode sofrer ajustes, como por exemplo, irá passar tanto por adições de componentes e peças, bem como, poderá sofrer ajustes com o avanço do projeto. Isso pode requerer que uma parte do procedimento seja ajustado para fazer correspondência com a nova estrutura do produto.

5.2.5 Identificação da sequência de validação

Esta etapa tem um procedimento bem simples que faz uso da estrutura de produto definida anteriormente e apresentada na Figura 31. Tomando-a como referência, entende-se que o processo de teste e validação das soluções propostas ocorrem sempre em sequência, iniciando do subconjunto de menor nível e seguindo para os níveis superiores.

Neste estudo de caso, por exemplo, será necessário validar os subconjuntos do nível N5 primeiro e, inicialmente, em isolado, para que no momento seguinte se inicie a integração entre os presentes neste nível até que seja possível os testes de todos integrados. Isso significa que completou o nível N5 e está sendo iniciado os testes dos subconjuntos do nível N4.

Ao seguir esse procedimento, ao final, todos os subconjuntos terão sido testados, inicialmente isolados, depois parcialmente integrados e, por fim, completamente integrados na solução completa, que neste caso é o módulo de tração da unidade de intervenção do ROBIN.

Um aspecto importante está relacionado às integrações parciais de um subconjunto. Por exemplo, os subconjuntos que estão no nível N5 e compõe o subconjunto tração (N4), tanto para realizar os testes individuais quanto para os testes integrados será necessário algum dispositivo para controlá-los. Por outro lado, todos os subconjuntos de nível N5 que estão relacionados ao subconjunto controle(N4) para serem testados, tanto individualmente quanto integrados, irão necessitar de algum dispositivo para “ser controlado”.

Esse tipo de situação é bem comum quando se fala de desenvolvimento de sistemas complexos ou sistema-de-sistemas. Técnicas como *software-in-loop*, *hardware-in-loop*, entre outras podem ser aplicadas para possibilitar a execução dos testes. Ter o conhecimento dessas técnicas irá auxiliar o time a como planejar o sequenciamento dos testes e a sua interdependência, que precisará ser analisada, caso a caso.

5.2.6 Avaliação TRL e IRL do conceito

Uma vez que a estrutura do produto foi concebida, e os subconjuntos foram associados a um ou mais subsistemas, é possível iniciar o processo de avaliação da maturidade da solução proposta que, neste caso, é uma análise simplificada de SRL.

Esta etapa do procedimento foi suportada, novamente, pelo formulário do TPN previamente apresentado. Iniciou-se pelo preenchimento dos subconjuntos associados aos subsistemas através da coluna “Conjunto / Subconjunto”. Durante a execução, eventualmente poderá ser necessário duplicar alguma linha do subsistema, pois este poderá estar associado a mais de um subconjunto.

A partir desse ponto, foi realizada uma avaliação de cada um dos subconjuntos, inferindo o TRL das soluções e o IRL de suas associações, comentários poderão ser adicionados na coluna “Obs. TMA”. Como essa avaliação de SRL é simplificada existe apenas um único campo que representa tanto o TRL quanto o IRL desse subconjunto, é importante deixar claro que o conjunto terá a maturidade de sua parte de menor índice. Além disso, disciplinas diferentes poderão incorrer em análises diferentes, onde, por exemplo, uma solução para a mecânica poderá ter uma maturidade maior que a solução para a eletrônica, ou vice-versa.

Com isso, reitera-se a importância do campo de observações do TMA, para que as divergências e questões importantes sejam relacionadas. Inclusive, essas observações serão de extrema relevância para o processo final de construção da rota.

Uma vez realizada esta análise, essas observações devem ser inseridas no campo de observações, pois isso já será um ponto que irá necessitar de testes durante a execução do projeto. A Figura 33 apresenta um recorte do formulário do TPN, parcialmente preenchido, exemplificando a execução dos passos da presente etapa do método.

Um exemplo importante que o processo de TMA auxiliou a identificar é com relação aos subconjuntos de conectores que está associado ao subsistema de acoplamento. Por exemplo, conexão mecânica para ferramentas de *wireline* são bem tradicionais no mercado, bem como conectores eletrônicos para uso submarino e com conexão molhada. Entretanto, surgem aí duas questões, a primeira é que não foi identificado no mercado, nem em trabalhos científicos, a junção da conexão mecânica com a eletrônica, indicando uma baixa maturidade de integração, o segundo ponto, é que os conectores eletrônicos, apesar de serem comerciais e difundidos no mercado, não foi identificado itens que estivessem qualificados para realizar a conexão imersos em petróleo ou fluidos com elevada condição de sujidade, que acaba por reduzir a maturidade individual das soluções propostas.

Figura 33. Execução da avaliação de TRL e IRL para os subconjuntos

ID	Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de deteção atual	Detectabilidade	RPN	Conjunto/ Subconjunto	TRL	IRL	OBS. TRA	IML	OBS. IMA	TPN
1	Acoplamento	acoplamento mecânico entre módulos e/ou ferramentas	falha estrutural	Soltura entre módulos e/ou ferramentas	4	dimensionamento equivocado, sobrecarga mecânica, ataque químico, efeito de temperatura.	3	Dimensionamento para cargas esmagadas, avaliação de situações críticas de sobrecarga, avaliação de compatibilidade físico-química	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48	Conector	9	3				
2	Acoplamento	Transfêrência de sinal e potência entre módulos	Redução e/ou perda da capacidade de transmissão de sinal e/ou potência	Falha (parcial ou completa) na comunicação, perda (parcial ou completa) de potência	4	Perda de dados durante a missão, falha de controle momentâneo, perda de controle total, redução de potência disponível para componentes eletrônicos.	3	Seleção de conector certificado e homologado para características de operação do equipamento	Leitura indireta de sinal e potência através de instrumentos no módulos	4	48	Conector	6	3				
3	Estrutura	Conter componentes eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	Ataque químico acelerado	2	caracterização correta do ambiente de trabalho, dimensionamento com base nas características do ambiente	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	32	Corpo	9	9				
4	Estrutura	Conter componentes eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	cargas e sobrecarga de operação	3	caracterização correta do ambiente de trabalho e dos procedimentos que serão executados, dimensionam com base nas cargas padrão e cargas acidentais de operação	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48	Corpo	9	9				
5	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Carga excessiva	3	caracterização correta do ambiente de trabalho e dos procedimentos que serão executados, dimensionam com base nas cargas padrão e cargas acidentais de operação	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletrônicos	4	48	Tractionador	3	7				
6	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Falha de força para tracionar	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planejadas	monitoramento do deslocamento via sensores (encoder e CCL), medição da corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletrônicos	5	60	Tractionador	9	7				
7	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Força de contato insuficiente	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planejadas	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletrônicos	5	60	Mecanismo de pressão	9	7				
8	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Rodas não alcançam a parede do tubo	4	Dimensionamento de acordo com o ambiente de trabalho, proteção contra obstrução por corpo externo, compatibilidade físico-química com ambiente	encoder para monitorar expansão do mecanismo, medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletrônicos, teste entre missões, comparar com informações de outros módulos e características (perfil) do poço	4	64	Mecanismo de pressão	9	7				

Fonte: Autoria própria

5.2.7 Análise da maturidade interna para execução

Nesta etapa a intenção foi avaliar qual o nível de maturidade do time do projeto para executar, ou seja, desenvolver, construir e testar a proposta de solução alcançada durante a fase de conceito.

Esta avaliação deve ser realizada por todas as disciplinas envolvidas no projeto, afinal, cada uma delas terá que contribuir de maneira significativa para alcançar o objetivo final que é a construção do protótipo do módulo de tração do ROBIN.

Nesse projeto estavam envolvidas diversas disciplinas como mecânica, elétrica, química, fabricação, robótica e outras. E, pelo menos um representante experiente de cada área de conhecimento, deve participar do processo. Neste caso, como foi um teste, a avaliação foi feita apenas pelo autor, com base no seu conhecimento de atuação dos diversos times dentro da ICT.

Nessa avaliação, um dos principais entraves para todas as disciplinas seriam as características do ambiente que era o interior poço de petróleo no pré-sal, *offshore, subsea* de elevada profundidade, *High Pressure / High Temperature*. Por outro lado, outros desenvolvimentos realizados pelo ICT puderam ser indicados com similaridade suficiente para contar, minimamente, como prova de conceito para algumas soluções, principalmente do time de eletrônica.

De maneira geral, toda essa análise deve ser realizada utilizando o fluxograma disponível na Figura 19 como suporte. A Figura 34 exemplifica a saída dessa etapa no formulário do TPN.

Seguindo o exemplo do conjunto do conector, o time do projeto nunca realizou qualquer tipo de projeto que pudesse, sequer, ser encarado como uma prova de conceito para a solução prevista para esses itens, por isso o IML para esse conjunto foi definido como 2.

Figura 34. Execução da avaliação da maturidade interna

ID	Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectibilidade	R P N	Conjunto/ Subconjunto	T R L	I R L	OBS. TRA	I M L	OBS. IMA	T P N
1	Acoplamento	acoplamento mecânico entre módulos e/ou ferramentas	falha estrutural	Soltura entre módulos e/ou ferramentas	4	dimensionamento equivocado, sobrecarga mecânica, ataque químico, efeito de temperatura.	3	Dimensionamento para cargas estimadas, avaliação de situações críticas de sobrecarga, avaliação de compatibilidade físico-química	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48	Conector	9 3	3		2		
2	Acoplamento	Transferência de sinal e potência entre módulos	Redução e/ou perda da capacidade de transmissão de sinal e/ou potência	Falha (parcial ou completa) na comunicação, perda (parcial ou completa) de potência	4	Perda de dados durante a missão, falta de controle momentâneo, perda de controle total, redução de potência disponível para componentes eletro-eletrônicos.	3	Seleção de conector certificado e homologado para características de operação do equipamento	Leitura indireta de sinal e potência através de instrumentos no módulos	4	48	Conector	6 3	3		2		
3	Estrutura	Conter componentes eletro-eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	Ataque químico acelerado	2	caracterização correta do ambiente de trabalho, dimensionamento com base nas características do ambiente	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	32	Corpo	9 9	9		3		
4	Estrutura	Conter componentes eletro-eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	cargas e sobrecarga de operação	3	caracterização correta do ambiente de trabalho e dos procedimentos que serão executados, dimensionam com base nas cagas padrão e cargas acidentais de operação	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48	Corpo	9 9	9		3		
5	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Carga excessiva	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planeadas	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	4	48	Tractionador	9 7	7		3		
6	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Falta de força para tracionar	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planeadas	monitoramento do deslocamento via sensores (encoder e CCL), medição da corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	5	60	Tractionador	9 7	7		3		
7	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Força de contato insuficiente	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planeadas	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	5	60	Mecanismo de pressão	9 7	7		3		
8	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Rodas não alcançam a parede do tubo	4	Dimensionamento de acordo com o ambiente de trabalho, proteção contra obstrução por corpo externo, compatibilidade físico-química com ambiente	encoder para monitorar expansão do mecanismo, medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos, teste entre missões, comparar com informações de outros módulos e características (projeto) do poço	4	64	Mecanismo de pressão	9 7	7		3		

Fonte: Autoria própria

5.2.8 Identificação de subsistemas prioritários

Tendo finalizado a etapa de sequenciamento, é necessário agora coletar os resultados calculados através do formulário padrão do TPN para identificar quais subsistemas e conjuntos terão maior prioridade nos testes. Essa priorização dos testes é dada através da incerteza e/ou risco que cada subsistema e subconjunto tem devido a sua construção conceitual.

Se o par subsistema / subconjunto à medida que o risco (RPN) assume um valor elevado e as maturidades (TRL, IRL e IML) são avaliadas com índices baixos, daí entende-se que este par irá requerer maior atenção do time para realizar provas de conceito, testes, desenvolvimentos e outras ações que serão responsáveis tanto por reduzir os riscos e como para elevar as maturidades.

A Figura 35 apresenta o formulário do TPN completamente preenchido já com os valores de priorização de testes calculados.

Neste ponto é importante salientar que a intenção do método proposto não é a de tolher, cercear ou limitar de qualquer forma o processo de desenvolvimento de soluções inovadoras e inéditas que são inerentes ao processo de desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. O SENAI CIMATEC atualmente é amplamente reconhecido pela sua participação inequívoca em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação em diversas áreas da indústria então, o método deve suportar o processo de identificação de pontos que reduzem as chances de sucesso do desenvolvimento e não direcionar o time de execução para soluções mais triviais, de baixo risco e elevada maturidade da engenharia.

Figura 35. Obtenção do valor do TPN

ID	Subsistema / Sistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectabilidade	R P N	Conjunto/ Subconjunto	T R L	I R L	OBS. TRA	I M L	OBS. IMA	TPN
1	Acoplamento	acoplamento mecânico entre módulos e/ou ferramentas	falha estrutural	Soltura entre módulos e/ou ferramentas	4	dimensionamento equivocado, sobrecarga mecânica, ataque químico, efeito de temperatura.	3	Dimensionamento para cargas estimadas, avaliação de situações críticas de sobrecarga, avaliação de compatibilidade físico-química	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48	Conector	9 3	2			0,0889	
2	Acoplamento	Transferência de sinal e potência entre módulos	Redução e/ou perda da capacidade de transmissão de sinal e/ou potência	Falha (parcial ou completa) na comunicação, perda (parcial ou completa) de potência	4	Perda de dados durante a missão, falta de controle momentâneo, perda de controle total, redução de potência disponível para componentes eletro-eletrônicos.	3	Seleção de conector certificado e homologado para características de operação do equipamento	Leitura indireta de sinal e potência através de instrumentos no módulos	4	48	Conector	6 3	2			0,1333	
3	Estrutura	Conter componentes eletro-eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	Ataque químico acelerado	2	caracterização correta do ambiente de trabalho, dimensionamento com base nas características do ambiente	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	32	Corpo	9 9	3			0,0132	
4	Estrutura	Conter componentes eletro-eletrônicos, conferir forma, resistência mecânica e suportar componentes	falha estrutural	Soltura e/ou exposição de partes /componentes	4	cargas e sobrecarga de operação	3	caracterização correta do ambiente de trabalho e dos procedimentos que serão executados, dimensionam com base nas cargas padrão e cargas acidentais de operação	Inspeção visual entre operações, teste de tração durante a montagem	4	48	Corpo	9 9	3			0,0198	
5	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Carga excessiva	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planeadas	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	4	48	Tractionador	9 7	3			0,0254	
6	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Falta de força para tracionar	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planeadas	monitoramento do deslocamento via sensores (encoder e CCL), medição da corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	5	60	Tractionador	9 7	3			0,0317	
7	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Força de contato insuficiente	3	seleção de motorização e transmissão capaz de entregar o torque e potência necessário para realizar o deslocamento de acordo com as missões previstas e as cargas acidentais planeadas	medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos	5	60	Mecanismo de pressão	9 7	3			0,0317	
8	Deslocamento	Mover o sistema dentro do poço	Capacidade de tração insuficiente	Não conseguir realizar o deslocamento	4	Rodas não alcançam a parede do tubo	4	Dimensionamento de acordo com o ambiente de trabalho, proteção contra obstrução por corpo externo, compatibilidade físico-química com ambiente	encoder para monitorar expansão do mecanismo, medição indireta de corrente e potência consumida pelos motores, drivers e outros componentes eletro-eletrônicos, teste entre missões, comparar com informações de outros módulos e características (projeto) do poço	4	64	Mecanismo de pressão	9 7	3			0,0339	

Fonte: Autoria própria

5.2.9 Construção da rota de validação

Nesta seção, que apresenta o último passo do processo, está apresentada a rota de validação da tecnologia, construída a partir do método proposto no presente trabalho. Uma vez que as informações requeridas foram levantadas ao longo das etapas anteriores, este é o momento de organizá-las de maneira eficiente e assim obter a primeira versão da rota de validação, sendo que está a primeira versão, uma vez que projetos costumam ser dinâmicos, sofrendo alterações ao longo de seu desenvolvimento e essas alterações podem ou não requerer ajustes na rota construída.

