



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

João Vitor Fernandes de Brito

Métodos para geração e priorização de requisitos e seleção de conceitos de projeto baseada em consenso estatístico: uma aplicação em robótica

Florianópolis
2020

João Vitor Fernandes de Brito

Métodos para geração e priorização de requisitos e seleção de conceitos de projeto baseada em consenso estatístico: uma aplicação em robótica

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Henrique Simas, Dr. Eng.

Coorientador: Prof. Estevan Hideki Murai, Dr. Eng.

Florianópolis
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Brito, João Vitor Fernandes de
Métodos para geração e priorização de requisitos e
seleção de conceitos de projeto baseada em consenso
estatístico: uma aplicação em robótica. / João Vitor
Fernandes de Brito ; orientador, Henrique Simas,
coorientador, Estevan Hideki Murai, 2020.
210 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Projeto no meio acadêmico. 3.
Determinação de requisitos de projeto. 4. Sistemas
robóticos. 5. Identificação estatística de consenso. I.
Simas, Henrique. II. Murai, Estevan Hideki. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título.

João Vitor Fernandes de Brito

Métodos para geração e priorização de requisitos e seleção de conceitos de projeto baseada em consenso estatístico: uma aplicação em robótica

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr, Dr. Eng.
Instituição UFSC

Prof. Rodrigo Bastos Fernandes, Dr. Eng.
Instituição UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica.

Coordenação do Programa de
Pós-Graduação

Prof. Henrique Simas, Dr. Eng.
Orientador

Florianópolis, 2020.

Dedico este trabalho à minha família acadêmica, com a qual passei o período de minha pós-graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe Iris, por todo suporte e coragem que me deram para que eu enfrentasse todas as dificuldades que surgiram ao longo do caminho.

À minha noiva, Thamiris, por todo companheirismo, paciência e apoio ao longo desta jornada.

À minha "família acadêmica", por me ensinar, desafiar e escutar ao longo destes anos.

À minha "mãe acadêmica", por me receber nesta família, pelas discussões e pelas dúvidas esclarecidas durante minha graduação e pós-graduação.

Ao meu "pai acadêmico", por seus conselhos, compreensão e amizade. Seu incentivo foi crucial para a conclusão deste trabalho.

Ao meu "irmão acadêmico", por seu otimismo e por sua parceria, dentro e fora do ambiente acadêmico.

À minha "tia acadêmica", por me emprestar seus conhecimentos e ouvidos.

À CAPES, pelo suporte financeiro que viabilizou minha pós-graduação.

À todos membros da equipe do projeto que participaram da execução dos métodos propostos. Em especial ao Gustavo Simas, Gustavo Queiroz, Vinicius Artmann e Virgílio Lima que participaram da execução dos três métodos propostos.

Ao programa de P&D da ANEEL e à Celesc pela remuneração referente à minha participação no Projeto de sistema robotizado para inspeção de linhas de distribuição de energia elétrica.

*"Those who plan do better than those who do not plan, even though they rarely stick to their plan."
(Winston Churchill)*

RESUMO

O projeto de sistemas robóticos é um desafio, não só devido a sua característica multidisciplinar, mas também por ser desejável ter experiência tanto na área técnica quanto na área de projeto. No meio acadêmico, o projeto de sistemas robóticos geralmente desenvolve projetos com alto nível de inovação, mas com recursos limitados. Esses projetos também enfrentam outros desafios como rotatividade de membros e a presença de membros com pouca experiência técnica ou em projeto. Além disso, em alguns casos há dificuldade de estabelecer consenso entre os membros da equipe, devido ao tamanho desta e sua composição multidisciplinar. Metodologias de projeto podem ser aplicadas para mitigar os desafios apresentados nestes projetos. Entretanto, algumas atividades e processos requerem que a equipe, como um todo, tenha um conhecimento ou experiência específicos para que sua realização seja ágil e precisa. Em parceria com a Celesc, a UFSC está desenvolvendo um sistema robótico para inspeção de linhas de distribuição elétrica. Neste projeto foram identificadas dificuldades para determinar os requisitos de projeto, assim como para avaliar os requisitos de projeto e concepções de robôs. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de métodos para projeto informacional e conceitual de sistemas robóticos. Em relação a métodos existentes, os métodos propostos visam reduzir o tempo e a necessidade de experiência para avaliar as concepções, determinar e avaliar os requisitos de projeto. O método proposto para determinar os requisitos de projetos consiste na análise dos requisitos de usuário seguida pela síntese dos requisitos de projeto, sendo executada através de dinâmicas em grupo planejadas. Para avaliar as concepções e os requisitos de projeto, é proposto o uso da análise estatística dos votos individuais, adquiridos respectivamente com auxílio do método de Pugh e matriz casa qualidade, para identificação de consenso na equipe. Ao longo deste trabalho são apresentadas metodologias e ferramentas de projeto, os métodos desenvolvidos e um estudo de caso para cada método, com os quais foi possível constatar a efetividade de cada método.

Palavras-chave: projeto no meio acadêmico, determinação de requisitos de projeto, sistemas robóticos, identificação estatística de consenso.

ABSTRACT

The project of robotic systems is a challenge, not only due to its multidisciplinary characteristic, but also because it is desirable to have experience in both technical and project area. In academia, the project of robotic systems generally develops projects with a high level of innovation, but with limited resources. These projects also face other challenges such as member turnover and the presence of members with little technical or project experience. Additionally, in some cases it is difficult to establish consensus among team members, due to team size and its multidisciplinary composition. Project methodologies can be applied to mitigate the challenges presented in these projects. However, some activities and processes require the team, as a whole, to have a specific knowledge or experience so that its development is agile and accurate. In partnership with Celesc, UFSC is developing a robotic system for inspection of electrical distribution lines. In this project, difficulties were identified in determining the project requirements, as well as in evaluating the project requirements and robots concepts. The objective of this work is to develop methods for informational and conceptual project of robotic systems. Compared to existing methods, the proposed methods aim to reduce the time and the required experience to evaluate the concepts, determine and evaluate the project requirements. The proposed method for project requirement determination consists in the analysis of the user requirements followed by the synthesis of the project requirements, being executed by planned group dynamics. To evaluate the conceptions and project requirements, it is proposed to use a statistical analysis of the individual evaluations to identify consensus of the team. These evaluations are acquired respectively with the aid of the Pugh's method and the house quality matrix. Throughout this work are presented methodologies and design tools, the methods developed and a case study for each proposed method, with which was possible to verify the effectiveness of each method.

Keywords: project in academia, defining project requirements, robotic systems, statistical consensus identification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de robôs: (a) Roomba, (b) Da Vinci, (c) Quattro, (d) ACM-R5H	21
Figura 2 – Fluxograma de atividades para o PDP segundo Pahl.	29
Figura 3 – Fluxograma de atividades para o PDP segundo Back.	33
Figura 4 – Representação dos campos da matriz casa qualidade.	40
Figura 5 – Exemplos do teorema do limite central: recorrência da soma de caras com números de lançamento de moeda distintos.	46
Figura 6 – Distribuições T com graus de liberdade ($n - 1$) distintos.	47
Figura 7 – Exemplos de intervalo de confianças: a)bicaudal , b)unicaudal com limite superior, c)unicaudal com limite inferior.	49
Figura 8 – Fluxograma de execução do método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto.	53
Figura 9 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de análise dos requisitos de usuário.	54
Figura 10 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de síntese assistida dos requisitos de projeto.	59
Figura 11 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de eliminação de requisitos de projeto.	63
Figura 12 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de apresentação.	66
Figura 13 – Intersecção de conjunto de propostas sintetizadas em requisitos de projeto por times distintos.	76
Figura 14 – Correspondência entre os requisitos de projeto.	77
Figura 15 – Peso relativo dos requisitos de projeto determinados no projeto da Celesc.	79
Figura 16 – Fluxograma de execução do método de priorização semipresencial dos requisitos de projeto.	84
Figura 17 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de coleta remota de avaliações individuais.	85
Figura 18 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de análise estatística das avaliações individuais e identificação de CPIC.	87
Figura 19 – Divisão não simétrica da faixa de avaliação para para priorização semipresencial dos requisitos de projeto.	87
Figura 20 – Dois intervalos de confiança para uma mesma distribuição com níveis de confiança distintos.	88
Figura 21 – Intervalo de confiança contido por duas faixas de avaliação indicando consenso indeterminado.	88

Figura 22 – Intervalo de confiança contido pelas três faixas de avaliação indicando consenso inconclusivo.	89
Figura 23 – Fluxograma das atividades executadas na reunião de debate e fechamento.	91
Figura 24 – Distribuição das avaliações individuais.	97
Figura 25 – Distribuição das avaliações individuais por formulário.	98
Figura 26 – Avaliação percentual dos tipos de consenso identificado.	98
Figura 27 – Distribuição das avaliações consensuais.	99
Figura 28 – Distribuição das avaliações consensuais por formulário.	100
Figura 29 – Proporção de itens contestados.	100
Figura 30 – Resultado da contestação e votação das avaliações.	101
Figura 31 – Modificação absoluta de prioridade dos requisitos de projeto.	102
Figura 32 – Exemplo de conjunto de avaliações individuais em que é possível determinar uma avaliação média a partir do critério CPQ.	104
Figura 33 – Exemplo de conjunto de avaliações individuais em que é possível determinar uma avaliação baixa a partir do critério CPQ.	104
Figura 34 – Exemplo em que a faixa de avaliação está contida pelo intervalo de confiança unicaudal.	107
Figura 35 – Exemplo em que o critério CPFA determina uma avaliação média enquanto o critério CPIC não consegue determinar uma avaliação.	108
Figura 36 – Exemplo em que pode existir subjetividade na identificação do CPFA indeterminado.	108
Figura 37 – Opinião dos participantes sobre o uso das escalas aplicadas.	114
Figura 38 – Número de votos na avaliação mais votada.	115
Figura 39 – Disposição dos itens contestados.	116
Figura 40 – Fluxograma de execução do método de avaliação estatística para seleção de concepções.	119
Figura 41 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de esclarecimento das concepções.	120
Figura 42 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de apresentação e avaliação individual das concepções.	122
Figura 43 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de identificação dos itens avaliados em que se atingiu consenso.	123
Figura 44 – Divisão simétrica da escala de avaliação.	124
Figura 45 – Intervalo de confiança bicaudal contido pela faixa de avaliação intermediária.	125
Figura 46 – Intervalo de confiança unicaudal contido pela faixa de avaliação inferior.	125
Figura 47 – Intervalo de confiança unicaudal contido pela faixa de avaliação superior.	125

Figura 48 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de reunião de debate e avaliação das concepções	126
Figura 49 – Valor médio do conjunto de avaliações individuais de um item em que não foi possível determinar consenso.	127
Figura 50 – Avaliação atribuída a partir do valor médio das avaliações individuais.	127
Figura 51 – Distribuição das avaliações individuais.	133
Figura 52 – Consenso indeterminado indicando uma avaliação neutra ou positiva.	138

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo de entrevistas realizadas com participantes de projetos distintos de sistemas robóticos no meio acadêmico.	23
Quadro 2 – Escala de avaliação de concepções.	32
Quadro 3 – Matriz de apoio à conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto.	54
Quadro 4 – Exemplo de preenchimento de uma matriz de apoio para o projeto de uma caminhote.	57
Quadro 5 – Estrutura da lista dedicada à navegação.	60
Quadro 6 – Estrutura da lista dedicada ao controle e acompanhamento da síntese de requisitos de projeto.	60
Quadro 7 – Estrutura da lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus atributos específicos de origem.	61
Quadro 8 – Estrutura da lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus requisitos de usuário de origem.	61
Quadro 9 – Exemplo de lista dedicada à navegação.	68
Quadro 10 – Exemplo lista dedicada ao registro e acompanhamento da síntese requisitos de projeto.	68
Quadro 11 – Exemplo de lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus atributos específicos de origem.	69
Quadro 12 – Exemplo de lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus requisitos de usuário de origem.	69
Quadro 13 – Divisão dos requisitos de projeto em classes	72
Quadro 14 – Requisitos de projeto sintetizados através do método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto. . .	73
Quadro 15 – Comparação entre os requisitos de projeto identificados através da execução do método com os requisitos de projeto equivalentes determinados durante a execução do projeto	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo matriz de Pugh.	41
Tabela 2 – Exemplo de matriz de avaliação.	42
Tabela 3 – CPQ identificado para diferentes formulários.	105
Tabela 4 – CPIC identificado para diferentes formulários.	106
Tabela 5 – CPFA identificado para diferentes formulários.	109
Tabela 6 – Comparação do consenso identificado para critérios distintos.	110
Tabela 7 – Efeito da variação do parâmetro de probabilidade sobre a identificação de CPIC e CPFA	111
Tabela 8 – Efeito da variação do posicionamento das fronteiras sobre a identificação de CPQ, CPIC, CPFA.	113
Tabela 9 – Avaliação das concepções antes de ser feito o debate.	131
Tabela 10 – Avaliação das concepções depois de ser feito o debate.	132
Tabela 11 – Identificação de avaliação positiva com CPM e CPIC para contagens de voto distintas	134
Tabela 12 – Identificação de avaliação média com CPM e CPIC para contagens de voto distintas	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B/M	Opção de avaliação consensual “Baixa ou média” e opção de avaliação individual “Abaixo da média”
CPFA	Consenso pela probabilidade de cada faixa de avaliação
CPIC	Consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança
CPM	Consenso percentual mínimo
CPQ	Consenso pelo posicionamento do primeiro e terceiro quartis
M/A	Opção de avaliação consensual “Média ou alta” e opção de avaliação individual “Acima da média”
PDP	Processo de desenvolvimento de produtos

LISTA DE SÍMBOLOS

σ^2	Variância de uma população
σ	Desvio padrão de uma população
μ	Média de uma população
x_i	Valor do i-ésimo dado do conjunto de dados de uma população
n	Número total de dados do conjunto
Z	Variável aleatória normal padrão
Z	Valor z
X	Variável aleatória normal
S	Desvio padrão de uma amostra
T	Variável aleatória de distribuição t com $(n - 1)$ graus de liberdade
t	Valor t
S^2	Variância de uma amostra
\bar{x}	Média de uma amostra

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	SISTEMA ROBÓTICO	20
1.2	PROJETO DE SISTEMAS ROBÓTICOS NO MEIO ACADÊMICO	21
1.3	PROJETO DE SISTEMA ROBOTIZADO PARA INSPEÇÃO DE LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	23
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	25
1.5	OBJETIVOS	25
1.6	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	25
2	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	27
2.1	METODOLOGIAS DE PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS	28
2.1.1	Metodologia desenvolvida por Pahl e Beitz	28
2.1.1.1	Esclarecimento da tarefa	30
2.1.1.2	Projeto conceitual	30
2.1.1.3	Projeto preliminar	32
2.1.1.4	Projeto detalhado	32
2.1.2	Metodologia PRODIP	32
2.1.2.1	Projeto informacional	34
2.1.2.2	Projeto conceitual	35
2.1.2.3	Projeto preliminar	36
2.1.2.4	Projeto detalhado	36
2.2	FERRAMENTAS DE PROJETO	36
2.2.1	Ferramentas auxiliares à geração de ideias	36
2.2.2	Ferramentas para avaliação e seleção	39
2.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
3	ESTATÍSTICA	44
3.1	DEFINIÇÕES	44
3.1.1	Tipos de dados	44
3.1.2	Indicadores de tendência central	44
3.1.3	Indicadores de dispersão	45
3.1.4	Distribuições de probabilidade	45
3.1.5	Intervalo de confiança	48
3.2	IDENTIFICAÇÃO DE CONSENSO ATRAVÉS DE DADOS ESTATÍSTICOS	49
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
4	MÉTODO DE CONVERSÃO SISTEMÁTICA DOS REQUISITOS DE USUÁRIO EM REQUISITOS DE PROJETO	51

4.1	JUSTIFICATIVA	51
4.2	PROPOSTA	52
4.2.1	Análise dos requisitos de usuário	53
4.2.2	Síntese assistida dos requisitos de projeto	59
4.2.3	Eliminação de requisitos de usuário	62
4.2.4	Apresentação	64
4.3	EXECUÇÃO	66
4.4	RESULTADOS	73
4.5	DISCUSSÃO	74
4.5.1	Análise dos requisitos de usuário	74
4.5.2	Síntese e eliminação de requisitos de projeto	75
4.5.3	Rastreabilidade das informações dentro do método	75
4.5.4	Análise comparativa dos resultados	77
4.5.5	Tempo investido para a execução do método	80
4.6	CONCLUSÕES PARCIAIS	81
5	MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO SEMIPRESENCIAL DOS REQUISITOS DE PROJETO	83
5.1	JUSTIFICATIVA	83
5.2	PROPOSTA	83
5.2.1	Coleta remota de avaliações individuais	84
5.2.2	Análise estatística das avaliações individuais e identificação de consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança	86
5.2.3	Reunião de debate e fechamento	90
5.3	EXECUÇÃO	93
5.4	RESULTADOS	96
5.4.1	Distribuição das avaliações individuais	97
5.4.2	Distribuição das avaliações consensuais	98
5.4.3	Itens contestados	100
5.5	DISCUSSÕES	102
5.5.1	Ordem de apresentação dos requisitos nos formulários	102
5.5.2	Comparação de resultados entre critérios de avaliação distintos	103
5.5.2.1	Critério de consenso pelo posicionamento dos quartis	103
5.5.2.2	Critério de consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança	106
5.5.2.3	Critério de consenso pela probabilidade das faixas de avaliação	107
5.5.3	Análise da influência da variação da probabilidade sobre a identificação de consenso	110
5.5.4	Análise da influência da variação do posicionamento das fronteiras sobre a identificação de consenso	112

5.5.5	Análise da opinião dos participantes sobre as escalas de avaliação distintas	114
5.5.6	Itens contestados	114
5.5.7	Tempo de execução e conclusão remota	115
5.6	CONCLUSÕES PARCIAIS	117
6	MÉTODO DE AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA PARA SELEÇÃO DE CONCEPÇÕES	118
6.1	JUSTIFICATIVA	118
6.2	PROPOSTA	119
6.2.1	Esclarecimento de cada concepção	119
6.2.2	Apresentação e avaliação individual das concepções	121
6.2.3	Identificação dos itens avaliados em que se atingiu consenso	122
6.2.4	Reunião de debate e avaliação das concepções	126
6.2.5	Análise da avaliação e seleção da concepção mais adequada	128
6.3	EXECUÇÃO	128
6.4	RESULTADOS	130
6.5	DISCUSSÃO	132
6.5.1	Considerações iniciais	132
6.5.2	Predominância de avaliações neutras	133
6.5.3	Divergência de resultados para critérios de consenso distintos	134
6.5.4	Possibilidade de ajuste do consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança através do posicionamento das fronteiras	136
6.5.5	Avaliação comparativa entre concepções que não são a concepção de referência	137
6.6	CONCLUSÕES PARCIAIS	138
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	140
7.1	CONCLUSÕES	140
7.2	TRABALHOS FUTUROS	141
7.2.1	Integração dos três métodos propostos a um software	141
7.2.2	Adaptação do método de priorização dos requisitos de projeto para avaliar relação entre requisitos de projeto	142
	REFERÊNCIAS	144
	APÊNDICE A – ENTREVISTAS	148
	APÊNDICE B – MATRIZES DE APOIO À SÍNTESE DE REQUISITOS DE PROJETO	156
	APÊNDICE C – SISTEMA DE ENUMERAÇÃO DOS REQUISITOS DE USUÁRIO E ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	162
	APÊNDICE D – EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DAS LISTAS DE APOIO À SÍNTESE DE REQUISITOS DE PROJETO	164

APÊNDICE E – DEFINIÇÕES DOS REQUISITOS DE USUÁRIO . .	167
APÊNDICE F – LISTAS DE APOIO À SÍNTESE DE REQUISITOS DE PROJETO	170
APÊNDICE G – LISTAS DE REQUISITOS DE PROJETO OBTIDAS NA ETAPA DE SÍNTESE	194
APÊNDICE H – DEFINIÇÕES DOS REQUISITOS DE PROJETO .	199
APÊNDICE I – EXEMPLO DA RASTREABILIDADE DO MÉTODO DE CONVERSÃO SISTEMÁTICA DOS REQUISI- TOS DE USUÁRIO EM REQUISITOS DE PROJETO	203
APÊNDICE J – REQUISITOS DE PROJETO PRIORIZADOS . . .	205
ANEXO A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO DURANTE O PRO- JETO DA CELESC	207
ANEXO B – FOLHA DE AVALIAÇÃO	209

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação analisa metodologias prescritivas de projeto de desenvolvimento de produto e propõe novos métodos que podem ser aplicados a estas metodologias. Estes métodos procuram reduzir desafios encontrados em projetos de desenvolvimento de sistemas robóticos no meio acadêmico. Após a proposição de cada método são apresentados sua aplicação, resultados da aplicação, discussão sobre os resultados e conclusões parciais.

1.1 SISTEMA ROBÓTICO

Antes de se discutir sobre o projeto de sistemas robóticos é necessário primeiro compreender o que é um sistema robótico.

A ciência de mecanismos e máquinas é o ramo da ciência que trata da teoria e prática da geometria, movimento, dinâmica e controle de máquinas, mecanismos assim como de seus elementos e sistemas. Esta ciência também trata da interação dos mecanismos e máquinas com o ambiente em que ela opera. Processos relacionados a estas aplicações, como conversão e transferência de energia e sinais, também pertencem a esta ciência (IONESCU, 2003).

Mecanismos são sistemas de corpos projetados para converter movimentos de, e forças sobre, um ou mais corpos em movimentos restritos de, e forças sobre, outros corpos. Máquinas são sistemas mecânicos que executam tarefas específicas como dar forma a um material e a transferência e transformação de movimentos e forças (IONESCU, 2003).

A ciência de mecanismos e máquinas contém a robótica, campo da ciência dedicada ao projeto, construção e aplicação de robôs. Para compreender o objeto de estudo da robótica é necessário também definir o que é um robô. Neste ponto existe divergência entre especialistas de robótica relativo a quão autônoma uma máquina precisa ser para ser definida como um robô (IONESCU, 2003; GUIZZO, 2018).

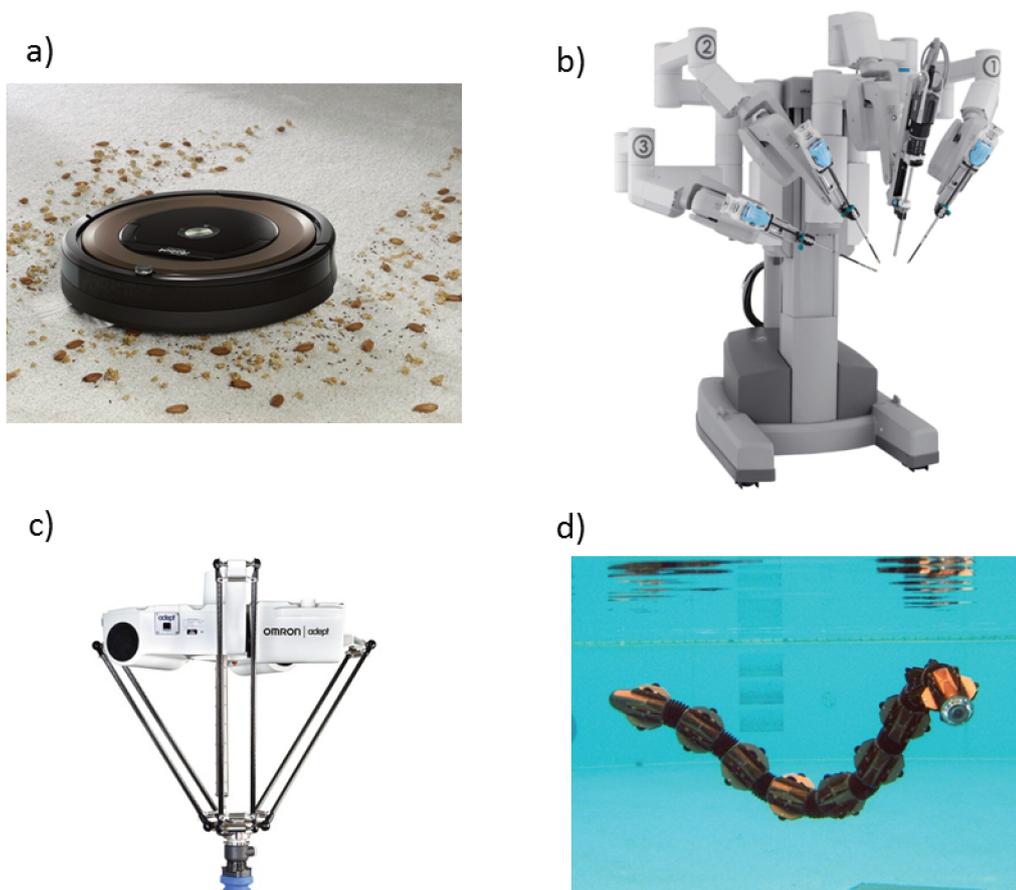
Neste trabalho é adotada a seguinte definição de robô: “sistema mecânico sob controle automático que realiza operações como manipulação e locomoção” (IONESCU, 2003).

Um sistema robótico é composto pelo hardware e software de um robô. No caso o sistema robótico inclui dispositivos para manipulação e locomoção, efetadores finais, fonte de alimentação, controladores e qualquer outro equipamento ao qual o robô possui interface direta (IONESCU, 2003).

1.2 PROJETO DE SISTEMAS ROBÓTICOS NO MEIO ACADÊMICO

Independente da aplicação de um sistema robótico, seu desenvolvimento envolve conhecimentos de engenharias distintas. Adicionalmente, sistemas robóticos são projetados para uma ampla gama de funções, incluindo funções como atividades domésticas, operações médicas, atividades no ambiente industrial, pesquisa subaquática, Figura 1.

Figura 1 – Exemplos de robôs: (a) Roomba, (b) Da Vinci, (c) Quattro, (d) ACM-R5H



Fonte – Adaptado de (IEEE, s.d.)

Esses fatores fazem com que seja adequado reunir uma equipe de projeto com um conjunto de formações e experiências técnicas complementares para o desenvolvimento de um projeto de sistema robótico. Dependendo da função do sistema robótico, pode ser necessária a contratação de especialistas e consultores fora do ambiente da engenharia como psicólogos, biólogos, físicos e químicos, para garantir que o desenvolvimento do projeto seja adequado.

Do ponto de vista da formação acadêmica dos integrantes de uma equipe de projeto de um sistema robótico, é esperado que alguns dos profissionais possuam pouco conhecimento sobre projetos de produtos e/ou projetos multidisciplinares. O uso de metodologias prescritivas de projeto de desenvolvimento de produtos pode suprir

parcialmente a falta deste conhecimento, assim como auxiliar na comunicação entre os membros da equipe de projeto multidisciplinar.

Atualmente existem metodologias de projeto de desenvolvimento de produtos bem difundidas de aplicação abrangente (Pahl *et al.* (2007), Back *et al.* (2008) e Baxter (2000)), mas estas apresentam etapas com enfoque no desenvolvimento de produtos comerciais. Adicionalmente algumas atividades destas metodologias podem apresentar uma elevada dependência de experiência prévia no projeto de outros produtos similares por parte da equipe de projeto.

Projetos de engenharia no meio acadêmico costumam apresentar um conjunto de particularidades. As equipes de projeto geralmente possuem professores, pós-graduandos e graduandos de cursos relacionados aos conhecimentos necessários para a execução do projeto. A presença de alunos e professores implica que o tempo que a equipe destina ao projeto não é integral. A presença de alunos na equipe de projeto pode implicar em uma substituição periódica de integrantes da equipe de projeto devido à conclusão de seu curso.

Conforme observado em entrevistas (Apêndice A) é usual que projetos de engenharia no meio acadêmico sejam executados através da parceria entre um ou mais grupos de pesquisa da universidade com uma instituição privada ou pública, geralmente identificada como contratante da equipe de projeto. Muitos desses projetos são provenientes de editais públicos, geralmente divulgados para atender demandas regulamentárias e/ou legais.

A parceria entre entidades distintas, a necessidade de atender demandas regulamentárias e/ou legais e geralmente a presença de recursos públicos por parte de uma das entidades favorecem a presença de uma elevada burocracia durante a execução de projetos de engenharia no meio acadêmico.

Uma vez que um projeto é concluído, a parceria entre as entidades participantes do projeto pode ser encerrada de maneira temporária ou definitiva. Isto pode fazer com que o grupo de pesquisa tenha necessidade de procurar novas parcerias e projetos. Caso esta prática seja recorrente, o grupo de pesquisa pode não conseguir se especializar no projeto de um tipo de produto, limitando a experiência transmitida a novos projetos.

O projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico geralmente possuem as características apresentadas anteriormente que podem resultar nos desafios listados abaixo:

- Presença de poucos membros, possivelmente inexistência de membros, com experiência técnica no projeto de sistemas robóticos com funções similares;
- Presença de membros com conhecimento e/ou experiência limitada com metodologias prescritivas para projetos de desenvolvimento de produtos;

- Dificuldade de gerenciar e executar tarefas que envolvem toda a equipe de projeto devido à combinação do tamanho da equipe, variedade de experiência em projetos e áreas de conhecimento dos integrantes da equipe;
- Atrasos e dificuldade de fazer uso da verba de projeto devido à burocracia

Através de entrevistas com professores que participaram do desenvolvimento de projetos de sistemas robóticos foi possível constatar que as dificuldades listadas acima podem ser encontradas nestes tipos de projeto. No Quadro 1 são apresentadas respostas que evidenciam a presença destas dificuldades nos projetos listados.

Quadro 1 – Resumo de entrevistas realizadas com participantes de projetos distintos de sistemas robóticos no meio acadêmico.

Questões	Proj. A	Proj. B	Proj. C	Proj. D	Proj. E
Tempo de execução (meses)	24	78	60	20	-
Tempo planejado de execução (meses)	24	36	24	14	-
O projeto envolvia quantas áreas de conhecimento?	3	5	4	5	3
N de integrantes na equipe	10	20 a 40	5	12	10
N de integrantes que iniciaram o projeto com conhecimento de PDP	5	8	3	7	-
N de integrantes que já haviam participado do projeto de um sistema com função global similar	0	0	0	2	3
N de pessoas que participaram da equipe de projeto	-	70	12	15	20
Houve participação de professores e/ou estudantes de graduação ou pós-graduação?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Apresentou dificuldades burocráticas?	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Quais os motivos de execução do projeto*?	b; c	a; b	a	c	b; c

*motivos possíveis:

a - Suprir uma necessidade de mercado que a empresa identificou;

b - Suprir uma necessidade tecnológica de uma empresa;

c - Suprir demandas regulamentares e/ou legais.

Mais informações sobre as entrevistas podem ser encontradas no Apêndice A.

1.3 PROJETO DE SISTEMA ROBOTIZADO PARA INSPEÇÃO DE LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Em parceria com a empresa Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (CELESC) e com a Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina (FEESC), um grupo de pesquisa do Laboratório de Robótica Raul Guenther da Universidade Federal

de Santa Catarina (UFSC) deu início ao projeto de n° 05697-0317/2017 em junho de 2018.

O projeto de pesquisa “Sistema robotizado para inspeção de linhas de distribuição de energia elétrica” teve sua fase de projeto informacional concluída em dezembro de 2018. A fase de projeto conceitual foi concluída em dezembro de 2019. Atualmente o projeto ainda está em desenvolvimento. Este projeto foi utilizado como objeto de estudo na execução dos métodos propostos desta dissertação, sendo executados com alguns integrantes da equipe de projeto.