Partindo para o processo de construção, este será baseado, principalmente nos resultados apresentados através da Figura 35 e na Figura 31. A partir do valor de TPN mais elevados, o par subconjunto / subsistema é identificado na PBS e, a partir daí, as características que tornaram este item com maior criticidade são elencadas e, para cada um desses itens, ações devem ser propostas visando tanto a redução do risco quanto o aumento da maturidade.

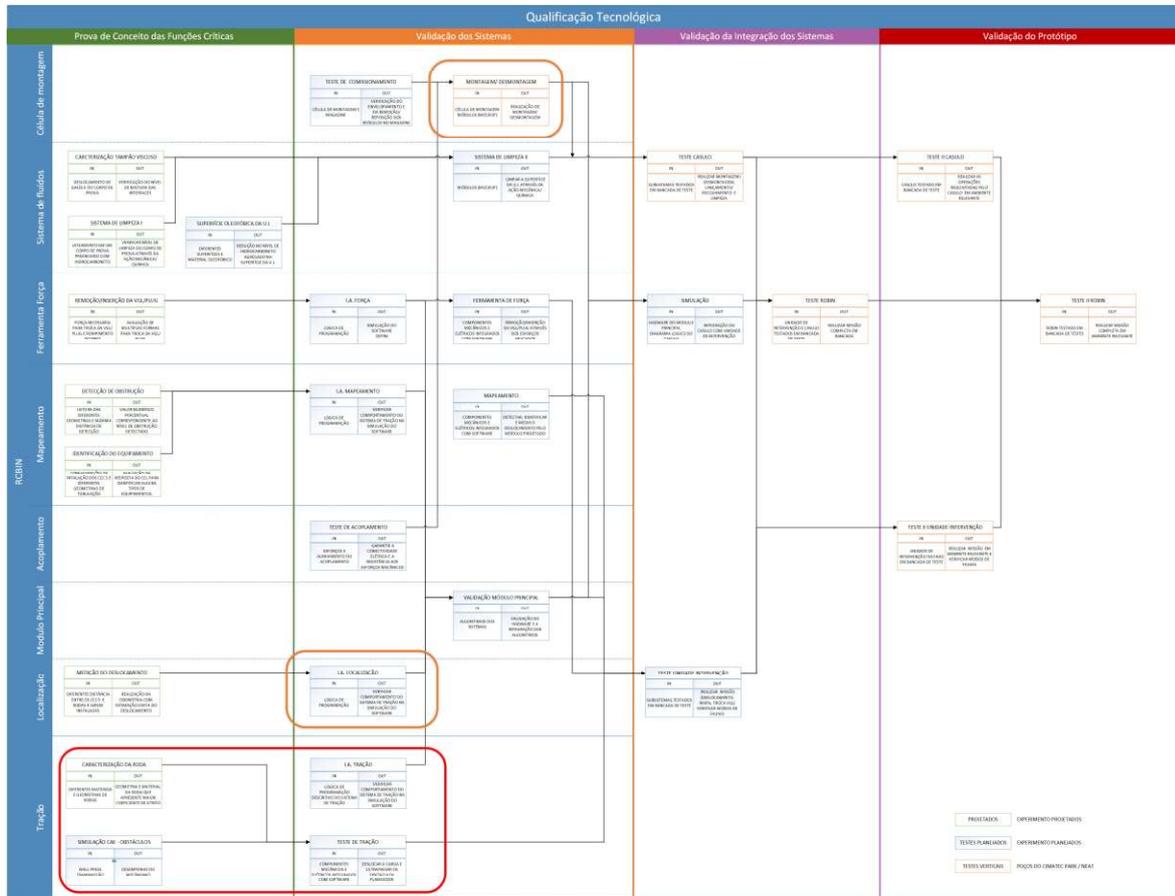
Como exemplo, o estudo de caso demonstrou que o subconjunto tracionador – responsável por impulsionar o robô, movendo-o dentro da coluna de produção do poço de petróleo – apareceu algumas vezes com pontuação elevada estando classificado com frequência com a criticidade de média e alta. Assim, foram levantados os seguintes aspectos, são eles:

- Escolha do método de deslocamento mais eficiente (relação potência consumida vs. capacidade de tração);
- Identificação detalhada do ambiente operacional para realização da missão com identificação de fatores que podem reduzir a vida útil dos componentes e/ou reduzir chances de sucesso;
- Identificação precisa dos cenários de deslocamento e capacidades necessárias, incluindo condições adversas;
- Integração com subconjunto mecanismo de pressão;
- Integração com subconjunto de controle.

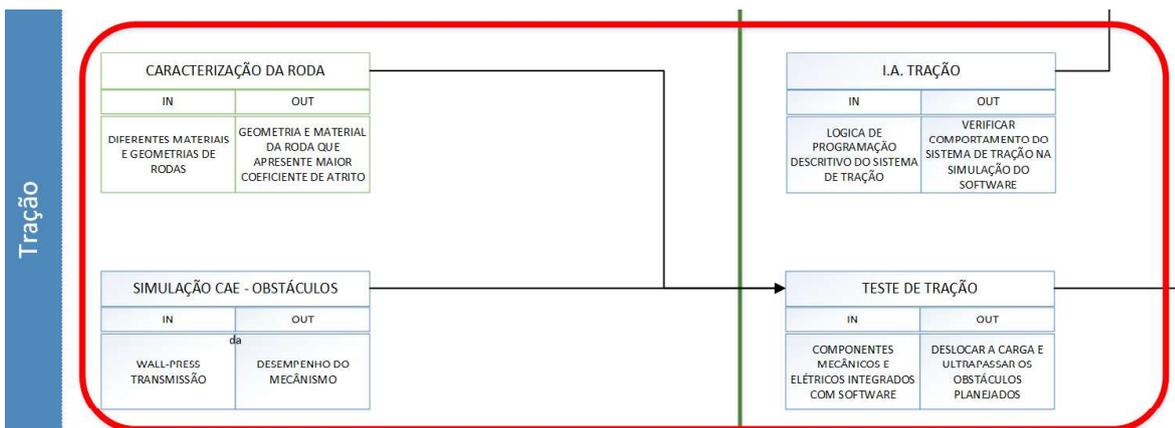
Neste exemplo, a maioria dos itens foram identificados como sendo relevantes durante à execução do projeto e a análise através do método proposto reiterou as conclusões alcançadas pelo time técnico. Entretanto, no passado, no momento de registrar o planejamento da rota de validação (sem um método estruturado), esses itens foram suprimidos do documento e brevemente descritos durante os relatórios. Isso aumenta a possibilidade de incorrer na não execução de avaliações necessárias para os itens listados.

Durante a execução do projeto, uma rota de validação foi desenvolvida e documentada, ela está apresentada na Figura 36. Ela demonstra os principais testes identificados tanto para a unidade casulo quanto para a unidade de intervenção.

Figura 36. (a) Rota de validação completa apresentada durante o projeto, (b) Testes previstos para o subconjunto do tracionador



(a)



Fonte: Autoria própria

A região demarcada através da linha em vermelho, indica os testes e avaliações que foram previstos para o módulo de tração da unidade de intervenção. Neste momento já é possível inferir que, por mais que haja um documento de planejamento experimental para

suportar a execução dos testes indicados, esta rota ainda trata de uma maneira rasa as avaliações necessárias para o completo desenvolvimento do subconjunto estudado.

Outro exemplo interessante para ser evidenciado, é com relação aos subconjuntos de conectores (macho e fêmea), estes não fazem parte apenas do módulo de tração, mas estarão presentes tanto nos demais módulos existentes na unidade de intervenção quanto em um subconjunto presente na unidade casulo. Ao analisar o contexto dos conectores, alguns pontos críticos foram levantados, sendo que alguns deles não haviam sido identificados durante a execução do projeto, são eles:

- a. Aplicação em ambientes com características para os quais não foram qualificados (imerso em petróleo);
- b. Uso de dispositivo mecanizado para realizar a conexão / desconexão;
- c. Utilização para transmissão modulada para transmissão de sinal e potência;
- d. Proteção contra bloqueio pela presença de “corpo estranho”;
- e. Layout de junção mecânica com demais subconjuntos;
- f. Suportar cargas de operação, incluindo condições adversas.

Para este exemplo, as marcações na cor laranja indicam os testes que estavam planejados para o subconjunto. Neste caso, talvez o ponto mais crítico seria a validação do conector eletrônico para o novo ambiente, uma vez que não se identificou um item comercial que fosse específico para realizar a conexão imerso em petróleo ou ambiente de características similares.

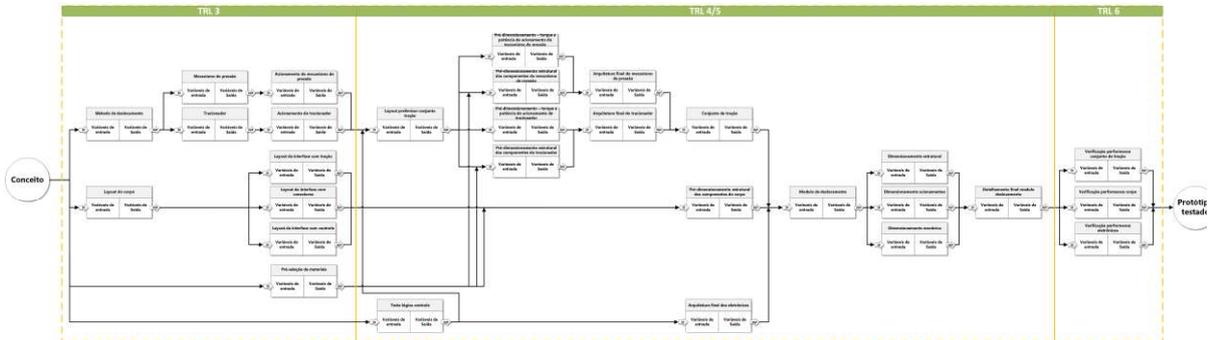
Por outro lado, a Figura 37 apresenta o resultado da rota de validação construída a partir do emprego do método proposto no presente trabalho. Esta demonstra tanto a sucessão / sequenciamento de atividades que estão relacionadas a um mesmo subconjunto, bem como a integração entre os subconjuntos.

Cada um dos quadros indicados na rota representa bloco de ações e/ou testes que devem ser executados para buscar a redução dos riscos identificados durante o processo e aumento da maturidade das soluções escolhidas para o conceito. Essas ações e/ou testes vão desde modelamento analítico de uma solução, execução de simulações em modelos computacionais (CAD, CAE e outros), execução de testes físicos de baixa fidelidade, podendo chegar até a construção completa de um protótipo de elevada fidelidade com o produto almejado.

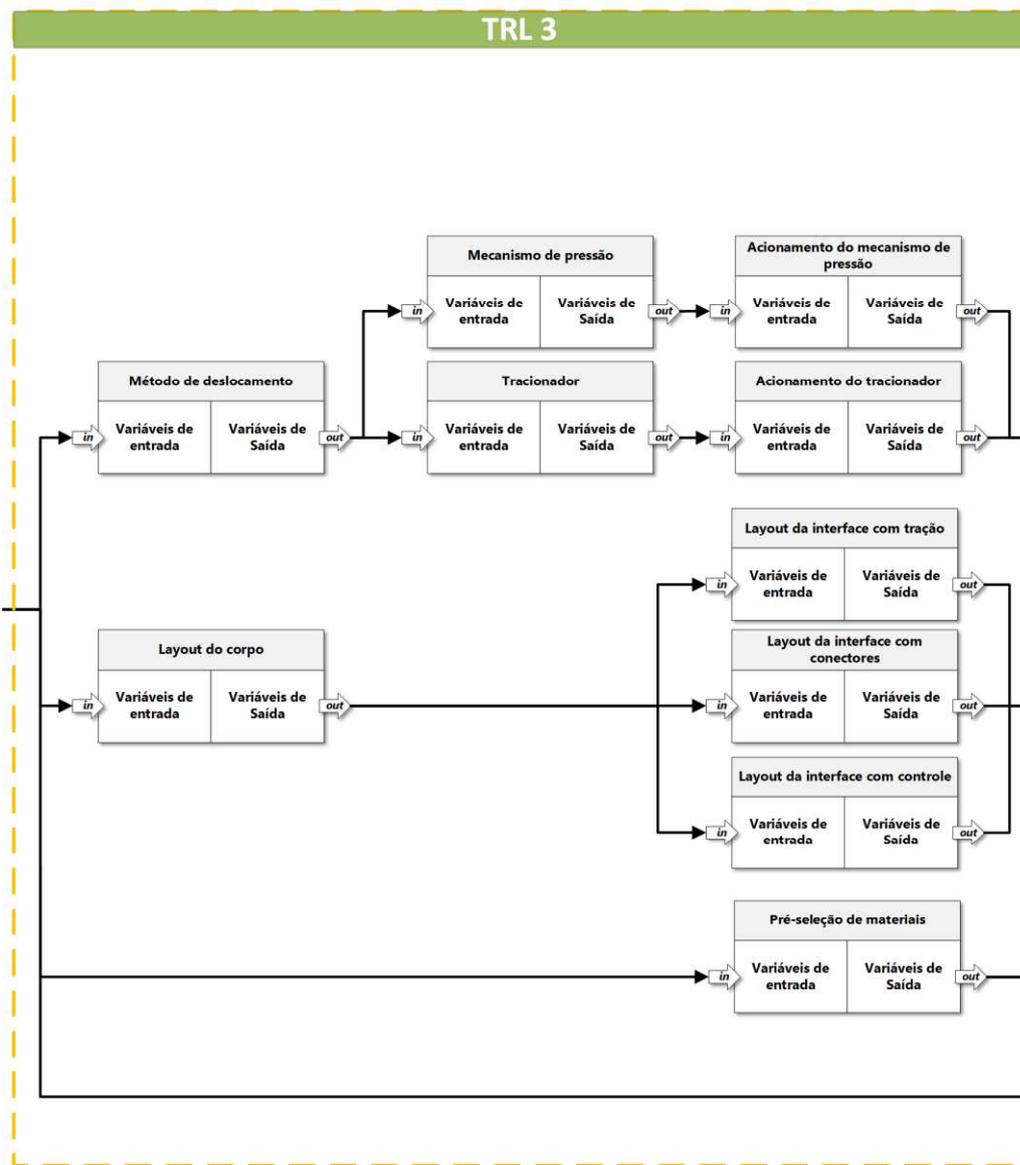
Ainda com relação os quadros de ação indicados na rota, cada uma das disciplinas possui ações específicas, que podem ser realizadas tanto de maneira a realizar uma avaliação isolada, quanto integrando as ações com as requeridas por outras disciplinas, que pode reduzir a quantidade de experimentação realizada, porém, podendo levar a aumento da complexidade do teste.