A fase de projeto informacional foi iniciada pelo levantamento do estado da arte e identificação das condições de contorno da rede de distribuição da Celesc. Em paralelo foram feitas entrevistas com técnicos responsáveis pela inspeção e engenheiros da Celesc para identificar as necessidades de usuário. Estas foram posteriormente convertidas para requisitos de usuário, totalizando 23, e tiveram suas prioridades definidas em reuniões entre a equipe de projeto e representantes da Celesc. Ao fim do projeto informacional, a equipe de projeto definiu 50 requisitos de projeto com base nos requisitos de usuário e estabeleceu 15 especificações de projeto com base nas condições de operação do sistema robótico.

O projeto conceitual foi iniciado pela identificação da função global, funções parciais e funções elementares do sistema robótico. Em seguida foram identificados princípios de soluções para funções parciais ou elementares. A equipe, dividida em três times, gerou conceitos em sessões de *brainstorming* a partir dos princípios de solução destas funções. Cada time selecionou até 6 conceitos propostos para serem apresentadas à equipe de projeto, totalizando 16 conceitos. Com a equipe de projeto reunida, estes conceitos foram apresentados e avaliados através de quatro critérios: inovação, viabilidade mercadológica e financeira, maturidade tecnológica e impacto no gosto do cliente. Ao final da reunião a equipe de projeto foi dividida em cinco times para realizar o amadurecimento de sete conceitos para concepções de sistemas robóticos.

Durante o amadurecimento dos conceitos foi identificado que três conceitos apresentavam inviabilidades tecnológicas, sendo interrompido o desenvolvimento destes conceitos. A partir de agosto de 2019, a equipe de projeto foi reorganizada em dois grupos: o primeiro grupo ficou responsável pela redação de patentes e o segundo grupo, este subdividido em três times, ficou responsável por continuar o desenvolvimento das quatro concepções.

Os três times continuaram o desenvolvimento das quatro concepções de maneira independente, incluindo o projeto e construção de maquetes para avaliar o comportamento das concepções em uma rede de teste instalada na UFSC. Em outubro de 2019 foi identificado que o elevado número de requisitos de projeto, existência de correlação entre alguns destes requisitos e divergência das informações levantadas por estes times para cada concepção poderiam afetar a avaliação das concepções.

Visando revisar os requisitos de projeto e proporcionar um conjunto uniforme de informações para a avaliação das concepções do projeto da Celesc de maneira concisa e rigorosa, foi dado início ao desenvolvimento dos métodos propostos nesta dissertação.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Para este trabalho foram estudadas as atividades das fases de projeto informacional e conceitual de projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico. Foi dado enfoque a atividades destas fases de projeto que apresentaram desafios durante a execução do projeto da Celesc.

Os três métodos propostos neste trabalho visam adaptar métodos e ferramentas pré-existentes do processo de desenvolvimento de produtos para projetos de sistemas robóticos no meio acadêmico.

1.5 OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação é minimizar a necessidade de conhecimento e experiência prévios sobre o processo de desenvolvimento do projeto informacional e conceitual de sistemas robóticos. Outro objetivo deste trabalho é minimizar o tempo investido nas atividades de seleção das concepções e de priorização dos requisitos de projeto por equipes de projeto numerosas.

Para atingir os objetivos apresentados, esta dissertação possui quatro objetivos específicos:

- Apresentar ferramentas de projeto úteis para geração de ideias e avaliação no projeto informacional e conceitual;
- Desenvolver método para determinar requisitos de projeto;
- Desenvolver método para priorizar requisitos de projeto;
- Desenvolver método para avaliar concepções.

1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete capítulos, dez apêndices e dois anexos. Os métodos propostos são apresentados neste trabalho de acordo com a ordem que foram desenvolvidos.

No Capítulo 1 são apresentadas características de projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico, possíveis desafios relacionados a estas características e os objetivos deste trabalho.

O Capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica do processo de desenvolvimento de produto. Neste capítulo também é feita revisão de ferramentas de projeto.

O Capítulo 3 é dedicado à revisão de conceitos de estatística necessários para a compreensão dos métodos propostos neste trabalho.

O Capítulo 4 é dedicado ao método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto. No capítulo são apresentados: uma breve justificativa, sua proposta, execução, resultados, discussões e conclusões parciais.

O Capítulo 6 é dedicado ao método de avaliação estatística para seleção de concepções. No capítulo são apresentados: uma breve justificativa, sua proposta, execução, resultados, discussões e conclusões parciais.

O Capítulo 5 é dedicado ao método de priorização semipresencial dos requisitos de projeto. No capítulo são apresentados: uma breve justificativa, sua proposta, execução, resultados, discussões e conclusões parciais.

As conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 7.

2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O Processo de desenvolvimento de produtos (PDP) permite a criação de valor para uma organização. Esse valor pode vir através de elementos tangíveis, como ferramentas, participação de mercado, ativos monetários, ou através de elementos intangíveis, como reconhecimento da marca, reputação, benefício público (PMI, 2017).

Organizações apresentam outros meio de gerar valor, também fazendo uso de seus recursos e colaboradores através da execução de um plano. O que difere um projeto dessas outras atividades é que “um projeto é um esforço temporário realizado para criar um produto ou serviço único” (PMI, 2017).

Ainda que único, o produto resultante de um projeto pode apresentar diferentes níveis de inovação. Segundo Back et al. (2008) estes produtos podem ser classificados em:

- Variantes de produtos existentes: incluem as extensões de linha, o reposicionamento de produtos em termos de seu uso e mercado, formas novas, versões modificadas e, em alguns casos, nova embalagem de produtos existentes;
- Inovativos: são resultado de modificações feitas em produtos existentes, gerando produtos de elevado valor agregado, geralmente, um maior grau de inovação requer um tempo mais longo ou esforço de desenvolvimento e maior custo de pesquisa;
- Criativos: geralmente são produtos com existência nova, o tempo de desenvolvimento é longo e os custos de pesquisa e desenvolvimentos são elevados. A introdução no mercado de produtos criativos pode ser de risco elevado, mas também pode gerar novos paradigmas e potencializar novos campos da indústria.

Apesar de ser mais crítico para o desenvolvimento de produtos criativos, em cada projeto é necessário garantir um gerenciamento e execução eficazes para que este atinja seus objetivos dentro dos custos e prazo determinados. Ao longo dos anos, visando melhorar as chances de conclusão e sucesso de projetos de desenvolvimento de produto, pesquisadores procuraram identificar as etapas e tarefas comuns em projetos distintos, assim como definir práticas e ferramentas para auxiliar a execução de projetos (PMI, 2017; ROMANO, 2003; PENSO, 2003).

Como resultado, hoje existe um grande número de ferramentas e metodologias desenvolvidas por diferentes autores, algumas abrangentes, outras com um nicho específico, como dispositivos mecatrônicos, softwares, etc.

Neste capítulo serão apresentadas informações referentes a metodologias (seção 2.1) de projeto e ferramentas utilizadas em seu desenvolvimento (seção 2.2).

2.1 METODOLOGIAS DE PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

No campo da engenharia, as metodologias de projeto são geralmente do tipo procedural, também conhecidas como prescritivas, orientando os projetistas sobre as atividades e recursos que devem ser utilizados em cada etapa do projeto. Normalmente esses modelos são apresentados através de fluxogramas contendo fases, em que cada uma possui entradas e saídas, assim como as atividades a serem realizadas para a transformação destas (OGLIARI, 1999).

Romano (2003) fez uma análise de ciclos de vida de projeto sugeridos por diferentes autores para projetos de desenvolvimento de produtos em áreas distintas. Através da análise foi possível identificar três macrofases: o planejamento, a elaboração do projeto e a implementação.

A macrofase de planejamento do projeto é a etapa inicial de um projeto e remete a atividades como seleção do produto a ser desenvolvido, estabelecimento de cronograma, entregas parciais e orçamento. A macrofase de implementação é a etapa de finalização de um projeto e remete a atividades como documentação, preparação para produção e introdução do produto no mercado.

Na macrofase de elaboração do projeto é possível observar que a sequência lógica das fases para a maioria dos autores é muito próxima. Visando uma representação abrangente das diversas proposições de projeto, Back e Ogliari (2000) propuseram a divisão desta macrofase em quatro fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

A seguir serão apresentadas atividades propostas por duas metodologias distintas para estas quatro fases de projeto.

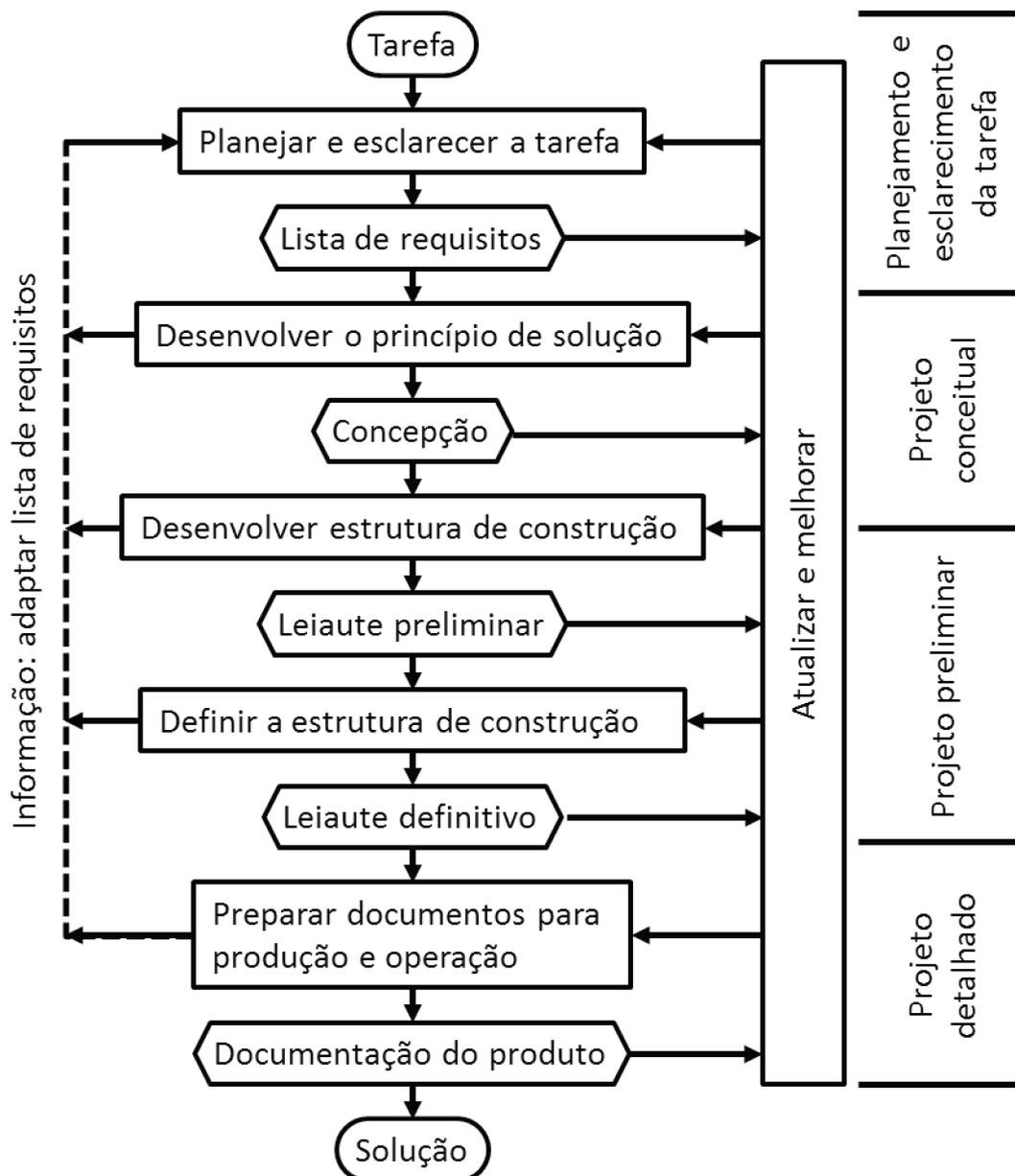
2.1.1 Metodologia desenvolvida por Pahl e Beitz

A metodologia de projeto desenvolvida por Pahl e Beitz tem origem na escola alemã de projeto de engenharia. A metodologia é estruturada de maneira genérica, podendo ser utilizada por especialistas de diferentes campos de conhecimento, e incentiva o uso de ferramentas que auxiliam o processo criativo, facilitando a busca por soluções ótimas. Seu desenvolvimento se dá através de uma estrutura sistemática de solução de problemas, consistindo de etapas subsequentes de análise e síntese (BACK *et al.*, 2008; PEREZ, 2016; BORGES, 2010).

O processo de desenvolvimento do produto é realizado através de quatro fases: esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, Figura 2. Através do fluxograma é possível perceber de que existe um fluxo principal bem definido, em que o produto de uma fase é a entrada da fase seguinte. Também é evidente a existência de dois fluxos secundários, um para atualização dos produtos

de uma fase e outro para que a equipe possa retroceder a etapas anteriores visando atualizar e melhorar o projeto.

Figura 2 – Fluxograma de atividades para o PDP segundo Pahl.



Fonte – Adaptado de (PAHL *et al.*, 2007)

Nas seções seguintes será feita uma apresentação breve das quatro fases propostas pelos autores para o processo de desenvolvimento de produtos. Será dada ênfase às etapas em de determinação dos requisitos de projeto e seleção da concepção, respectivamente presentes nas fases de esclarecimento da tarefa e projeto conceitual.

2.1.1.1 Esclarecimento da tarefa

O projeto é iniciado com uma ideia de produto e, para um melhor esclarecimento dos objetivos a serem alcançados com o projeto, a equipe deve ser capaz de responder a algumas perguntas como:

- É esperado que o produto satisfaça quais propósitos?
- Quais características o produto deve ter?
- Quais características que o produto não pode ter?

O processo de resposta a estes questionamentos levará a equipe ao desenvolvimento da lista de requisitos. Pahl et al. (2007) sugere a execução de 5 atividades para o desenvolvimento da lista de requisitos, descritas a seguir.

Identificação das demandas: de acordo com Pahl et al. (2007), as demandas básicas são requisitos implícitos para o consumidor. O atendimento dessas demandas é vital para o consumidor, de maneira que estas estão intimamente relacionadas com os propósitos que o produto irá satisfazer. As demandas atrativas estão relacionadas com diferenciais que o consumidor geralmente não está disposto a pagar mais para obtê-los, mas podem influenciar de maneira não consciente no momento da escolha do produto. Por fim os requisitos de origem técnica são requisitos que, apesar de serem técnicos, os consumidores tem facilidade em expressar sua demanda através de valores numéricos precisos.

Refinar e estender os requisitos: Pahl et al. (2007) sugere dois métodos para refinar os requisitos identificados, através de uma lista de conferência ou através da criação de cenários. A conferência através de uma lista de requisitos se dá através da adequação dos requisitos identificados pela equipe de projeto com uma lista de requisitos de projeto levantada anteriormente, por um autor ou pela própria equipe. O processo de criação de cenários envolve identificar como e com quais usuários o produto pode interagir durante seu ciclo de vida.

Determinar demandas e desejos: Com a listagem dos requisitos de projeto a equipe deve identificar quais destes requisitos são demandas, requisitos em que não é aceitável o seu não cumprimento, e quais requisitos são desejos, requisitos que devem ser levados em consideração durante o projeto. A distinção entre demandas e desejos é importante, pois a avaliação de concepções é realizada apenas com as concepções que foram capazes de atender as demandas do projeto.

2.1.1.2 Projeto conceitual

Durante o projeto conceitual o produto é visto como um sistema que tem como função resolver um determinado problema. Em seguida é elaborada uma estrutura de funções para que o sistema tenha capacidade de executar a função para a qual ele

está sendo projetado. É então feita uma busca por princípios de soluções que realizam as funções levantadas na estrutura de função. Através da combinação de princípios de solução são geradas concepções e variantes destas, sendo posteriormente identificadas quais concepções ou variantes possuem melhor capacidade de atender os requisitos do projeto.

Devido o desenvolvimento sistemático é gerado um grande número de concepções. Apesar de teoricamente serem aceitáveis, nem todas são viáveis, de maneira que o processo de determinação da melhor concepção se dá em duas etapas, primeiro através da seleção de concepções seguida da avaliação das concepções.

O processo de seleção é iniciado através da eliminação das propostas inviáveis através da análise dos critérios 1 ao 4, listados abaixo. Por fim, quando ainda se tem um grande número de propostas válidas, procura-se identificar as concepções que devem possuir maior preferência de desenvolvimento através dos critérios 5 e 6 listados abaixo.

1. Ser compatível com a função global;
2. Atender as demandas listadas;
3. Ser concebível em relação ao seu desempenho, leiaute, etc.;
4. Seu desenvolvimento está de acordo com o orçamento planejado;
5. Incorpora medidas diretas de segurança ou introduzir condições ergonômicas favoráveis;
6. Pode ser desenvolvido rapidamente devido ao conhecimento da equipe, apresentar condições favoráveis de patente, disponibilidade de materiais e procedimentos de manufatura.

A avaliação tem início através da seleção dos critérios de avaliação, sendo normalmente utilizadas a lista de requisitos e as restrições do projeto. Segundo Pahl et al. (2007), é desejado que os critérios de avaliação:

- Abordem os requerimentos e restrições relevantes para a tomada de decisão de maneira completa, para que critérios essenciais não sejam ignorados;
- Devem ser independentes um dos outros, apresentando um baixo nível de correlação;
- Devem expressar as propriedades do sistema a serem avaliadas de maneira concreta através de critérios quantitativos ou ao menos qualitativos.

O processo de avaliação faz uso de pesos para os critérios de avaliação, onde são atribuídos valores entre 0 a 1, de forma que o somatório de pesos é um. Para cada concepção é atribuída uma nota referente a cada critério de avaliação. Pahl et al. (2007) sugere o uso de uma escala entre 0 a 4 para fazer a atribuição das notas, Quadro 2. Pahl et al. (2007) também recomenda iniciar as avaliações pelas concepções que apresentam uma avaliação muito boa ou ruim para dado critério.

Quadro 2 – Escala de avaliação de concepções.

Pontuação	Significado
0	Inaceitável
1	Aceitável
2	Adequado
3	Bom
4	Muito bom (ideal)

Fonte – Adaptado de (PAHL *et al.*, 2007)

Para a avaliação de critérios quantitativos, em que é possível estimar valores para cada concepção, é necessário identificar os valores máximo e mínimo dentre as concepções e, através de uma função valor adequada, deve-se ponderar a nota dentro da escala utilizada. O processo de avaliação procede conforme descrito no tópico "Matriz de avaliação" na Seção 2.2.2.

2.1.1.3 Projeto preliminar

No projeto preliminar é quando a equipe de projeto começa a dar forma para concepção, selecionando materiais, componentes e realizando simulações e testes para melhorar o leiaute da concepção. Nesta fase também se busca eliminar os pontos fracos da concepção, identificar possíveis pontos de falha e minimização dos custos.

2.1.1.4 Projeto detalhado

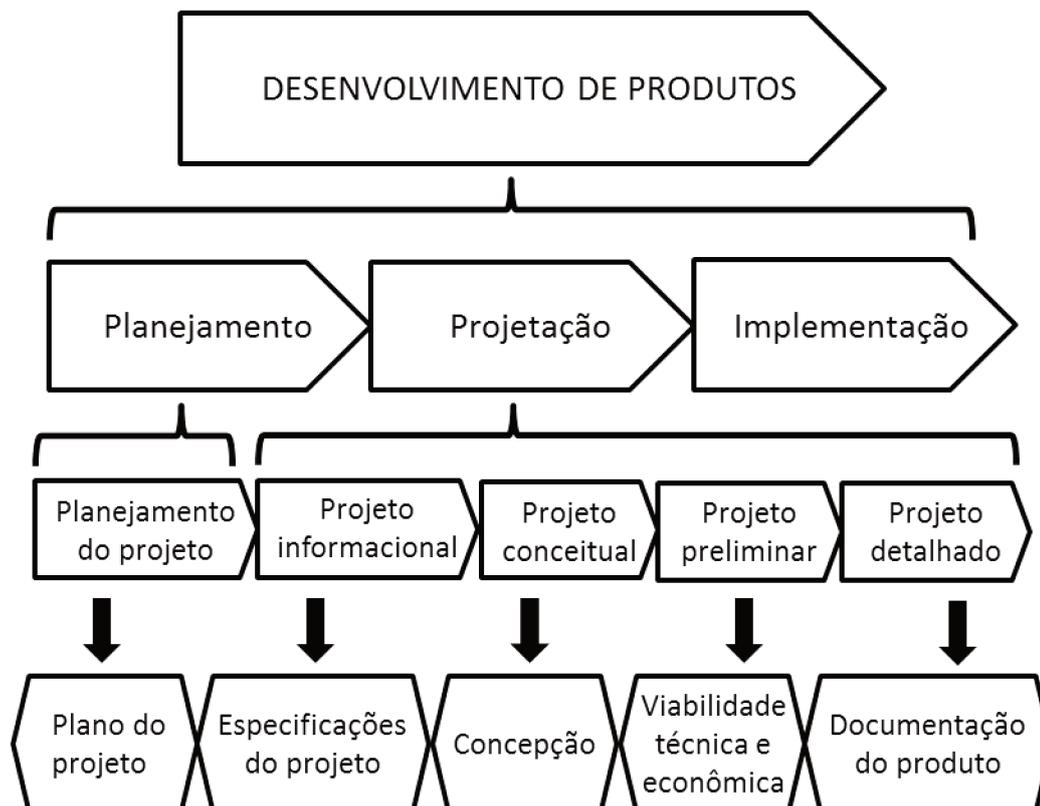
A fase de projeto detalhado encerra o desenvolvimento do projeto, sendo necessário elaborar a documentação adequada para produção do produto. A documentação necessária pode incluir desenhos técnicos, listagem de peças, fichas de processo, instruções de montagem, transporte e operação.

2.1.2 Metodologia PRODIP

O Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (PRODIP) procura deixar explícito o conhecimento sobre o processo de desenvolvimentos de produtos, per-

mitindo que sua execução seja mais formal e sistemática, enquanto incentiva o desenvolvimento de produtos inovadores. O modelo é composto por três macrofases, o planejamento de projeto, a elaboração do projeto do produto e a implementação do lote piloto, Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de atividades para o PDP segundo Back.



Fonte – Adaptado de (BACK *et al.*, 2008)

O planejamento do projeto envolve a elaboração do plano de projeto e do produto. A implementação do lote piloto envolve a execução do plano de manufatura e o encerramento do projeto, sendo composto pelas fases: preparação da produção, lançamento e validação do produto. A elaboração do projeto, também chamada de projeção, envolve a elaboração do projeto do produto e do plano de manufatura, sendo composta por quatro fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

Neste capítulo será feita uma breve apresentação das quatro fases da elaboração do projeto do produto, sendo descrito em mais detalhes as etapas de determinação dos requisitos de projeto e seleção da concepção, respectivamente presentes nas fases de projeto informacional e projeto conceitual.

2.1.2.1 Projeto informacional

O projeto se inicia com uma análise detalhada do problema que o produto do projeto deve solucionar, sendo o objetivo desta fase a determinação das especificações de projeto.

A primeira etapa para determinar as especificações de projeto é a identificação do ciclo de vida do produto. Com o ciclo de vida é possível identificar os usuários do produto, que engloba todas as pessoas, instituições ou outros sistemas que, possuem necessidades, interesse, direito de opinar ou impor exigências que são inerentes das características ou atributos do produto.

Após serem determinados os usuários é necessário identificar suas necessidades em relação ao produto, sendo recomendado iniciar o levantamento das necessidades através de entrevistas com os usuários. Segundo Back et al. (2008), é natural que os usuários entrevistados apresentem soluções durante o processo, sendo muitas vezes necessário indagá-los sobre os motivos por trás de suas afirmações e concepções para identificar suas necessidades.

Os questionários levantam um grande número das necessidades de usuários, mas não todas. Para que a equipe complete a identificação das necessidades, a equipe deverá: entrar em contato com consultores e especialistas, realizar sessões de brainstorming, fazer pesquisas de concorrentes, patentes e publicações.

Com a listagem das necessidades de usuário a equipe de projeto deve transformá-las em requisitos de usuário. Os requisitos de usuários devem ser descritos por uma frase curta, composta por apenas um verbo e um ou mais substantivos e adjetivos. Os verbos utilizados para descrever o requisito de usuário podem ser os verbos “ser”, “ter”, “estar” ou um verbo que denote uma função do produto a ser desenvolvido (FONSECA, 2000).

No processo de conversão das necessidades de usuário a equipe deve listá-las e verificar se existe duplicidade, semelhança ou uma grande correlação, sendo essencial o agrupamento destes em um único requisito de usuário. Caso a listagem dos requisitos de usuário apresente um grande número, é conveniente que a equipe faça uma seleção dos mais relevantes. Por fim a equipe deve valorar os requisitos de usuário em função de sua importância, podendo este processo ser feito exclusivamente pela equipe de projeto.

Os requisitos de usuário representam as necessidades de usuário de forma clara, direta e não redundante, mas ainda não são características de engenharia através das quais a equipe de projeto pode tirar conclusões objetivas sobre o produto. Por este motivo, a equipe de projeto deve fazer a tradução dos requisitos de usuário em requisitos de projeto, com os quais serão definidos parâmetros mensuráveis associados às características finais do produto.

Segundo Back et al. (2008), muitos autores tratam da tradução dos desejos

dos consumidores em características de engenharia, mas existem poucos métodos práticos aplicáveis diretamente a este fim.

Para cada requisito de projeto definido a equipe deve buscar identificar suas grandezas mensuráveis, objetivos e valores de restrição, no caso especificações de projeto provenientes da análise do problema ou restrições dos usuários. Para a documentação destas informações e priorização dos requisitos de projeto Back et al. (2008) recomenda o uso da matriz casa qualidade, Seção 2.2.2.

Para finalizar o projeto informacional, a equipe também deve identificar meios de verificar se o produto desenvolvido atenderá os objetivos e especificações técnicas dos requisitos de projeto, assim como os possíveis riscos de não atendê-las (BACK et al., 2008)

2.1.2.2 Projeto conceitual

O projeto conceitual é destinado para o desenvolvimento do conceito do produto. Ele tem início com a identificação da função global e seleção da estrutura de funções mais adequada. Sobre a estrutura de funções são levantados princípios de solução que, quando combinados, permitem a geração de conceitos para o produto. A fase final do projeto conceitual é a seleção da concepção mais adequada para atender os requisitos de projeto.

Back et al. (2008) recomenda duas maneiras de executar a triagem. A primeira consiste em verificar quais concepções atendem à função do produto e se são viáveis fisicamente e economicamente, sendo eliminadas as concepções que não atenderem a um dos três critérios. A segunda faz uso do método de Pugh, descrito na Seção 2.2.2, sendo utilizados os requisitos de usuário como critério de comparação das concepções.

Com a conclusão da triagem a equipe de projeto consegue reduzir o número de concepções, permitindo que a equipe analise e descreva mais profundamente as concepções que foram aceitas no processo de triagem.

Para dar início ao processo de seleção da concepção, é necessário ainda definir os critérios de comparação e seus pesos. Back et al. (2008) recomenda o uso dos requisitos de projeto como critérios de comparação. A atribuição dos pesos pode deve ser feita por uma equipe de avaliadores, podendo ser incluídos especialistas externos à equipe de desenvolvimento de projeto. Segundo Back et al. (2008) os valores podem ser percentuais, em escalas de 1 a 5, 0 a 10, mas com maior frequência adota-se valores entre 0 a 1 onde o somatório dos pesos é 1.

Back et al. (2008) indica o uso de valoração dos critérios no processo de seleção da concepção, descrito no tópico "Matriz de avaliação" na Seção 2.2.2. Para que a valoração dos critérios quantitativos e qualitativos seja homogênea, Back et al. (2008) indica o uso de uma escala comum, como de 1 a 5, para todos os critérios. A conclusão

da valoração dos critérios de avaliação permite que a equipe determine a função utilidade de cada concepção e a ordenação das mesmas.

Segundo Back et al. (2008), deve-se efetuar uma análise sobre a ordenação obtida. Ele indica separar as concepções em 3 grupos de acordo com os valores da função utilidade: as concepções de maior valor, menor valor e valor intermediário. Em seguida deve-se examinar as características comuns dentro de cada grupo e verificar se os critérios de avaliação utilizados tratam igualmente e plenamente todas as concepções. Caso seja necessário, a equipe deve alterar os critérios de avaliação e executar uma nova valoração.

Após determinar as funções utilidade e a ordenação das concepções a equipe de projeto deve selecionar a melhor concepção para dar início ao seu projeto preliminar.

2.1.2.3 Projeto preliminar

Na fase de projeto preliminar é feito o desenvolvimento da concepção selecionada, podendo envolver leiautes preliminares, simulações, construção de protótipos e testes. Ao final desta fase é estabelecido o leiaute otimizado do produto, que deve ser capaz de atender os requisitos de projeto, e seus processos de fabricação.

2.1.2.4 Projeto detalhado

A fase de projeto detalhado consiste em transcrever as detalhadamente as informações do leiaute otimizado, de maneira que com os documentos técnicos adequados o produto possa ser produzido, montado e utilizado.

2.2 FERRAMENTAS DE PROJETO

Esta seção é dedicada à revisão de ferramentas de projeto que podem ser úteis no projeto de desenvolvimentos de sistemas robóticos. As ferramentas listadas foram separadas em duas categorias, ferramentas para auxiliar a geração de ideias e ferramentas para avaliação e seleção.

2.2.1 Ferramentas auxiliares à geração de ideias

Coleta de informações: O acesso ao estado da arte é essencial para projetistas. A coleta pode ser feita através de análise de patentes, busca de literatura, análise de competidores, publicações comerciais, etc. (PAHL *et al.*, 2007).

Análise de sistema naturais: Estruturas, organismos e formas naturais podem apresentar um ou mais princípios de soluções úteis para um projeto. O estudo de sistemas naturais pode estimular a criatividade de projetistas e, muitas vezes, introduzem um alto nível de inovação a um projeto, (PAHL *et al.*, 2007).

Análise de sistemas técnicos: A análise de sistemas técnicos pode ser feita em diferentes níveis, desde a observação de funcionamento de um sistema até sua engenharia reversa completa. Ela permite que a equipe identifique um ou mais princípios de solução já desenvolvidos, úteis ao projeto em desenvolvimento, e pode ser realizada em produtos concorrentes, outros produtos já desenvolvidos pela equipe ou em produtos que apresentam subfunções similares às identificadas na estrutura de funções do produto em desenvolvimento (PAHL *et al.*, 2007).

Brainstorming: É uma técnica para geração de um grande número de ideias. Para sua execução é necessário que os participantes tenham experiências distintas, não precisam ser especialistas ou necessariamente da equipe de projeto, e adotem uma postura aberta à opinião dos demais participantes. Através de sua execução é esperado que conforme um participante compartilhe sua experiência ou ideia, ele estará estimulando o surgimento de novas ideias para os demais participantes, que repetirão o processo de maneira cíclica, produzindo um grande número de ideias. Pahl (2007) aconselha o uso do *brainstorming* quando:

- A equipe apresenta dificuldade em encontrar um princípio de solução factível;
- O processo físico necessário para execução de um princípio de solução não foi identificado;
- A equipe de projeto está em um momento de impasse, sem saber como proceder com o desenvolvimento do projeto;
- É necessário uma ruptura do procedimento convencional sendo executado.

Sinética: É uma técnica similar ao *brainstorming*, mas faz uso de analogias do sistema estudado com conhecimentos de outras áreas de atuação para auxiliar no processo de geração de ideias. É aconselhável que o grupo que irá desenvolver a técnica seja composto por sete membros, sendo estes especialistas de diferentes áreas (PAHL *et al.*, 2007; PENSO, 2003).