Figura 37. (a) Rota de avaliação da tecnologia completa para o subconjunto módulo de tração construída a partir do método proposto, (b) Destaque para testes de avaliação para TRL 3

(a)



(b)



Fonte: Autoria própria

5.3 Estudo de caso em projetos em execução – Torre 2

O projeto Torre 2 está associado ao desenvolvimento de um equipamento móvel telescópico que é utilizado para realizar a manutenção de cabos de alta tensão quando esses se partem.

Para fazer as amarrações da torre, são utilizadas âncoras que devem ser cravadas ao solo para suportar a torre através de cabos denominados estai. O ponto do projeto que será foco dessa análise é o desenvolvimento das âncoras recuperáveis uma vez que não estão disponíveis no Brasil e mesmo no mercado internacional, o custo desses itens se demonstrou proibitivo para a aplicação nacional.

Após a breve explanação sobre o desenvolvimento em questão, serão apresentados os principais resultados obtidos com a aplicação do método proposto, que seguiu o fluxo de atividades apresentado na Figura 13.

A Figura 38 apresenta a planilha utilizada para o cálculo do TPN, nela é possível observar tanto a parte referente ao FMECA como a parte referente à análise de maturidade realizada. Avaliando quanto às funcionalidades, observou-se que os itens de maior risco estão relacionados ao processo de inserir a âncora no solo e na etapa que esta deverá se armar para suportar os esforços, os quais eram já esperados para o projeto.

Por outro lado, ao avaliar a maturidade da solução, bem como a maturidade interna para execução, é possível observar alguns aspectos que demonstram baixo índice de maturidade, a exemplo do mecanismo de giro para resgate da âncora. Apesar da solução aparentar ser simples e trivial, há a necessidade de avaliar se a solução proposta é funcional e viável. Seguido a isso, é imperativo o correto posicionamento do mecanismo para viabilizar a dinâmica do movimento do corpo, a seleção do material e um dimensionamento estrutural para suportar as cargas atuantes. Essas necessidades foram identificadas durante a análise de maturidade e ficaram registradas nos campos de observação.

De posse das considerações necessárias a cada um dos conjuntos que formam a solução, bem como a sequência de validação previamente estabelecida, é possível iniciar a estruturação da rota de validação da tecnologia.

Algumas das ações podem iniciar em paralelo e seguem afunilando para o teste da solução completa. Um ponto interessante é com relação aos testes de mais alta maturidade que, neste caso, foi proposto que o equipamento fosse fabricado através de outro processo visando reduzir tempo e custo envolvidos no processo de manufatura, mas possibilitaria a validação do item. E o processo real de fabricação será utilizado nos testes que serão realizados no último nível de maturidade esperada para o desenvolvimento em questão.

Figura 38. Planilha de cálculo do TPN para o projeto Torre 2

Projeto: Torre 2		Tipo de FMEA: Conceitual		Equipe executora:														
Cliente(s)/Parceiro(s):		Fase de Aplicação: 23/08/2022																
Gerente do Projeto:		Data da primeira verif:																
Líder Técnico do Projeto:		Data desta revisão:																
ID	Subsistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	electibilidade	RPN	Subconjunto associado	T I R L	T I R L	Obs. TRA	I M L	Obs. IMA	T P N
18	Resgate	Recuperar a âncora enterrada no solo	Quebra da âncora	Incapacidade de recuperação	2	Material com pouca resistência Mal dimensionamento Imperícia do operador Falha na fabricação	3	Dimensionamento correto da âncora Escolha do material adequado Teste de validação Treinamento	Inspeção visual	1	6	Âncora - Mecanismo de giro para recuperação	3 1	2				0,1000
8	Inspeção do Solo	Determinar resistência do solo	Medição incorreta	1 - âncora incorreta para operação	2	Imperícia do operador; Solo muito heterogêneo.	2	Treinamento do operador; Repetição.	-	4	16	Penetrômetro	5 2	2				0,0800
20	Resgate	Recuperar a âncora enterrada no solo	Quebra da haste de recuperação	Incapacidade de recuperação	2	Material com pouca resistência Mal dimensionamento Imperícia do operador Falha na fabricação	3	Dimensionamento correto da haste Escolha do material adequado Teste de validação Treinamento	Inspeção visual	1	6	Cabo de aço	4 3	3				0,0167
23	Tracionamento	Travar a âncora no solo	Quebra da âncora	Atraso na operação	1	Material com pouca resistência Mal dimensionamento Imperícia do operador Falha na fabricação	2	Dimensionamento correto da âncora Escolha do material adequado Teste de validação Treinamento	Inspeção visual Teste de tração	3	6	Âncora - Geometria para ancoragem	4 3	7				0,0071
26	Tracionamento	Travar a âncora no solo	Quebra da âncora	Atraso na operação	1	Material com pouca resistência Mal dimensionamento Imperícia do operador Falha na fabricação	2	Dimensionamento correto da âncora Escolha do material adequado Teste de validação Treinamento	Inspeção visual Teste de tração	3	6	Âncora - Mecanismo de giro	6 6	7				0,0024

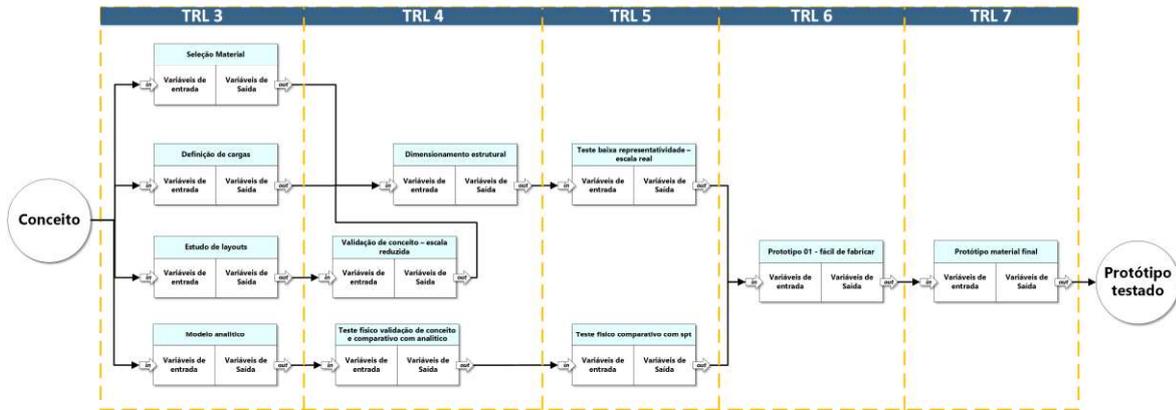
Fonte: Autoria própria

Por fim, a Figura 39 apresenta a rota de validação da âncora recuperável desenvolvida no projeto em questão, visando que a mesma possa ser submetida por sucessivas avaliações visando aproximar a solução, o máximo possível, dos requisitos de qualidade propostos pelo projeto.

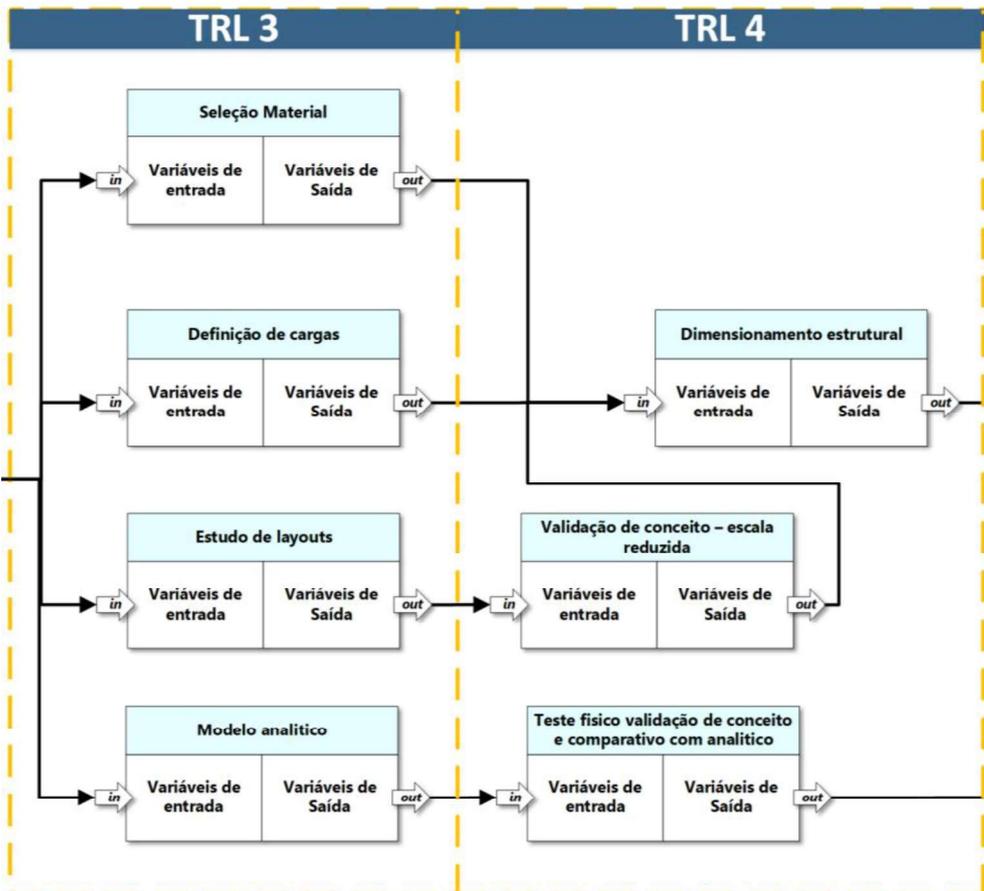
Outro ponto importante está associado ao desenvolvimento do dispositivo de avaliação do solo, quanto a sua resistência à penetração da âncora. Este foi inicialmente modelado analiticamente, posteriormente desenvolvido um protótipo rápido / simplificado para validar o seu funcionamento e, por fim, será desenvolvido um protótipo representativo para coleta dos dados, que serão confrontados com equipamentos de mercado (cujo custo de aquisição e logística não correspondem às expectativas do parceiro que solicitou o desenvolvimento).

Figura 39. (a) Rota de validação da tecnologia completa para a âncora do projeto Torre 2, (b) Recorte para os testes identificados para os TRL 3 e 4

(a)



(b)



Fonte: Autoria própria

5.4 Estudo de caso em projetos em execução – *Cold Bonded Repair*

O projeto *Cold Bonded Repair* está associado ao desenvolvimento de uma ferramenta para aplicação de reparo em cascos de navio sem que seja necessário o uso de soldas submersas e mergulhadores no processo.

O projeto irá desenvolver uma ferramenta complexa para a aplicação da solução de reparo, porém, devido à sua complexidade, será utilizado apenas uma pequena parte do sistema para validar o método. Este é o subconjunto associado ao processo de preparação superficial que precede a aplicação do reparo.

Após a breve explanação sobre o desenvolvimento em questão, serão apresentados os principais resultados obtidos com a aplicação do método proposto, que seguiu o fluxo de atividades apresentado na Figura 13.

O primeiro ponto de atenção na execução das atividades do método foi a realização do FMECA, pois a intenção, desde o início, foi focar em um dos subconjuntos da solução, neste caso o de preparação superficial. Entretanto, no momento da aplicação do FMECA ainda não existia a estrutura do produto para associar os subsistemas ao subconjunto de interesse, então, isso foi realizado de maneira prematura, uma vez que ainda não era a intenção expandir a análise para todos os subsistemas.

Por outro lado, o time do projeto que estava participando da execução do FMECA, percebeu, a partir desse momento, que a aplicação da ferramenta já proporcionava um aprofundamento nos problemas e dificuldades que, futuramente, o projeto iria lidar e optaram por expandir a aplicação da ferramenta para todos os subsistemas definidos para o projeto.

Durante a aplicação do FMECA, além de identificar os subsistemas mais críticos, ainda foram evidenciadas ações que o time estava ou negligenciando ou tendo dificuldades de identificar sua importância, principalmente as relacionadas à definição de parâmetros de operação das soluções possíveis / aplicáveis, uma vez que muitas das pesquisas de similares indicaram operação manual, sendo que normas e legislações limitam e/ou protegem a condição de uso da ferramenta por um operador humano. Ou seja, alguns dos riscos e limitações que haviam sido imaginados inicialmente, estavam mais relacionados à operação manual.

Após a definição da proposta de solução, ou seja, do conceito do equipamento em desenvolvimento, foi possível dar início às análises da maturidade (TRL, IRL e IML), com ela diversos aspectos importantes da solução puderam ser identificados e as avaliações que esses itens irão requerer foram, inicialmente, mapeados.

Um dos primeiros pontos identificados e associados à maturidade da solução foi que uma das soluções propostas não foram qualificadas para operação automatizada e subaquática ainda, ou seja, a solução apresenta uma ferramenta que foi adaptada para trabalhar submersa, mas ainda está em processo de validação. Além disso, tanto a solução

para trabalho a seco quanto para trabalho molhado, são para o uso manual e com isso, limitações de potência, peso, vibração e outras são impostas para proteger a saúde do operado, assim, para utilizá-la acoplada a uma máquina, novos parâmetros podem ser utilizados o que poderá tornar a atividade mais rápida, por exemplo.

Outro exemplo importante é que, até o presente momento, não foi identificado trabalhos técnicos e /ou científicos que apresentem informações sobre o uso de sensores ultrassônicos em ambiente submerso, tanto avaliando o efeito do deslocamento de massas de água entre o sensor e a superfície de referência, quanto a influência de partículas sólidas em suspensão novamente entre o sensor e a superfície de referência. Esses efeitos podem tanto criar distorções, ruídos, sombreamentos ou outros efeitos que não são de conhecimento do time de execução, por isso testes serão necessários para caracterizar e verificar esses efeitos na operação. Em paralelo, intensificar-se-á a busca na literatura relacionada a estas condições na tentativa de possibilitar a simplificação dos testes.

Mais um exemplo, mudando um pouco a competência de avaliação, está relacionado ao mecanismo de movimentação do conjunto para atingir a superfície a ser trabalhada. Durante a construção do conceito, foi pensado em uma solução utilizando guias lineares e apoiadas unilateralmente. Ao avaliar que haverá a exposição desses componentes tanto a particulado sólido em suspensão, como a cargas e vibração, foi possível visualizar uma proposta que aumente o nível de engastamento, reduza as superfícies de movimentação exposta e introduza maior facilidade de acionamento. Por isso, testes para validação do layout, dimensionamento das cargas atuantes e redução da transferência de vibração para a estrutura geral se mostraram fundamentais para seguir validando a solução.

Assim, a Figura 40 traz um recorte da planilha de cálculo do TPN composta pela análise do risco da maturidade ao par subsistema / subconjunto, bem como a Figura 41 apresenta a rota de validação proposta para o conjunto de preparação superficial, já deixando as indicações de integrações com outros conjuntos para poder expandir e obter a rota de validação da solução do projeto completo.

Partindo para a rota de validação, nesta é possível ver, na sua porção inferior, uma caixa de teste isolada sem derivar para outros testes, isso se refere a uma solução alternativa identificada pelo time, que, apesar de não ter sido inicialmente aceita para estar incorporada ao conceito, esta possui um potencial para ser empregado no equipamento em futuras atualizações. Por isso, foram indicados testes para determinação dos parâmetros de operação quando essa solução for exposta ao ambiente e condições de trabalho a qual o equipamento será submetido.