Penso (2003) identifica que são utilizados quatro tipos de analogia:

- Analogia pessoal: os participantes do grupo colocam-se mentalmente no lugar do sistema ou processo estudado, buscando imaginar seus comportamentos, necessidades ou reações em diferentes cenários.
- Analogia direta: são realizadas comparações do sistema ou processo estudado com fatos reais, conhecimentos ou técnicas semelhantes.
- Analogia simbólica: faz uso de imagens objetivas e impessoais de um objeto para descrever parte do sistema ou o processo estudado.

- Analogia fantasiosa: Foge das leis e normas estabelecidas na busca de solução para o problema estudado.

Brainwriting: é uma ferramenta similar ao *brainstorming* que foi desenvolvida para permitir que membros mais introvertidos, relutantes de se expressar em dinâmicas de *brainstorming*, participem e compartilhem suas ideias de maneira mais ativa. Na dinâmica, cada membro participante registra suas ideias no papel dentro de um intervalo de tempo. A seguir cada membro recebe uma folha com ideias registradas por outros membros que serve de estímulo para novas ideias. Assim como com o *brainstorming*, existem variantes do *brainwriting*, sendo que estas geralmente são desenvolvidas de maneira sistemática e silenciosa, sendo o método 635 um dos mais conhecidos (HESLIN, 2009; MINDTOOLS, s.d.).

No método 635 seis participantes registram em sua folha três ideias durante uma etapa com tempo limitado. Os participantes passam suas folhas ao seu vizinho que, após analisar as geradas anteriormente, registra três novas ideias. O ciclo se repete até que cada participante esteja com sua folha inicial, totalizando cinco etapas (PAHL *et al.*, 2007).

Análise do problema: É uma técnica muito útil para identificar restrições, objetivos e até princípios de solução. Seu início é dado com a identificação do problema que o sistema técnico deve atender. Com a definição do problema bem determinada, é feita a indagação: “Por que desejo resolver este problema?”. A resposta é submetida a outros questionamentos até que a equipe tenha um entendimento melhor sobre os objetivos e restrições do projeto (PENSO, 2003).

Análise morfológica: É um método sistemático para geração de concepções. É necessário identificar a função global do sistema estudado assim como sua estrutura de funções. Em seguida são buscados princípios de solução para cada função parcial. Os princípios de solução podem então ser listados na forma de uma matriz, em que cada linha apresenta os princípios de solução de uma função parcial. A equipe de projeto pode então gerar concepções através da combinação dos princípios de solução listados. Segundo Norris, o método proporciona a equipe uma visão de todas as soluções possíveis em um único documento, reduz preconceções da equipe de projeto e proporciona a equipe como subproduto a identificação de princípios de soluções que podem ser úteis durante a otimização do produto em desenvolvimento (NORRIS, 1963; ÁLVAREZ, 2014; ÁLVAREZ; RITCHEY, 2015).

MESCRAI: MESCRAI é uma sigla que significa: Modifique, Elimine, Substitua, Combine, Rearranje, Adapte e Inverta. Essa técnica consiste em aplicar uma ou mais destas ações em subsistemas de uma ou mais concepções em desenvolvimento, permitindo a criação de variantes destas concepções e novas concepções. Além de ser uma técnica que auxilia no processo de criação de concepções, esta técnica pode ser empregada para eliminar uma fraqueza ou melhorar o desempenho em funções

específicas de uma concepção (BACK *et al.*, 2008; PENSO, 2003).

Método de Delphi: foi inicialmente desenvolvida como instrumento para previsão de temas internacionais e militares sendo posteriormente absorvida e utilizada no campo industrial, de desenvolvimento de novas tecnologias, na saúde e na sociologia. Seu principal objetivo é identificar opiniões coletivas qualificadas.

O método geralmente é desenvolvido de maneira remota através de três ou mais questionários. Na primeira rodada é enviado um questionário elaborado pelos entrevistadores, com informações levantadas através da consulta a especialistas ou a literatura, para os especialistas entrevistados as avaliem ou ordenem. Na segunda rodada os entrevistadores adicionam as avaliações ou ordenamento proposto pelo grupo e pedem aos especialistas que revisem seu julgamento, adicionando justificativas para seu posicionamento. Os entrevistadores organizam e atualizam as informações levantadas nos questionários anteriores para enviá-las e um novo questionário aos especialistas. Com as respostas obtidas no terceiro questionário geralmente é atingido consenso, mas caso não ocorra deve-se repetir os procedimentos do terceiro questionário (CAMPOS *et al.*, 2010; HSU; SANDFORD, 2007)

Na área de projeto de engenharia, Pahl *et al.* (2007) recomenda o uso do método de Delphi apenas para estudos fundamentais de desenvolvimento a longo prazo e sugere executar o método de acordo com as seguintes etapas:

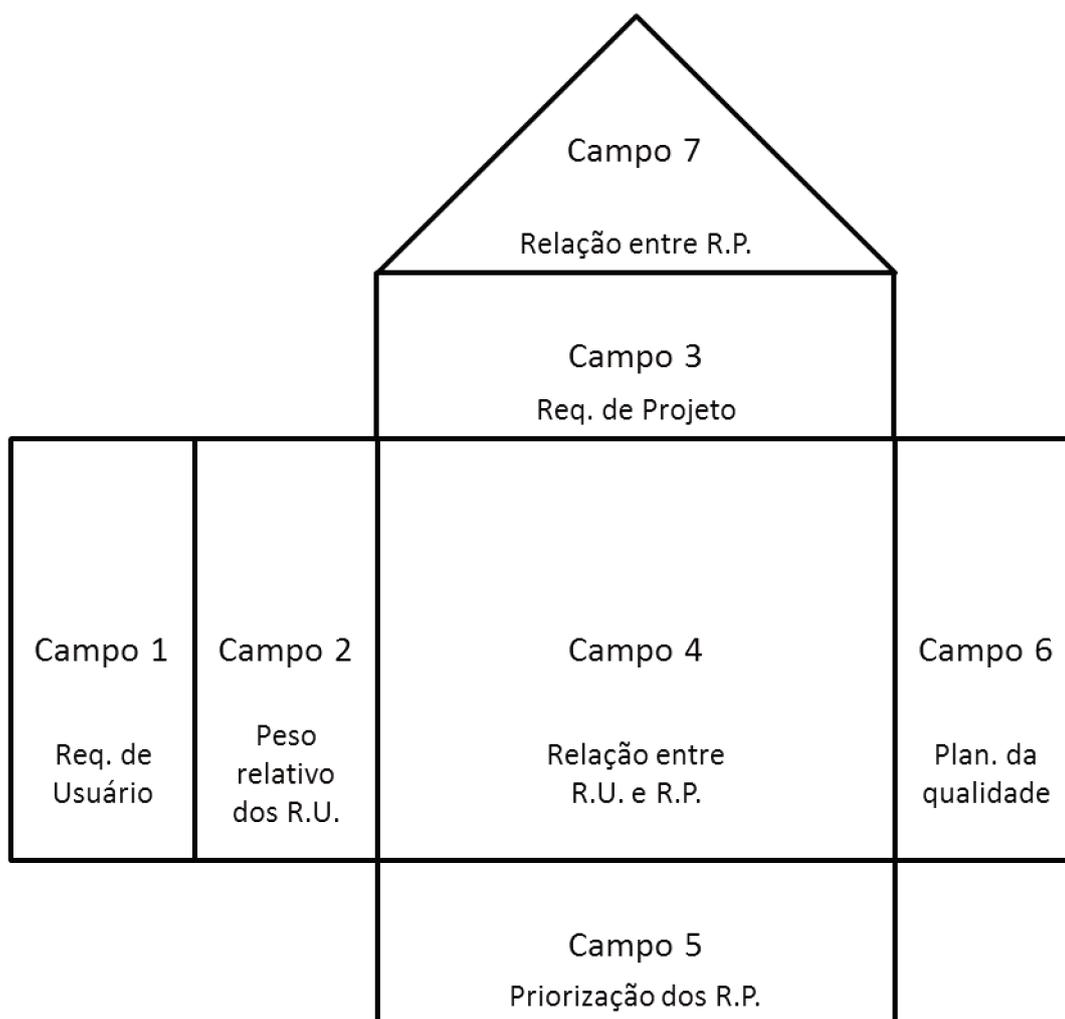
- Primeira rodada: Identificação de pontos de partida para solução do problema através de respostas espontâneas;
- Segunda rodada: Listar os pontos de partida para a solução do problema e pedir que os especialistas avaliem e façam sugestões adicionais;
- Terceira rodada: Realizar uma avaliação final das duas primeiras etapas. Cada membro deve selecionar as soluções que considera mais prática.

Back *et al.* (2008) também indica o uso da metodologia de Delphi para identificação do problema, geração de ideias e para determinação dos pesos dos critérios de avaliação.

2.2.2 Ferramentas para avaliação e seleção

Matriz casa qualidade: Durante o desenvolvimento de sistemas técnicos é comum existir uma relação de compromisso entre dois ou mais requisitos de projeto, sendo do interesse da equipe de projeto priorizá-los. A identificação destas relações e da relevância de cada requisito de projeto pode ser feita pela matriz “Casa da qualidade”, Figura 4.

Figura 4 – Representação dos campos da matriz casa qualidade.



Os campos 1, 2 e 3 da matriz casa qualidade são preenchidos respectivamente com as necessidades do usuário, requisitos de usuário e requisitos de projeto. O campo 6 é destinado ao planejamento da qualidade do produto e o campo 7 para registrar a relação entre requisitos de projeto distintos (BACK *et al.*, 2008).

Para o preenchimento do campo 4 a equipe de projeto avalia qual a relação, de maneira consensual, de cada requisito de usuário (linhas) com cada requisito de projeto (coluna). As relações possíveis são alta, média ou baixa e podem ser indicadas por símbolos ou diretamente por valores numéricos. Caso sejam utilizados símbolos para indicar a relação, estes posteriormente são convertidos em valores numéricos (BACK *et al.*, 2008).

A escala numérica utilizada para caracterizar a relação pode não ser simétrica em relação à avaliação média, como (9, 3, 1) para indicar relações (alta, média, baixa), permitindo que avaliações altas apresentem um maior impacto na avaliação final do requisito de projeto (FRANCESCHINI; RUPIL, 1999; SAURO, 2013).

Após concluir o preenchimento do campo 4, para cada requisito de projeto é feita uma soma ponderada de sua relação com os requisitos de usuário, utilizando o

valor de importância dos requisitos de usuário para ponderar a soma. Os resultados das somas ponderadas são registrados no campo 5 e utilizados para determinar a ordem de prioridade dos requisitos de projeto (BACK *et al.*, 2008).

Método de Pugh: O método faz uso de uma matriz para tomada de decisão. Para sua execução é necessário estabelecer as concepções que serão avaliadas, a concepção de referência com a qual as outras serão comparadas e os critérios de comparação. Segundo Back et al. (2008), a valoração deve ser efetuada de maneira consensual entre os participantes da avaliação.

Durante seu desenvolvimento, a equipe de projeto avalia se a concepção estudada atende o critério de comparação, quando comparada com a concepção de referência, de maneira melhor, pior ou semelhante. A avaliação dos participantes é registrada de acordo com os respectivos símbolos (+), (-), (0). Após serem avaliados todos os critérios, para cada concepção é feita a soma dos conceitos atribuídos, Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo matriz de Pugh.

Critérios	Concepções				
	Conc. REF	Conc. A	Conc. B	Conc. C	Conc.D
Critério 1	0	+	-	+	-
Critério 2		0	-	0	+
Critério 3		+	0	+	+
Critério 4		0	+	0	-
Critério 5		0	-	0	+
Critério 6		-	0	+	+
Soma de (+)	0	2	1	3	4
Soma de (-)	0	1	3	0	2
Soma de (0)	6	3	2	3	0
Resultado final	0	1	-2	3	2

Esse método permite a seleção das concepções mais propícias a atender os critérios de avaliação, através do valor da soma dos conceitos, além de ajudar a identificar pontos fracos que podem ser melhorados das concepções selecionadas, sendo os pontos fracos os critérios de avaliação em que a concepção recebeu um conceito inferior ao das demais concepções.

Matriz de avaliação: A matriz de avaliação permite que uma equipe de projeto identifique o valor da função utilidade de cada concepção avaliada. A ordenação das concepções de acordo com os estes valores facilita a identificação da concepção com maior capacidade de atender as demandas do projeto (PAHL *et al.*, 2007; BACK *et al.*, 2008).

O primeiro passo para avaliar as concepções através da matriz de avaliação é

a determinação dos critérios de avaliação X_i e seus pesos específicos w_j . O segundo passo é escolher uma escala de avaliação comum a todos os critérios. Através desta escala que a equipe de projeto irá valorar as concepções em relação a cada critério de avaliação (PAHL *et al.*, 2007; BACK *et al.*, 2008).

Para cada critério de avaliação qualitativo a equipe deve definir palavras que indiquem o quão bem a concepção avaliada atende a este critério e vincular esta palavra a um valor desta escala de avaliação, Quadro 2 (PAHL *et al.*, 2007; BACK *et al.*, 2008).

Para cada critério quantitativo é estimado o valor que a concepção avaliada apresentará, geralmente relacionado a uma grandeza física. Através deste valor é atribuída uma nota dentro da escala de avaliação, proporcional aos valores máximo e mínimo dentre as concepções para este critério. Deve-se observar que para critérios de avaliação em que se deseja minimizá-lo, a concepção que apresentar o menor valor estimado terá a maior nota da escala de avaliação (PAHL *et al.*, 2007; BACK *et al.*, 2008).

Tanto os valores estimados para critérios quantitativos quanto as palavras selecionadas para os critérios qualitativos representam a avaliação da equipe A_i para o critério de avaliação X_i . Para cada concepção C_j a avaliação da equipe é convertida para um valor $u_{i,j}$ dentro da escala de avaliação.

A última etapa antes de dar início ao preenchimento da matriz de avaliação é a determinação da função utilidade. Segundo Back *et al.* (2008), a função linear U_j , Eq. 1, é a mais recomendada pois proporciona um ordenamento adequado e é em geral mais simples e de menor custo de utilização.

$$U_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot u_{i,j} \quad (1)$$

Por fim é feito o preenchimento da planilha obtendo-se a ordem das concepções de acordo com seus valores da função utilidade selecionada, Tabela 2 (PAHL *et al.*, 2007; BACK *et al.*, 2008).

Tabela 2 – Exemplo de matriz de avaliação.

Critérios de seleção	Peso dos critérios	Concepções								
		Conc. A			Conc. B			Conc. C		
		$A_{i,1}$	$u_{i,1}$	$w_i \cdot u_{i,1}$	$A_{i,2}$	$u_{i,2}$	$w_i \cdot u_{i,2}$	$A_{i,3}$	$u_{i,3}$	$w_i \cdot u_{i,3}$
X_1	w_1									
X_2	w_2									
X_3	w_3									
...	...									
U_j		$\sum_{i=1}^n w_i \cdot u_{i,1}$			$\sum_{i=1}^n w_i \cdot u_{i,2}$			$\sum_{i=1}^n w_i \cdot u_{i,3}$		

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste capítulo foram apresentados conceitos de metodologia de projeto necessários para a compreensão da aplicação dos métodos propostos assim como o momento de aplicação destes.

Neste capítulo também foram revisadas ferramentas úteis para o desenvolvimento das fases de projeto nas quais os métodos são aplicados.

No capítulo seguinte será feita a revisão de alguns conceitos necessários para a análise estatística de dois dos três métodos propostos neste trabalho.

3 ESTATÍSTICA

Neste capítulo serão apresentadas algumas definições de estatística e uma breve discussão sobre o uso de dados estatísticos para identificar consenso.

3.1 DEFINIÇÕES

Para compreensão de dois dos métodos propostos ao longo desta dissertação é necessário ter definições claras dos termos listados abaixo.

3.1.1 Tipos de dados

Os tipos de dados são geralmente divididos em duas classes: dados qualitativos e dados quantitativos. Os dados qualitativos não podem ser mensuráveis, mas em alguns casos podem apresentar uma ordem lógica. Os dados quantitativos são mensuráveis, de maneira que apresentam ordem lógica, e podem ainda serem divididos entre intervalares e contínuos (HEIBERGER; HOLLAND, 2004; HEUMANN; SCHOMAKER, 2016).

- Dados categóricos: são dados qualitativos que não podem ser ordenados. Exemplos: gênero, nacionalidade, etc.
- Dados ordinais: são dados qualitativos, mas que podem ser ordenados. Podem ser representados por letras, palavras e até algarismos, mas apesar de apresentarem uma ordem dentro de uma escala, não é possível tirar conclusões sobre a distância entre os intervalos da escala. Exemplos: nota escolar, grau de satisfação do cliente, intensidade de dor, etc.
- Dados intervalares: são dados quantitativos intervalares representados por valores numéricos. A distância entre os intervalos da escala é conhecida, mas não é possível tirar conclusões sobre a razão de dois valores de uma mesma escala. Exemplos: temperatura, etc.
- Dados de razão: são dados quantitativos contínuos representados por valores numéricos. A distância entre os intervalos da escala é conhecida e é possível tirar conclusões sobre a razão de dois valores de uma mesma escala. Exemplos: distância, velocidade, etc.

3.1.2 Indicadores de tendência central

Os indicadores de tendência central indicam o valor central de uma distribuição probabilística de uma determinada variável. A escolha do indicador de tendência deve

ser feita com base no tipo de dado que está sendo avaliado e características da distribuição.

- **Moda:** é o valor com maior recorrência dentro de um conjunto de dados de uma variável. É utilizada na análise de dados categóricos, mas também pode ser utilizada com outros tipos de dados.
- **Mediana:** representa o valor central de um conjunto de dados ordenados. Pode ser utilizada na análise de dados quantitativos e ordinais.
- **Média:** também conhecida por média aritmética simples, é o quociente da soma de um conjunto de dados pelo número total de elementos do conjunto. Seu uso geralmente só é recomendado para dados quantitativos.

3.1.3 Indicadores de dispersão

Os são utilizados para indicar a faixa em que um conjunto de dados, que apresenta valores numéricos, está mais concentrado.

- **Distância interquartil:** dentro de um conjunto de dados, a mediana está localizada no segundo quartil dos dados ordenados. O primeiro quartil está na posição central entre o primeiro número e a mediana do conjunto de dados ordenados. De maneira análoga, o terceiro quartil está na posição central entre a mediana e o último número do conjunto de dados. A distância interquartil é a diferença entre o terceiro e primeiro quartis.
- **Variância e desvio padrão:** a variância (σ^2) e o desvio padrão (σ) são indicativos de como se comporta a dispersão em torno da média de uma população. São respectivamente determinados pelas Eq. 2 e 3. Nestas equações (μ) representa o valor médio da população, (x_i) o valor do i -ésimo dado do conjunto de dados de uma população e (n) o número total de dados do conjunto.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \mu}{n} \quad (2)$$

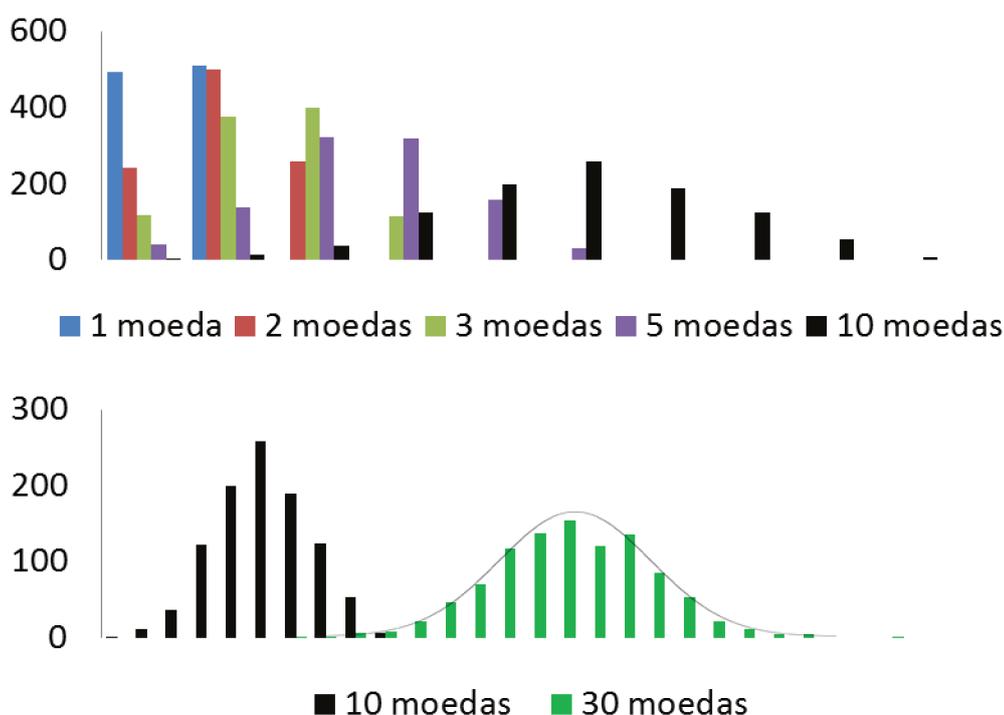
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{x_i - \mu}{n}} \quad (3)$$

3.1.4 Distribuições de probabilidade

Distribuições de probabilidade são funções que descrevem como a probabilidade total, igual a 1, de uma variável aleatória é distribuída entre os valores que esta variável pode assumir (HEIBERGER; HOLLAND, 2004; BONAMENTE, 2017).

- Distribuição normal: também conhecida como distribuição gaussiana, esta distribuição é uma das distribuições estatísticas mais conhecidas e utilizadas. Formalmente é uma distribuição de probabilidade contínua, parametrizada em função da média, valor real da variável estudada, e do desvio padrão. O que permite o amplo uso desta distribuição em diferentes áreas de conhecimento é o teorema do limite central. O teorema define: conforme o tamanho de uma amostra de uma variável aleatória aumenta, a distribuição amostral da média se aproxima de uma distribuição normal, Figura 5 (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; SCHUMACKER; TOMEK, 2013).

Figura 5 – Exemplos do teorema do limite central: recorrência da soma de caras com números de lançamento de moeda distintos.



Uma variável aleatória Z que apresente uma distribuição normal, valor médio $\mu = 0$ e desvio padrão $\sigma = 1$ é chamada de variável aleatória normal padrão. Para a variável aleatória normal padrão existem tabelas com valores Z que correspondem a probabilidades cumulativas distintas (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; HEUMANN; SCHOMAKER, 2016).

Para variáveis aleatórias normais não padronizadas X é usual padronizá-las através da Eq. 4. Com auxílio da padronização da variável é possível determinar sua probabilidade cumulativa a partir dos valores z tabelados através da Eq. 5

(MONTGOMERY; RUNGER, 2009; HEUMANN; SCHOMAKER, 2016).

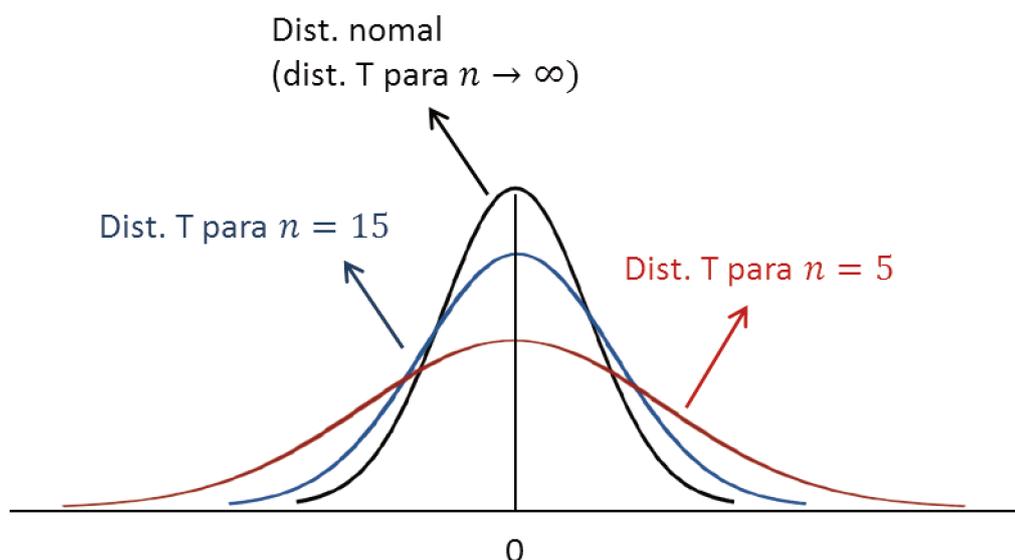
$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

$$P(X \leq x) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} \leq \frac{x - \mu}{\sigma}\right) = P(Z \leq z) \quad (5)$$

Nestas equações μ e σ representam respectivamente a média e desvio padrão da variável aleatória X . O valor z utilizado na Eq. 5 é determinado através da padronização do valor x que deseja-se calcular sua probabilidade cumulativa através da relação $z = (x - \mu)/\sigma$ (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; HEUMANN; SCHOMAKER, 2016).

- Distribuição t-student: devido sua necessidade de trabalhar com pequenas amostras, William S. Gossett buscou fazer ajustes à função de distribuição de probabilidade normal. Ao contrário da distribuição normal padronizada, a forma da distribuição t-student é alterada em função do grau de liberdade da amostra, total de dados da amostra deduzido de um. Quanto menor for o grau de liberdade mais a curva de distribuição é achatada, distanciando-se da distribuição normal e aumentando a probabilidade de o valor verdadeiro estar nas extremidades da distribuição. Conforme o tamanho da amostra e conseqüentemente o grau de liberdade aumentam, a distribuição t-student se aproxima da distribuição normal, Figura 6 (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; SCHUMACKER; TOMEK, 2013).

Figura 6 – Distribuições T com graus de liberdade ($n - 1$) distintos.



A distribuição t-student geralmente é utilizada quando não é conhecido o valor do desvio padrão σ da população. Para padronizar uma variável aleatória X são

utilizados os valores do desvio padrão da amostra S e o tamanho da amostra n , Eq. 6.

$$T = \frac{X - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (6)$$

Para a variável aleatória T existem tabelas com valores t que correspondem a probabilidades cumulativas distintas para cada grau de liberdade ($n - 1$). De maneira análoga à distribuição normal, a padronização da variável X através da Eq. 6 é utilizada para determinar a probabilidade cumulativa da distribuição a partir de valores t , Eq. 7 (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; HEIBERGER; HOLLAND, 2004).

$$P(X \leq x) = P\left(\frac{X - \mu}{s/\sqrt{n}} \leq \frac{x - \mu}{s/\sqrt{n}}\right) = P(T \leq t) \quad (7)$$

3.1.5 Intervalo de confiança

O intervalo de confiança é utilizado para estimar um parâmetro de uma população através de um intervalo com uma determinada probabilidade. Esta probabilidade é chamada de nível de confiança e sempre apresenta valores inferiores a 1, sendo geralmente denotada por $(1 - \alpha)$. É importante observar que o nível de confiança indica o percentual de intervalos de confiança obtidos através de amostras aleatórias distintas da população que contém o parâmetro estimado da população (HEIBERGER; HOLLAND, 2004; WASSERMAN, 2013)

- Intervalo de confiança para a média de uma distribuição normal com variância desconhecida: uma vez que a variância σ^2 é desconhecida, faz-se uso da variância da amostra S^2 e do tamanho da amostra n através da variável aleatória T , Eq. 6, para identificar intervalos de confiança para estes casos (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; HEUMANN; SCHOMAKER, 2016).

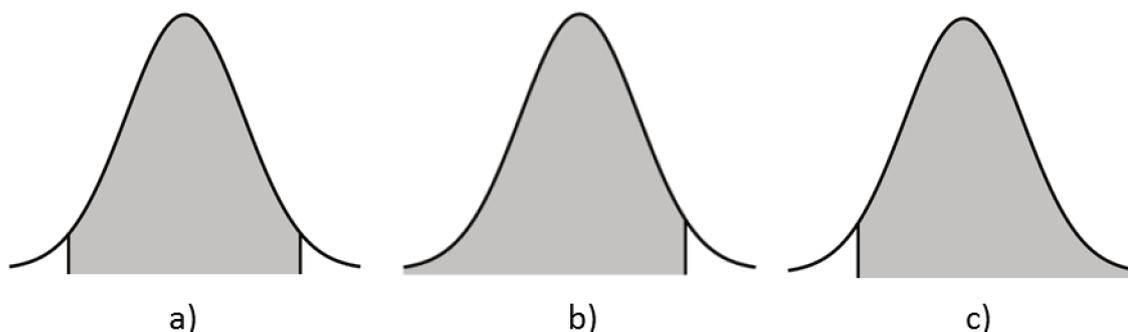
Para determinar os limites superior e inferior de um intervalo de confiança bicaudal simétrico, Figura 7.a, faz-se uso da Eq. 8. Para determinar o limite superior ou inferior de um intervalo de confiança unicaudal, Figura 7.b e Figura 7.c, faz-se respectivamente o uso da Eq. 10 ou da Eq. 9 (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; HEUMANN; SCHOMAKER, 2016).

$$\bar{x} - \left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) t_{\alpha/2;n-1} \leq \mu \leq \bar{x} + \left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) t_{\alpha/2;n-1} \quad (8)$$

$$\mu \leq \bar{x} + \left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) t_{\alpha;n-1} \quad (9)$$

$$\mu \geq \bar{x} - \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) t_{\alpha; n-1} \quad (10)$$

Figura 7 – Exemplos de intervalo de confiança: a) bicaudal, b) unicaudal com limite superior, c) unicaudal com limite inferior.



Nestas equações \bar{x} representa o valor médio da amostra. É importante lembrar que o valor t presente nestas equações são extraídos de tabelas em função de seu grau de liberdade ($n-1$) e do nível de confiança associado ao intervalo ($1-\alpha$).

3.2 IDENTIFICAÇÃO DE CONSENSO ATRAVÉS DE DADOS ESTATÍSTICOS

Em muitas áreas de conhecimento os seres humanos necessitam fazer tomadas de decisão em grupo. Dependendo do objetivo é comum que os grupos façam a tomada de decisão apenas com a maioria simples, em que a opção com maior número de votos é aceita.

Para algumas áreas, como na política, é comum adotar um critério mais rigoroso, como a maioria absoluta, que exige acima de 50% dos votos em uma opção, ou maioria qualificada, que geralmente exige de 55-70% dos votos em uma única opção.

Também existem casos em que é desejável ou requerido que o grupo de avaliadores entre em consenso para ser feita a tomada de decisão. O processo para um grupo atingir consenso sobre um determinado assunto geralmente se dá através de sucessivas trocas de informação entre o grupo de avaliadores, que geralmente implica em um investimento de tempo considerável.

Conforme apresentado na Seção 2.2.1, o método de Delphi é uma ferramenta que permite que especialistas discutam, de maneira remota e anônima, sobre um determinado tema até que atinjam consenso. Ao longo dos anos foram propostas diferentes maneiras de identificar estatisticamente se o grupo de especialistas atingiu consenso.

Ulshack (1983) recomenda considerar que o grupo atingiu consenso quando 80% dos votos estão distribuídos em duas categorias vizinhas, utilizando uma escala de sete pontos. Green (1982) sugere que pelo menos 70% dos votos apresentem o

valor de três ou quatro, considerando uma escada de quatro pontos para indicar concordância com a afirmação, e que a mediana apresente um valor superior a 3,25. Christie e Barela (2005) propuseram de que o consenso é atingido quando um determinado percentual de votos está contido em torno de um intervalo simétrico ao redor da média, esse intervalo pode ser determinado com ou sem o auxílio do desvio padrão. Kittell-Limerick (2005) propôs de que o consenso é atingido quando a distância interquartil é inferior a 2,5 em uma escala de cinco pontos.