Figura 40. Planilha de cálculo do TPN para o projeto Cold Bonded Repair

Projeto: Cold Bonded Repair		Tipo de FMEA: Conceitual		Equipe executora:		TPN									
Cliente(s)/Parceiro(s):		Fase de Aplicação:		Modo de detecção atual		I M L									
Gerente do Projeto:		Data da primeira verif:		Modo de prevenção atual		OBS. TRA									
Líder Técnico do Projeto:		Data desta revisão:		Probabilidade		OBS. IMA									
ID	Subsistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Potenciais causas	Severidade	Detectabilidade	R P N	Subconjunto	T R L	I R L	OBS. TRA	I M L	OBS. IMA	T P N
6	Preparação superficial	Preparação da rugosidade	desgaste excessivo do metal base	fragilização do metal base	Falhas preexistentes no metal base	4	3	36	Conjunto de preparação superficial	5	3	Caracterização dos defeitos e como o ultrassom vai identificar eles Expor o ultrassom a: Correntes de água, efeito da distância entre o equipamento e o metal base e a presença de particulados	4		0,0600
2	Preparação superficial	Remoção de coberturas (tintas e outros)	Remoção incompleta	Adesão insuficiente, levando o c-claw a se soltar com menor esforço	Seleção incorreta do sistema de preparação;	3	3	27	Conjunto de preparação superficial	5	3	*Pesquisa para identificação de ferramentas e tecnologias aplicáveis ao processo de preparação; *Realização de testes comparativos de performance entre as ferramentas e tecnologias;	4		0,0450
1	Preparação superficial	Remoção de coberturas (tintas e outros)	Remoção incompleta	Adesão insuficiente, levando o c-claw a se soltar com menor esforço	Ferramenta de preparação desgastada;	2	4	24	Conjunto de preparação superficial	5	3	*Testes preliminares para identificar o tempo real de operação da ferramenta quando submetido às condições de uso previstas no processo; *Inspeção visual entre operações; *Monitoramento do tempo de operação da ferramenta;	4		0,0400
3	Preparação superficial	Remoção de coberturas (tintas e outros)	Remoção incompleta	Adesão insuficiente, levando o c-claw a se soltar com menor esforço	Tempo insuficiente de preparação;	2	3	18	Conjunto de preparação superficial	5	3	*Pesquisa por literatura *Testes para avaliar o tempo mínimo necessário (6sigma) de preparação em condições representativas *Levantamento das propriedades das tintas e condições de aplicação	4		0,0300

Fonte: Autoria própria

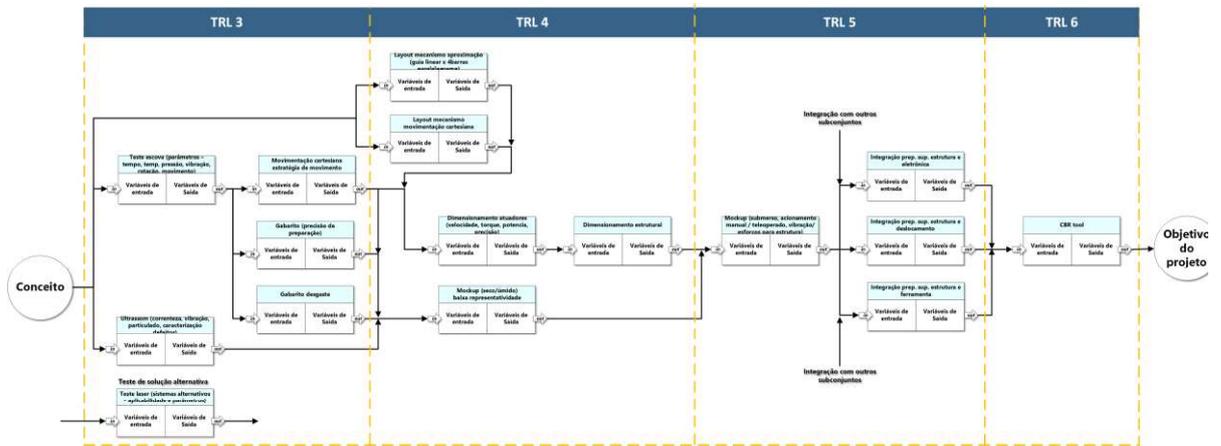
As ações de validação indicadas anteriormente e outras que não descritas no texto, foram então organizadas de acordo com o sequenciamento previsto pelo time durante a construção da rota, iniciando com aspectos que vão desde a definição de parâmetros iniciais para auxiliar ao dimensionamento dos componentes e peças, chegando até a integração completa do conjunto de preparação.

Outro ponto importante foi deixar previstos pontos de integração com outros subconjuntos, por exemplo com a estrutura principal, responsável por suportar os demais subconjuntos, para identificar a influência do conjunto de preparação superficial sobre a estrutura e outros subconjuntos.

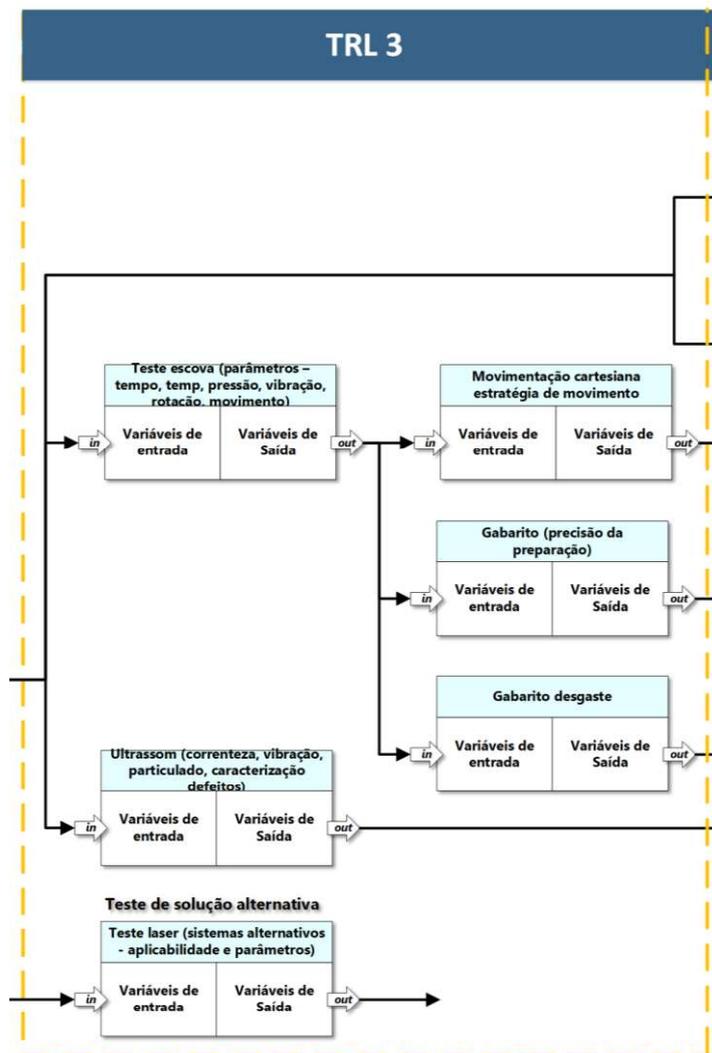
Por fim, entendeu-se que a rota apresentada seria suficiente para imprimir sobre as partes e todo o subconjunto de preparação superficial as avaliações necessárias para validar se este subconjunto está atendendo às características de funcionamento e aos requisitos de qualidade esperados para o correto funcionamento da solução completa.

Figura 41. (a) Rota de validação da tecnologia completa para o subconjunto de preparação superficial do projeto Cold Bonded Repair, (b) Recorte da rota para o TRL 3

(a)



(b)



Fonte: Autoria própria

5.5 Análise do questionário de mapeamento II

O segundo questionário realizado, que está disponível no Anexo C – Questionário mapeamento II, foi veiculado após a realização do workshop utilizado para apresentar a metodologia proposta para os gerentes de projeto e líderes técnicos do SENAI CIMATEC.

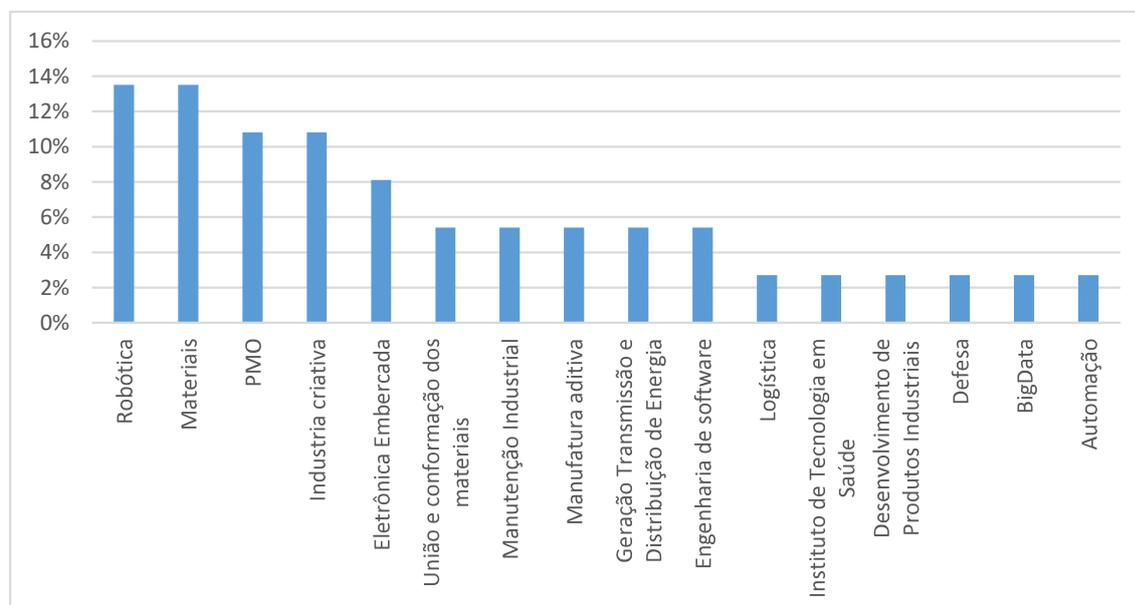
Visando possibilitar o maior número possível de participantes, o workshop foi agendado para ser realizado em dois dias diferentes, possibilitando a participação da maior quantidade possível de colaboradores.

O primeiro dia do workshop 55 (cinquenta e cinco) pessoas estiveram presentes e no segundo dia foram mais 15 (quinze) pessoas participando. Sendo que foram convidadas, aproximadamente, 100 (cem) pessoas participar dos dois dias do workshop.

Ao todo foram 37 (trinta e sete) respondentes de mais de dez diferentes áreas de atuação, sendo que mais de 60% atuam nos projetos ou como líder técnico ou líder de disciplina. Juntamente com os gerentes de projeto, estes são papéis de elevada importância para o projeto pois, são eles que mais norteiam as atividades técnicas desenvolvidas ao longo do desenvolvimento como é realizado no SENAI CIMATEC.

A Figura 42 apresenta a distribuição percentual de participantes do workshop, que responderam ao questionário, em função das áreas tecnológicas que eles atuam no SENAI CIMATEC. Sendo assim, é possível inferir que o workshop teve um elevado quórum com diversas áreas estando envolvidas.

Figura 42. Percentual de respondentes por área tecnológica do SENAI CIMATEC



Fonte: Autoria própria

Dentre os respondentes, mais de 90% indicaram que têm conhecimento de razoável a muito bom sobre a metodologia DIP&T do SENAI CIMATEC e que, com alguma frequência, costumam verificar por atualizações e melhorias no processo interno.

Dos colaboradores que responderam à pesquisa, menos de 40% indica que, nos projetos que participou, frequentemente constroem rotas de validação da tecnologia, porém, aproximadamente, 90% da amostragem indicou ter dificuldade moderada para construir esse documento. Assim como, aproximadamente 90% dos participantes da pesquisa indicaram ser de dificuldade moderada a difícil realizar a priorização de provas de conceitos e testes ao longo do projeto.

Outro aspecto importante é que mais de 30 respostas indicam que com frequência ocasional ou superior, provas de conceitos ou testes importantes deixam de ser identificados ao longo do desenvolvimento.

Focando no método apresentado, dentre os respondentes, mais de 90% indicou que o método apresentado possui uma sequência clara e inteligível, assim como, o mesmo percentual indicou que o método, segundo a percepção inicial, parece de dificuldade moderada a muito fácil a sua execução.

Mais de 80% das pessoas que responderam ao formulário indicaram que o método apresentado irá facilitar muito o processo de identificação de itens críticos para a validação da tecnologia em desenvolvimento. Assim como, aproximadamente também 80% das respostas indicam que o método proposto irá facilitar o processo de construção da rota de validação.

Por outro lado, mais de 30% das respostas enviadas acreditam que o método poderá exigir muito esforço extra para a sua realização.

Quando foram questionados sobre a probabilidade de indicar o método para outros ICTs, mais de 60% afirmaram a indicação é provável ou quase certa.

Toda as respostas ao questionário estão disponíveis no Anexo D – Respostas ao questionário de mapeamento II.

5.6 Análise do questionário de mapeamento III

O terceiro e último questionário, que está disponível no Anexo E – Questionário mapeamento III, este foi aplicado ao time de técnicos e pesquisadores que participaram do projeto utilizados como estudo de caso e estiveram envolvidos com o processo de construção da rota de validação dos projetos.

Neste questionário a intenção foi coletar a percepção do time do projeto sobre a metodologia e o seu emprego no projeto para a construção da rota de validação da tecnologia. Ao todo foram 08 (oito) respondentes que estão associados às áreas de competência como: DPI, Materiais, Eletrônica Embarcada e Robótica.

Ao serem questionados sobre a clareza da sequência das atividades previstas no método pelo menos sete pessoas responderam que estava muito claro e uma resposta indicou clareza razoável.

Quando foram perguntados sobre a dificuldade de executar o método 63% responderam que tiveram dificuldade moderada e 38% indicaram como fácil a sua execução.

Para as questões 6 e 7 que arguem, respectivamente, se o uso do método tanto facilitou a identificação dos itens críticos para o procedimento de validação, quanto facilitou o processo de construção da rota de validação. Para a pergunta número 6, 75% das respostas indicam muito e 25% completamente, já para a pergunta 7, 63% indicou a opção muito e 25% a opção completamente.

Por outro lado, ao serem solicitados para indicar a opinião sobre o esforço extra para a realização desse procedimento 88% dos participantes indicaram que requer, no mínimo, um esforço razoável para executar o novo procedimento.

Por fim, mais de 60% do time avaliado informou que provavelmente indicaria o procedimento e os outros quase 40% pontuaram como quase certa a indicação do método para implantação em outros ICTs.

Toda as respostas ao questionário estão disponíveis no Anexo F – Respostas ao questionário de mapeamento III.

6 Conclusões

O presente trabalho teve seu desenvolvimento motivado a partir dos problemas relacionados ao processo de identificação, definição e priorização de avaliações, provas de conceito, testes e tantas outras ações necessárias ao processo de validação requerido pelo desenvolvimento de novos produtos visando aferir o atingimento, ou não, dos requisitos de qualidade propostos para o objeto do projeto. Então, ficou estabelecido como objetivo geral deste trabalho, o desenvolvimento de uma metodologia para auxiliar o processo de construção de rotas de validação de produtos e/ou tecnologias a partir da fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos.

Considerando o primeiro objetivo específico, construir conhecimento estruturado sobre PDP, ferramentas de análise da maturidade (TRL, IRL, SRL, MRL, entre outras), e ferramentas para avaliação de modo de falha (FMEA / FMECA), entende-se que este foi atendido através da revisão bibliográfica realizada.

Referente ao segundo objetivo específico, propor um método para construção de rotas de validação da tecnologia a partir da fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos, entende-se que este também foi atendido e, como consequência, foram gerados os seguintes subprodutos:

- Estabelecimento do índice TPN e sua escala para indicar o nível de prioridade requerido pelo par subsistema / subconjunto durante o processo de validação ao qual o desenvolvimento será submetido, sendo que este poderá ser menos intenso se o valor calculado do TPN estiver nos intervalos iniciais de sua faixa, ou mais intenso, se o TPN assumir valores mais elevados;
- Construção da escala de valores do TPN vinculando os índices RPN, TRL, IRL e IML, onde o TPN inicia em zero e cresce até o valor de 10,0000. Sendo que foi estabelecida uma proposta de combinações de RPN, TRL, IRL, IRL e IML para estruturar os cinco níveis de priorização;
- Estabelecimento do índice IML, referente à maturidade interna de execução da solução proposta pelo projeto, este foi baseado na escala do TRL proposto pela NASA e o processo de avaliação da maturidade interna (IMA) foi adaptado do processo TMA, também da NASA;
- Foi construído um formulário padronizado para realização da análise da priorização de testes, onde o time técnico do projeto, poderá fazer uso para estruturar e registrar o procedimento, identificando os pontos críticos para, posteriormente, elencá-los no documento da rota de validação da tecnologia.

Em relação ao terceiro objetivo específico, testar o método e avaliar sua efetividade através de estudos de caso, novamente entende-se que este foi atendido através das múltiplas avaliações realizadas, foram elas:

- Estudo de caso inicial, de baixa complexidade, que auxiliou ao autor a estruturar o método proposto, sua sequência de atividades, os índices IML e TPN, a construção do formulário de avaliação do TPN e, por fim, a escala do TPN;
- O estudo de caso com o projeto ROBIN, que foi o desenvolvimento de um sistema complexo envolvendo diversas competências / disciplinas do conhecimento, servindo para consolidar o uso dos subprodutos gerados no trabalho para apoiar a construção da rota de validação da tecnologia;
- A aplicação do método em dois projetos atualmente em execução, onde o procedimento foi apresentado e realizado em conjunto com o time de técnicos e pesquisadores para a obtenção das rotas de validação da tecnologia;
- Realização de workshop para apresentação da metodologia desenvolvida para o time de técnicos e pesquisadores do SENAI CIMATEC, para que estes possam começar a se familiarizar com o procedimento. Após o workshop, um questionário de mapeamento foi passado aos participantes, onde uma grande quantidade desses responderam, indicando a aderência da ferramenta proposta aos desenvolvimentos realizados pela instituição, a percepção sobre essa ferramenta estruturar o processo de construção da rota de validação e ainda a opinião sobre a validade da ferramenta ao ponto de indicar para ser adotado por outros ICTs;
- Aplicação de questionário aos técnicos e pesquisadores que executaram o método nos projetos em execução utilizados como estudos de caso, sendo que estes indicaram que o método realmente auxiliou o processo, tornando-o mais fácil e estruturada a sua execução.

Então, após a verificação de atingimento dos objetivos, é possível inferir que o pressuposto, estabelecido no presente trabalho, o qual indaga sobre a possibilidade de estabelecer um método estruturado a ser aplicado na fase de projeto conceitual para construir uma rota de validação da tecnologia, é verdadeiro sendo que este foi apresentado ao longo deste trabalho.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Uma vez realizado apresentação do método proposto, os resultados alcançados com a sua aplicação em projetos, bem como a opinião do time técnico envolvido ao longo do desenvolvimento do trabalho, verificam-se oportunidades para continuar os estudos relacionados ao desenvolvimento, bem como aprimoramentos à proposta realizada, são eles:

- Expansão dos parâmetros de análise:

Para isso poderão ser incorporadas à análise outros parâmetros de maturidade, por exemplo o MRL ou CRL, visando ampliar a análise e assim, conseguir maior abrangência da avaliação. Assim, outros aspectos poderão ser cobertos durante o processo o que trará maior robustez para a análise.

- Ampliação do detalhamento dos subsistemas / subconjuntos:

Ao analisar os subconjuntos e subsistemas, é suprimido uma série de fatores relacionadas às funções e componentes do sistema, ao expandir a avaliação para esse nível, mais detalhado, provavelmente será possível identificar aspectos mais específicos que não estão sendo cobertos pelo processo da forma que foi desenvolvido.

- Implementar de forma oficial à metodologia de DIP&T do SENAI CIMATEC:

Essa ação irá requerer a preparação de um material oficial de apresentação e treinamento do time de técnicos e pesquisadores para garantir que todos estarão aptos a utilizar o método conforme foi concebido.

Como desdobramento dessa ação, em função do uso constante e por profissionais de diversas áreas de competência, inevitavelmente surgirão indicações para aprimoramentos do método visando que este seja cada vez mais robusto e de fácil aplicação.

- Expansão do uso:

O SENAI CIMATEC atualmente possui diversos parceiros, sejam eles outras ICT ou empresas dos mais variados setores da indústria. Uma forma interessante para continuar testando a robustez do método poderia ser através do intercâmbio de conhecimento, apresentando o método para estes parceiros e fomentando que fosse colocado em prática por eles, assim, estando inseridos em uma cultura diferente é possível que contribuições sejam realizadas, tanto reforçando a validação do método como trazendo melhorias à proposta realizada.

Além disso, o uso nos projetos precisa ser levado além da fase conceitual. Uma vez definida a rota de validação, a cada ação realizada é necessário reavaliar o resultado obtido visando garantir que o risco foi reduzido bem como houve o aumento da maturidade. Assim, ajustes na rota de validação, inserindo novas ações ou removendo alguma das existentes, podem ser requeridos.

- Integrar com programas de qualificação:

Uma vez que o método proposto serve para planejar a validação do desenvolvimento, é possível associar esse planejamento com processos de qualificação de produtos existentes no mercado, fazendo assim que o processo assumira uma robustez ainda maior.

Entretanto, isso irá gerar uma criação de múltiplos caminhos, uma vez que cada setor industrial tem seus próprios aspectos normativos. Por exemplo, a indústria de petróleo com as normas API, ou equipamentos da área de saúde com as diretrizes da ANVISA, entre outros terão fluxos específicos.

- Desenvolvimento de aplicações computacionais:

Sempre se busca uma forma de realizar atividades de uma maneira mais simples e fácil, aplicações computacionais costumam atuar fortemente nesses casos. Assim, desenvolver uma aplicação que fosse capaz de suportar o uso da metodologia, incorporando aspectos para reduzir a curva de aprendizado, automatizar procedimentos, acoplar outras etapas de desenvolvimento e possibilitar ações de monitoramento / atualização / controle do processo seria uma excelente oportunidade de continuar o trabalho com o método proposto.

Neste caso, é importante pensar em aspectos, como: O conceito de sistema que integre outras funcionalidades necessárias e inerentes ao PDP para evitar que esta seja apenas mais uma ferramenta de um universo de múltiplas outras ferramentas; O segundo que este seja capaz de se integrar e/ou interagir com outras aplicações computacionais da engenharia, agregando valor ao uso em conjunto dessas soluções.

Referências

AIRFORCE. **Air Force Research Laboratory**. 2021. Disponível em: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104463/air-force-research-laboratory/>. Acesso em: 9 set. 2022.

ALTUNOK, Taner; CAKMAK, Tanyel. A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. **Advances in Engineering Software**, [S. l.], v. 41, n. 5, p. 769–778, 2010. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2009.12.018.

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. **GUIDANCE NOTES ON FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) FOR CLASSIFICATION**. [s.l.] : American Bureau of Shipping, 2015.

ANDERSEN, Siri; MOSTUE, Bodil Aamnes. Risk analysis and risk management approaches applied to the petroleum industry and their applicability to IO concepts. **Safety Science**, [S. l.], v. 50, n. 10, p. 2010–2019, 2012. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.07.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.07.016>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 16290:2015 Sistemas espaciais - Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação. . 2015.

BRILHUIS-MEIJER, Ellen; PIGOSSO, Daniela C. A.; MCALOONE, Tim C. Integrating Product and Technology Development: A Proposed Reference Model for Dual Innovation. **Procedia CIRP**, [S. l.], v. 50, p. 32–37, 2016. DOI: 10.1016/j.procir.2016.05.037. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.037>.

CASTELLION, George; MARKHAM, Stephen K. Perspective: New product failure rates: Influence of Argumentum ad populum and self-interest. **Journal of Product Innovation Management**, [S. l.], v. 30, n. 5, p. 976–979, 2013. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2012.01009.x.

DESJARDINS, Jeff. **Visualizing How Much Countries Spend on R&D**. 2018. Disponível em: <https://www.visualcapitalist.com/money-country-puts-r-d/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

DUNJÓ, Jordi; FTHENAKIS, Vasilis; VÍLCHEZ, Juan A.; ARNALDOS, Josep. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 173, n. 1–3, p. 19–32, 2010. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.076.

ENSSLIN, Leonardo; QUEIROZ, Shirley; GRZEBIELUCKAS, Cleci; ENSSLIN, Sandra Rolim; NICKEL, Elton; BUSON, Marcos Albuquerque; JUNIOR, Alceu Balbim. Identificação das necessidades do consumidor no processo de desenvolvimento de produtos: Uma proposta de inovação ilustrada para o segmento automotivo. **Produção**, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 555–569, 2011. DOI: 10.1590/S0103-65132011005000052.

EPO. **Patent applications in Europe reach record level in 2021 despite pandemic**. 2022. Disponível em: <https://www.epo.org/news-events/press/releases/archive/2022/20220405.html>. Acesso em: 27 ago. 2022.

ESA. **ESA - Factos e números.** [s.d.]. Disponível em: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Portugal/ESA_-_Factos_e_numeros. Acesso em: 22 ago. 2022.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-M-ST-10C Rev.1–Space Project Management: Project Planning and Implementation**Noordwijk,The Netherlands, 2009.

FARRIS, Jennifer A.; VAN AKEN, Eileen M.; LETENS, Geert; ELLIS, Kimberly P.; BOYLAND, John. A structured approach for assessing the effectiveness of engineering design tools in new product development. **EMJ - Engineering Management Journal**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 31–39, 2007. DOI: 10.1080/10429247.2007.11431729.

FORCELLINI, Fernando Antônio. **Projeto Conceitual**Universidade Federal de Santa Catarina, , 2003.

HOADLEY, Joni. **How to measure product market fit.** 2019. Disponível em: <https://www.departmentofproduct.com/blog/how-to-measure-product-market-fit/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

JIMENEZ, Hernando; MAVRIS, Dimitri N. Assessment of technology integration using technology readiness levels. **51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 2013**, [S. l.], n. January, p. 1–14, 2013. DOI: 10.2514/6.2013-583.

JOSHI, A. K.; DANDEKAR, I. A.; GAIKWAD, M. V; HARGE, C. G. Pugh Matrix and Kano Model-The Significant Techniques for Customer’s Survey. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, [S. l.], v. 9, n. June, p. 53–55, 2019. Disponível em: www.ijetae.com.

LEIMEISTER, Mareike; KOLIOS, Athanasios. A review of reliability-based methods for risk analysis and their application in the offshore wind industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 91, n. July 2017, p. 1065–1076, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.004>.

LIMA, Leonardo M. B. **Modelagem de informações para a fase de projeto informacional de produtos.** 2002. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2002.

LOWESMITH, B. J.; HANKINSON, G.; CHYNOWETH, S. Safety issues of the liquefaction, storage and transportation of liquid hydrogen: An analysis of incidents and HAZIDS. **International Journal of Hydrogen Energy**, [S. l.], v. 39, n. 35, p. 20516–20521, 2014. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.08.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.08.002>.

LUCAS AREND. **SISTEMATIZAÇÃO DAS FASES DE PROJETO PRELIMINAR E DETALHADO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E SUA APLICAÇÃO NO PROJETO DE UM MULTICUTOR MODULAR.** 2003. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2003.

MANENTI, Pierfrancesco. **Making innovation profitable.** 2015. Disponível em:

<https://blogs.gartner.com/power-of-the-profession-blog/making-innovation-profitable/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

MANKINS, John C. **TECHNOLOGY READINESS LEVELS A White Paper**, 1995.

MANKINS, John C. Technology readiness assessments: A retrospective. **Acta Astronautica**, [S. l.], v. 65, n. 9–10, p. 1216–1223, 2009. DOI: 10.1016/j.actaastro.2009.03.058. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058>.

MARLYANA, Novi; TONTOWI, Alva Edy; YUNIARTO, Hari Agung. A Quantitative Analysis of System Readiness Level Plus (SRL+): Development of Readiness Level Measurement. **MATEC Web of Conferences**, [S. l.], v. 159, p. 0–5, 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201815901044.

MEDTECHINTELLIGENCE. **Overcoming Barriers to Improvement in Product Development**. 2014. Disponível em: https://www.medtechintelligence.com/feature_article/overcoming-barriers-to-improvement-in-product-development/. Acesso em: 25 ago. 2022.

MELO, Leonardo Menezes De. **Sistematização da configuração da forma de produtos por meio de analogias com a natureza**. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.17197.69600.

MODARRES, Mohammad. **Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools, and Trends**. [s.l.] : Taylor & Francis Group, 2006. DOI: 10.5772/intechopen.98197.

MULLER, Gerrit; BJØRNSSEN, Halvard H.; PENNOTTI, Michael. Researching the application of Pugh Matrix in the sub-sea equipment industry. **Conference on Systems Engineering Research (CSER)**, [S. l.], n. January 2011, 2011. Disponível em: https://www.gaudisite.nl/CSER2011_MullerEtAl_ResearchingPughMatrix.pdf.

NASA. NASA System Engineering Handbook Revision 2. **National Aeronautics and Space Administration**, [S. l.], p. 297, 2016. Disponível em: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf.

NOLTE, William L.; KENNEDY, Brian C.; DZIEGIEL, Roger J. **Technology Readiness Calculator A White paper**, 2003.

PAHL, G. ..; BEITZ, W. ..; FELDHUSEN, Jörg;; GROTE, K. H. .. **Engineering design: a systematic approach**. [s.l.: s.n.].

ROCHA, Daiane. **Uma adaptação da Norma NBR ISO 16290:2015 aplicada em projetos do setor Aeroespacial**. 2019. [S. l.], 2019.

ROMANO, Leonardo Nabaes. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. 2003. Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2003.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Dapaldo; TOLEDO, José Carlos; SILVA, Sergio Luis Da; ALLIPRANDINI, Dário Henrique; SCALICE, Régis

Kovacs. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. Disponível em: www.saraivauni.com.br.

SAUSER, Brian J.; LONG, Michael; FORBES, Eric; MCGRORY, Suzanne E. Defining an integration readiness level for defense acquisition. **19th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering, INCOSE 2009**, [S. l.], v. 1, n. March, p. 352–367, 2009. DOI: 10.1002/j.2334-5837.2009.tb00953.x.

SAUSER, Brian; VERMA, D.; RAMIREZ-MARQUEZ, J.; GOVE, Ryan. From TRL to SRL: The concept of systems readiness levels. **Conference on Systems Engineering Research, Los Angeles, CA**, [S. l.], n. June 2014, p. 1–10, 2006. Disponível em: <http://www.boardmansauser.com/downloads/2005SauserRamirezVermaGoveCSER.pdf>.