Hsu e Sandford (2007) afirmam que o tipo de critério e valor utilizado para determinar se os especialistas atingiram consenso é subjetivo. Um dos motivos desta subjetividade acontece pelo fato de que o método de Delphi pode ser aplicado em diferentes áreas, tendo objetivos distintos para cada aplicação. Outro motivo que favorece abordagens distintas é o fato de que são utilizadas escalas de Likert, que geram dados ordinais, para identificar o quanto os especialistas concordam com a afirmação avaliada.

Sauro e Lewis (2016) citam que muitos autores recomendam não utilizar média e desvio padrão para analisar um conjunto de dados ordinais, e sim fazer uso da mediana e distância interquartil para avaliar a tendência central e dispersão do conjunto de dados. Existem autores contrários a esta visão que defendem que o uso de operações aritméticas com dados ordinais ou categóricos podem ser úteis para dedução de conclusões corretas com rigor lógico (SAURO; LEWIS, 2016; LORD, 1954).

Sauro e Lewis (2016) defendem o uso de operações algébricas para análise de dados estatísticos de dados ordinais, mas ele alerta de que as afirmações provenientes da análise estatística devem ser condizentes com o tipo de dado analisado. É possível afirmar que um produto “A” recebeu uma avaliação de satisfação do usuário com valor médio de 4 apresenta uma avaliação melhor do que um produto “B” com valor médio de 2. Em contrapartida não é possível afirmar de que o produto “A” apresenta um nível de satisfação duas vezes superior ao do produto “B”.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste capítulo foram apresentados conceitos de estatística necessários para a compreensão e aplicação de dois dos três métodos propostos neste trabalho. Também foi apresentado uma breve discussão sobre a utilização de média e desvio padrão para trabalhar com dados ordinais para identificação de consenso. Na seção 5.5.2 é apresentado um estudo sobre o impacto desta utilização.

Os capítulos seguintes abordam individualmente os três métodos propostos neste trabalho.

4 MÉTODO DE CONVERSÃO SISTEMÁTICA DOS REQUISITOS DE USUÁRIO EM REQUISITOS DE PROJETO

Neste capítulo serão apresentadas a justificativa, proposta, execução, resultados, discussão e conclusões sobre o método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto.

Para facilitar a leitura e compreensão deste capítulo são apresentadas abaixo as principais definições de termos usados de maneira recorrente ao longo desta seção.

- Equipe: termo utilizado para designar o conjunto de pessoas responsáveis pelo desenvolvimento do projeto;
- Grupo: termo utilizado para designar subconjunto de integrantes da equipe de projeto que irá aplicar o método proposto;
- Time: termo utilizado para designar subdivisões do grupo que irá aplicar o método proposto, necessária para atividades específicas do método.

A seguir é apresentada a justificativa que instigou o desenvolvimento do método proposto.

4.1 JUSTIFICATIVA

Durante o projeto da Celesc, na etapa de determinação dos requisitos de projeto a equipe encontrou dificuldades. Muitos membros tinham pouca experiência de projeto e a maioria não possuía experiência com a metodologia aplicada.

A conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto teve início com uma reunião da equipe de projeto. Nessa reunião, a combinação de um grande número de pessoas com a falta de familiaridade com o método fez com que a reunião não fosse produtiva.

Foi decidido que um grupo formado pela maioria dos integrantes da equipe, dividido entre os times de automação, mecânica e processamento de imagens iria identificar propostas de requisitos. Posteriormente em uma reunião da equipe de projeto, as propostas seriam apresentadas para que fossem definidos os requisitos de projeto.

Cada time fez seu próprio planejamento e procurou identificar propostas de requisitos de projeto dentro de sua área de conhecimento e as apresentou em uma reunião da equipe. Ao total foram propostos 112 requisitos de projeto. Destes, a equipe selecionou 80 requisitos de projeto, um número elevado quando comparado à faixa de 20 a 30, considerada adequada por Pahl et al. (2007).

No início do processo de priorização através da matriz casa qualidade, a equipe deveria realizar 1840 avaliações, resultantes das combinações dos 80 requisitos de

projeto com os 23 requisitos de usuário. Ao longo de seu desenvolvimento a equipe identificou correlação entre requisitos de projeto e que alguns destes tinham uma relevância muito baixa para o desenvolvimento do projeto. Ao longo da priorização o total de requisitos de projeto foi reduzido de 80 para 50, reduzindo o total de itens avaliados para 1150.

Apesar de ter sido executada em paralelo a outras atividades, pode-se dizer que o processo de determinação dos requisitos de projeto foi lento, sendo executado ao longo de três semanas. Durante sua execução foi necessário que a equipe adaptasse seu procedimento, de maneira que cada membro da equipe participou ao menos de três reuniões presenciais para determinação dos requisitos de projeto. Durante a avaliação dos requisitos de projeto, etapa posterior à determinação destes, a equipe também teve um elevado investimento de tempo devido o grande número de requisitos de projeto levantados. Durante esta etapa também foi necessário revisar os requisitos de projeto determinados, alguns foram removidos da avaliação, outros tiveram suas denominações alteradas.

Tendo em vista as dificuldades encontradas, identificou-se a necessidade de um conjunto de procedimentos mais sistemático, que não fosse tão dependente da experiência da equipe no desenvolvimento de projetos, para determinação de requisitos de projeto.

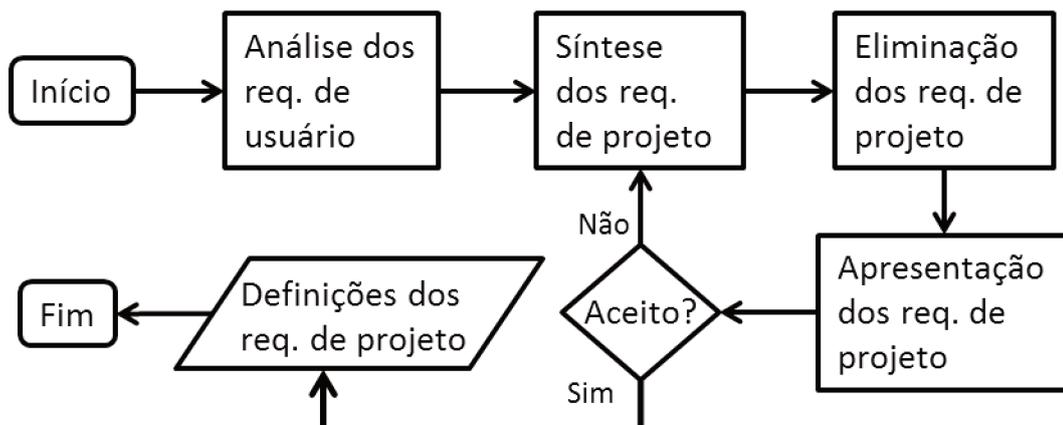
4.2 PROPOSTA

A conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto deve ser iniciada com a análise dos requisitos de usuário. Em seguida é feita a síntese assistida dos requisitos de projeto com auxílio dos resultados da análise. A determinação dos requisitos de projeto é concluída através da eliminação dos requisitos de projeto que apresentem uma elevada correlação e/ou baixa relevância para a análise e comparação das concepções. O método é concluído com a apresentação e aceite dos requisitos de projeto, Figura 8.

É desejável que esse processo seja desenvolvido por um grupo de quatro a sete pessoas, valor adequado para dinâmicas de grupo, sendo executado em pelo menos duas dinâmicas presenciais (KNAPP *et al.*, 2017). Uma pessoa do grupo deve ficar encarregada de apresentar as etapas do método, gerenciar as dinâmicas e organizar o material necessário para sua execução. Neste trabalho, esta pessoa será denominada de facilitador e é recomendado que tenha experiência no desenvolvimento de projetos com metodologias prescritivas. Preferencialmente o facilitador deve assumir um papel apenas gerencial para a organização e execução das dinâmicas, mas podem existir situações em que sua participação nas dinâmicas é essencial.

A primeira etapa é dedicada à análise dos requisitos de usuário e deve ser executada em uma dinâmica exclusiva para esta etapa. A segunda etapa aborda a

Figura 8 – Fluxograma de execução do método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto.



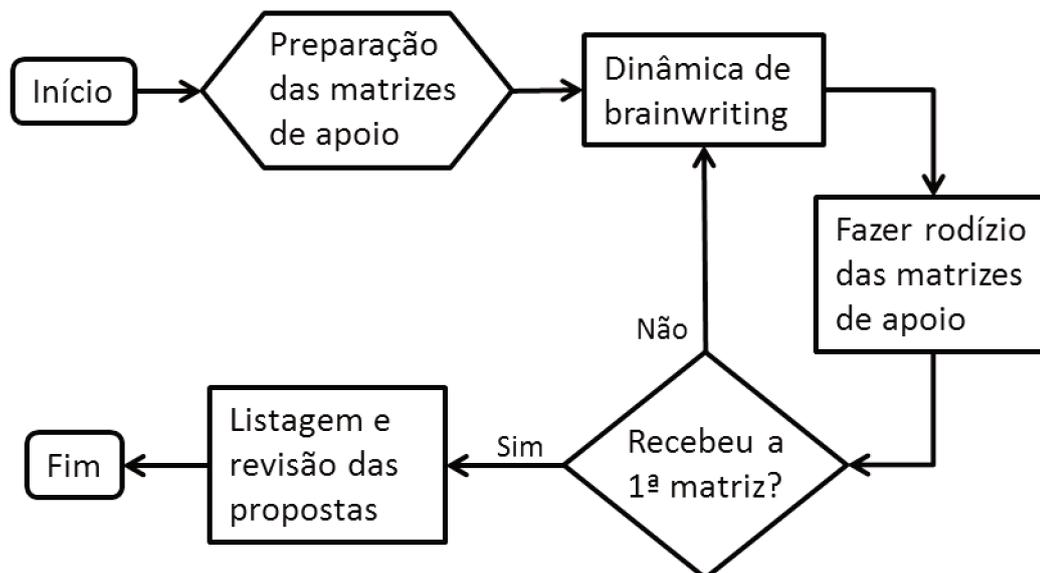
síntese assistida e a terceira etapa aborda a eliminação dos requisitos de projeto. A segunda e terceira etapas podem ser executadas em uma única dinâmica. A seguir são apresentadas em mais detalhes as etapas deste processo.

A seguir são apresentadas as etapas deste método. No início da descrição de cada etapa do método proposto é apresentado um fluxograma desta etapa precedido por um breve resumo de suas atividades em itálico.

4.2.1 Análise dos requisitos de usuário

Para a primeira dinâmica serão utilizados quadros para relacionar os requisitos de usuário com atributos específicos, denominada por Fonseca (2000) de matriz de apoio à conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto. Com o uso das tabelas o grupo irá executar uma dinâmica de brainwriting, visando à geração de um grande número de propostas de requisito de projeto. Cada membro irá registrar propostas de requisitos de projeto nas matrizes de apoio durante uma rodada com tempo limitado. Ao término de cada rodada, cada membro entregará sua matriz de apoio ao membro que está ao seu lado e fará o preenchimento de novas propostas na matriz recebida durante a rodada seguinte. Esse processo é repetido até que cada membro receba a primeira matriz de apoio que preencheu. Para concluir a dinâmica são listadas e revisadas as propostas de requisito de projeto, Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de análise dos requisitos de usuário.



Antes de dar início a dinâmica, o facilitador deve preparar as matrizes de apoio que serão utilizadas nela. O número de matrizes de apoio distintas deve ser igual ao número de participantes do processo de conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto. O facilitador deve dividir os requisitos de projeto de maneira alternada entre as tabelas, seguindo a ordem com que foram priorizados, registrando-os na primeira coluna da tabela.

É necessário também definir os atributos específicos relevantes para o produto, estes são registrados na primeira linha da cada matriz de apoio, Quadro 3. Exemplos de matrizes de apoio podem ser consultados no Apêndice B.

Quadro 3 – Matriz de apoio à conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto.

Requisitos de usuário	Atributos específicos				
	AE A	AE B	AE C	AE D	AE E
RU 1					
RU 2					
RU 3					
RU 4					
RU 5					

Para o processo de conversão dos requisitos de usuário em requisitos de projeto de sistemas robóticos foram selecionados dez atributos específicos. A seleção destes atributos considerou o projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico e as definições apresentadas por Ionescu (2003). Seis deles foram agrupados em pares para minimizar

a possibilidade de geração de propostas similares durante o processo de conversão sistemática. Os atributos específicos selecionados são apresentados a seguir.

- Geometria: atributo relacionado às características geométricas do sistema robótico, seu funcionamento e de como o sistema interage com objetos e seu meio de operação. Exemplos de requisitos de projeto: dimensões máximas em trabalho; volume de transporte; volume de trabalho, coeficiente de arrasto; número de pontos de contato do efetuator; graus de liberdade, etc.
- Cinemática/Tempo: o atributo cinemática está relacionado à movimentação do sistema robótico de maneira que os requisitos de projeto oriundos deste atributo possuem uma relação íntima com a mensuração temporal. O atributo tempo pode ser relacionado à movimentação do sistema robótico assim como a características deste. Exemplos: velocidade de deslocamento; velocidade máxima do efetuator; aceleração máxima do efetuator; tempo de execução de um movimento; tempo de execução de uma tarefa; tempo de operação; período entre falhas; tempo de montagem, etc.
- Forças: atributo relacionado a forças aplicadas sobre o sistema robótico assim como forças requeridas ou executadas pelo sistema robótico. Exemplos: empuxo; peso do sistema robótico; peso do objeto a ser movimentado; pressão de contato do efetuator com o objeto; forças, torques ou momentos mínimos ou máximos para executar uma ação; etc.
- Energia: atributo relacionado à conversão de energia pelo sistema robótico ou por seus subsistemas. Exemplos: consumo energético, autonomia; potência requerida pelo atuador; capacidade de amortecimento; ruído gerado; energia produzida; capacidade de armazenamento energético; etc.
- Materiais: atributo relacionado a propriedades físicas e químicas do sistema robótico; de seus subsistemas ou componentes. Exemplos: massa; temperatura máxima de operação; grau de proteção IP; resistência à exposição solar; resistência a condições ambientais; resistência química; rigidez mecânica; tenacidade; etc.
- Sinais: atributo relacionado ao fornecimento, aquisição e processamento de informações do sistema robótico. Exemplos: número de sensores; erro de medição; tempo de processamento; tempo de resposta do sensor, taxa de transmissão; capacidade de armazenamento de dados; etc.
- Automação/Comando: o atributo automação está relacionado ao uso de rotinas, monitoramento e controle para reduzir a necessidade de intervenção humana no funcionamento do sistema robótico. O atributo comando está relacionado com o

gerenciamento das operações e movimentações do sistema robótico. Exemplos: número de operações automatizadas; tempo de resposta do sistema robótico; número de comandos na interface usuário/robô; número de informações monitoradas pelo usuário; etc.

- Produção/Manutenção: o atributo produção está relacionado a restrições e características de fabricação do sistema robótico e de seus componentes. O atributo manutenção está relacionado ao processo de manutenção do sistema robótico. Exemplos: número de componentes padronizados; tolerância de fabricação; tempo de montagem do sistema; número de operações para manutenção; período entre falhas; custo de produção; etc.

É recomendável que seja adicionado um campo de conversão livre na tabela fornecida aos participantes, onde estes possam fazer registro de requisitos de projeto que não conseguiram atribuir a um atributo específico, Quadro 4.

Caso o facilitador sinta necessidade, podem ser selecionados outros atributos específicos que possam ser mais adequados para a caracterização dos requisitos de projeto. Para buscar outros exemplos de atributos específicos pode-se consultar a seção 5.2 do livro “Engineering Design” de Pahl et al. (2007) ou a tese do Fonseca (2000).

Para evitar que falte espaço para inclusão de novas propostas de requisitos de projeto, é recomendado imprimir cópias equivalentes ao número de participantes da dinâmica para cada matriz de apoio distinta. Também é preferível grampear as cópias de uma mesma tabela para evitar que entre as rodadas tabelas de diferentes tipos se misturem.

É necessário também preparar uma apresentação para a dinâmica em grupo. A apresentação deve começar com a introdução de conceitos básicos para a execução do método. O facilitador deve garantir que ao menos os conceitos de requisito de usuário e requisito de projeto estejam claros para todos do grupo antes de iniciar a dinâmica. Pode ser necessário apresentar outros conceitos complementares ao entendimento dos conceitos de requisito de usuário e requisito de projeto. Para este trabalho são utilizadas as definições apresentadas a seguir.

- Necessidades de usuário: expressões espontâneas dos usuários potenciais do produto, relacionadas com o produto ou com o projeto;
- Requisitos de usuário: tradução das necessidades de usuário a uma linguagem clara, direta e compreensível para projetistas e produtores;
- Requisitos de projeto: características físicas ou técnicas que o produto deve ter para satisfazer os requisitos de usuário;

- Especificações de projeto: são compostas pelos requisitos de projeto com suas metas alvo, objetivos e/ou restrições individuais.

Através da apresentação o facilitador deve deixar claro o objetivo da dinâmica e como ela será desenvolvida. Durante a clarificação do objetivo é importante enfatizar de que a qualidade das propostas de requisito de projeto ou sua denominação de maneira formal não são prioridades para esta etapa. A prioridade é levantar um grande número de propostas de requisito de projeto. Ao longo da apresentação devem-se deixar explícitas as etapas da dinâmica e a previsão de tempo para cada etapa, planejadas com antecedência. Na apresentação também deve ser exemplificado o uso do material de apoio.

Durante as rodadas cada participante deve verificar entre quais atributos específicos (colunas) e requisitos de usuário (linhas) é possível propor um requisito de projeto. Ao identificar uma proposta o participante deve preencher a célula de sua matriz de apoio, Quadro 4, fazendo o registro da proposta de requisito de projeto e de seu objetivo através de símbolos, listados a seguir:

- (+): Deseja-se maximizar o requisito;
- (-): Deseja-se minimizar o requisito;
- (o): Deseja-se atingir uma meta específica para o requisito.

Quadro 4 – Exemplo de preenchimento de uma matriz de apoio para o projeto de uma caminhote.

Requisitos de usuário	Atributos específicos			
	Geometria	Cinemática	Material	Sinais
Ser rápida	(-) Coef. de arrasto	(+) Aceleração; (+) Velocidade	(-) Massa	
Ter caçamba grande	(+) Largura; (+) Comprimento			
Ser segura		(-) Tempo de frenagem	(-) n° de peças inflamáveis	(o) Sistema ABS
Ser fácil de dirigir		(-) Esforço p/ manobra		(o) Câmbio automático
Ser econômica	(-) Coef. de arrasto		(-) Massa	

Conversão livre:

Para auxiliar o preenchimento das matrizes de apoio, é recomendado que durante as rodadas os participantes possam consultar a um exemplo de matriz preenchida. Entre as rodadas o facilitador pode fornecer novos exemplos. De preferência os exemplos fornecidos durante as rodadas devem apresentar os mesmos atributos específicos das matrizes de apoio que os participantes estão preenchendo. Deve-se observar que os exemplos fornecidos podem influenciar as propostas de requisito de projeto geradas durante a dinâmica.

É natural que na primeira rodada os participantes tenham mais dúvidas sobre como proceder e consultem mais vezes o exemplo fornecido, de maneira que a rodada deve apresentar um tempo de execução planejado maior que as demais. Deve-se planejar a dinâmica de maneira que cada rodada tenha uma duração de um minuto e meio a dois minutos por requisito de usuário da matriz de apoio com maior número de requisitos de usuário.

O facilitador é responsável pelo gerenciamento do tempo e pelo esclarecimento de dúvidas durante as rodadas. Próximo do fim do tempo de cada rodada o facilitador deve verificar como está o preenchimento das matrizes de apoio. Caso todos do grupo tenham finalizado o preenchimento a rodada pode ser finalizada. Caso um ou mais membros ainda estejam registrando propostas, deve-se avisar que o limite de tempo foi atingido e pode-se dar uma extensão de até dois minutos.

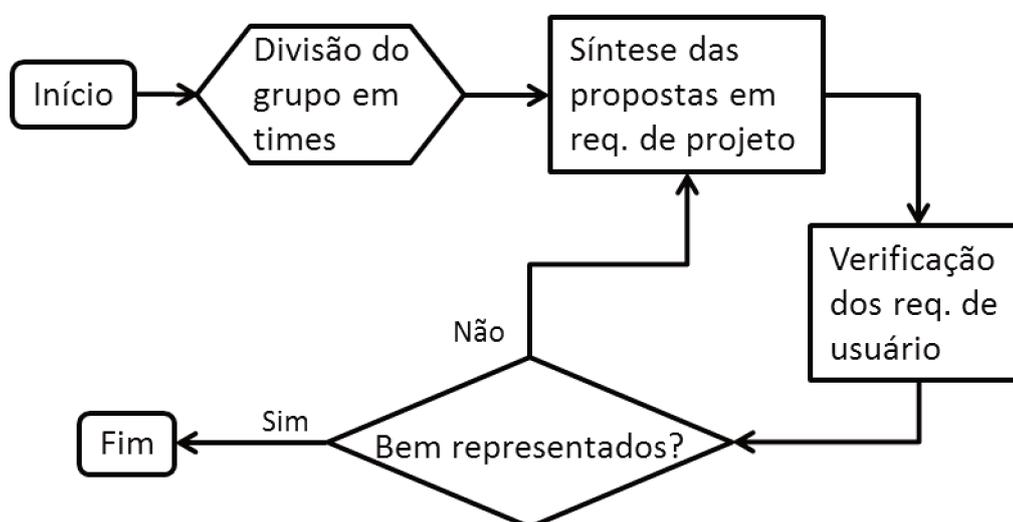
Ao término de cada rodada os participantes entregam as matrizes de apoio para o membro a seu lado. Entre as rodadas o facilitador pode reforçar informações apresentadas no início da dinâmica. Caso o facilitador perceba que algumas colunas ou linhas não estão sendo preenchidas, pode-se pedir no início da última e/ou penúltima rodada que os participantes foquem no preenchimento destas. Após a conclusão da última rodada, quando cada membro recebe a primeira matriz de apoio que preencheu, é recomendado fazer uma pausa antes de iniciar a listagem das propostas de requisito de projeto.

Durante a listagem e revisão, cada participante irá ler em voz alta as propostas de requisito de projeto, indicando com qual requisito de usuário e atributo específico ela se relaciona. Caso algum membro tenha alguma dúvida sobre o significado da proposta ou sua relação com o requisito de usuário ou atributo específico, deve-se identificar quem fez o registro da proposta para que a dúvida seja esclarecida. Nesta etapa deve-se evitar fazer críticas ou pedir que o autor faça modificações de suas propostas, mas podem ser feitas alterações de proposta após o esclarecimento de dúvidas caso o autor sinta necessidade. Essas alterações devem ser registradas para facilitar a compilação das propostas.

4.2.2 Síntese assistida dos requisitos de projeto

Na segunda etapa são utilizadas listas das propostas de requisitos de projeto geradas anteriormente. O grupo é organizado em times de duas ou três pessoas que, com o auxílio das listas, irá realizar a síntese de requisitos de projeto. Os requisitos de projeto determinados pelos times são listados sem repetição e apresentados ao grupo. Cada participante avalia se os requisitos de usuário estão bem representados pelos requisitos de projeto levantados. Podem ser adicionados novos requisitos de projeto para complementar a representação dos requisitos de usuário caso o grupo identifique a necessidade, Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de síntese assistida dos requisitos de projeto.



Para a síntese assistida o facilitador deverá organizar as informações geradas na análise dos requisitos de usuário. Será necessário organizar as propostas de requisitos de projeto em quatro listas. A primeira lista a ser gerada é a lista completa que facilita a navegação entre as listas. Esta lista apresenta repetições de propostas caso estas sejam provenientes de requisitos de usuário ou atributos específicos distintos. As propostas são organizadas alfabeticamente e devem ser apresentadas vinculadas a sua origem, relativa a um atributo específico e um requisito de usuário, Quadro 5. Deve-se anexar a esta lista os requisitos de usuário e atributos específicos com seus respectivos índices para permitir uma navegação mais simples entre as outras listas, Apêndice C.

A segunda lista permite o controle e acompanhamento da síntese de requisitos de projeto. Ela apresenta as propostas listadas alfabeticamente sem repetições e campos em branco para ser preenchido pelo time, Quadro 6. O time pode registrar em quais requisitos de projeto a proposta foi sintetizada ou que a proposta já foi avaliada, mas não foi sintetizada em um requisito. O registro é importante para que

Quadro 5 – Estrutura da lista dedicada à navegação.

Listagem completa das propostas	Req. U.	Atrib. E.
Proposta 1	RU 3	AE D
Proposta 1	RU 4	AE A
Proposta 1	RU 8	AE D
Proposta 2	RU 3	AE D
Proposta 3	RU 5	AE B
Proposta 3	RU 5	AE A
Proposta 4	RU 1	AE C
Proposta 4	RU 9	AE C
Proposta 4	RU 9	AE F

cada proposta seja avaliada e, para os casos em que propostas não são sintetizadas em um requisito de projeto, são úteis para verificar se os requisitos usuário estão bem representados.

Quadro 6 – Estrutura da lista dedicada ao controle e acompanhamento da síntese de requisitos de projeto.

Propostas sem repetições	Req. P. Sintetizado
Proposta 1	
Proposta 2	
Proposta 3	
Proposta 4	
Proposta 5	
Proposta 6	
Proposta 7	

Sobre a repetição de propostas de requisitos de projeto é importante observar que propostas com a grafia próxima ou com objetivos diferentes são consideradas distintas, no caso não repetidas. Para exemplificar, abaixo estão listadas 5 propostas distintas que abordam uma mesma variável:

- Velocidade de avanço (-)
- Velocidade de operação (relativo ao deslocamento do robô) (-)
- Velocidade de operação (-)
- Velocidade de operação (+)
- Velocidade otimizada (o)

As outras duas listas apresentam todas as propostas de requisito de projeto agrupadas, uma através dos seus atributos específicos de origem, Quadro 7, outra através dos seus requisitos de usuário de origem, Quadro 8. Para as duas listas devem ser eliminadas repetições dentro de um mesmo agrupamento. Essas duas listas facilitam a visualização de correlação entre as propostas e o processo de síntese dos requisitos de projeto, de maneira que são as principais ferramentas no processo da síntese assistida.

Quadro 7 – Estrutura da lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus atributos específicos de origem.

Propostas pré-agrupadas	Atrib. E.
Proposta 5	AE A
Proposta 7	AE A
Proposta 8	AE A
Proposta 4	AE B
Proposta 7	AE B
Proposta 7	AE C
Proposta 8	AE C

Quadro 8 – Estrutura da lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus requisitos de usuário de origem.

Propostas pré-agrupadas	Req. U.
Proposta 2	RU 1
Proposta 5	RU 1
Proposta 6	RU 1
Proposta 1	RU 2
Proposta 2	RU 2
Proposta 3	RU 3
Proposta 5	RU 3

Além da organização das listas o facilitador deve elaborar uma apresentação para a segunda dinâmica. Através dela o apresentador deve deixar claro aos participantes como a etapa será executada e seu objetivo, que é a síntese de requisitos de projeto. Pode ser apresentada uma faixa de valores alvo para o número total de requisitos de projeto, de preferência inferior a 40.

Os conceitos básicos de requisito de usuário e requisito de projeto utilizados na etapa anterior devem ser reapresentados. Adicionalmente é necessário informar que nesta etapa deve-se dar atenção à qualidade das denominações dos requisitos de projeto. No caso deve-se evitar:

- Correlação entre os requisitos;
- Ambiguidade na denominação;
- Uso de requisitos não mensuráveis.

No início da etapa de síntese o facilitador deve dividir o grupo em times de duas ou três pessoas, sendo preferível que tenham formação em áreas de conhecimento diferentes. É essencial que o facilitador apresente o uso das listas antes de dar início ao processo de síntese. Deve ser apresentado pelo menos um exemplo uso das listas, podendo ser utilizados recursos visuais da apresentação ou, de preferência, um exemplo real com as listas que serão usadas na dinâmica. No Apêndice D é apresentado um exemplo de utilização das listas.

Durante a etapa, cada time procura dentre as propostas pré-agrupadas identificar grupos de propostas que possam ser sintetizados em requisitos de projeto. Para facilitar o processo, é interessante que os participantes possam visualizar os conceitos básicos, assim como as orientações para denominação formal dos requisitos de projeto através da apresentação. Além das listas de apoio o facilitador deve fornecer canetas e folhas em branco.

Conforme as propostas são avaliadas o grupo deve registrar em qual requisito de projeto a proposta foi sintetizada. Ao final da avaliação é necessário verificar quais propostas não foram sintetizadas em um requisito de projeto. Para estes casos é feito o registro de que a proposta não foi sintetizada em nenhum requisito de projeto.

Após cada time concluir a síntese dos requisitos de projeto, estes são listados em uma única lista, sem repetições. Nesse momento cada participante do grupo deve verificar se todos os requisitos de usuário estão caracterizados pelos requisitos de projeto listados.

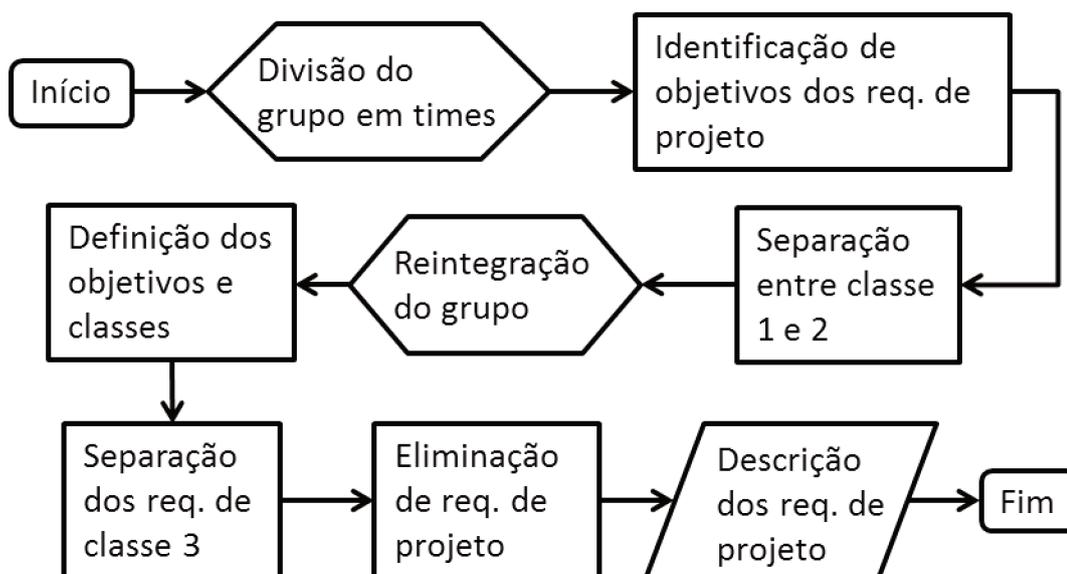
Caso seja identificado que a caracterização de algum dos requisitos de usuário está incompleta, devem ser propostos novos requisitos de projeto. Os times devem primeiramente verificar se alguma das propostas que não foram sintetizadas em requisitos de projeto poderia completar a caracterização. Em seguida é feito um debate com todos os participantes para determinar novos requisitos de projeto. Quando todos os requisitos de usuário estiverem caracterizados pelos requisitos de projeto a etapa de síntese é concluída.

4.2.3 Eliminação de requisitos de usuário

Para eliminação de requisitos de projeto o grupo começará dividido em times. No primeiro momento cada time deve procurar identificar e eliminar requisitos de projeto redundantes. Em seguida os times devem identificar os objetivos dos requisitos de projeto e separá-los em duas classes, classe 1 e 2 de mesmo tamanho. Os times

são desfeitos para que o grupo defina o objetivo e a separação entre as classes. Por fim pede-se que o grupo separe os requisitos da classe 2 em dois agrupamentos de requisito de projeto de mesmo tamanho, onde um dos agrupamentos será eliminado. O grupo deve então descrever cada requisito de projeto não eliminado e apresentá-los para a equipe de projeto, Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de eliminação de requisitos de projeto.



Para o início desta etapa o facilitador deve separar novamente o grupo em times, de preferência os mesmos da etapa anterior. Cada time deve analisar a listagem de requisitos de projeto e procurar identificar requisitos de projeto redundantes, geralmente sintetizados por times diferentes com uma denominação próxima. Para os requisitos que apresentaram redundância deve-se escolher uma denominação, ou elaborar uma nova, que melhor represente as propostas destes requisitos.

Após serem eliminados requisitos de projeto redundantes, cada time deve determinar o objetivo de cada requisito através de símbolos, Seção 4.2.1. O facilitador deve enfatizar que, durante a determinação dos objetivos deve-se considerar apenas a relação direta do requisito de projeto com o produto. Não se deve considerar como outros requisitos de projeto influenciarão o objetivo do requisito de projeto sendo determinado.

Em seguida os times separam os requisitos em duas classes, apresentadas a seguir. É preferível cada classe tenha o mesmo número de requisitos.

- Classe 1: Requisitos de projeto imprescindíveis para análise e comparação das concepções e/ou que apresentem baixa relação com os demais requisitos de projeto;
- Classe 2: Requisitos de projeto que apresentam baixa relevância para análise e

comparação das concepções e/ou que apresentem elevada relação com outros requisitos de projeto.

Os times são desfeitos quando concluírem a classificação e identificação de objetivos de cada requisito de projeto. Com o grupo novamente reunido deve-se verificar o que cada time identificou de redundância entre os requisitos e definir suas denominações. Neste momento deve ser conferido se as denominações dos requisitos de projeto se referem a um parâmetro mensurável. Caso necessário deve-se adaptá-las e selecionar suas unidades de mensuração.

Em seguida o grupo deve definir o objetivo e classificação de cada requisito através de debate. Com as classes definidas, o facilitador deve pedir que o grupo aloque aproximadamente metade dos requisitos da classe 2 em uma nova classe, a classe 3. A classe 3 deve conter requisitos de projeto com menor relevância para a análise e comparação das concepções e/ou requisitos de projeto parcialmente representados por requisitos listados na classe 1 ou classe 2. Os requisitos da classe 3 serão eliminados da listagem final.

O facilitador não precisa garantir que a classe 1 contenha exatamente metade dos requisitos de projeto, nem que a classe 2 e 3 apresentem o mesmo número de requisitos. O objetivo de dividir os requisitos de projeto em classes é promover uma redução de redundâncias e o número total de requisitos de projeto. É desejável que listagem final seja composta de 20 a 40 requisitos de projeto.

O grupo deve preparar a listagem final dos requisitos de projeto, composta pelos requisitos da classe 1 e classe 2. Além da denominação dos requisitos de projeto a listagem final deve conter o objetivo e unidade de medição de cada requisito. Devem também ser definidas descrições dos requisitos de projeto que serão apresentadas à equipe de projeto junto da listagem final.

4.2.4 Apresentação

O grupo que participou da conversão dos requisitos de usuário para requisitos de projeto deve apresentar a listagem final de requisitos de projeto para a equipe. A equipe de projeto deve avaliar se os requisitos de projeto listados conseguem caracterizar bem os requisitos de usuário e se existe correlação entre os requisitos de projeto. A partir da avaliação a equipe pode:

- Considerar o processo como concluído: não é necessária a inclusão ou remoção de requisitos de projeto da listagem final. Podem ser feitas pequenas alterações nas denominações e descrições dos requisitos de projeto durante a reunião;
- Fazer poucas modificações na listagem final: é identificada a necessidade de adicionar ou remover alguns requisitos de projeto da listagem final e é perceptível

que as sugestões de alteração estão convergindo durante a reunião. A pessoa responsável pela reunião pode conduzi-la de maneira que sejam feitas as alterações ao longo da reunião;

- Fazer muitas modificações na listagem final: é identificada a necessidade de adicionar ou remover alguns requisitos de projeto da listagem final, mas é perceptível de que as sugestões de alteração estão divergindo durante a reunião. Neste caso as sugestões de modificação devem ser feitas fora da reunião, sendo necessário definir como vão ser determinadas as sugestões de alteração.

Uma dinâmica de *brainstorming* deve ser suficiente para determinar as modificações da listagem final para a maioria dos casos que necessitem muitas modificações na listagem final.

Preferencialmente a dinâmica de *brainstorming* deve ser executada com o facilitador das dinâmicas de conversão dos requisitos de usuário em requisitos de projeto e com alguns dos membros da equipe que sugeriram alterações distintas na reunião, totalizando não mais do que sete pessoas.

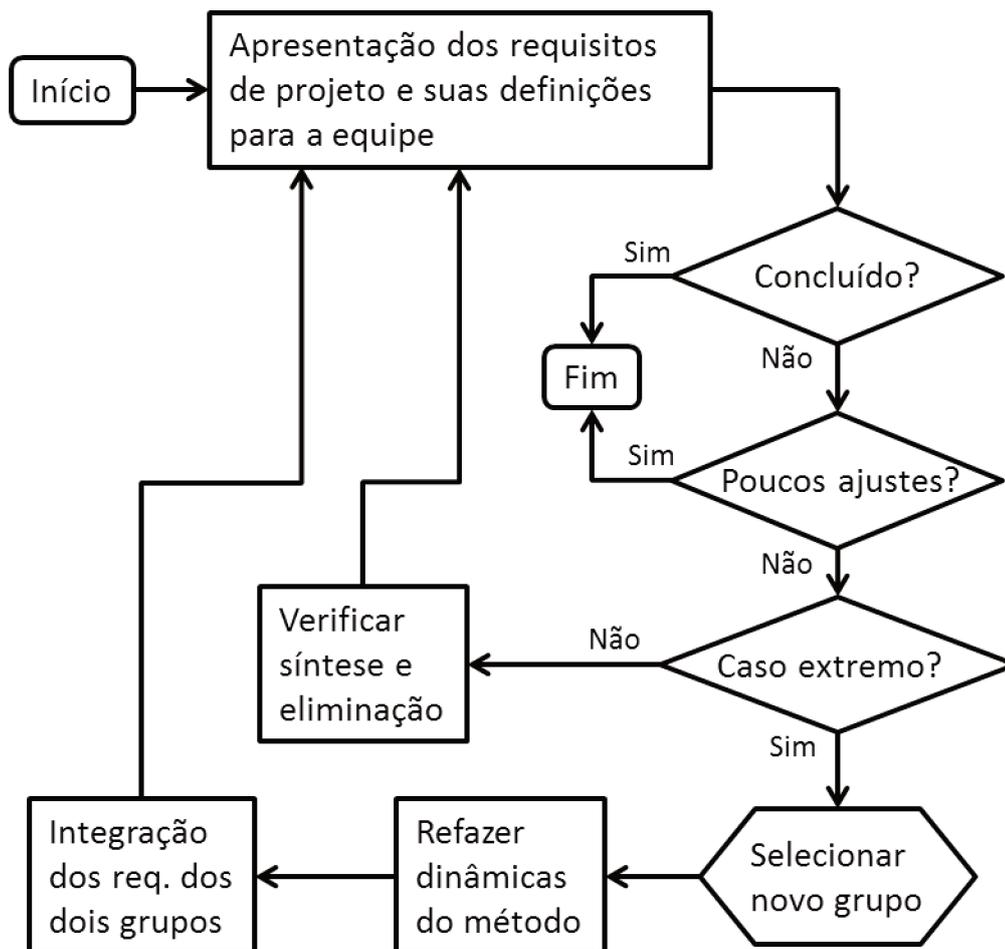
Durante o debate para definir quais modificações devem ser adotadas, podem ser discutidos tópicos já avaliados durante as etapas de síntese ou eliminação. O facilitador pode apresentar o material produzido anteriormente visando agilizar o debate, mas as conclusões obtidas devem ser incrementadas e revistas. A listagem final com as modificações deve ser avaliada pela equipe.

Para casos extremos, em que houve uma grande discordância entre a equipe de projeto sobre a adequação da listagem final ao problema estudado, a equipe de projeto pode repetir a aplicação da metodologia com um novo grupo.

Quando o segundo grupo concluir sua listagem final dos requisitos de projeto, os dois grupos devem ser reunidos. As duas listagens são agrupadas e é aplicada a etapa de eliminação de requisitos, resultando em uma nova listagem final com os requisitos de projeto determinados pelos dois grupos. Essa nova listagem final é apresentada para a equipe de projeto que deve avaliá-la.

São feitas modificações na listagem final dos requisitos de projeto até que esta seja aceita pela equipe de projeto, indicando a conclusão do método, Figura 12.

Figura 12 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de apresentação.



4.3 EXECUÇÃO

Para a aplicação da metodologia foi selecionado um facilitador e um grupo de cinco pessoas dentre os integrantes da equipe do projeto da Celesc. O grupo era composto por dois engenheiros mecânicos, um graduando de engenharia mecânica e dois graduandos de engenharia eletrônica. Dentre os participantes apenas um engenheiro mecânico e o graduando de engenharia mecânica possuíam uma experiência prévia com o processo de conversão dos requisitos de usuário em requisitos de projeto aplicado na metodologia PRODIP.

A aplicação do método ocorreu 11 meses após a conclusão da conversão dos requisitos de usuário em requisitos de projeto no projeto da Celesc. O facilitador e dois membros do grupo haviam participado da conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto durante o projeto da Celesc.

Houve o planejamento de que a aplicação do método fosse realizada em duas reuniões de duas horas e uma reunião de uma hora. A primeira reunião consistiria da análise dos requisitos de usuário. A segunda reunião seria dedicada à síntese e eliminação de requisitos de projeto. Na terceira e última reunião seriam feitas as

descrições dos requisitos de projeto.

A execução do método foi feita ao longo de três semanas, devido à dificuldade de agendar um horário em que todos os participantes pudessem comparecer. Foi necessária a adaptação de seu planejamento durante sua execução.

A primeira reunião ocorreu conforme havia sido planejada. Ela foi iniciada com a dinâmica de *brainwriting*, fazendo uso dos requisitos de usuário identificados durante o projeto da Celesc, Apêndice E, e dos atributos específicos para sistemas robóticos propostos neste trabalho. A reunião foi concluída com a listagem das propostas de requisitos de projeto descritas no método.

Durante a primeira rodada do *brainwriting* foi necessário reforçar a informação de que nesta etapa a qualidade e a denominação formal dos requisitos de projeto não são prioridades. A primeira rodada foi estendida em 3 minutos, sendo concluída em 13 minutos. Nas rodadas seguintes só ocorreu necessidade de estender a duração da segunda rodada em 1 minuto, de maneira que esta foi concluída com 8 minutos e as demais em 7 minutos cada. Para a quarta e quinta rodada foi instruído aos participantes que procurassem preencher as lacunas das tabelas.

Com a conclusão da dinâmica de *brainwriting* foi feita uma pausa para em seguida ser feita a listagem das propostas de requisitos de projeto. A listagem foi iniciada fazendo-se registro de todas as propostas conforme os participantes faziam sua leitura em voz alta. Este processo foi moroso e cansativo para o grupo uma vez que foi produzido um grande número de propostas de requisito de projeto e a leitura das propostas tinha de acompanhar o ritmo com que era feito o registro destas. Foram alteradas apenas três denominações das propostas de requisito de projeto durante a listagem.

Ao total foram listadas 339 propostas de requisito de projeto. Essas propostas foram organizadas durante seis horas em quatro listas, Apêndice F, apresentadas a seguir.

- A primeira lista contém todas as propostas organizadas alfabeticamente com informações de seus requisitos de usuário e atributos específicos de origem. Seu principal uso é para navegação entre as outras listas, Quadro 9.
- A segunda lista apresenta 197 propostas de requisito de projeto sem repetições organizadas alfabeticamente. Esta lista é utilizada para registro e controle do processo de síntese dos requisitos de projeto, Quadro 10.
- A terceira lista apresenta 210 propostas de requisito de projeto organizadas em agrupamentos em função dos seus atributos específicos de origem. O objetivo desta lista é facilitar o processo de síntese dos requisitos de projeto, Quadro 11.

Quadro 9 – Exemplo de lista dedicada à navegação.

Listagem completa dos requisitos levantados	R. U.	A. E.
Absorver impacto (dúctil) (+)	2	E
Aceleração (-)	1	B
Aceleração otimizada (o)	17	B
Acelerometro (o)	7	B
Aderência (+)	16	E
Aderência nos cabos (+)	6	E
Aderência nos cabos (+)	6	E
Aerodinâmica (+)	1	A
Aerodinâmica (+)	11	A
Aplicação em diferentes redes (o)	10	H
Associar visão térmica e visual (-)	23	F
Automatizar operação de transposição desta classe (o)	19	G
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	12	D
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	14	D
Autonomia (+)	3	D
Autonomia (+)	11	D
...

Quadro 10 – Exemplo lista dedicada ao registro e acompanhamento da síntese requisitos de projeto.

Requisitos de projeto sem repetição	Req. de proj. sintetizado
Absorver impacto (dúctil) (+)	
Aceleração (-)	
Aceleração otimizada (o)	
Acelerometro (o)	
Aderência (+)	
Aderência nos cabos (+)	
Aerodinâmica (+)	
Aplicação em diferentes redes (o)	
Associar visão térmica e visual (-)	
Automatizar operação de transposição desta classe (o)	
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	
Autonomia (+)	
Autonomia para operação (+)	
Autonomia para segurança (+)	
Autonomia para transposição (+)	
...	

Quadro 11 – Exemplo de lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus atributos específicos de origem.

Propostas pré-agrupadas em função dos A. E.	A. Esp.
...	...
Graus de liberdade (-)	B
Graus de liberdade (+)	B
Graus de liberdade adequados para instalação (o)	B
Graus de liberdade adequados para segurança (o)	B
Inércia do movimento (+)	B
Inércia do sistema (-)	B
...	...
Massa (-)	E
Massa dos materiais (-)	E
Materiais condutores (-)	E
Materiais leves (+)	E
Materiais pesados (-)	E
Materiais pesados (o)	E
Materiais que conduzem corrente (-)	E
...	...

- A quarta lista apresenta 312 propostas de requisito de projeto organizadas em agrupamentos em função dos seus requisitos de usuário de origem. O objetivo desta lista é facilitar o processo de síntese dos requisitos de projeto, Quadro 12..

Quadro 12 – Exemplo de lista com as propostas pré-agrupadas em função de seus requisitos de usuário de origem.

Propostas pré-agrupadas em função dos R. U.	R. U.
...	...
Massa (-)	1
Materiais pesados (-)	1
...	...
Facilidade para montar/desmontar (+)	9
Graus de liberdade (+)	9
Partes desmontáveis (o)	9
Tamanho (-)	9
Tempo de montagem (-)	9
...	...
Autonomia (+)	17
Baterias melhores (o)	17
Capacidade da bateria (+)	17
Consumo energético (-)	17
Eficiência do motor (o)	17
...	...

No início da segunda reunião o grupo foi dividido em dois times, uma dupla e um trio. A dupla era composta por um graduando de engenharia eletrônica e pelo

engenheiro mecânico com experiência prévia no processo de conversão. O trio era composto pelos outros membros do grupo, sendo que o graduando em engenharia mecânica do trio também tinha experiência prévia no processo de conversão. Cada time recebeu uma cópia de cada lista assim como folhas de rascunho. Em seguida foi apresentado o processo de síntese e feito um exemplo prático do uso das listas com todos os participantes, inclusive o facilitador. Cada time procurou dividir o material e se organizar de sua própria maneira.

Durante a dinâmica um membro da dupla ficou encarregado de listar os requisitos de projeto sintetizados com índices numéricos, enquanto o outro fazia o registro da síntese das propostas através de índices na segunda lista do material de apoio, Quadro 10.

A dupla começou o processo de síntese fazendo uso da terceira e quarta lista do material de apoio, mas a partir do quarto requisito de projeto sintetizado decidiram prosseguir com a síntese fazendo uso apenas da terceira lista, Quadro 11.

Após concluírem a síntese dos requisitos de projeto com a terceira lista, a dupla fez a verificação das propostas que não haviam sido sintetizadas em um requisito de projeto, no caso aquelas que não apresentavam nenhum registro na segunda lista, Quadro 10. Através da primeira lista, Quadro 9, a dupla identificava quais eram os requisitos de usuário de origem das propostas de requisito de projeto que não haviam sido sintetizadas até então.

Por fim, utilizando a quarta lista, Quadro 12, a dupla procurou vincular um requisito de projeto para cada proposta de requisitos de projeto. A dupla concluiu a síntese de 27 requisitos de projeto, Apêndice G.1, em 75 minutos. Apenas quatro das 197 propostas de requisito de projeto não foram sintetizadas pela dupla, três destas propostas eram denominações variantes da inércia do sistema.

Comparativamente, o trio teve mais dificuldade de dividir o material de apoio e as atividades. Durante a dinâmica também apresentou discussões mais longas sobre o agrupamento das propostas de requisito de projeto. O processo de síntese o trio não prosseguiu com a análise de uma lista até seu final e não restringiu o número de requisitos de projeto com que uma proposta poderia estar vinculada.

O trio concluiu a síntese além do horário previsto para a segunda reunião, totalizando 135 minutos, e produziu 23 requisitos de projeto, Apêndice G.2. Apenas oito das 197 propostas de requisito de projeto não foram sintetizadas pelo trio.

Devido à discrepância na duração do processo de síntese dos dois times, foi decidido de que o processo de eliminação seria feito na terceira reunião. Por este motivo a dupla se retirou da segunda reunião após a conclusão de sua síntese de requisitos de projeto.

A terceira reunião deu continuidade ao processo de síntese e eliminação de requisitos de projeto e apresentou uma duração de 75 minutos. Para todos os parti-

cipantes foi fornecida a listagem completa sem repetições dos requisitos de projeto obtida pelos dois times, composta por 45 requisitos de projeto.

Foi instruído que cada participante verificasse se os requisitos de usuário estavam representados pelos requisitos de projeto listados e, caso fosse necessário, os participantes deveriam sugerir novos requisitos de projeto.

Foram feitas cinco inclusões na listagem completa dos requisitos de projeto. Para o requisito de usuário “Ter inovação” foi adicionado o requisito de projeto “Número de reivindicações para patente”. Para o requisito de usuário “Ter georreferenciamento” foram adicionados os requisitos de projeto “Taxa de atualização do GPS” e “Precisão de posicionamento do GPS”. Para o requisito de usuário “Não cair” foi adicionado o requisito de projeto “Ter redundância de segurança contra queda”. Para o requisito de usuário “Analisar fotos” foi adicionado o requisito de projeto “Taxa de acerto na identificação de componentes”. Ao final da síntese os participantes haviam listado 50 requisitos de projeto, , Apêndice G.3.

Após as adições serem feitas à listagem completa dos requisitos de projeto, o grupo foi novamente dividido entre os mesmos times da reunião anterior para a eliminação dos requisitos de projeto. A execução da eliminação dos requisitos de projeto procedeu conforme descrito no método, Seção 4.2.3. No primeiro momento cada time identificou e eliminou requisitos de projeto redundantes e posteriormente dividiu os requisitos de projeto restante em duas classes. Para cada requisito de projeto foram indicados seu objetivo e unidade de medição, além de serem feitos ajustes de suas nomenclaturas durante o processo.

Os times foram desfeitos e, com o grupo novamente reunido, foram debatidos e definidos os objetivos, nomenclaturas, unidades de medição e classificação de cada requisito de projeto. Após o grupo definir os tópicos debatidos, foi pedido que alterassem a classificação de metade dos requisitos da classe 2 para a classe 3. O grupo alterou a classificação de apenas 6 dos 20 requisitos de projeto da classe 2, Quadro 13. Posteriormente foram eliminados apenas os requisitos de classe 3 da listagem final dos requisitos de projeto.

O processo de descrição dos requisitos de projeto não foi feito presencialmente devido à necessidade de ajustar o planejamento das reuniões. As descrições foram feitas pelo facilitador e o grupo indicou correções e o aceite das alterações, Apêndice H.

O projeto da Celesc estava no processo de avaliação e seleção final das concepções, etapa final do projeto conceitual. Os gerentes de projeto analisaram os riscos de apresentar os resultados do método para a equipe e decidiram que não seria feita a apresentação dos resultados.

Quadro 13 – Divisão dos requisitos de projeto em classes

Requisito de projeto	Classe	Objetivo	Unidade
Coeficiente de atrito	1	+	
Consumo de energia	1	-	kWh
Custo de produto	1	-	R\$
Graus de liberdade	1	o	dof
Intuitividade	1	+	
Massa	1	-	kg
Número de componentes expostos	1	-	
Número de operações automatizadas	1	+	
Número de reivindicações para patente	1	+	
Pontos de apoio no cabo	1	o	
Precisão de sensores	1	+	%
Resolução da câmera	1	+	pixels
Rigidez dielétrica	1	+	V/m
Taxa de acerto na identificação de componentes	1	+	%
Tempo de instalação	1	-	min
Tempo de operação	1	+	min
Tempo de processamento do robô	1	-	s
Tempo de transposição	1	-	s
Ter redundância de segurança cotnra queda	1	+	
Volume de operação	1	o	m ³
Aceleração	2	-	m/s ²
Erro de posicionamento do GPS	2	-	m
Número de comandos na interface usuário/robô	2	-	
Número de sensores	2	+	
Período entre falhas	2	+	h
Potência máxima dos motores	2	+	W
Resistência térmica nos pontos de apoio	2	+	W/mK
Rigidez mecânica	2	+	
Taxa de atualização do GPS	2	+	Hz
Taxa de transmissão da comunicação wireless	2	+	Mb/s
Temperatura interna do robô	2	-	°C
Tempo de montagem	2	-	min
Velocidade de deslocamento do robô	2	o	m/s
Volume de transporte	2	-	m ³
Capacidade de armazenamento de dados	3	+	GB
Coeficiente de arrasto	3	-	
Custo de uso	3	-	R\$
Esforço de instalação	3	-	N e/ou Nm
Forma	3	o	
Número de câmeras	3	+	

4.4 RESULTADOS

Ao final da aplicação do método foram determinados 34 requisitos de projeto, Quadro 14.

Quadro 14 – Requisitos de projeto sintetizados através do método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto.

Requisito de projeto	Objetivo	Unidade
Aceleração	-	m/s ²
Coefficiente de atrito	+	
Consumo de energia	-	kWh
Custo de produto	-	R\$
Erro de posicionamento do GPS	-	m
Graus de liberdade	o	dof
Intuitividade	+	
Massa	-	kg
Número de comandos na interface usuário/robô	-	
Número de componentes expostos	-	
Número de operações automatizadas	+	
Número de reivindicações para patente	+	
Número de sensores	+	
Período entre falhas	+	h
Pontos de apoio no cabo	o	
Potência máxima dos motores	+	W
Precisão de sensores	+	%
Resistência térmica nos pontos de apoio	+	W/mK
Resolução da câmera	+	pixels
Rigidez dielétrica	+	V/m
Rigidez mecânica	+	
Taxa de acerto na identificação de componentes	+	%
Taxa de atualização do GPS	+	Hz
Taxa de transmissão da comunicação wireless	+	Mb/s
Temperatura interna do robô	-	°C
Tempo de instalação	-	min
Tempo de montagem	-	min
Tempo de operação	+	min
Tempo de processamento do robô	-	s
Tempo de transposição	-	s
Ter redundância de segurança contra queda	+	
Velocidade de deslocamento do robô	o	m/s
Volume de operação	o	m ³
Volume de transporte	-	m ³

Dos requisitos de projeto determinados, apenas os requisitos “Intuitividade” e “Ter redundância de segurança contra queda” não são mensuráveis. O grupo não determinou uma unidade de medição para o requisito de projeto “Rigidez mecânica”.

4.5 DISCUSSÃO

Das quatro etapas previstas pelo método, apenas a etapa de apresentação dos requisitos de projeto não foi executada durante a aplicação do método. Ao final desta seção, para complementar a avaliação dos resultados da aplicação do método, será feita a comparação dos requisitos de projeto determinados através do método proposto com os requisitos de projeto determinados durante a execução do projeto da Celesc.

Esta seção foi organizada em tópicos para facilitar sua leitura e compreensão das informações apresentadas a seguir.

4.5.1 Análise dos requisitos de usuário

A análise dos requisitos de usuário ocorreu conforme planejado. Durante sua execução foi perceptível um período de familiarização com as matrizes de apoio à conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto. Na primeira rodada os participantes consultaram frequentemente o exemplo disponível em slide e todos necessitaram mais tempo além do pré-estabelecido para concluir a conversão.

O principal motivo para utilizar o material de apoio e exemplos é reduzir a experiência necessária para que se obtenham bons resultados da conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto. É importante observar que os exemplos disponíveis durante a análise dos requisitos de usuário podem influenciar nas propostas de requisito de projeto, principalmente para o período de familiarização em que os participantes fazem mais consultas ao exemplo.

A partir da terceira rodada os participantes não necessitaram de uma extensão de tempo para concluir a conversão e consultaram os exemplos disponíveis com uma menor frequência. Ao final da análise os participantes fizeram a observação de que tiveram dificuldade de identificar propostas de requisito de projeto para o par de atributos específicos “produção” e “manutenção”.

O processo de listagem é necessário para evitar que propostas incompreensíveis prossigam para a etapa de síntese de requisitos projeto, de maneira que deve ser executado. Os pontos cruciais deste processo são:

- Todos os participantes e o facilitador devem acompanhar atentamente a leitura em voz alta das propostas de requisitos de projeto;
- Devem ser feitos questionamentos para esclarecer dúvidas relativas a propostas de requisito com denominações ambíguas;
- Deve ser feito o registro das novas denominações das propostas de requisito que foram alteradas. Esse registro deve deixar explícito o requisito de usuário e o atributo específico de origem da proposta.

Durante a listagem das propostas de requisito de projeto percebeu-se que a execução desta conforme inicialmente planejado resultava em um processo moroso. Foi observado que para atender seus pontos cruciais não é necessário fazer o registro completo das propostas durante a dinâmica. Por estes motivos a proposta desta atividade no método foi atualizada.

Durante a listagem ainda é necessário fazer a leitura em voz alta de todas as propostas de requisitos de projeto, mas deve ser registrado apenas alterações de propostas de requisitos de projeto.

4.5.2 Síntese e eliminação de requisitos de projeto

Durante a etapa de síntese dos requisitos de projeto houve uma grande discrepância na adaptação dos times ao material de apoio. Os dois times tiveram acesso ao mesmo material, explicação e exemplos, mas a dupla conseguiu executar a síntese num intervalo de tempo muito inferior ao do trio. Em compensação, para algumas propostas de requisito de projeto o trio as vinculou a mais de um requisito de projeto, fornecendo mais informações para a rastreabilidade do processo.

Durante a dinâmica foi feita a observação de que o uso do material de apoio impresso foi imprescindível para a etapa devido à possibilidade de fazer anotações e rascunhos.

Ao final da eliminação dos requisitos de projeto da classe 3 foram determinados 34 requisitos de projeto. Analisando as descrições dos requisitos de projeto é possível constatar que existe um par de requisitos de projeto que apresenta relação entre si. Da descrição do requisito de projeto “consumo energético” temos: “[...] Busca-se minimizar este requisito de projeto para que o robô apresente um maior **tempo de operação**.”, Apêndice H. Apesar de terem sido questionados sobre a relação destes requisitos de projeto, os participantes consideraram que os dois requisitos seriam essenciais na caracterização das concepções.

4.5.3 Rastreabilidade das informações dentro do método

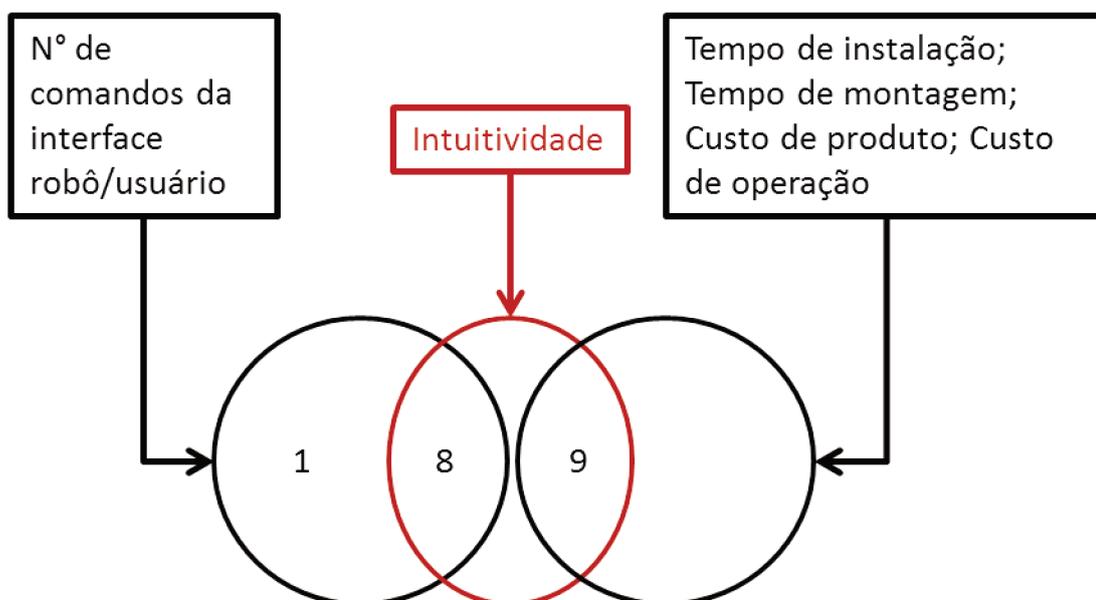
Posteriormente, quando foram verificadas as propostas de origem de cada requisito de projeto, foi observado que os requisitos de projeto “intuitividade” e “número de comandos da interface robô usuário” foram sintetizadas por times distintos e apresentavam um conjunto de propostas de origem em comum.

O requisito de projeto “número de comandos da interface robô/usuário” foi sintetizado pelo trio com um conjunto de 9 propostas. Destas propostas, apenas uma não pertence ao conjunto de 17 propostas que foram sintetizadas no requisito de projeto “intuitividade” pela dupla, Figura 13.

As propostas presentes apenas no conjunto que foi sintetizado no requisito “intuitividade” pela dupla foram sintetizadas pelo trio em combinações dos requisitos

de projeto “tempo de instalação”, “tempo de montagem”, “custo de produto” e “custo de operação”. Destes requisitos apenas o “custo de operação” não está presente na listagem final.

Figura 13 – Intersecção de conjunto de propostas sintetizadas em requisitos de projeto por times distintos.



Esta análise é possível devido à rastreabilidade da conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto. O caso apresentado acima é um indicativo de que o requisito de projeto “intuitividade” está pelo menos parcialmente caracterizado por um conjunto de requisitos de projeto.

Ao incluir na análise quais foram os requisitos de usuário que originaram cada proposta de requisito de projeto, é possível identificar parcialmente a relação dos requisitos de usuário com os requisitos de projeto. Um exemplo desta análise pode ser verificada no Apêndice I.