SHARMA, Kapil Dev; SRIVASTAVA, Shobhit. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review. **Copyright Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science J Adv Res Aero SpaceSci**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 2454–8669, 2018.

SIDDIQUI, N. A.; NANDAN, Abhishek; SHARMA, Madhuben; SRIVASTAVA, Abhinav. Risk Management Techniques HAZOP & HAZID Study. **INTERNATIONAL JOURNAL ON OCCUPATIONAL HEALTH & SAFETY, FIRE & ENVIRONMENT – ALLIED SCIENCE**, [S. l.], v. 1, n. July, p. 005–008, 2014.

SINGH, Bikram Jit; KHANDUJA, Dinesh. Risk management in complex changeovers through CFMEA: An empirical investigation Risk. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, [S. l.], v. 10, n. April, p. 470–494, 2012. DOI: 10.1504/IJISE.2012.046302.

SPREAFICO, Christian; RUSSO, Davide; RIZZI, Caterina. A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents. **Computer Science Review**, [S. l.], v. 25, p. 19–28, 2017. DOI: 10.1016/j.cosrev.2017.05.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosrev.2017.05.002>.

STÅLHANE, Tor. **FMEA, HAZID, and Ontologies**. Montreal: Dept. of Industrial Engineering & Mathematics, Polytechnique University of Montreal, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-15326-1_3. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15326-1_3.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution**. Second ed. Milwaukee: William A. Tony, 2003.

STRAUB, Jeremy. In search of technology readiness level (TRL) 10. **Aerospace Science and Technology**, [S. l.], v. 46, p. 312–320, 2015. DOI: 10.1016/j.ast.2015.07.007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ast.2015.07.007>.

TEC-SHS. Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications. . 2008, September, p. 66.

U. S. DOD. Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook. . 2009, July, p. 129.

US DEPARTMENT OF DEFENSE. **Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook** Manufacturing Technology Program, , 2022. Disponível em:

<http://www.dodmrl.org/>.

US GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. **Technology Readiness Assessment Guide: Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects**Gao-16-410G, 2020. Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf>.

WIPO. **Statistical Country Profiles - Brazil**. 2021. Disponível em: https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/profile.jsp?code=BR. Acesso em: 27 ago. 2022.

YASSERI, Sirous. Subsea system readiness level assessment. **Underwater Technology**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 77–92, 2013. DOI: 10.3723/ut.31.077.

YASSERI, Sirous; BAHAI, Hamid; YASSERI, Ramin. Reliability Assurance of Subsea Production Systems: A Systems Engineering Framework. **International Journal of coastal and offshore engineering**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 1–19, 2018. DOI: 10.29252/ijcoe.2.1.1.

YE, Joanna; D'ANGELO, Luis; VITERI, Martha; WESTON, Robert; CAIRES, Luis. Comparison of technology qualification approaches. **Proceedings of the Annual Offshore Technology Conference**, [S. l.], v. 5, p. 3763–3773, 2017. DOI: 10.4043/27527-ms.

Anexo A – Questionário mapeamento I

Questionário - Validação do produto / tecnologia durante a fase de desenvolvimento

O presente questionário é parte integrante do desenvolvimento de pesquisa de mestrado junto ao Programa de Pós-graduação de Gestão e Tecnologia Industrial (PPG-GETEC) do SENAI CIMATEC do aluno Saulo Figliuolo. Sob orientação do Prof. Dr. Valter Estevão Beal, este trabalho visa realizar um levantamento de como os times de execução de projetos lidam com projetos de desenvolvimento de novos produtos, processos e tecnologia, desde a fase inicial passando pela obtenção dos primeiros protótipos até se tornar um produto disponível para o mercado.

- O autor do questionário se compromete a não divulgar os nomes e dados dos participantes;

- A identificação dos entrevistados possibilitará futuro contato para aprofundamento das respostas fornecidas.

1. Você tem interesse em compartilhar seus dados com o autor da pesquisa?
 - Não. Prefiro responder sem me identificar.
 - Sim, posso compartilhar meus dados (nome, e-mail e empresa)

Seção – Identificação

Nesta seção indique seus dados pessoais

2. Nome completo
3. E-mail
4. Empresa / Instituição
5. Você aceita ser contatado para uma entrevista de aprofundamento?
 - Sim
 - Não

Seção – Mapeamento

Nesta seção a intenção é classificar sua formação e experiência profissional.

6. Qual a disciplina de sua atuação?

- Mecânica
- Fabricação
- Elétrica
- Controle e Automação
- Eletrônica
- Robótica
- PMO
- Química
- Processos químicos
- Biotecnologia
- Civil
- Design de produto
- Alimentos
- Ambiental
- Óptica
- Materiais
- Gestão
- Other

7. Qual o seu nível de formação

- Técnico
- Graduação
- Especialização
- Mestrado
- Doutorado
- Other

8. A quanto tempo você está atuante no mercado de trabalho?

- Até 2 anos
- De 2 a 5 anos
- De 5 a 10 anos
- Mais de 10 anos

9. Com que frequência você atua com projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PDI) ?

- Nunca
- Raramente
- Ocasionalmente
- Frequentemente
- Muito frequente

10. A quanto tempo você atua com projetos do tipo PDI?

- Até 2 anos
- De 2 a 5 anos
- De 5 a 10 anos
- Mais de 10 anos

11. Nos projetos que atua, qual papel normalmente você exerce?

- Gerente de contrato / projeto
- Líder técnico / disciplina
- Execução técnica
- Papeis administrativos / financeiros
- Other

Seção – Atuação em projetos

Por favor, responder as perguntas a seguir com o seu atual nível de conhecimento e experiência.

12. Qual o seu nível de conhecimento de metodologias de desenvolvimento de produto e tecnologia (DIP&T)?

- Nenhum
- Pouco
- Razoável
- Bom
- Muito bom

13. Durante a execução dos projetos de PDI que você participou, quanto dos processos e ferramentas de DIP&T foram empregados / seguidos?

- Nenhum processo ou ferramenta foi utilizado como referência
- Poucos processos ou ferramentas foram utilizados como referência
- Alguns processos ou ferramentas foram utilizados como referência
- Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência
- A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência

14. Durante a fase conceitual do projeto há a construção do conceito da solução a ser empregada. O quão fácil e intuitivo você entende que é associar o conceito com aos próximos passos (POC, arquitetura, detalhado, testes com o protótipo, validação, etc.)?

- É muito difícil
- É difícil
- Possui dificuldade moderada
- É fácil
- É muito fácil

15. Em relação aos projetos que você já participou, com que frequência foram criadas rotas de validação do produto / tecnologia?
- Nunca
 - Baixa frequência
 - Frequentemente
 - Muito frequente
 - Sempre
16. Em relação aos projetos que você já participou, o quão fácil / difícil foi o processo de construção da rota de validação?
- Foi muito difícil
 - Foi difícil
 - Dificuldade moderada
 - Foi fácil
 - Foi muito fácil
17. Ainda sobre o processo de construção das rotas de validação, o quão subjetivo você achou o processo?
- Nada
 - Pouco
 - Razoável
 - Muito
 - Completamente
18. Com relação às rotas obtidas nos projetos que você participou, o quão diferentes eram elas (entre si) em termos de padronização de resultados?
- Nada
 - Pouco
 - Razoável
 - Diferentes
 - Muito diferentes
19. Você acredita que que é a rota de validação do produto / tecnologia é uma etapa importante do desenvolvimento? Qual o nível de importância você atribuiria a esse documento?
- Nenhuma
 - Pouca
 - Razoável
 - Importante
 - Imprescindível
20. Se você fosse classificar o nível de importância de dispor de um método para diminuir a subjetividade e padronizar o processo de construção das rotas de validação, qual seria esse nível?
- Nenhuma
 - Pouca
 - Razoável
 - Importante
 - Imprescindível

Seção – Finalização

Muito obrigado por ter participado da pesquisa.

21. Você gostaria de deixar alguma mensagem ou comentário para o autor da pesquisa?

- Sim Não

22. Deixe aqui sua mensagem.

Anexo B – Respostas ao questionário de mapeamento I

ID	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
1	Eletrônica	Mestrado	De 5 a 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Líder técnico / disciplina	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Baixa frequência
2	Materiais	Mestrado	De 5 a 10 anos	Muito frequente	De 2 a 5 anos	Execução técnica	Bom	Alguns processos ou ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Frequentemente
3	Software	Mestrado	De 2 a 5 anos	Muito frequente	De 2 a 5 anos	LT e prospecção	Bom	A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Sempre
4	Materiais	Mestrado	De 5 a 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Líder técnico / disciplina	Bom	Alguns processos ou ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Muito frequente
5	Eletrônica	Mestrado	Mais de 10 anos	Muito frequente	De 2 a 5 anos	Líder técnico / disciplina	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É muito fácil	Baixa frequência
6	Mecânica	Especialização	Mais de 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Execução técnica	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É muito fácil	Muito frequente
7	Gestão e Liderança	Especialização	De 2 a 5 anos	Frequentemente	De 2 a 5 anos	Líder técnico / disciplina	Bom	A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Baixa frequência
8	Ambiental	Mestrado	De 5 a 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Líder técnico / disciplina	Razoável	A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Frequentemente
9	Eletrônica	Graduação	De 5 a 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Execução técnica	Razoável	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Muito frequente
10	Mecânica	Graduação	Mais de 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Execução técnica	Bom	A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Frequentemente
11	Eletrônica	Mestrado	Mais de 10 anos	Muito frequente	Mais de 10 anos	Líder técnico / disciplina	Pouco	Alguns processos ou ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Frequentemente
12	Mecânica	Técnico	De 5 a 10 anos	Muito frequente	De 2 a 5 anos	Execução técnica	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Frequentemente
13	Mecânica	Especialização	Até 2 anos	Muito frequente	Até 2 anos	Execução técnica	Bom	A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É difícil	Frequentemente

ID	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
14	Elétrica	Mestrado	Mais de 10 anos	Muito frequente	Mais de 10 anos	Líder técnico / disciplina	Razoável	Alguns processos ou ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Muito frequente
15	Controle e Automação	Mestrado	Mais de 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Líder técnico / disciplina	Bom	Alguns processos ou ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Frequentemente
16	Manufatura Aditiva	Especialização	De 5 a 10 anos	Frequentemente	De 5 a 10 anos	Execução técnica	Razoável	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Frequentemente
17	Mecânica	Especialização	Mais de 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Execução técnica	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Frequentemente
18	PMO	Especialização	Mais de 10 anos	Muito frequente	De 2 a 5 anos	Gerente de contrato / projeto	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Frequentemente
19	Processos químicos	Especialização	De 5 a 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Líder técnico / disciplina	Bom	A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Muito frequente
20	PMO	Mestrado	Mais de 10 anos	Muito frequente	De 5 a 10 anos	Gerente de contrato / projeto	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Frequentemente
21	Processos químicos	Especialização	Mais de 10 anos	Frequentemente	De 5 a 10 anos	Execução técnica	Razoável	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	Possui dificuldade moderada	Frequentemente
22	Mecânica	Graduação	Mais de 10 anos	Frequentemente	De 2 a 5 anos	Execução técnica	Razoável	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Baixa frequência
23	Mecânica	Graduação	Mais de 10 anos	Frequentemente	De 2 a 5 anos	Execução técnica	Razoável	A maior parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Baixa frequência
24	Engenharia Industrial	Mestrado	Mais de 10 anos	Muito frequente	Mais de 10 anos	Gerente de contrato / projeto	Bom	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Muito frequente
25	Eletrônica	Mestrado	Mais de 10 anos	Frequentemente	Mais de 10 anos	Execução técnica	Razoável	Boa parte dos processos e ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Frequentemente
26	Controle e Automação	Graduação	Mais de 10 anos	Frequentemente	De 2 a 5 anos	Execução técnica	Razoável	Alguns processos ou ferramentas foram utilizados como referência	É fácil	Baixa frequência

ID	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22
1	Foi difícil	Muito	Muito diferentes	Imprescindível	Imprescindível	Sim	Uma sugestão é acrescentar perguntar quão difícil é registrar e mapear requisitos para correlacionar com a plano de testes a fim de validar o sistema/produto. Outro ponto é, qual a dificuldade de realizar redesign por conta de validações finais e intermediárias ao longo do desenvolvimento
2	Dificuldade moderada	Razoável	Diferentes	Importante	Importante	Não	
3	Dificuldade moderada	Razoável	Diferentes	Imprescindível	Importante	Não	
4	Foi difícil	Muito	Muito diferentes	Imprescindível	Importante	Sim	O procedimento para padronização e aumento da objetividade da validação é importante, entretanto, processos muito complexos podem tornar inviáveis ou simplesmente
5	Dificuldade moderada	Pouco	Diferentes	Imprescindível	Imprescindível	Não	
6	Dificuldade moderada	Pouco	Razoável	Importante	Imprescindível	Não	
7	Foi difícil	Muito	Diferentes	Imprescindível	Importante	Não	
8	Foi fácil	Razoável	Razoável	Importante	Importante	Sim	Tenho participado de projetos onde a elaboração são rotas tecnológicas é realizada apenas para "cumprir tabela". Muitas vezes o projeto já se é iniciado com uma rota definida, e na etapa de elaboração das rotas meio que se faz uma força para que aquela rota já predefinida seja a escolhida. Com uma ferramenta mais objetiva, talvez a definição da rota preferencial se torne uma etapa de real definição para o desenvolvimento da tecnologia. Por exemplo, já ouvi falar que determinada rota/processo na seria a melhor por não termos os equipamentos disponíveis ou conhecimento técnico internalizado para desenvolvê-la.
9	Dificuldade moderada	Razoável	Razoável	Imprescindível	Importante	Não	
10	Dificuldade moderada	Razoável	Razoável	Imprescindível	Imprescindível	Não	
11	Dificuldade moderada	Pouco	Razoável	Importante	Importante	Não	
12	Dificuldade moderada	Muito	Razoável	Importante	Importante	Não	
13	Foi difícil	Razoável	Diferentes	Imprescindível	Imprescindível	Não	

ID	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22
14	Dificuldade moderada	Muito	Diferentes	Importante	Importante	Não	
15	Dificuldade moderada	Razoável	Diferentes	Importante	Importante	Não	
16	Foi fácil	Razoável	Razoável	Imprescindível	Razoável	Não	
17	Dificuldade moderada	Razoável	Razoável	Importante	Importante	Não	
18	Dificuldade moderada	Razoável	Razoável	Importante	Importante	Não	
19	Dificuldade moderada	Razoável	Razoável	Imprescindível	Imprescindível	Não	
20	Foi difícil	Pouco	Diferentes	Importante	Importante	Não	
21	Dificuldade moderada	Razoável	Diferentes	Importante	Importante	Não	
22	Foi difícil	Razoável	Razoável	Importante	Importante	Não	
23	Dificuldade moderada	Razoável	Pouco	Importante	Imprescindível	Não	
24	Dificuldade moderada	Razoável	Pouco	Imprescindível	Importante	Sim	Parabéns pela importante iniciativa de entender a aplicabilidade de metodologia de desenvolvimento de produtos e processos abordando a efetividade da rota tecnológica em
25	Dificuldade moderada	Razoável	Pouco	Imprescindível	Importante	Não	
26	Dificuldade moderada	Pouco	Diferentes	Importante	Importante	Não	

Anexo C – Questionário mapeamento II

Questionário – DIP&T – Construção da rota de validação

O presente formulário tem por objetivo coletar a opinião do time de colaboradores do SENAI CIMATEC, que atuam em projetos de PDI como gerentes de projeto (GP) e líderes técnicos (LT), sobre o método de construção de rotas de validação da tecnologia apresentado no workshop realizado.

- O autor do questionário se compromete a não divulgar os nomes e dados dos participantes;

Seção - Identificação

1. A qual área tecnológica você faz parte?

- | | |
|---|---|
| <input type="radio"/> Automação | <input type="radio"/> HPC |
| <input type="radio"/> Automotiva | <input type="radio"/> Instituto de tecnologia e saúde |
| <input type="radio"/> Bigdata | <input type="radio"/> Manufatura aditiva |
| <input type="radio"/> Confiabilidade | <input type="radio"/> Mineração |
| <input type="radio"/> União e conformação dos materiais | <input type="radio"/> Petróleo e gás |
| <input type="radio"/> Design de produto | <input type="radio"/> Processos químicos |
| <input type="radio"/> Eficiência energética | <input type="radio"/> Robótica |
| <input type="radio"/> Eletrônica embarcada | <input type="radio"/> Segurança |
| <input type="radio"/> Engenharia de software | <input type="radio"/> DPI |
| <input type="radio"/> Estudos econômicos | <input type="radio"/> Materiais |
| <input type="radio"/> Fábrica de plantas piloto | <input type="radio"/> Outro |
| <input type="radio"/> GTD | |

2. Qual o seu nível de formação

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| <input type="radio"/> Técnico | <input type="radio"/> Mestrado |
| <input type="radio"/> Graduação | <input type="radio"/> Doutorado |
| <input type="radio"/> Especialização | <input type="radio"/> Outro |

3. Nos projetos que atua, qual papel normalmente você exerce?
- Gerente de contrato / projeto
 - Líder técnico / *focalpoint* de disciplina
 - Execução técnica
 - Papéis administrativos / financeiros
 - Outro

Seção 2 – Sobre a DIP&T

4. Como você indica seu nível atual de conhecimento da metodologia DIP&T?
- Nenhum
 - Pouco
 - Razoável
 - Bom
 - Muito bom
5. Com que frequência você costuma acessar a página da DIP&T para consultar o material e verificar por atualizações?
- Nunca
 - Raramente
 - Ocasionalmente
 - Frequentemente
 - Muito frequentemente
6. Dos projetos que você participa / participou, o quanto da metodologia DIP&T costuma ser aplicado?
- Nada
 - Pouco
 - Razoável
 - Muito
 - Completamente
7. Nos projetos que você participou, com que frequência foram construídas rotas de qualificação da tecnologia?
- Nunca
 - Raramente
 - Ocasionalmente
 - Frequentemente
 - Muito frequente
8. O quão fácil / difícil foi o processo de construção da rota de qualificação?

Caso nunca tenha participado do processo de construção de uma rota de qualificação, indique sua percepção a partir do processo atual.

- Muito difícil
- Difícil
- Moderado
- Fácil
- Muito fácil

9. O quão fácil / difícil é o atual processo de priorização de provas de conceito e testes ao longo do projeto?

- Muito difícil
- Fácil
- Difícil
- Muito fácil
- Moderado

10. Com que frequência você acredita que provas de conceito ou testes importantes deixaram de ser identificados com antecedência durante os projetos?

- Nunca
- Frequentemente
- Raramente
- Muito Frequente
- Ocasionalmente

Seção 3 – Sobre a nova ferramenta

Descreva a sua opinião sobre o método apresentado para criação de rotas de validação da tecnologia.

11. A sequência é clara e inteligível?

- Não
- Muito
- Pouco
- Completamente
- Razoável

12. O quanto você achou fácil / difícil a execução do método?

- Muito difícil
- Fácil
- Difícil
- Muito fácil
- Dificuldade moderada

13. A aplicação do método irá facilitar o processo identificação de itens críticos para a qualificação da tecnologia em desenvolvimento?

- Não
- Muito
- Pouco
- Completamente
- Razoável

14. A aplicação do método irá facilitar o processo de construção da rota de qualificação da tecnologia em desenvolvimento?

- Não
- Pouco
- Razoável
- Muito
- Completamente

15. O quanto de esforço extra a aplicação do método irá exigir à execução do projeto?

- Nenhum
- Pouco
- Razoável
- Muito
- Excessivo

16. Você indicaria a utilização desse procedimento para outros ICTs?

- Raramente
- Improvável
- Possível
- Provável
- Quase certo

17. Teve dúvidas no uso ou aplicação do método? Por favor compartilhe aqui.

18. Você tem alguma indicação de possíveis pontos de melhorias no método? Por favor, indique aqui

Anexo D – Respostas ao questionário de mapeamento II

ID	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1	Defesa	Doutorado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Ocasionalmente	Muito	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Raramente
2	GTD	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Ocasionalmente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Fácil	Raramente
3	Instituto de Tecnologia e Saúde	Doutorado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Frequentemente	Razoável	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
4	Elétrica Embarcada	Graduação	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Muito bom	Ocasionalmente	Muito	Nunca	Difícil	Difícil	Ocasionalmente
5	Materials	Doutorado	Bolsista	Razoável	Ocasionalmente	Muito	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
6	GTD	Especialização	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Raramente	Muito	Frequentemente	Moderado	Difícil	Frequentemente
7	Engenharia de Software	Graduação	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Ocasionalmente	Completamente	Raramente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
8	Materials	Doutorado	Execução técnica	Razoável	Frequentemente	Completamente	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
9	Elétrica Embarcada	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Frequentemente	Muito	Frequentemente	Moderado	Fácil	Raramente
10	PMO	Especialização	Gerente de contrato / projeto	Razoável	Ocasionalmente	Muito	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
11	Manutenção Ind	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Nunca	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Fácil	Frequentemente
12	União e conformação dos materiais	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Muito bom	Frequentemente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Fácil	Ocasionalmente
13	Manutenção Industrial	Especialização	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Muito frequentemente	Completamente	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
14	PMO	Técnico	Gerente de contrato / projeto	Razoável	Frequentemente	Completamente	Muito frequente	Fácil	Fácil	Raramente
15	Indústria Criativa	Especialização	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Ocasionalmente	Razoável	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
16	Indústria Criativa	Especialização	Comercial	Pouco	Raramente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
17	PMO	Especialização	Gerente de contrato / projeto	Razoável	Raramente	Completamente	Muito frequente	Moderado	Difícil	Frequentemente
18	Design de produto	Graduação	Execução técnica	Razoável	Frequentemente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
19	Elétrica Embarcada	Graduação	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Ocasionalmente	Muito	Raramente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
20	Robótica	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Ocasionalmente	Pouco	Raramente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente

ID	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
21	Manufatura Aditiva	Mestrado	Execução técnica	Razoável	Ocasionalmente	Razoável	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
22	PMO	Especialização	Gerente de contrato / projeto	Razoável	Frequentemente	Muito	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Raramente
23	União e conformação dos materiais	Doutorado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Ocasionalmente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
24	Materiais	Doutorado	Execução técnica	Razoável	Ocasionalmente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
25	Engenharia de Software	Doutorado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Raramente	Nada	Muito frequente	Fácil	Dificuldade moderada	Frequentemente
26	Robótica	Especialização	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Ocasionalmente	Razoável	Nunca	Difícil	Dificuldade moderada	Frequentemente
27	4ram	Graduação	Execução técnica	Bom	Frequentemente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
28	Bigdata	Doutorado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Frequentemente	Muito	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
29	Desenvolvimento de Produtos Industriais	Especialização	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Muito frequentemente	Completamente	Ocasionalmente	Difícil	Difícil	Muito frequente
30	Materiais	Graduação	Execução técnica	Razoável	Ocasionalmente	Razoável	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
31	Logística	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Ocasionalmente	Razoável	Ocasionalmente	Moderado	Dificuldade moderada	Frequentemente
32	Automação	Graduação	Execução técnica	Razoável	Raramente	Muito	Muito frequente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
33	Design de produto	Doutorado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Muito bom	Ocasionalmente	Muito	Raramente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
34	Robótica	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Ocasionalmente	Razoável	Raramente	Moderado	Fácil	Ocasionalmente
35	Materiais	Graduação	Execução técnica	Razoável	Frequentemente	Muito	Nunca	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
36	Robótica	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Razoável	Ocasionalmente	Razoável	Frequentemente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente
37	Robótica	Mestrado	Líder técnico / focalpoint de disciplina	Bom	Frequentemente	Muito	Raramente	Moderado	Dificuldade moderada	Ocasionalmente

ID	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18
1	Muito	Fácil	Completamente	Completamente	Pouco	Quase certo	Não	Não
2	Pouco	Dificuldade moderada	Muito	Razoável	Muito	Possível	Não	Não
3	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Possível	Não se aplica	Não se aplica
4	Muito	Difícil	Razoável	Muito	Razoável	Quase certo	Me pareceu um pouco complexo de ser executado. Terei que aplicar para conferir.	Por enquanto não. Possivelmente após algumas aplicações
5	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Por enquanto, não.	Não.
6	Razoável	Difícil	Muito	Muito	Razoável	Provável	Não tenho nada a declarar.	Não tenho nada a declarar.
7	Muito	Fácil	Muito	Muito	Razoável	Possível	Não tive dúvidas	Sem indicações
8	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Por enquanto sem dúvida, talvez tenha quando for aplicar.	Por enquanto não, talvez tenha quando for aplicar.
9	Completamente	Dificuldade moderada	Completamente	Completamente	Muito	Quase certo	Não!	Não
10	Muito	Fácil	Completamente	Muito	Muito	Quase certo	.	.
11	Completamente	Muito fácil	Muito	Razoável	Muito	Provável	Bem resolvido	Bem resolvido
12	Razoável	Fácil	Completamente	Muito	Razoável	Provável	Nda	Nda
13	Completamente	Fácil	Completamente	Completamente	Razoável	Provável	A princípio ficou muito claro, pode ser que quando for aplicar o método surjam dúvidas.	Não
14	Completamente	Fácil	Muito	Completamente	Nenhum	Quase certo	Não tive!	Não tenho!
15	Razoável	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Sim. Mas é preciso aplicar para ambientação.	Importante integrar o método às ferramentas de criação na fase conceitual.
16	Razoável	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Como sou novo no processo estou em fase de aprendizagem.	Como sou novo no processo estou em fase de aprendizagem.
17	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Não tive dúvidas	Não tenho indicações
18	Muito	Dificuldade moderada	Completamente	Razoável	Muito	Possível	As minhas dúvidas foram sanadas durante o encontro online.	As minhas sugestões foram explanadas durante o encontro online.
19	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Possível	-	-
20	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Acredito que as dúvidas vão aparecer no momento da aplicação do método.	Preciso aplicar o método uma vez para avaliar as possíveis m elhorias
21	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Muito	Possível	Por enquanto não	Por enquanto não
22	Razoável	Fácil	Razoável	Razoável	Razoável	Possível	Não há dúvidas para aplicação do método.	Nada a declarar.
23	Razoável	Dificuldade moderada	Razoável	Razoável	Muito	Provável	não	Para indicar oportunidades de melhoria é necessário conhecer mais profundamente a metodologia.

ID	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18
24	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Ainda não tenho dúvidas, elas vão aparecer ao longo da aplicação.	Talvez o uso de uma escala mais larga, com mais detalhes, pois às vezes fica difícil realizar a hierarquização.
25	Muito	Fácil	Razoável	Razoável	Muito	Possível	Sem dúvidas.	O método me parece ok. Porém a explicação ou material de apresentação pode ser simplificado visualmente.
26	Razoável	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Muito	Provável	Senti falta de uma ferramenta de fato. Essa análise e seus resultados seriam registradas em alguma planilha? Ela já existe?	Não no momento
27	Razoável	Difícil	Muito	Muito	Muito	Possível	Tenho que aplicar o método mais vezes para ter mais dúvidas	Gostaria de ter um método para projetos que são mais rápidos, que não necessitem de muita documentação
28	Razoável	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	Ainda não fiz uso do método.	Ainda não fiz uso do método.
29	Muito	Fácil	Muito	Muito	Razoável	Quase certo	Não	A construção de um storyboard para explicar a aplicação da metodologia facilitaria a compreensão, principalmente para os colaboradores mais novos.
30	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Muito	Possível	Tive dúvida no quão abrangente devemos ser na montagem do método, não associando ao conceito já construído/pensado pela equipe do projeto.	Até o momento não.
31	Razoável	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Possível	Gostaria de compreender melhor como a metodologia DIP&T pode ser direcionada/adaptada em projetos de inovação de PROCESSOS.	Deixar claro ou trazer exemplos como deve ser a aplicação em projetos de inovação de processos.
32	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável	No tangente ao apresentado na apresentação ficou claro.	Quando a ferramenta consolidada 100% considero que se faça mais treinamentos/com exemplos práticos com aplicações de processos contínuos/rotas de processo x produtos (itens e equipamentos).
33	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Completamente	Razoável	Quase certo	Não tive dúvidas durante a apresentação, de certo que isso não é impeditivo para surgimento delas durante a execução.	Eu acho que é um método maravilhoso, inclusive para avaliarmos em que precisamos nos desenvolver (competências). Seria interessante ter um documento com um planejamento de desenvolvimento interno baseado nestas avaliações.

ID	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18
34	Pouco	Muito difícil	Pouco	Pouco	Razoável	Improvável	Achei difícil/muito trabalhoso avaliar todos os possíveis modos de falhas das possíveis N combinações de soluções que os múltiplos conceitos terão já que se parte das funcionalidades e não da definição de como será realizada a solução. Posso ter me equivocado, mas é como se fossem "N" FMEAs reunidos no C-FMEA para cada possibilidade de solução.	Não conhecimentos suficientes para indicar uma melhoria nesse momento.
35	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Razoável	Razoável	Possível	A minha primeira vista no treinamento, o uso desta ferramenta em conjunto com a síntese funcional é um pouco abstrata. Visto que após as definições dos conceitos visualizados na síntese morfológica podem ter abordagens que não teriam os riscos previstos na síntese funcional. E pode levar a uma "força extra" de trabalho. Essa posição apenas será precisa quando começar a utilizar mais o método.	No momento não possuo um posicionamento claro sobre a ferramenta.
36	Razoável	Dificuldade moderada	Razoável	Muito	Razoável	Possível	Um ponto de atenção é a análise de modo de falha enquanto ainda na fase conceitual. Isso pode gerar retrabalho e gasto de energia em uma questão que pode ser completamente revista ou descartada se alguma rota tecnológica mudar e/ou não ser utilizada. Qual real ganho que teríamos em fazer análises de rotas que possivelmente nem usaremos?	Atualmente tenho dificuldade em usar a metodologia por estar seguindo a metodologia de parceiros. Estou prestando atenção no que podemos aproveitar para que possa contribuir em breve com evolução da DIP&T.