Esta análise também é válida para identificar parcialmente com quais requisitos de projeto cada requisito de usuário se relaciona. É utilizado o termo “identificação parcial” devido ao fato da análise desconsiderar as descrições e significados das denominações dos itens que se identifica relação. Por este motivo a relação identificada desconsidera o nível de relação entre os itens, informação útil para o processo de avaliação dos requisitos de projeto.

Como exemplo, para o par de atributos “produção” e “manutenção” os participantes relataram dificuldade de identificar propostas de requisitos de projeto. Apesar disto, ao fazer esta análise para o par é possível identificar que este se relaciona com 12 dos 34 requisitos de projeto da listagem final. A partir da descrição dada ao par de atributos, possivelmente só seria identificada relação deste com os requisitos de projeto “custo do produto” e “tempo de montagem”, que apresentam uma alta relação

com a descrição do par.

Em trabalhos futuros a rastreabilidade pode ser utilizada no início da etapa de eliminação para ajudar a verificar se um requisito de usuário está bem representado pelos requisitos de projeto sintetizados.

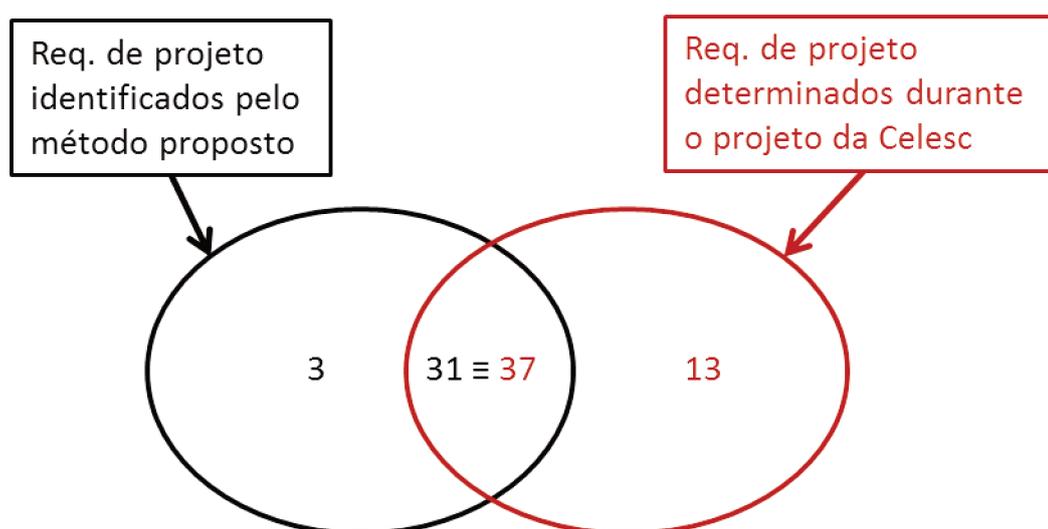
4.5.4 Análise comparativa dos resultados

É possível avaliar os resultados obtidos através do método proposto comparando-se os requisitos de projeto determinados através do método com os requisitos determinados durante o desenvolvimento do projeto da Celesc. No projeto da Celesc, ao final da aplicação da matriz casa qualidade, a equipe de projeto identificou o peso relativo de 50 requisitos de projeto.

Através da aplicação do método proposto foram identificados 34 requisitos de projeto. Procurou-se identificar quais destes requisitos de projeto, ou seus agrupamentos, poderiam representar um ou mais requisitos determinados durante a execução do projeto da Celesc, Quadro 15.

Dos 34 requisitos de projeto identificados pelo método proposto, três deles não foram associados aos requisitos de projeto determinados durante a execução do projeto. Destes, apenas “número de reivindicações para patente” tem relação com requisitos de projeto descartados durante o preenchimento da matriz casa qualidade no projeto da Celesc, Figura 14.

Figura 14 – Correspondência entre os requisitos de projeto.



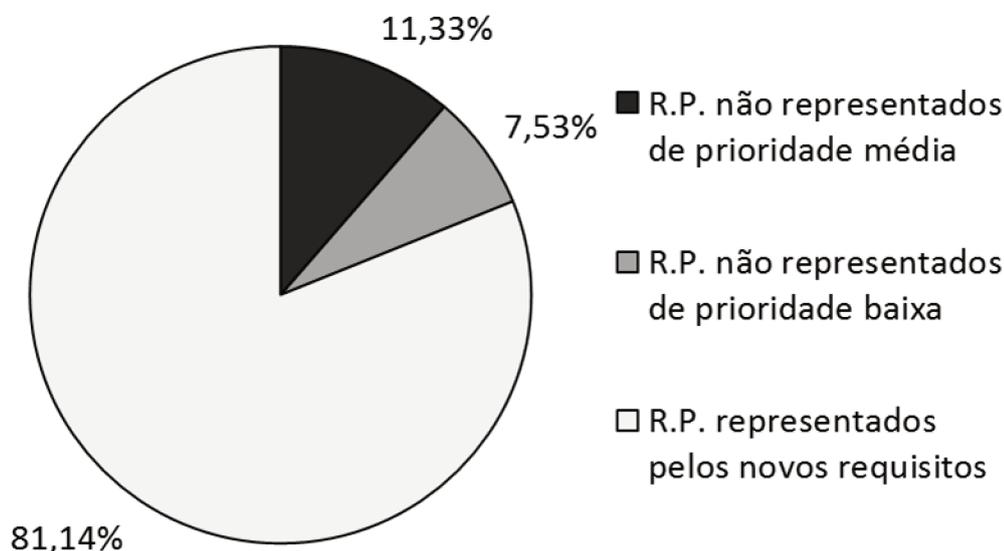
Dos 50 requisitos de projeto determinados no projeto da Celesc, 37 foram representados por requisitos de projeto identificados através do método proposto. O peso relativo destes 37 requisitos de projeto totaliza um valor de 81,14%. Dos 13 requisitos de projeto não representados, oito deles pertencem ao conjunto de requisitos de pro-

Quadro 15 – Comparação entre os requisitos de projeto identificados através da execução do método com os requisitos de projeto equivalentes determinados durante a execução do projeto

Requisitos de projeto identificados pelo método	Requisitos de projeto determinados durante a execução do projeto
Aceleração	Ângulo de subida
Coeficiente de atrito	Motores para deslocamento*
Graus de liberdade	Motores para transposição*
Potência máxima dos motores	*(nº, potência, características)
Erro de posicionamento do GPS	Erro de posicionamento (GPS)
Intuitividade	Ergonomia
Massa	Massa
	Força axial máxima sobre o cabo
Nº de comandos na interface usuário/robô	Número de botões/opções/níveis de menu
Nº de operações automatizadas	Supervisório de controle funcional e rotinas
Nº de sensores	Nº de câmeras
	Nº de dispositivos do sistema de inspeção
Período entre falhas	Frequência de Instalação
Pontos de apoio no cabo	Número de cabos/apoios
Precisão de sensores	Erro de medição de temperatura (câmera)
	Erro de medição de velocidade
	Erro de posicionamento do robô em relação a linha
Resistência térmica nos pontos de apoio	Isolamento térmico
Temperatura interna do robô	
Resolução da câmera	GSD (resolução, tamanho do sensor, comprimento focal)
Rigidez dielétrica	Isolamento elétrico
Rigidez mecânica	Resistência mecânica da estrutura
Taxa de acerto na identificação de componentes	Campo de visão
	Controle de posição e orientação (câmera)
	Distância do objeto (câmera)
	Velocidade de posicionamento da câmera
Taxa de atualização do GPS	Taxa de atualização (GPS)
Taxa de transmissão da comunicação wireless	Taxa de transferência de dados
Tempo de instalação	Tempo para instalação
Tempo de operação	Autonomia
Consumo de energia	
Tempo de processamento do robô	Tempo de resposta da malha de controle
Ter redundância de segurança contra queda	Supervisório de controle para segurança
	Carga suportada pelo dispositivo anti-queda
Tempo de transposição	Tempo de transposição
Velocidade de deslocamento do robô	Velocidade de deslocamento
Volume de operação	Volume
Número de componentes expostos	Dimensões críticas de trabalho
	Distância de transposição
Volume de transporte	Volume para transporte

jeto de menor peso relativo, totalizando um percentual de 7,53% dos pesos relativos de todos os requisitos de projeto, Figura 15.

Figura 15 – Peso relativo dos requisitos de projeto determinados no projeto da Celesc.



Os outros cinco requisitos de projeto são “tempo para trocar bateria”, “isolamento eletromagnético”, “força requerida do usuário (instalação)”, “frequência de transmissão” e “atender normas”. Considerado os requisitos de projeto ordenados em função de seu peso relativo, estes requisitos estão nas respectivas posições: 11º, 13º, 17º, 27º, 35º. Respectivamente, eles apresentam os seguintes pesos relativos: 2,68%, 2,66%, 2,37%, 2,00%, 1,6%.

O requisito de projeto “tempo para trocar bateria” foi determinado com a preconcepção de que o produto apresentará uma bateria intercambiável e, preferencialmente, que é possível realizar a troca da bateria sem remover o robô da rede de distribuição. Apesar deste requisito não ter sido representado individualmente ou por um conjunto requisitos de projeto identificados pelo método, o “tempo para trocar bateria” apresenta relação com os requisitos “tempo de instalação”, “tempo de montagem”, “tempo de operação” e “consumo energético” identificados pelo método proposto.

Durante a etapa de síntese dos requisitos de projeto foi debatido sobre a necessidade de incluir ou não o requisito de projeto “isolamento eletromagnético”. Os participantes apresentaram dúvida sobre a abrangência do requisito “isolamento elétrico”. Por fim, foi considerado que estes requisitos de projeto apresentavam redundância, sendo mantido apenas o requisito “isolamento elétrico”. Infelizmente a execução do método proposto foi feita sem a participação de uma pessoa com formação na área elétrica para esclarecer esta dúvida.

O requisito “frequência de transmissão” foi determinado para que fossem atendidas restrições legais sobre a frequência a ser utilizada para fazer a comunicação

remota entre o sistema robótico e seu sistema de controle. O requisito “atender normas” foi determinado visando à identificação de normas que poderiam restringir a operação ou manuseio do sistema robótico. No caso, o requisito “frequência de transmissão” é oriundo de restrições presentes nos regulamentos de canalização e condições de uso de radiofrequências da ANATEL. Durante a aplicação do método proposto não foram identificados nem cogitados requisitos de projeto associados a estes requisitos.

4.5.5 Tempo investido para a execução do método

Na aplicação do método, a dupla investiu um tempo de 270 minutos em reuniões enquanto o facilitador e o trio investiram um tempo de 340 minutos. O facilitador ainda investiu 90 minutos para definir e corrigir as descrições dos requisitos de projeto e 480 minutos na elaboração das listas.

O tempo total investido foi de 2310 minutos, equivalente à 38 horas e meia. O tempo médio investido por pessoa que participou da aplicação do método foi de 385 minutos, aproximadamente seis horas e meia. Para concluir o método ainda seria necessária uma reunião presencial com a equipe de projeto para apresentar os requisitos identificados com uma duração de aproximadamente 90 minutos.

No projeto da Celesc, durante o processo de determinação dos requisitos de projeto, cada time participou de três reuniões presenciais de pelo menos uma hora, incluindo reuniões com a equipe inteira. Além das reuniões presenciais, os membros da equipe também investiram tempo para individualmente propor requisitos de projeto.

Para algumas destas etapas não se tem registro exato de quantos membros participaram e quanto tempo foi investido. Para estimar o tempo investido no processo de determinação dos requisitos de projeto, é considerado apenas que 13 dos 26 membros da equipe de projeto participaram do processo. Estima-se que cada membro investiu 30 minutos para individualmente propor requisitos de projeto e participou de três reuniões para a determinação destes, duas com duração de 60 minutos e a uma com duração de 90 minutos.

É natural revisar e ajustar as denominações de requisitos de usuário e projeto durante etapas subsequentes à sua determinação. Para os requisitos de projeto esta revisão pode ocorrer naturalmente durante a avaliação de suas relações com os requisitos de usuário, eventualmente promovendo uma redução no número total de requisitos de projeto.

No projeto da Celesc esta revisão ocorreu durante a avaliação da relação entre os requisitos de projeto e usuário através da matriz casa qualidade. Pode-se afirmar que devido ao elevado número de requisitos de projeto a equipe teve de fazer uma grande revisão destes. Ao final da revisão o número de requisitos de projeto foi reduzido de 80 para 50.

Os debates sobre agregar, eliminar ou alterar a denominação dos requisitos

de projeto ocorreram espontaneamente durante a avaliação de suas relações com os requisitos de usuário, de maneira que não foi possível estimar o tempo investido na revisão.

Com as considerações apresentadas para a determinação dos requisitos de projeto no projeto da Celesc, estima-se que o tempo total investido foi de 52 horas e que o tempo médio investido por pessoa que participou do processo foi de quatro horas.

4.6 CONCLUSÕES PARCIAIS

O grupo selecionado para a aplicação do método apresentava uma experiência limitada com o processo de conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto. Ainda assim, através da aplicação parcial do método proposto, foi identificado um número adequado de requisitos de projeto que caracterizam o produto de maneira similar aos requisitos determinados durante a execução do projeto da Celesc.

As etapas de síntese e eliminação permitiram reduzir o número de requisitos de projeto que apresentavam elevada relação entre si. Apesar disto, o método proposto identificou dois casos em que existem indícios de que dois requisitos apresentam relação entre si, “consumo energético” com “tempo de operação” e “número de comandos da interface robô/usuário” com “intuitividade”. O segundo caso foi identificado pelo rastreamento da origem dos requisitos de projeto.

A conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto naturalmente proporciona a rastreabilidade da origem dos requisitos de projeto. Ela pode ser utilizada tanto como uma ferramenta de análise do deste método quanto no processo de avaliação dos requisitos de projeto. A rastreabilidade é principalmente útil para equipes de projeto com pouca experiência, pois permite que a avaliação da conversão seja mais imparcial e objetiva, conforme os exemplos da Seção 4.5.3.

Com a inclusão da reunião de apresentação, o tempo total investido no método proposto provavelmente seria similar ao tempo investido na determinação dos requisitos no projeto da Celesc. No entanto é importante observar que o tempo investido no método é concentrado em um número reduzido de pessoas. Este fato permite que a maior parte da equipe de projeto se dedique a outras atividades do projeto informacional. O número reduzido de pessoas para as reuniões presenciais também facilita seus agendamentos, permitindo que a conversão dos requisitos de usuário seja conduzida em um intervalo de tempo inferior.

Para equipes pequenas ou para equipes experientes, que já possuem familiaridade com o processo de conversão dos requisitos através de métodos prescritivos, o tempo investido na aplicação do método proposto pode não ser eficiente, principalmente devido à necessidade de que o facilitador organize os materiais de apoio.

No meio acadêmico os membros de equipes de projeto geralmente apresen-

tam uma grande diversidade de experiência prática em projetos. Com a aplicação do método proposto é possível realizar a conversão dos requisitos de usuário em requisitos de projeto com um grupo de pessoas em que a maioria tem pouca experiência. Isso permite que membros com pouco conhecimento em projetos ganhem experiência, enquanto membros com mais experiência gerenciem e executem outras tarefas.

5 MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO SEMIPRESENCIAL DOS REQUISITOS DE PROJETO

Neste capítulo serão apresentadas a justificativa, proposta, execução, resultados, discussão e conclusões sobre o método de priorização semipresencial dos requisitos de projeto.

A análise de consenso através do posicionamento do intervalo de confiança ou da probabilidade de cada faixa de avaliação, apresentadas neste capítulo, considera uma distribuição t-student em torno da média das avaliações individuais.

Para facilitar a leitura e compreensão deste capítulo, são apresentadas abaixo as principais definições de termos usados de maneira recorrente ao longo desta seção.

- Equipe: termo utilizado para designar o conjunto de pessoas responsáveis pelo desenvolvimento do projeto;
- Item: termo utilizado para designar combinações de um requisito de usuário com um requisito de projeto que está tendo sua relação avaliada, representando uma célula do campo 4 da matriz casa qualidade, Seção 2.2.2.

A seguir é apresentada a justificativa que instigou o desenvolvimento do método proposto.

5.1 JUSTIFICATIVA

Para a avaliação dos requisitos de projeto a equipe se organizou para que os debates sobre a relação dos requisitos de usuário com os requisitos de projeto pudessem ocorrer de maneira fluida. Da equipe de projeto foi selecionado um grupo de dez pessoas para que fosse utilizada a opinião de um número maior de integrantes da equipe durante a avaliação. O grupo foi dividido em dois times de cinco pessoas cada, sendo compostos por membros com formação de diferentes áreas de conhecimento. Para cada time foram necessárias cinco reuniões presenciais de duas horas cada, executadas ao longo de duas semanas.

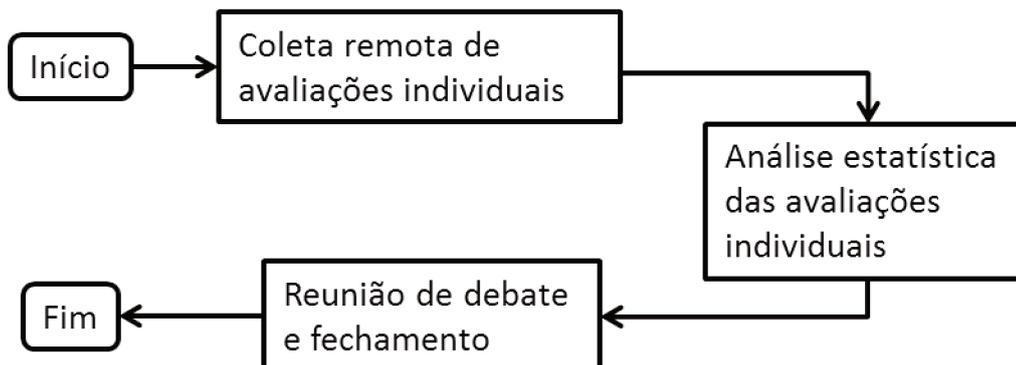
Apesar da atividade ter sido executada como planejada, sua execução exigiu um grande investimento de tempo dos membros participantes e a avaliação foi feita apenas com uma parcela da equipe. Esses motivos instigaram o desenvolvimento de um método de avaliação parcialmente remoto dos requisitos de projeto, onde a opinião de toda equipe é utilizada no processo de avaliação.

5.2 PROPOSTA

O método é iniciado com a coleta remota de avaliações individuais das relações de requisitos de usuário com requisitos de projeto através de formulários online. Com a

coleta concluída, deve-se fazer uma avaliação estatística dos dados coletados, visando à identificação de consenso entre as avaliações individuais. Por fim a avaliação estatística é apresentada para equipe em uma reunião presencial. Nesta reunião a equipe deve determinar a avaliação da relação entre requisitos de usuário com requisitos de projeto com auxílio da avaliação estatística, Figura 16.

Figura 16 – Fluxograma de execução do método de priorização semipresencial dos requisitos de projeto.

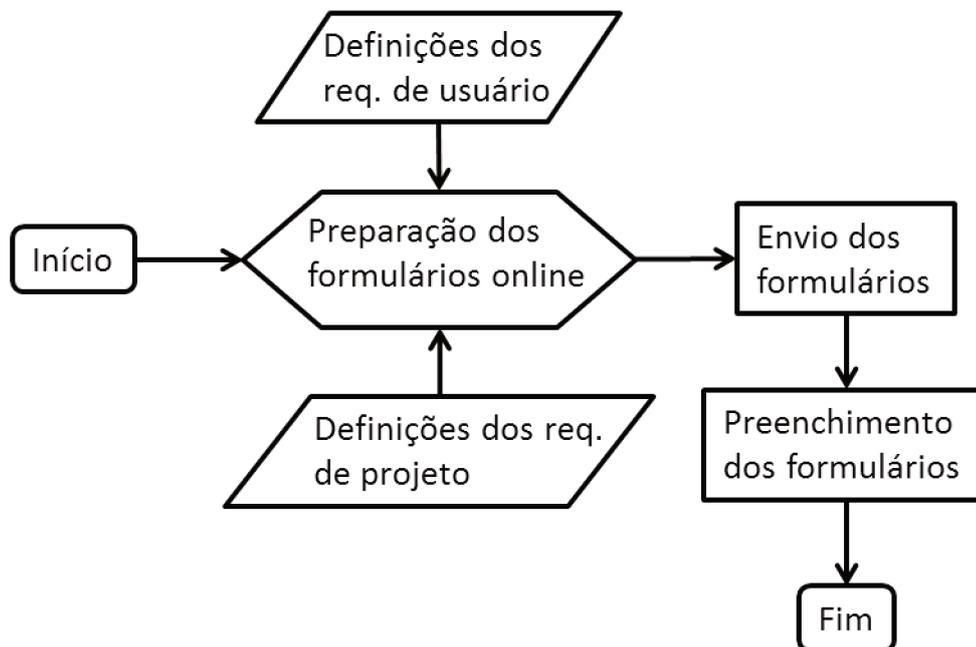


A seguir são apresentadas as etapas deste método. No início da descrição de cada etapa do método proposto é apresentado um fluxograma desta etapa precedido por um breve resumo de suas atividades em itálico.

5.2.1 Coleta remota de avaliações individuais

A coleta das avaliações individuais é feita através de formulários online. Antes da confecção dos formulários é necessário determinar as definições dos requisitos de usuário e requisitos de projeto de maneira clara e breve. Após a conclusão das definições, os formulários devem ser desenvolvidos e enviados aos membros da equipe. Cada membro da equipe preenche os formulários para que seja concluída a coleta remota de avaliações individuais, Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de coleta remota de avaliações individuais.



Um membro da equipe pode ficar encarregado pelo desenvolvimento, envio e avaliação dos formulários online, mas para que seja iniciado seu desenvolvimento é necessário que a equipe determine a definição dos requisitos de usuário e requisitos de projeto. As definições devem ser claras e precisas para facilitar a identificação da relação entre os requisitos de usuário com os requisitos de projeto, assim como organizadas e breves para que a localização da informação desejada seja rápida.

A primeira etapa para o desenvolvimento do formulário é a seleção de uma escala ordinal, podendo esta ser numérica ou algébrica. Além das opções de resposta dentro da escala, deve ser adicionada uma opção de resposta nula, em que a pessoa que está preenchendo formulário não conseguiu definir a relação entre o requisito de usuário e requisito de projeto avaliado.

Pela análise feita neste trabalho recomenda-se o uso de uma escala de avaliação verbal com cinco opções de resposta. As cinco opções da escala devem contemplar as três opções de avaliação da casa qualidade que indicam relação alta, média ou baixa. As outras duas opções de resposta representam as fronteiras entre as opções de avaliação da casa qualidade, no caso uma opção acima e outra abaixo da média.

A primeira página do formulário deve conter instruções para seu preenchimento, apresentando uma descrição breve das opções de resposta. De preferência deve ser incluída a previsão de tempo de preenchimento, assim como uma maneira de fácil acesso ao documento com as definições dos requisitos de projeto.

Nas páginas seguintes serão avaliadas as relações entre os requisitos. Cada uma destas páginas irá relacionar um requisito de usuário com todos os requisitos de

projeto. Essas páginas devem conter a descrição do requisito de usuário que terá sua relação avaliada e as opções de resposta para cada requisito de projeto.

Preferencialmente os formulários devem conter aproximadamente o mesmo número de requisitos de usuário. Para determinar quantos formulários serão enviados deve-se levar em conta o tempo esperado de preenchimento. Deve-se buscar que o tempo de preenchimento seja inferior a 30 minutos, sendo considerado um tempo médio de 10 segundos por item avaliado.

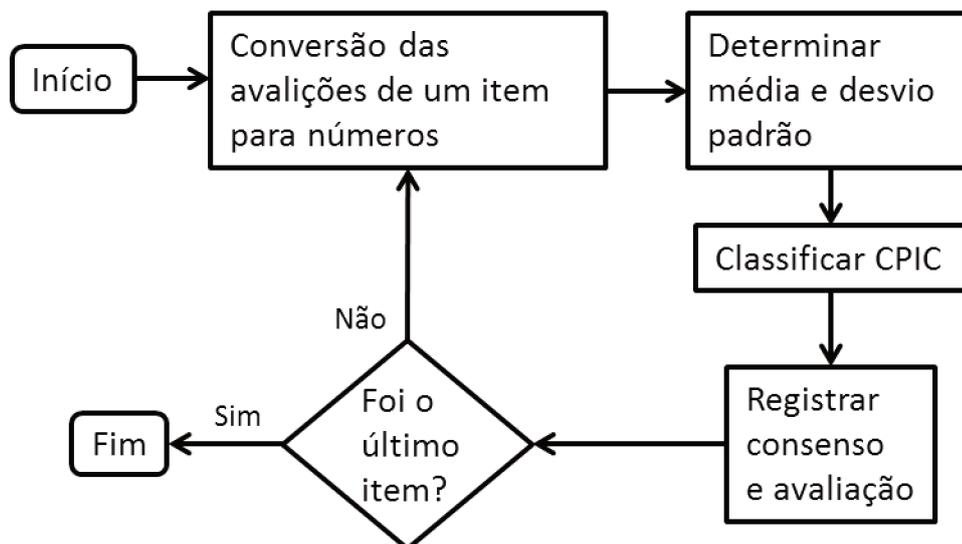
Para exemplificar, considera-se um projeto com 21 requisitos de usuário e 30 requisitos de projeto. Seu tempo médio total de avaliação seria de 6300 segundos, ou 105 minutos. Se as relações entre os requisitos forem avaliadas através de 4 formulários, um formulário avaliará as relações de 6 requisitos de usuário com um tempo esperado de preenchimento de 30 minutos. Os demais formulários avaliarão as relações de 5 requisitos de usuário, cada, com um tempo esperado de preenchimento de 25 minutos.

O envio dos formulários pode ser feito de maneira fracionada, podendo ser enviados um ou mais formulários a cada 7 ou 15 dias, ou completa, sendo enviados todos os formulários de uma vez. Em anexo ao envio do formulário devem ser enviadas as definições dos requisitos de usuário e projeto para que o acesso à informação seja fácil e rápido. A pessoa encarregada pelo envio deve também acompanhar o retorno dos formulários e, se necessário, cobrar atrasos ou informar os atrasos ao gerente de projeto. A coleta das informações individuais é concluída quando todos da equipe finalizarem o preenchimento dos formulários

5.2.2 Análise estatística das avaliações individuais e identificação de consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança

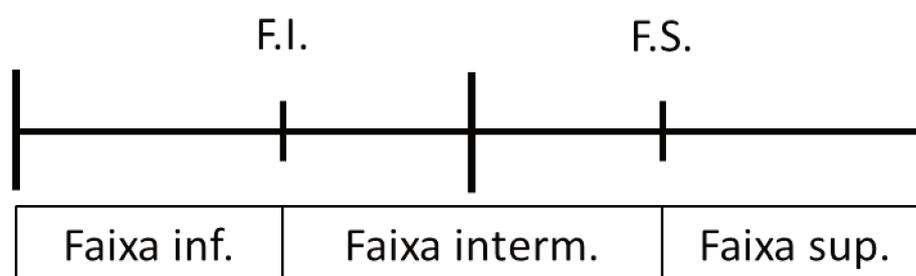
Para dar início a análise estatística deve-se primeiro fazer conversão das avaliações para valores numéricos. Em seguida é determinada a média e o desvio padrão de cada item avaliado para identificação do intervalo de confiança em torno da média das avaliações individuais. Através da posição do intervalo de confiança os itens são classificados em determinados, indeterminados e inconclusivos. Os responsáveis técnicos devem fazer uma avaliação global da análise estatística e, se necessário, aplicar ajustes. Os resultados da análise estatística são enviados para equipe verificá-los antes da reunião de debate e esclarecimento, Figura 18.

Figura 18 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de análise estatística das avaliações individuais e identificação de CPIC.



A escala numérica utilizada para converter as opções de respostas deve ser simétrica em relação à resposta intermediária, que indica uma relação média entre o requisito de usuário e requisito de projeto avaliados, Figura 19. As fronteiras irão delimitar faixas de avaliação de maneira que seus posicionamentos na escala afetam diretamente no resultado da análise estatística.

Figura 19 – Divisão não simétrica da faixa de avaliação para para priorização semipresencial dos requisitos de projeto.

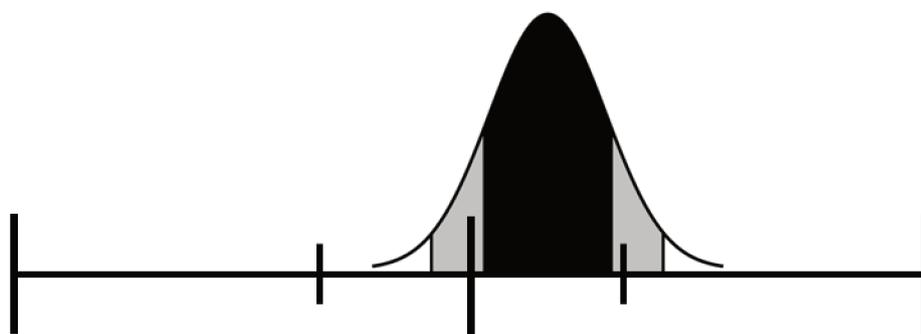


Com base nas análises feitas nas Seções 6.5.2, 6.5.3, 6.5.4 e 5.5.4, é recomendado que a faixa intermediária tenha uma extensão maior que as outras duas faixas. Isto permite que a distância entre a avaliação média e uma das fronteiras seja similar a distância entre a avaliação em um dos extremos e sua fronteira mais próxima. Pode-se adotar uma extensão entre 1,3 a 2 vezes a extensão das outras faixas.

Deve-se definir também a probabilidade associada ao intervalo de confiança. Através do posicionamento do intervalo de confiança dentro da escala de avaliação o item será classificado entre determinado, indeterminado e inconclusivo. Quanto maior o valor escolhido para a probabilidade, maior a largura do intervalo de confiança e mais improvável que este esteja contido por apenas uma faixa de avaliação.

Na Figura 20 é ilustrada uma mesma distribuição com dois intervalos de confiança que possuem probabilidades distintas. Neste caso a área em preto está localizada em apenas uma faixa de avaliação, mas apresenta uma menor probabilidade de conter a avaliação da equipe quando comparada a probabilidade da área em cinza. É recomendado utilizar valores de probabilidade entre 70% e 90% para definir os limites do intervalo de confiança.

Figura 20 – Dois intervalos de confiança para uma mesma distribuição com níveis de confiança distintos.

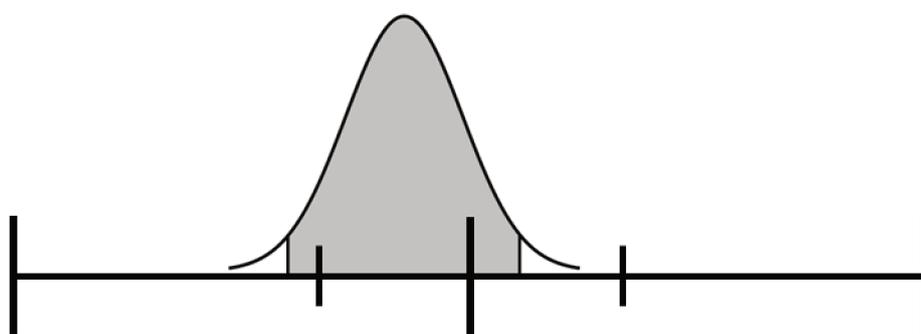


Os itens classificados como determinados apresentaram um intervalo de confiança completamente contido por uma das faixas de avaliação, sendo considerado que a equipe atingiu consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança (CPIC) sobre sua avaliação.

Caso o intervalo de confiança esteja localizado na faixa inferior a relação entre os requisitos do item avaliado é baixa, na faixa intermediária a relação é média e na faixa superior a relação é alta. Na seção 6.2.3 são apresentadas figuras equivalentes a estes casos.

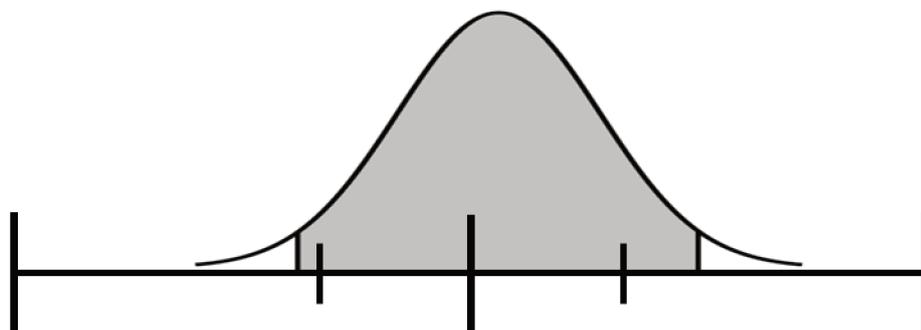
Os itens classificados como indeterminados apresentaram um intervalo de confiança contido em duas faixas de avaliação. A equipe não atingiu consenso sobre qual é a relação entre os requisitos do item avaliado, mas atingiu consenso de que a relação dos requisitos não é baixa ou alta, Figura 21.

Figura 21 – Intervalo de confiança contido por duas faixas de avaliação indicando consenso indeterminado.



Para os itens classificados como inconclusivos o intervalo de confiança abrange todas as faixas de avaliação, não sendo possível obter uma conclusão sobre o consenso de avaliação da equipe para este item, 22.

Figura 22 – Intervalo de confiança contido pelas três faixas de avaliação indicando consenso inconclusivo.



De preferência, a análise deve ser feita de maneira que seja possível ajustar a posição das fronteiras e a probabilidade associada ao intervalo de confiança, permitindo fazer uma avaliação global da própria análise. Abaixo estão listados valores úteis para a avaliação global da análise:

- Percentual de cada classificação de consenso;
- Somatório de cada tipo de avaliação para os itens determinados;
- Somatório de cada opção de resposta dos formulários.

Recomenda-se que a avaliação global seja feita com os responsáveis técnicos pelo projeto.

Na avaliação global deve-se avaliar se o posicionamento das fronteiras está proporcionando valores condizentes entre o somatório dos tipos de avaliação dos itens com o somatório das opções de resposta dos formulários. Pode-se modificar o posicionamento das fronteiras, preferencialmente de maneira simétrica à avaliação média, de maneira que a proporção das avaliações dos itens determinados se aproxime da proporção das opções de resposta dos formulários.

Deve-se evitar fazer ajuste de posicionamento das fronteiras para escalas numéricas com opções de resposta sobre a fronteira. Caso o valor numérico das avaliações individuais permaneça o mesmo após a mudança de posicionamento das fronteiras, avaliações que estavam sobre a fronteira podem deixar de ser condizentes com a opinião de seus avaliadores. A alteração do valor numérico das avaliações que estavam sobre a fronteira para o valor do novo posicionamento da fronteira também pode fazer com que as avaliações deixem de condizer com a opinião de seus avaliadores.

É esperado que na reunião de debate e fechamento discuta-se principalmente a avaliação de itens indeterminados ou inconclusivos. Deve-se verificar se os percen-

tuais de itens com estas classificações estão adequados ao tempo disponível para a reunião. Caso seja identificada a necessidade, pode-se diminuir a probabilidade associada ao intervalo de confiança para aumentar o número total de itens determinados.

Após concluir a avaliação global e realizar os ajustes adequados, os resultados da análise estatística devem ser organizados em uma planilha contendo as classificações e as avaliações a partir das médias das avaliações individuais de cada item.

Na planilha deve ser fácil reconhecer as diferentes classificações, podendo ser utilizadas diferentes cores para o preenchimento das células em função de sua classificação. Para os itens indeterminados deve-se também evidenciar sobre quais faixas o intervalo de confiança ficou posicionado, podendo ser utilizado duas cores distintas para os itens indeterminados.

A planilha deve ser enviada para a equipe acompanhada de instruções e informações sobre a identificação do consenso. Estas informações devem explicar de forma sucinta o uso de faixas de avaliação e intervalo de confiança. Deve-se também explicitar a escala e a probabilidade dos intervalos de confiança utilizadas na análise.

No processo de verificação dos resultados da análise estatística deve-se focar nos itens indeterminados e inconclusivos, especialmente em itens provenientes de requisitos de usuário de alta prioridade. Visando um debate ágil, cada membro pode fazer um registro pessoal de quais itens ele não aceitou a avaliação a partir da média, sua sugestão de avaliação e justificativas para alteração de avaliação.

5.2.3 Reunião de debate e fechamento

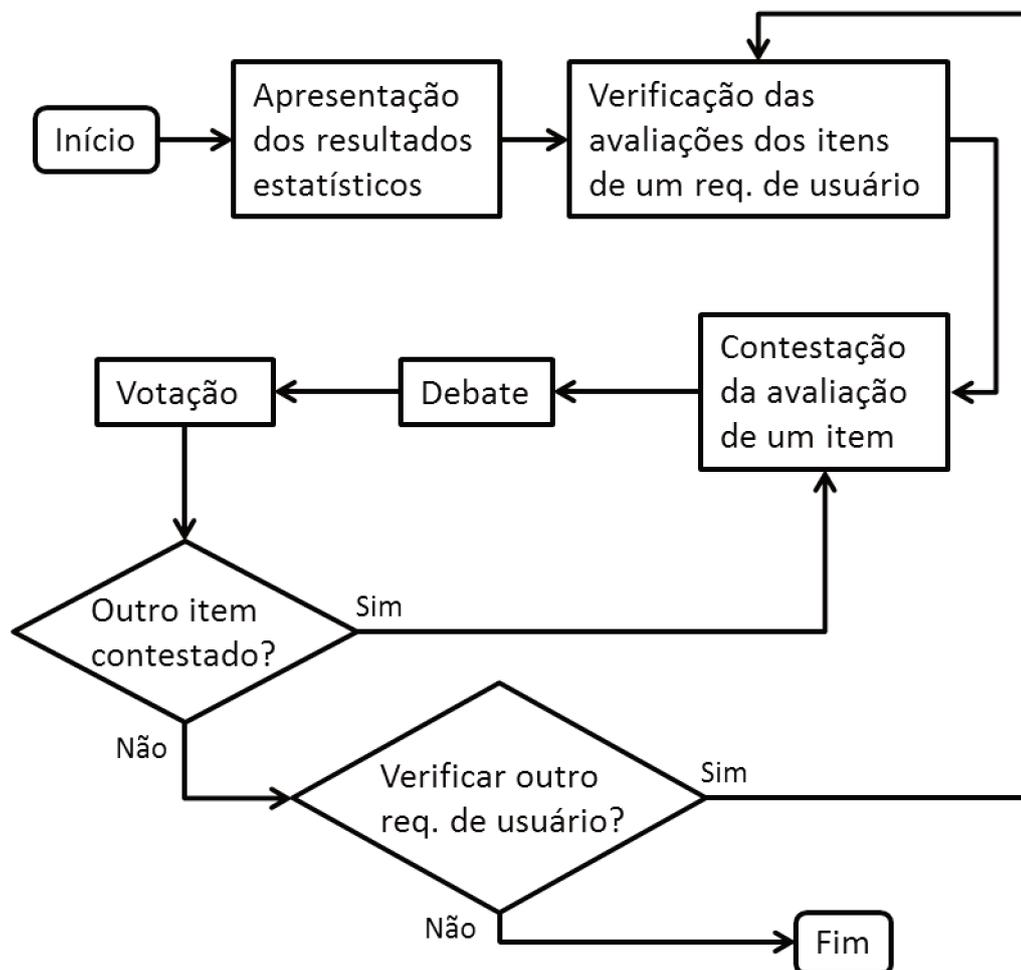
A reunião de debate deve ser iniciada com a apresentação dos resultados estatísticos. Em seguida são verificados quais itens algum membro não ficou satisfeito com seu resultado a partir da avaliação média. Para estes itens é feito o debate e votação final para determinar sua avaliação. Ao final da reunião a priorização dos requisitos de projeto é concluída, Figura 23.

A apresentação dos resultados estatísticos é iniciada com uma breve explicação do uso de faixas de avaliação e intervalo de confiança, assim como as fronteiras e a probabilidade dos intervalos de confiança utilizados na análise. Em seguida é apresentada a planilha com as avaliações a partir do valor médio das avaliações individuais.

Com a conclusão da apresentação da planilha é dado início a verificação das avaliações. Esta deve ser executada com base na ordem de prioridade dos requisitos de usuário, priorizando a conclusão do debate de itens com maior potencial de afetar a avaliação dos requisitos de projeto.

Para cada requisito de usuário, pede-se que os participantes da reunião verifiquem individualmente as avaliações das relações entre este requisito de usuário com os requisitos de projeto. A verificação consiste que cada participante observe

Figura 23 – Fluxograma das atividades executadas na reunião de debate e fechamento.



individualmente se existe algum item com uma avaliação que ele não aceita.

Deve-se ressaltar aos participantes de que é natural que nem todos os itens avaliados apresentem uma avaliação idêntica a que ele atribuiu anteriormente, possivelmente indicando que ele não concorda com a avaliação atribuída ao item. Porém uma avaliação distinta à avaliação do participante ainda pode ser aceitável para ele. Para considerar a avaliação de um item como inaceitável, o participante deve possuir argumentos e justificativas que o levam a contestar a avaliação atribuída.

A conclusão da verificação de um requisito de usuário pode ser feita através da confirmação dos participantes ou com um tempo predefinido, não mais do que três minutos. A partir de então, pede-se que os participantes informem quais itens eles não aceitam suas avaliações assim como os argumentos e justificativas para contestar sua avaliação, primeiro dos itens inconclusivos e por último dos itens determinados.

Através do debate e votação da reunião existem teoricamente duas maneiras, ou uma combinação destas, para que a avaliação de um item seja alterada com a conclusão da reunião, uma indesejada e a outra não. A primeira delas é que a ausência

de alguns membros pode reduzir a contagem de avaliações a favor da atribuída ao item pela análise estatística das avaliações individuais. Esta alteração é indesejada.

A segunda envolve a apresentação de argumentos e justificativas que não haviam sido consideradas anteriormente pela maioria dos participantes durante a avaliação individual do item. A apresentação destes argumentos e justificativas pode fazer com que alguns participantes alterem sua avaliação para este item. Este motivo torna esta alteração desejável.

Para evitar que a ausência de membros seja o principal fator da alteração da avaliação de itens através da votação, deve-se restringir o debate a itens que tiverem suas avaliações contestadas através de argumentos e justificativas.

Para cada requisito de usuário pede-se sequencialmente que os participantes informem quais itens inconclusivos, indeterminados e determinados eles gostariam de contestar. Determina-se que a avaliação dos itens que não tiveram sua avaliação contestada é a média das avaliações individuais.

Antes de dar início à votação de um item, é necessário reapresentar o consenso identificado de sua avaliação. Caso na reunião de debate e fechamento não estejam presentes todos os membros que participaram da etapa de avaliação individual, preferencialmente a avaliação determinada para o item deve ser condizente com o consenso identificado para o mesmo.

Nestes casos a pessoa encarregada de conduzir a reunião pode encorajar que os participantes restrinjam seus votos às opções de avaliação condizentes com o consenso identificado para o item. Porém não se deve proibir que os participantes votem em uma avaliação não condizente com o consenso. É desejável a alteração de votos devido à apresentação de justificativas e argumentos não considerados anteriormente durante a avaliação individual do item.

Por fim é feita a votação para determinar a avaliação do item. Primeiro é feita a contagem de votos a favor de uma avaliação alta, no caso que indique que a relação entre o requisito de usuário e requisito de projeto avaliados é alta. Em seguida é feita a contagem de votos a favor de uma avaliação baixa. A contagem de votos a favor de uma avaliação média é feita por último para permitir que participantes que votaram a favor de uma avaliação alta ou baixa possam mudar seu voto.

Preferencialmente só deve ser determinada uma avaliação em discordância em relação ao consenso identificado para o item caso esta avaliação receba a maioria absoluta dos votos, no caso mais que a metade dos participantes da reunião devem ser favoráveis a esta avaliação.

Caso duas opções de avaliação apresentem o mesmo número de votos deve ser feita uma nova votação apenas entre as duas opções de avaliação. Ao final da contagem de votos, a opção de avaliação com maior número de votos determina a relação entre o requisito de usuário e requisito de projeto avaliados.

A extensão desta etapa depende do total de itens que tiveram sua avaliação contestada e da duração do debate de cada um destes itens. Preferencialmente, cada reunião de debate não deve se entender além de duas horas, de maneira que pessoa responsável por conduzir a reunião deve gerenciar seu tempo. Caso exista a necessidade de interromper uma reunião, é desejável que esta seja encerrada ao final do debate dos itens contestados de um requisito de usuário, antes de dar início a verificação de um novo requisito de usuário.

A etapa é executada de maneira que caso um número reduzido de requisitos de usuário não tenha sido verificado e debatido, a não continuação do debate tenha uma influência inferior sobre a avaliação final dos requisitos de projeto. Os gerentes do projeto devem decidir sobre a continuidade ou interrupção do processo de debate ao final de cada reunião. Caso a etapa seja interrompida, utiliza-se a média das avaliações individuais para determinar a relação dos itens que não foram verificados e debatidos.

Após determinar as relações entre requisitos de usuário e requisitos de projeto, é feita a soma ponderada da avaliação do item com o valor de importância dos requisitos de projeto. Através do resultado das somas ponderadas é identificada a prioridade dos requisitos de projeto.

5.3 EXECUÇÃO

Para a aplicação da metodologia foi selecionado um grupo de onze pessoas dentre os integrantes da equipe do projeto da Celesc. O grupo foi composto por graduandos, engenheiros, mestres engenheiros e professores de cursos de controle e automação, engenharia mecânica, elétrica e eletrônica. A aplicação do método ocorreu 11 meses após a conclusão da matriz casa qualidade no projeto da Celesc, sendo executada através do preenchimento de formulários online. Cinco membros do grupo haviam participado da avaliação dos requisitos de projeto durante o projeto da Celesc.

Para elaboração dos formulários foram utilizados os requisitos de projeto provenientes da aplicação do método proposto neste trabalho para conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto. Desejou-se avaliar o uso de diferentes escalas ordinais para o preenchimento dos formulários de maneira que foram utilizadas quatro escalas distintas.

Duas das escalas utilizadas são verbais e duas são numéricas. Duas escalas apresentam 3 opções de resposta, representando as 3 opções padrões de resposta utilizadas na casa qualidade. Duas escalas apresentam 5 opções de resposta, representando as 3 opções padrões de resposta utilizadas na casa qualidade e 2 opções de resposta intermediárias entre as opções padrões. Todos os formulários, independente da escala utilizada, apresentavam uma opção de resposta **nula**. A seguir estão apresentadas as opções de resposta dos formulários utilizados neste trabalho.

- Escala verbal com quatro opções: [Alta, Média, Baixa, **Indecisão**];
- Escala numérica com quatro opções: [10, 5, 0, **Indecisão**];
- Escala verbal com seis opções: [Alta, Acima da média, Média, Abaixo da média, Baixa, **Indecisão**];
- Escala numérica com seis opções: [10, 7, 5, 3, 0, **Indecisão**];

Para evitar que durante o preenchimento dos formulários houvesse dúvida sobre a opção de resposta nula, esta foi apresentada como opção de resposta “indecisão”. No início de cada formulário foi apresentada uma breve descrição para cada opção de resposta das escalas, conforme listado abaixo:

- Alta ou 10: Indica que a alteração deste requisito de projeto apresenta uma grande influência sobre a satisfação do requisito de usuário analisado.
- Acima da média ou 7: Indica que a alteração deste requisito de projeto apresenta influência sobre a satisfação do requisito de usuário analisado acima da média, porém você não considera que é uma relação alta.
- Média ou 5: Indica que a alteração deste requisito de projeto apresenta influência sobre a satisfação do requisito de usuário analisado.
- Abaixo da média ou 3: Indica que a alteração deste requisito de projeto apresenta influência sobre a satisfação do requisito de usuário analisado abaixo da média, porém você não considera que é uma relação baixa.
- Baixa ou 0: Indica que a alteração deste requisito de projeto apresenta pouca ou nenhuma influência sobre a satisfação do requisito de usuário analisado.
- **Indecisão**: Não está clara a relação do requisito de projeto com o requisito de usuário para você, sendo mais adequado discutir sobre esta relação pessoalmente.

No total foram produzidos cinco formulários. Do primeiro ao terceiro foram avaliados cinco requisitos de usuário por formulário, enquanto no quarto e quinto formulários foram avaliados quatro requisitos de usuário em cada.

Do primeiro ao quarto formulário foram utilizadas respectivamente: escala verbal com quatro opções de resposta, escala verbal com seis opções de resposta, escala numérica com seis opções de resposta, escala numérica com quatro opções de resposta.

No quinto formulário foram utilizadas as quatro escalas, uma para cada requisito de usuário avaliado no formulário. Ao final do quinto formulário também foram

feitos questionamentos sobre o uso dos diferentes tipos de formulário, sendo feita uma discussão sobre as diferentes escalas na Seção 5.5.5.

O preenchimento dos formulários foi iniciado no final de novembro de 2019, próximo ao período de encerramento do ano letivo da Universidade Federal de Santa Catarina e suspensão das atividades do projeto da Celesc.

Ao final de todos os formulários havia um espaço dedicado para registro de críticas e sugestões. Foram implementadas sugestões de organizações dos formulários obtidas no primeiro formulário. Com o fim da suspensão das atividades do projeto da Celesc, foram enviados os formulários dois ao cinco a partir de 22 de Janeiro de 2020.

Por não ser uma atividade do projeto, não foi estipulada uma data limite para o preenchimento dos formulários. Por este motivo a data de conclusão do preenchimento dos formulários foi variada. A maioria dos participantes concluiu o preenchimento do formulário no final da segunda semana de Fevereiro de 2020, mas apenas no dia 16 de Março de 2020 foi respondido o último formulário.

A escolha das escalas foi feita de maneira que, quando convertidas para valores numéricos, todas apresentassem as mesmas fronteiras e faixas de avaliação. As avaliações nulas, no caso assinaladas como inconclusivas, são excluídas da análise estatística. A exclusão destas avaliações reduz o tamanho da amostra, promovendo um aumento do valor-t utilizado na determinação dos limites do intervalo de confiança, Eq. 8, 10 e 9. Por este motivo a presença de avaliações nulas dificulta a identificação de consenso, de maneira que estas avaliações também afetam o resultado da análise, ainda nulas.

Com o conjunto de dados foram avaliados diferentes critérios de consenso e o efeito da alteração de parâmetros destes critérios, apresentados nas Seções 5.5.2, 5.5.3 e 5.5.4. Para avaliação de resultados e conclusão da execução do método é utilizado o critério de consenso por intervalo de confiança (CPIC).

Os parâmetros utilizados para dar continuidade à aplicação do método foram uma probabilidade de 80% e as fronteiras localizadas sobre os valores 3 e 7 da escala. A seleção dos valores das fronteiras foi feita de maneira que as opções de voto intermediárias estivessem posicionadas sobre a fronteira. Isso garantiu que as descrições das opções de avaliação estivessem corretas, independente do uso de escalas numéricas ou verbais.

A seleção da probabilidade para o intervalo de confiança foi feita a partir do número de itens determinados. Dentre as probabilidades analisadas, a probabilidade de 80% apresentou um percentual de 53,8% de itens determinados, ligeiramente acima de 50%. Adicionalmente a proporção de itens determinados com avaliação média e alta para esta probabilidade é similar à proporção das avaliações individuais médias e altas.

Em virtude das medidas de distanciamento social para combater a pandemia

da Covid-19, não foi possível realizar a reunião de debate e fechamento de maneira presencial. A reunião de debate e fechamento foi adaptada para ser realizada remotamente. Ela foi dividida em três subetapas, executadas individualmente. Dos onze participantes iniciais, nove participaram destas subetapas.

A primeira subetapa foi a de verificação da avaliação dos itens. Cada participante recebeu uma planilha contendo a média das avaliações individuais dos itens. Para cada item foi utilizado um padrão de cores para indicar itens determinados, inconclusivos, indeterminados de relação baixa ou média e indeterminados de relação média ou alta.

Com auxílio da planilha os participantes fizeram a verificação da média das avaliações individuais e registraram quais itens tinham uma avaliação, do seu ponto de vista, inaceitável. Para estes itens os participantes fizeram a contestação de sua avaliação. Foram consideradas válidas as contestações que fizeram o registro de uma nova sugestão de avaliação e de justificativas e argumentos favoráveis à alteração da avaliação.

Todas as contestações foram reunidas em uma única planilha, compartilhada entre os participantes. Através desta planilha os participantes fizeram a subetapa de “debate” individualmente.

Para o “debate” foi pedido que cada participante analisasse as contestações registradas. Caso o participante tivesse novos argumentos e justificativas favoráveis ou contrários à modificação da avaliação de um item, o participante deveria fazer seu registro na planilha.

Para evitar que um participante acidentalmente alterasse argumentos e justificativas registradas por outro participante, foram disponibilizadas para edição duas colunas para cada participante. Uma coluna dedicada ao registro de argumentos e justificativas complementares à alteração da avaliação, enquanto a outra dedicada ao registro de argumentos e justificativas contrários à alteração da avaliação.

Todos os argumentos e justificativas foram sintetizados em tópicos favoráveis ou contrários à alteração da avaliação de cada item. Estes foram organizados em uma planilha para que fosse feita a votação para determinar a avaliação dos itens contestados, terceira e última subetapa. Com a conclusão da votação foi encerrada a execução do método.

5.4 RESULTADOS

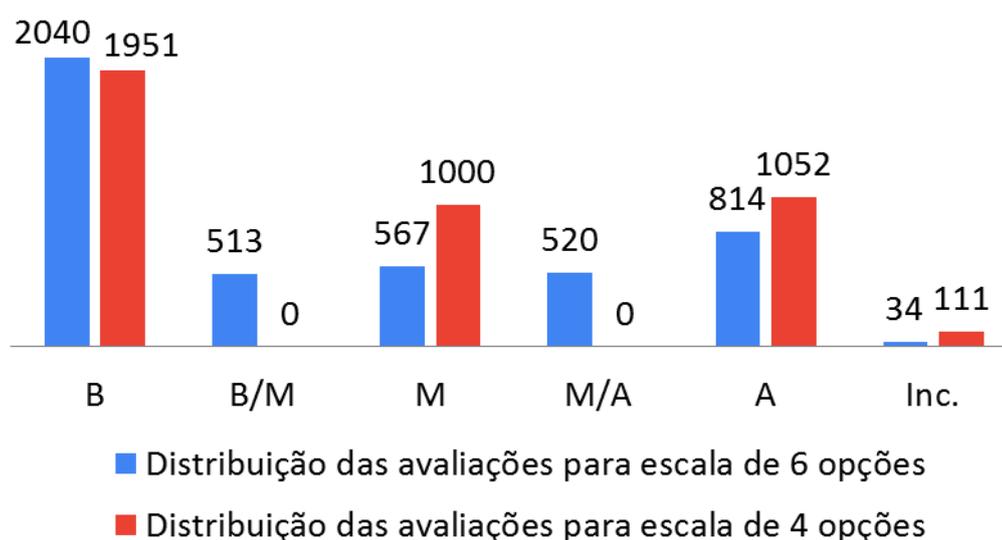
Esta seção foi dividida em três subseções para facilitar sua leitura e compreensão. Ao longo desta seção e da Seção 5.5 a opção de avaliação consensual “Baixa ou média” e de avaliação individual “Abaixo da média” ou equivalente são mencionadas através da sigla “Opção de avaliação consensual “Baixa ou média” e opção de avaliação individual “Abaixo da média” (B/M)”. De maneira análoga, a opção de avaliação

consensual “Média ou alta” e de avaliação individual “Acima da média” ou equivalente são mencionadas através da sigla “Opção de avaliação consensual “Média ou alta” e opção de avaliação individual “Acima da média” (M/A)”.

5.4.1 Distribuição das avaliações individuais

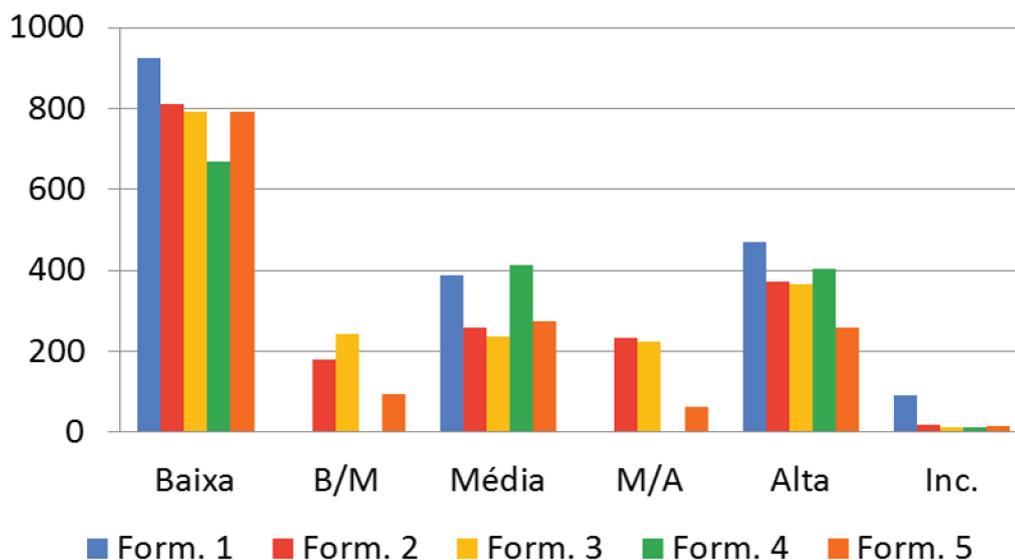
Com a aplicação do método foram avaliadas 782 relações entre 23 requisitos de usuário com 34 requisitos de projeto. Ao total foram coletadas 8602 avaliações individuais. Deste total, foram coletadas 4488 avaliações através de formulários com 6 opções de resposta e 4114 através de formulários com 4 opções de resposta, Figura 24.

Figura 24 – Distribuição das avaliações individuais.



A distribuição das avaliações individuais entre os formulários foi similar, Figura 25. A principal diferença das distribuições entre os formulários é que no primeiro deles há um número muito maior de avaliações inconclusivas, 90 do total de 134 dentre todos os formulários.

Figura 25 – Distribuição das avaliações individuais por formulário.

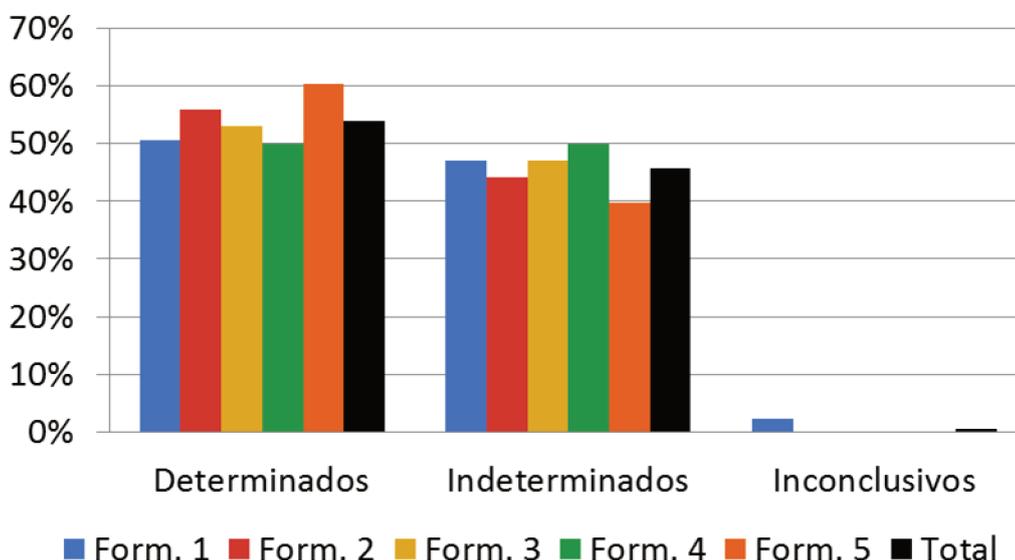


5.4.2 Distribuição das avaliações consensuais

Para o critério de CPIC, utilizando uma probabilidade de 80% e fronteiras nas posições 3 e 7 da escala de avaliação, percebe-se que não existe uma diferença expressiva entre o número de itens determinados e indeterminados, Figura 26.

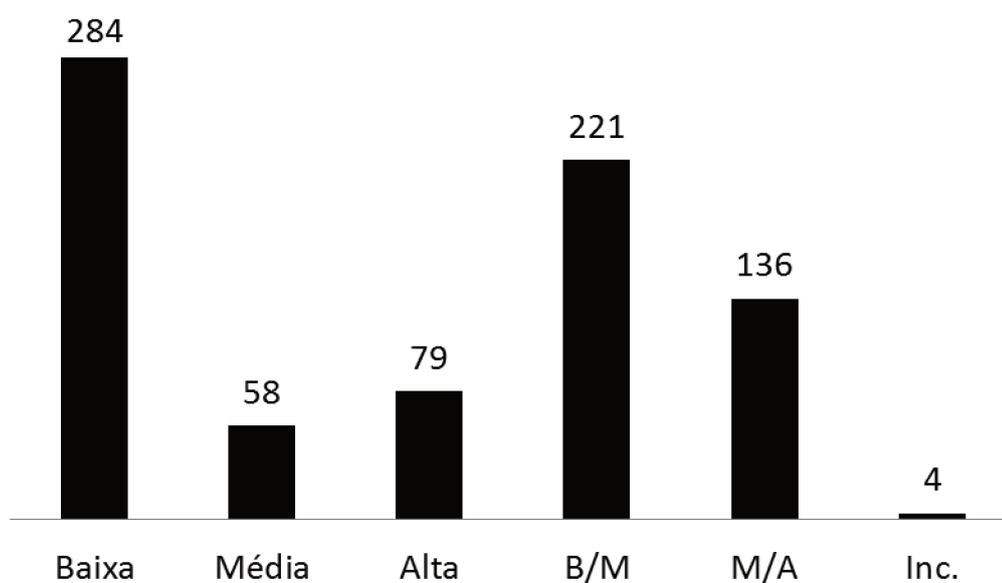
Com a análise estatística conseguiu-se determinar uma avaliação consensual para 53,8% dos itens. Para 45,7% dos itens conseguiu-se eliminar consensualmente uma das três opções de resposta para a casa qualidade, mas não foi possível determinar uma avaliação consensual. Apenas em 0,5% dos itens não foi possível tirar uma conclusão através da análise estatística.

Figura 26 – Avaliação percentual dos tipos de consenso identificado.