ID	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18
37	Razoável	Dificuldade moderada	Razoável	Razoável	Muito	Provável	Sugiro deixar o link para a gravação, logo ao lado do template a ser adicionado na pasta da DIP&T para facilitar as referencias	<p>Sugiro algumas automações no excel, e textos padronizados para a parte do FMEA. Cada projeto tem suas dificuldades peculiares, mas tem coisas que são comuns em diversos projetos. Exemplo: Problemas com comunicação, robustez estrutural, etc. Apesar de algumas serem um tanto óbvias, se o template já vier pré-preenchido, pode ajudar a acelerar o desenvolvimento. Se alguns campos mais básicos já vierem com os pesos para severidade, probabilidades e detectabilidade preenchidos com base em experiencias anteriores, também pode ajudar a acelerar e a convergir a ponderação de pesos entre projetos. Deixaria claro que os valores e itens são uma referência, mas cada projeto precisa revisar item a item, alterando notas, adicionando e removendo itens relevantes ou não. Se a gente conseguir criar um database sobre maturidade interna de atividades, seria ótimo, mas entendo que pode ser difícil compilar nosso histórico de projetos.</p> <p>No mais, tá show! Parabéns!</p>

Anexo E – Questionário mapeamento III

Questionário – Aplicação do método estruturado para construção de rota de validação da tecnologia

O presente questionário é parte integrante do desenvolvimento de pesquisa de mestrado junto ao Programa de Pós-graduação de Gestão e Tecnologia Industrial (PPG-GETEC) do SENAI CIMATEC do aluno Saulo Figliuolo. Sob orientação do Prof. Dr. Valter Estevão Beal, este trabalho visa coletar a opinião dos colaboradores que participaram dos projetos em que o método foi aplicado.

- O autor do questionário se compromete a não divulgar os nomes e dados dos participantes;

Seção 1 - Identificação

1. A qual área tecnológica você faz parte?

- | | |
|---|--|
| <input type="radio"/> Automação | <input type="radio"/> GTD |
| <input type="radio"/> União e conformação dos materiais | <input type="radio"/> Manufatura aditiva |
| <input type="radio"/> Design de produto | <input type="radio"/> Robótica |
| <input type="radio"/> Eficiência energética | <input type="radio"/> DPI |
| <input type="radio"/> Eletrônica embarcada | <input type="radio"/> Materiais |
| | <input type="radio"/> Outro |

2. Qual o seu nível de formação

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| <input type="radio"/> Técnico | <input type="radio"/> Mestrado |
| <input type="radio"/> Graduação | <input type="radio"/> Doutorado |
| <input type="radio"/> Especialização | <input type="radio"/> Outro |

3. Nos projetos que atua, qual papel normalmente você exerce?

- | | |
|---|--|
| <input type="radio"/> Gerente de contrato / projeto | <input type="radio"/> Execução técnica |
| <input type="radio"/> Líder técnico / <i>focalpoint</i> de disciplina | <input type="radio"/> Papéis administrativos / financeiros |
| | <input type="radio"/> Outro |

Seção 2 – Sobre o uso do método proposto

Descreva a sua opinião sobre o uso do método de construção de rotas de validação da tecnologia,

4. A sequência de execução das atividades é clara e inteligível?
 - Não
 - Pouco
 - Razoável
 - Muito
 - Completamente
5. O quanto você achou fácil / difícil a execução do método?
 - Muito difícil
 - Difícil
 - Dificuldade moderada
 - Fácil
 - Muito fácil
6. A aplicação do método facilitou o processo identificação de itens críticos para a qualificação da tecnologia em desenvolvimento?
 - Não
 - Pouco
 - Razoável
 - Muito
 - Completamente
7. A aplicação do método facilitou o processo de construção da rota de qualificação da tecnologia em desenvolvimento?
 - Não
 - Pouco
 - Razoável
 - Muito
 - Completamente
8. Qual o nível de esforço extra foi necessário para a aplicação do método durante o projeto?
 - Nenhum
 - Pouco
 - Razoável
 - Muito
 - Excessivo
9. Você indicaria a utilização desse procedimento para outros ICTs?
 - Raramente
 - Improvável
 - Possível
 - Provável
 - Quase certo

10. Quais foram os pontos positivos, referente ao método proposto, identificados durante a aplicação nos projetos? Por favor compartilhe aqui.
11. Quais foram os pontos negativos, referente ao método proposto, identificados durante a aplicação nos projetos? Por favor compartilhe aqui.
12. Quais foram as suas principais dificuldades durante a aplicação do método? Por favor compartilhe aqui.
13. Você tem alguma indicação de possíveis pontos de melhorias no método? Por favor, indique aqui.

Anexo F – Respostas ao questionário de mapeamento III

ID	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
1	Desenvolvimento de Produtos Industriais	Especialização	Líder técnico/ focalpoint de disciplina	Muito	Fácil	Completamente	Completamente	Razoável	Provável
2	Materials	Doutorado	Execução técnica	Muito	Fácil	Muito	Muito	Razoável	Provável
3	Materials	Graduação	Execução técnica	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável
4	Desenvolvimento de Produtos Industriais	Técnico	Execução técnica	Razoável	Dificuldade moderada	Muito	Muito	Razoável	Provável
5	Eletrônica Embarcada	Graduação	Execução técnica	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Completamente	Razoável	Quase certo
6	Desenvolvimento de Produtos Industriais	Especialização	Execução técnica	Muito	Fácil	Muito	Muito	Razoável	Quase certo
7	Desenvolvimento de Produtos Industriais	Graduação	Execução técnica	Muito	Dificuldade moderada	Completamente	Muito	Pouco	Quase certo
8	Robótica	Mestrado	Líder técnico/ focalpoint de disciplina	Muito	Dificuldade moderada	Muito	Razoável	Razoável	Provável

ID	Q10	Q11	Q12	Q13
1	O trabalho para identificação de uma rota tecnologia para validação de um conceito ajuda a definir as provas de conceitos de forma mais assertiva. Caso essas POCs sejam dimensionadas por falha na gestão ou de identificação da necessidade poderá implicar em falhas durante a fase de teste de protótipo. A possibilidade de identificar problemas que, sem o uso do método, provavelmente só seriam observados após todo o desenvolvimento do produto. Assim, antecipa-se a avaliação dos riscos, podendo fazer um ranking com os pontos mais críticos.	Incluir todas as tabelas nas planilhas.	Por ser uma metodologia nova e com poucos exemplos há a necessidade de revisitar as tabelas auxiliares.	Criar um storyboard para ajudar na compreensão da metodologia.
2	A possibilidade de identificar problemas que, sem o uso do método, provavelmente só seriam observados após todo o desenvolvimento do produto. Assim, antecipa-se a avaliação dos riscos, podendo fazer um ranking com os pontos mais críticos.	Não tenho conhecimento suficiente para opinar.	A maior dificuldade foi somar reuniões para aplicação do método com as demais atividades que já estavam previstas no projeto.	Talvez avaliar a possibilidade de ter maior número de classificações, para diferenciar ainda mais os pontos críticos, mas seria necessário verificar se realmente vale a pena.
3	Rápida identificação dos pontos de risco, avaliando seu nível de criticidade, tornando mais fácil verificar as POCs necessárias para validar o sistema em questão.	Devido à falta de familiaridade com a ferramenta FEMEA, inicialmente apresentei dificuldade na construção das informações e quanto detalhado este documento deve ser.	Não associar os pontos listados com os conceitos já gerado no projeto	Precisaria aplicar mais a ferramenta para realizar pontuações.
4	Ajuda a dar uma maior clareza na priorização de quais itens que irão demandar mais esforços para serem validados.	Clareza dos temas, mesmo com o exemplo ainda deu para sentir uma dificuldade em fazer as relações necessárias para aplicação do método.	Dificuldade de acesso a informações referente ao Nível de maturidade interna das tecnologias, por não possuímos um banco de dados com essas informações de forma mais direta.	Realizar a criação desse banco de dados, implementado no processo de desenvolvimento dos projetos, para que essas informações sobre maturidade tecnológicas fiquem mais acessíveis.
5	Os pontos de fragilidade, digamos assim, do produto/processo são expostos com muita facilidade.	Existe um consumo de hh razoável ao longo do processo	Diferenciar modos de falha, causas e efeitos para sistemas automáticos, o que diz respeito ao preenchimento da matriz fmea e não dos procedimentos do método em si.	Não possuo pontos a indicar.

ID	Q10	Q11	Q12	Q13
6	<p>A decisão mais precisa na hora de identificar e planejar a rota de validação do conceito proposto.</p>	<p>Uma apresentação mais ilustrativa do método, com exemplos e sugestões de preenchimento.</p>	<p>Como é um método ainda novo, com poucas referências, a maior dificuldade foi alinhar o entendimento para toda equipe.</p>	<p>A análise de maturidade interna (IML), poderia haver uma sugestão de criação de banco de dados interno, onde faria parte da metodologia DIP&T, sendo preenchido a cada projeto desenvolvido. Com esse banco de dados, o tempo de interação entre áreas e o risco de erros, diminuem consideravelmente.</p>
7	<p>Possibilidade de identificar possíveis problemas nas funcionalidades do produto antes de fazer um maior aprofundamento dos conceitos, permitindo uma mentalidade de projeto melhor direcionada.</p> <p>Permite que os membros de várias áreas do projeto conheçam os desafios de casa área, de forma que o desenvolvimento de uma parte do produto não dificulte outra parte (exemplo: Parte de automação pense em uma funcionalidade que mecanicamente seja inviável).</p>	<p>Entendi como algo válido e traz benefícios, não consegui enxergar pontos negativos de relevância.</p>	<p>Acredito que seria bom desenvolver um estudo de um projeto genérico para usar como base para próximas experiências, pois senti dificuldade inicial de entender o método.</p>	<p>Somente a criação de um modelo de exemplo para poder capacitar os colaboradores a utilizá-lo com maior facilidade</p>

ID	Q10	Q11	Q12	Q13
8	Ajuda a melhor estabelecer o risco de execução dos projetos, de forma mais bem direcionada para a competência interna. A ferramenta pode ajudara gerenciar o risco de desenvolvimento e priorizar esforços para determinados módulos / funcionalidades.	Acho que para determinar o nível de experiência interna é necessário se ter um conhecimento abrangente e multidisciplinar dos projetos do CIMATEC. Essa atividade exige a participação de alguém com maior senioridade no CIMATEC para trazer esse histórico. Se for necessário contar com a participação de muitos pesquisadores sênior de múltiplas áreas, a nova etapa da DIP&T pode ser vista como custosa para o projeto.	Correlacionar com projetos internos anteriores. Levantar riscos, modos de falha, métodos de prevenção, detecção, etc. já conhecidos anteriormente e não esquecer de nenhum que seja relevante de projetos anteriores. Esforço significativo para adequar linguagem desses itens para um formato genérico, não enviesado e compacto.	Base de dados de modos de falha, métodos de prevenção, detecção comuns a múltiplos projetos. Guielines para redação de novos tópicos, com recomendações de linguagem mais adequada, termos e jargões adequados e que devem ser evitados. Notas padrão para modos de falha comuns a múltiplos projetos para acelerar processo e reduzir discrepâncias de entendimento entre diferentes projetos.

Anexo G – Formulário padrão para cálculo do TPN

Projeto: Parceiro(s): GP: LT:	Tipo de FMEA:		Produto		Nome (empresa ou área); Nome (empres ou área); ...													
	Fase de Aplicação:		Conceitual		Equipe executora:													
	Data v00:																	
	Data revisão:																	
ID	Subsistema	Função requerida	Provável modo de falha	Provável Efeito	Severidade	Potenciais causas	Probabilidade	Modo de prevenção atual	Modo de detecção atual	Detectabilidade	RPN	Conjunto/subconjunto	TR	FR	Obs. TRA	IML	Obs. IMA	TPN
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		

Produção Técnica e Científica

Araujo, D. V. G., Paiva, F. M. T., Figliuolo, S. Q., de Carvalho César, L., Pereira, P. L., & Sampaio, R. R. (2019, December). Estratégias de Aprendizagem Tecnológica em uma Empresa Multinacional de Bens de Capital. In 10th International Symposium on Technological Innovation. ISSN:2318-3403, D.O.I.: 10.7198/S2318-3403201900010910

Figliuolo, Saulo Queiroz; Araujo, Daniel Vianna Goes; César, Lucas de Carvalho; Torres, Fernanda Miranda. "ESTUDO DA TÉCNICA DE MINIMIZAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE EM PROCESSOS DE USINAGEM", p. 179-186. In: Anais do V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia. São Paulo: Blucher, 2019. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/siintec2019-23

Figliuolo, Saulo Queiroz, Beal, Valter Estevão, Rodamilans, Guilherme Bulhosa, Almeida, Danilo Araujo, Heredia, Laerte Girola, Almeida, Cleber Ribeiro, Iginio, Wellington Passos, and Hugo Francisco Lisboa Santos. "A Robotic System Development for Rigless Light Intervention." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, May 2020. doi: <https://doi.org/10.4043/30886-MS>

Figliuolo, SQ, Beal, VE, Mascarenhas, LAB, Romero Albino, JC, & Santos, HFL. "Conceptual Design of an In-Pipe Displacement System Applicable for Oil Well Production Column." Proceedings of the ASME 2020 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Volume 6: Design, Systems, and Complexity. Virtual, Online. November 16–19, 2020. V006T06A041. ASME. <https://doi.org/10.1115/IMECE2020-24628>

Beal, VE; FIGLIUOLO, SQ; MOTTA, DS. "Integration and replacement of internal parts of an emergency mechanical ventilator". In: 26th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM 2021, 2021, Florianópolis. Proceedings of 26th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM 2021, 2021. doi: <https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEM2021.COB2021-0712>

Figliuolo, Saulo Queiroz, Beal, Valter Estevão, Mascarenhas, Luis Alberto Breda. "A framework proposal: how to build a technology qualification plan." VIII International Symposium on Innovation and Technology (SIINTEC)

- Enviado em 04/07/2022
- Aceito em 26/08/2022
- Apresentado em 20/11/2022

Rocha, Lucas Sarmiento Neves da; Júnior, Fernando Amorim; Figliuolo, Saulo Queiroz; Reis, Hudson Roberto dos; Pinto, Michel De Jesus; Borges, Lucas Sarno Castro; Lima, Yago Souza Venacio; Batistic, Ricardo Mortara; Bittencourt, Giuliano Augusto Oliveira. MÓDULO AEROPÔNICO VERTICALIZADO E AQUAPÔNICO COM ILUMINAÇÃO COMPLEMENTAR. Depositante: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. (BR/BA) / BEGREEN FAZENDAS URBANAS LTDA (BR/MG). BR Nº 10 2019 016247 3 A2. Depósito: 06/08/2019 Publicação: 17/02/2021

Barbosa, Marcelo Luiz Ligeiro; Correia, Edisiene De Souza; Rocha, Lucas Sarmiento Neves da; Almeida, Edna Dos Santos; Meneses, Mateus Dos Santos de; Jorge, Carlos Eduardo da Silva; Oliveira, Frederico Garcia de; Ledezma, Luis Carlos Moreno; Silva, Alexandre Quirino da; Oliveira, Joaquim Ranyere Santana de; Beal, Valter Estevão; Figliuolo, Saulo Queiroz; Ferreira, Danilo Marques; Cunha, Gustavo Dos Santos; Vieira, Érika Durão. ROBÔ SUBAQUÁTICO PARA REMOÇÃO DE BIOINCRUSTAÇÃO MARINHA DE CASCOS DE UNIDADES FLUTUANTES COM SISTEMA DE CONTENÇÃO E CAPTURA DE RESÍDUOS. Depositante: PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS (BR/RJ) / SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, DEPARTAMENTO REGIONAL DA BAHIA - SENAI/DR/BA (BR/BA). Procurador: Francisco Carlos Rodrigues Silva. BR Nº 10 2021 024485 2 A2. Depósito: 03/12/2021 Publicação: 06/09/2022