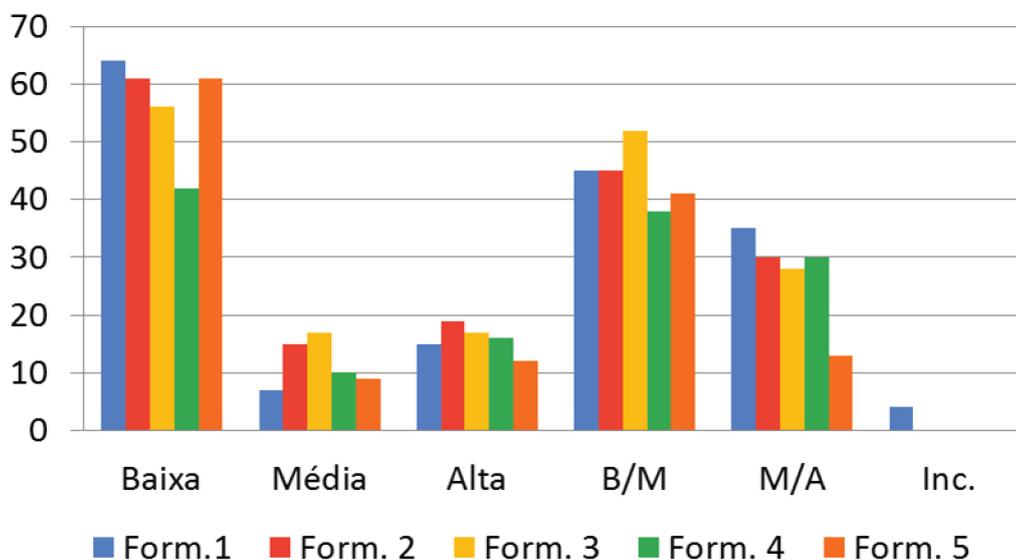
O número total de itens avaliados em cada categoria de consenso pode ser verificado na Figura 27. Dos itens determinados, percebe-se que a maioria destes possui uma avaliação consensual baixa, estando condizente com a distribuição das avaliações individuais. Também é perceptível que para uma probabilidade de 80% o número de itens determinados com avaliação consensual alta é ligeiramente superior ao número de itens determinados com avaliação consensual média.

Figura 27 – Distribuição das avaliações consensuais.



Analisando a distribuição das avaliações consensuais de cada formulário, nota-se que foi determinado um maior número de itens com avaliação consensual média nos formulários 2 e 3. Isto pode ser um indicativo de que o uso de escalas com seis opções de respostas faz com que seja mais fácil identificar consenso para itens com avaliação média, Figura 28.

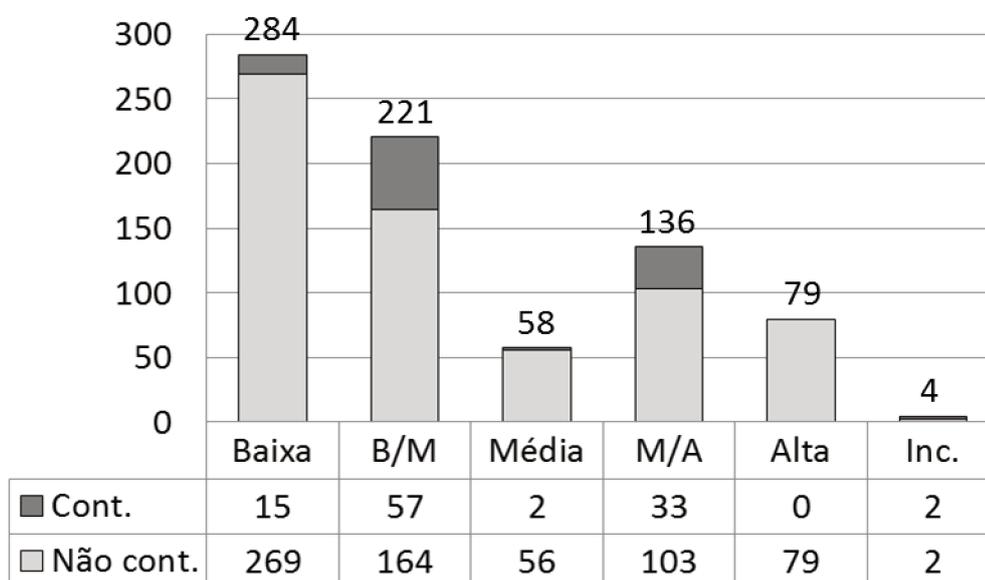
Figura 28 – Distribuição das avaliações consensuais por formulário.



5.4.3 Itens contestados

Na etapa de debate, executada remotamente devido à pandemia do Covid-19, foi possível verificar que os participantes aceitaram a avaliação da maioria dos itens com consenso determinado, Figura 29. Dentre os itens determinados, nenhum dos itens que recebeu uma avaliação alta a partir da análise estatística teve sua avaliação contestada. Dos itens que receberam uma avaliação média, 3,4% tiveram sua avaliação contestada. Para os itens que receberam uma avaliação baixa este percentual foi de 5,3%.

Figura 29 – Proporção de itens contestados.

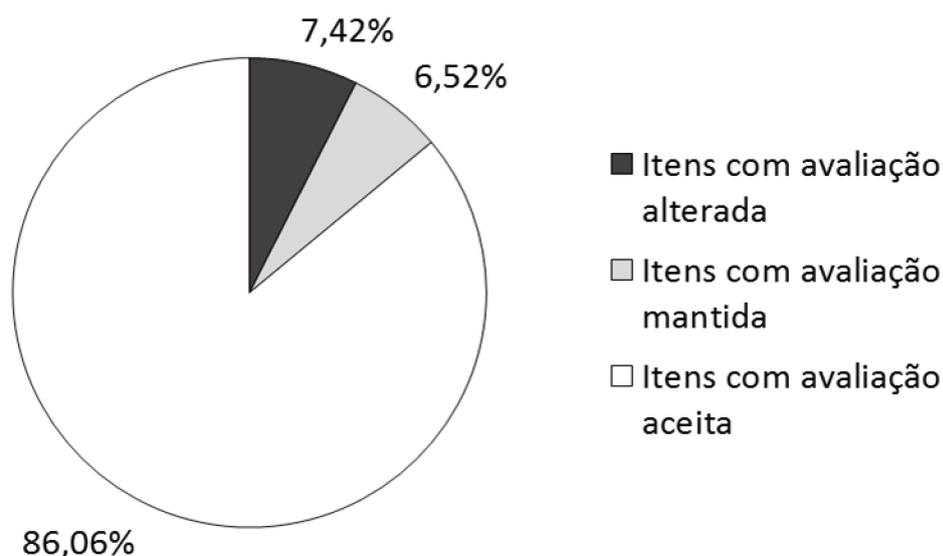


A maioria dos itens que teve sua avaliação a partir da análise estatística contestada apresentava consenso indeterminado. Foram contestadas as avaliações de 25,8% dos itens com consenso de avaliação B/M e 24,3% dos itens com consenso de avaliação M/A.

Dos itens com consenso inconclusivo, 50% deles tiveram sua avaliação a partir da análise estatística contestada. Porém deve-se observar que o número absoluto de itens inconclusivos foi muito inferior aos demais, motivo pelo qual apenas dois itens com consenso inconclusivo foram contestados.

Ao total foi aceita a avaliação a partir da análise estatística de 86,1% dos itens. Para 30 dos 109 itens contestados foram dadas novas sugestões de avaliação em discordância com o consenso identificado. Ao final da votação foram alteradas as avaliações de 58 itens e mantidas a avaliação a partir da análise estatística para 51 itens, respectivamente equivalentes a 7,4% e 6,5% do total de 782 itens avaliados, Figura 30.

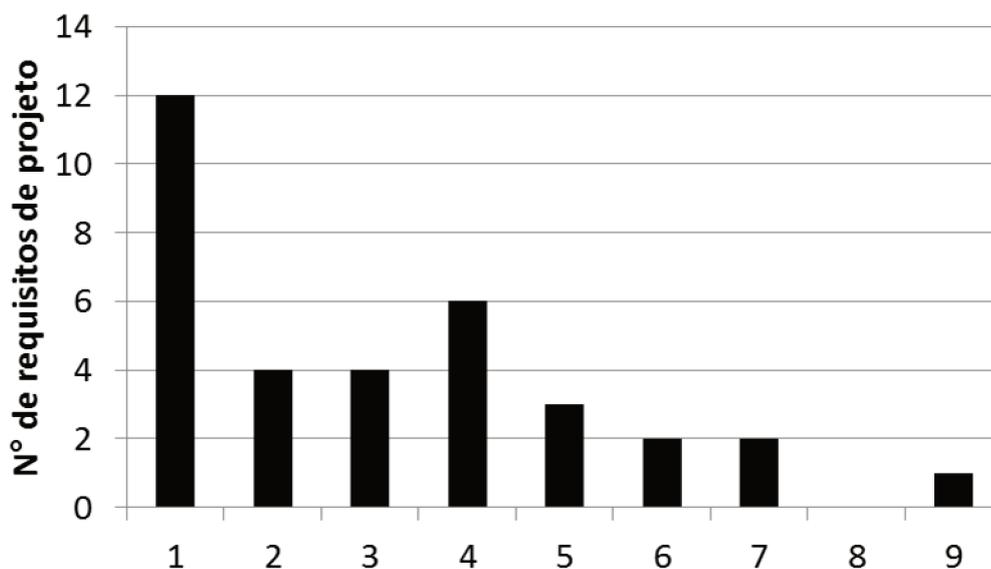
Figura 30 – Resultado da contestação e votação das avaliações.



Ao final da votação, 22 dos 34 requisitos de projeto apresentaram modificação de sua posição de prioridade. O número de posições que cada requisito se movimentou foi variado, Figura 31. Em média houve uma movimentação de 2,11 posições por requisito de projeto.

A ordem de priorização completa dos requisitos de projeto pode ser verificada no Apêndice J.

Figura 31 – Modificação absoluta de prioridade dos requisitos de projeto.



5.5 DISCUSSÕES

Esta seção foi organizada em tópicos para facilitar sua leitura e compreensão das informações apresentadas a seguir.

5.5.1 Ordem de apresentação dos requisitos nos formulários

Para a elaboração dos formulários foram cogitadas duas organizações das páginas dos formulários: avaliar a relação de um requisito de projeto com todos os requisitos de usuário ou o oposto. Foi considerado que, caso fosse avaliada a relação de um requisito de projeto com todos os requisitos de usuário, seria possível uma comparação completa da avaliação de dois requisitos de projeto. Caso fosse avaliada a relação de um requisito de usuário com todos os requisitos de projeto, foi considerado que seria possível a comparação pontual da relação de dois requisitos de projeto com um requisito de usuário.

A comparação completa da avaliação de dois requisitos de projeto pode fazer com que, de maneira consciente ou não, uma pessoa favoreça a avaliação de um requisito de projeto devido a uma preconcepção de sua importância para o projeto.

Por outro lado, a comparação pontual da relação de dois requisitos de projeto com um requisito de usuário pode enriquecer a avaliação da relação de um dos requisitos de projeto. Por estes motivos foi considerado mais apropriado que nas páginas dos formulários sejam avaliadas as relações de um requisito de usuário com todos os requisitos de projeto.

5.5.2 Comparação de resultados entre critérios de avaliação distintos

A avaliação dos requisitos de usuário apresenta algumas semelhanças em relação à avaliação das concepções. Ambas as avaliações fazem uso de escalas ordinais, convertem a avaliação do item para valores numéricos e realizam operações algébricas com estes valores numéricos.

Existem também duas diferenças críticas entre as duas avaliações. A primeira delas é como é feita a avaliação. Na avaliação dos requisitos de projeto procura-se quantificar a relação de dois tópicos distintos através de uma escala ordinal. Já na avaliação das concepções é feita a comparação de dois objetos similares em relação a um critério de avaliação comum a estes objetos. Nesta comparação procura-se identificar se existe ou não diferença entre a capacidade destes objetos atenderem o critério de avaliação.

A segunda diferença está relacionada com o processo de conversão da avaliação dos itens para valores numéricos. Na avaliação dos requisitos de projeto, como a escala de avaliação é utilizada para quantificar a relação dos requisitos de usuário com os requisitos de projeto, cada opção de avaliação apresenta um peso distinto. Isso faz com que a média de uma avaliação máxima com uma avaliação mínima seja diferente da avaliação média.

Para que o método seja eficaz é desejável que seja identificado consenso na avaliação da maioria dos itens, mas também é essencial que o consenso identificado de fato retrate a avaliação da equipe.

Por estes motivos, para a identificação do consenso neste método foram analisados três critérios de consenso distintos: posicionamento do primeiro e terceiro quartis (Consenso pelo posicionamento do primeiro e terceiro quartis (CPQ)), posicionamento do intervalo de confiança (CPIC) e probabilidade de cada faixa de avaliação (Consenso pela probabilidade de cada faixa de avaliação (CPFA)).

Para os três critérios de consenso foi considerado que o uso de uma escala de avaliação não simétrica em relação à avaliação média poderia distorcer a identificação de consenso. Por este motivo foram utilizadas escalas de avaliação simétricas em relação à avaliação média para a identificação do consenso.

Posteriormente a avaliação é convertida para uma escala proporcional, no caso não simétrica em relação à avaliação média, usualmente utilizada para calcular a prioridade dos requisitos de projeto (BURKE *et al.*, 2002; FRANCESCHINI; RUPIL, 1999)

5.5.2.1 Critério de consenso pelo posicionamento dos quartis

O critério de CPQ utiliza identificadores de tendência central e dispersão recomendados para dados ordinais, sendo utilizado como referência.

É considerado que foi atingido consenso na avaliação de um item quando os três quartis estão contidos por uma única faixa de avaliação. Quando os três quartis estão contidos por duas faixas de avaliação vizinhas é considerado que consensualmente foi descartada a opção de avaliação da terceira faixa de avaliação. Para a avaliação deste critério é considerado que cada fronteira está contida por duas faixas de avaliação vizinhas a ela. Para esta análise as fronteiras estão localizadas nos valores 3 e 7.

Para todas as escalas de avaliação é necessário que pelo menos 50% das avaliações estejam localizadas na faixa intermediária para identificar uma avaliação média, Figura 32. Para identificar uma avaliação alta ou baixa é necessário que 75% das avaliações estejam respectivamente localizadas na faixa superior ou inferior, Figura 33.

Figura 32 – Exemplo de conjunto de avaliações individuais em que é possível determinar uma avaliação média a partir do critério CPQ.

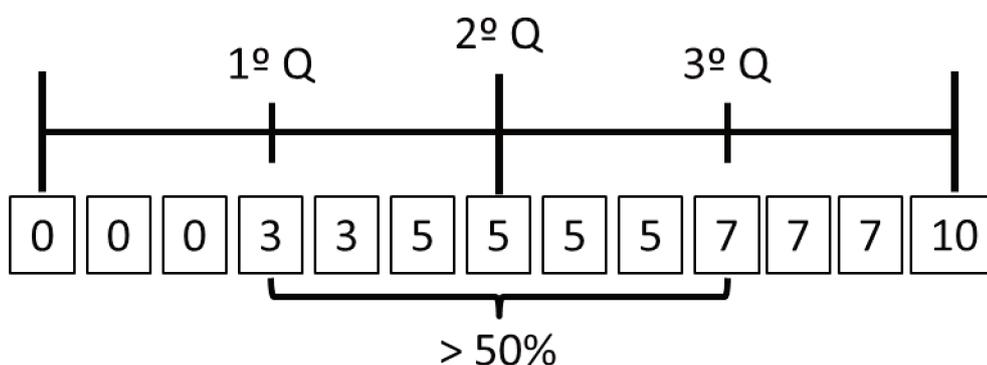
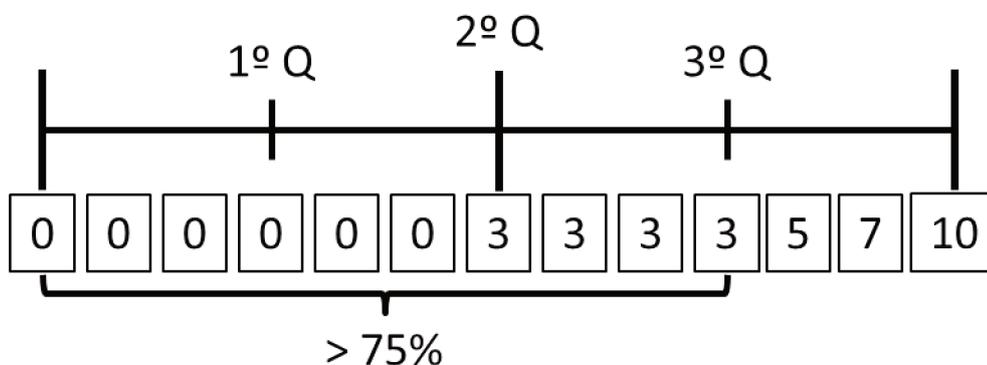


Figura 33 – Exemplo de conjunto de avaliações individuais em que é possível determinar uma avaliação baixa a partir do critério CPQ.



O uso de uma escala de avaliação com apenas três opções de avaliação padrão, no caso sem opção de avaliação na fronteira das faixas de avaliação, faz com que o critério de avaliação se comporte como o critério de consenso percentual mínimo

(CPM), Seção 6.2.3. Por este motivo os formulários 1 e 4, que utilizaram este tipo de escala de avaliação, apresentaram maior dificuldade de identificar consenso, no caso apresentaram um menor número de itens determinados, Tabela 3.

Tabela 3 – CPQ identificado para diferentes formulários.

Formulários	Req. De usuário	Baixa	Média	Alta	B/M	M/A	Inconclusivas	Total	Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas
Formulário 1	R.U. 1	12	1	1	9	6	5	34	41.18%	44.12%	14.71%
	R.U. 2	10	0	3	5	8	8	34	38.24%	38.24%	23.53%
	R.U. 3	16	0	2	6	4	6	34	52.94%	29.41%	17.65%
	R.U. 4	7	0	2	6	9	10	34	26.47%	44.12%	29.41%
	R.U. 5	13	0	1	8	2	10	34	41.18%	29.41%	29.41%
	Σ	58	1	9	34	29	39	170	40.00%	37.06%	22.94%
Formulário 2	R.U. 6	13	1	3	9	5	3	34	50.00%	41.18%	8.82%
	R.U. 7	6	1	5	10	9	3	34	35.29%	55.88%	8.82%
	R.U. 8	16	2	2	10	2	2	34	58.82%	35.29%	5.88%
	R.U. 9	18	0	1	9	3	3	34	55.88%	35.29%	8.82%
	R.U. 10	2	9	7	7	7	2	34	52.94%	41.18%	5.88%
	Σ	55	13	18	45	26	13	170	50.59%	41.76%	7.65%
Formulário 3	R.U. 11	7	5	1	8	12	1	34	38.24%	58.82%	2.94%
	R.U. 12	4	2	2	17	8	1	34	23.53%	73.53%	2.94%
	R.U. 13	15	1	6	10	0	2	34	64.71%	29.41%	5.88%
	R.U. 14	4	1	4	12	9	4	34	26.47%	61.76%	11.76%
	R.U. 15	21	0	1	8	1	3	34	64.71%	26.47%	8.82%
	Σ	51	9	14	55	30	11	170	43.53%	50.00%	6.47%
Formulário 4	R.U. 16	8	1	2	15	5	3	34	32.35%	58.82%	8.82%
	R.U. 17	7	0	3	8	9	7	34	29.41%	50.00%	20.59%
	R.U. 18	5	0	3	10	9	7	34	23.53%	55.88%	20.59%
	R.U. 19	7	2	1	10	12	2	34	29.41%	64.71%	5.88%
	Σ	27	3	9	43	35	19	136	28.68%	57.35%	13.97%
	Formulário 5	R.U. 20	7	1	3	12	8	3	34	32.35%	58.82%
R.U. 21		5	1	1	16	3	8	34	20.59%	55.88%	23.53%
R.U. 22		20	2	2	7	0	3	34	70.59%	20.59%	8.82%
R.U. 23		19	0	2	10	2	1	34	61.76%	35.29%	2.94%
Σ		51	4	8	45	13	15	136	46.32%	42.65%	11.03%
Total		242	30	58	222	133	97	782	42.20%	45.40%	12.40%

Os outros dois critérios de consenso fazem uso de operações algébricas durante a análise, além de ser necessário definir e um valor de probabilidade para identificar consenso. Para efeito de comparação com o critério de CPQ, as fronteiras destes critérios também foram fixadas nos valores de 3 e 7 e foi determinado um valor de 90% de probabilidade para os dois critérios.

5.5.2.2 Critério de consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança

O critério de CPIC é similar com o critério de CPQ, pois ambos verificam o posicionamento da dispersão em torno da tendência central do conjunto de avaliações individuais.

Apesar do formulário 1 apresentar um elevado número de itens com avaliações individuais inconclusivas, através do critério de CPIC foi identificado um número reduzido de itens com consenso inconclusivo. Os formulário 4 e 5, que também apresentaram quatro opções de avaliação para cada item, apresentaram uma diminuição expressiva do número de itens inconclusivos, Tabela 4.

Tabela 4 – CPIC identificado para diferentes formulários.

Formulários	Req. De usuário	Baixa	Média	Alta	B/M	M/A	Inconclusivas	Total	Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas
Formulário 1	R.U. 1	11	1	1	13	8	0	34	38.24%	61.76%	0.00%
	R.U. 2	11	0	5	6	7	5	34	47.06%	38.24%	14.71%
	R.U. 3	16	0	2	11	5	0	34	52.94%	47.06%	0.00%
	R.U. 4	6	0	2	8	12	6	34	23.53%	58.82%	17.65%
	R.U. 5	13	0	1	12	3	5	34	41.18%	44.12%	14.71%
	Σ	57	1	11	50	35	16	170	40.59%	50.00%	9.41%
Formulário 2	R.U. 6	12	0	3	11	6	2	34	44.12%	50.00%	5.88%
	R.U. 7	5	0	5	11	11	2	34	29.41%	64.71%	5.88%
	R.U. 8	14	1	2	13	4	0	34	50.00%	50.00%	0.00%
	R.U. 9	19	0	1	8	5	1	34	58.82%	38.24%	2.94%
	R.U. 10	1	1	6	11	14	1	34	23.53%	73.53%	2.94%
	Σ	51	2	17	54	40	6	170	41.18%	55.29%	3.53%
Formulário 3	R.U. 11	6	1	1	11	15	0	34	23.53%	76.47%	0.00%
	R.U. 12	5	2	2	16	8	1	34	26.47%	70.59%	2.94%
	R.U. 13	15	0	5	11	2	1	34	58.82%	38.24%	2.94%
	R.U. 14	4	0	4	14	11	1	34	23.53%	73.53%	2.94%
	R.U. 15	20	0	1	10	1	2	34	61.76%	32.35%	5.88%
	Σ	50	3	13	62	37	5	170	38.82%	58.24%	2.94%
Formulário 4	R.U. 16	12	1	3	12	4	2	34	47.06%	47.06%	5.88%
	R.U. 17	8	0	3	11	11	1	34	32.35%	64.71%	2.94%
	R.U. 18	9	0	2	11	11	1	34	32.35%	64.71%	2.94%
	R.U. 19	8	2	2	9	13	0	34	35.29%	64.71%	0.00%
	Σ	37	3	10	43	39	4	136	36.76%	60.29%	2.94%
Formulário 5	R.U. 20	10	1	3	11	9	0	34	41.18%	58.82%	0.00%
	R.U. 21	8	1	1	16	5	3	34	29.41%	61.76%	8.82%
	R.U. 22	20	2	2	8	2	0	34	70.59%	29.41%	0.00%
	R.U. 23	19	0	2	11	2	0	34	61.76%	38.24%	0.00%
	Σ	57	4	8	46	18	3	136	50.74%	47.06%	2.21%
Total	252	13	59	255	169	34	782	41.43%	54.22%	4.35%	

É possível observar que para os formulários 2 e 3, que utilizaram seis opções de avaliação para cada item, o consenso dos itens obtidos através dos critérios de CPQ e CPIC foi similar.

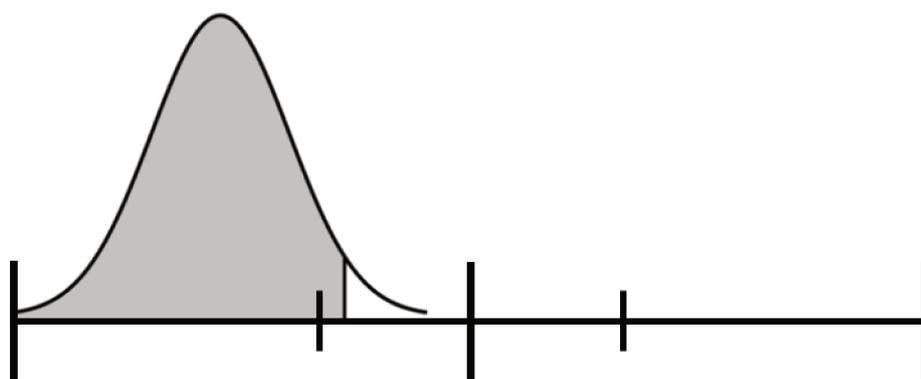
A principal diferença entre o resultado dos dois critérios é que o critério de CPQ apresentou uma maior facilidade de identificar consenso para avaliações médias. Também é perceptível que o critério de CPIC apresentou um menor número de itens inconclusivos.

5.5.2.3 Critério de consenso pela probabilidade das faixas de avaliação

O critério de CPFA apresenta resultados similares ao critério de CPIC. O principal motivo para isto é o uso de intervalos de confiança unicaudais para identificar consenso nas faixas inferior e superior, Seção 6.2.3.

Ou o intervalo de confiança unicaudal está inteiramente contido pela faixa de avaliação, ou a faixa de avaliação está contida pelo intervalo de confiança, Figura 34. Para o primeiro caso a probabilidade da faixa é superior à probabilidade necessária para identificar consenso, de maneira que os dois critérios determinam o mesmo consenso para o item avaliado. No segundo caso a probabilidade da faixa é inferior à probabilidade necessário para identificar consenso, de maneira que os dois critérios não determinam um consenso para o item avaliado.

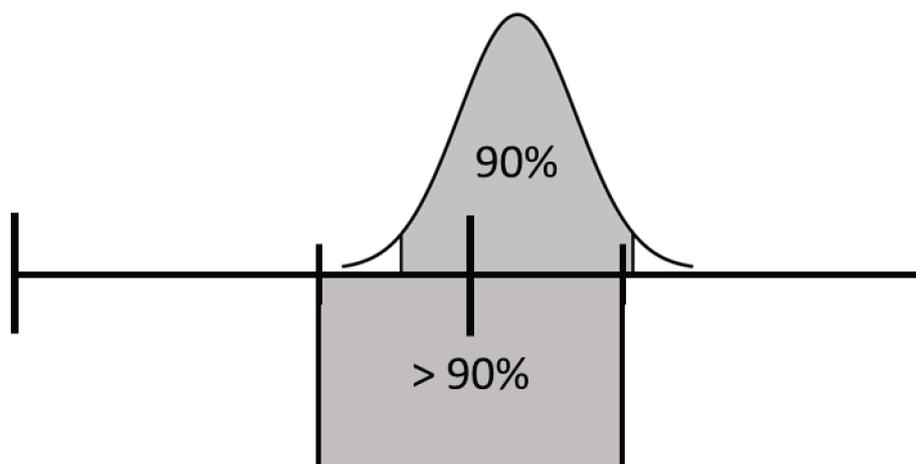
Figura 34 – Exemplo em que a faixa de avaliação está contida pelo intervalo de confiança unicaudal.



Porém os dois critérios podem apresentar resultados distintos para identificar consenso de avaliações médias. É possível que a faixa de avaliação central apresente uma probabilidade superior a do intervalo de confiança, mesmo que o intervalo não esteja contido pela faixa, Figura 35. Nestes casos apenas o critério de CPFA determina um consenso de avaliação.

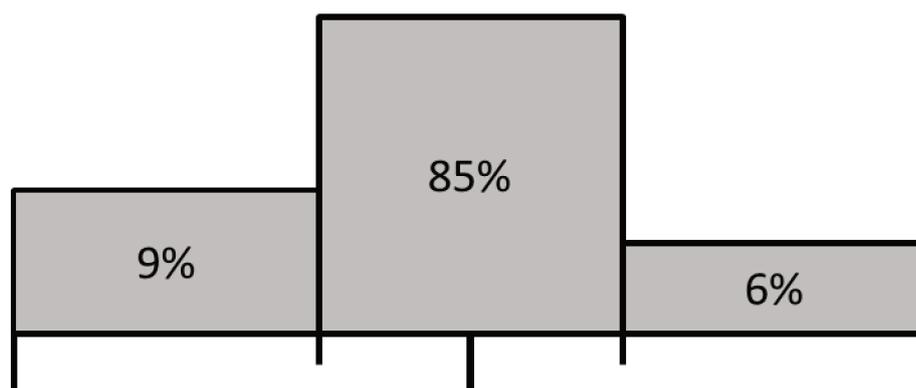
Para valores de probabilidade elevados, como 90%, a diferença na identificação de consenso para o conjunto de avaliações individuais é pequena, conforme pode ser observado na Tabela 5. A diferença torna-se mais significativa para valores de proba-

Figura 35 – Exemplo em que o critério CPFA determina uma avaliação média enquanto o critério CPIC não consegue determinar uma avaliação.



bilidade inferiores. De maneira geral pode-se dizer que o critério de CPFA é menos conservador na identificação de consenso de avaliação média. Outra diferença entre estes dois critérios de consenso é a subjetividade na identificação de consenso indeterminado. Considerando que foi determinado que se atinge consenso quando obtém-se uma probabilidade igual ou superior a 90%, é possível que a soma da probabilidade da faixa intermediária com a probabilidade de qualquer outra faixa seja superior a 90%, Figura 36.

Figura 36 – Exemplo em que pode existir subjetividade na identificação do CPFA indeterminado.



Nestes casos, considerando o uso de um algoritmo para identificar o consenso do conjunto de avaliações, o consenso identificado dependeria também de como o algoritmo foi escrito.

Tabela 5 – CPFA identificado para diferentes formulários.

Formulários	Req. De usuário	Baixa	Média	Alta	B/M	M/A	Inconclusivas	Total	Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas
Formulário 1	R.U. 1	11	1	1	13	8	0	34	38.24%	61.76%	0.00%
	R.U. 2	11	0	5	6	7	5	34	47.06%	38.24%	14.71%
	R.U. 3	16	0	2	11	5	0	34	52.94%	47.06%	0.00%
	R.U. 4	6	0	2	8	12	6	34	23.53%	58.82%	17.65%
	R.U. 5	13	0	1	12	3	5	34	41.18%	44.12%	14.71%
	Σ	57	1	11	50	35	16	170	40.59%	50.00%	9.41%
Formulário 2	R.U. 6	12	0	3	11	6	2	34	44.12%	50.00%	5.88%
	R.U. 7	5	1	5	11	10	2	34	32.35%	61.76%	5.88%
	R.U. 8	14	1	2	13	4	0	34	50.00%	50.00%	0.00%
	R.U. 9	19	0	1	8	5	1	34	58.82%	38.24%	2.94%
	R.U. 10	1	4	6	10	12	1	34	32.35%	64.71%	2.94%
	Σ	51	6	17	53	37	6	170	43.53%	52.94%	3.53%
Formulário 3	R.U. 11	6	3	1	10	14	0	34	29.41%	70.59%	0.00%
	R.U. 12	5	2	2	16	8	1	34	26.47%	70.59%	2.94%
	R.U. 13	15	0	5	11	2	1	34	58.82%	38.24%	2.94%
	R.U. 14	4	0	4	14	11	1	34	23.53%	73.53%	2.94%
	R.U. 15	20	0	1	10	1	2	34	61.76%	32.35%	5.88%
	Σ	50	5	13	61	36	5	170	40.00%	57.06%	2.94%
Formulário 4	R.U. 16	12	1	3	12	4	2	34	47.06%	47.06%	5.88%
	R.U. 17	8	0	3	11	11	1	34	32.35%	64.71%	2.94%
	R.U. 18	9	0	2	11	11	1	34	32.35%	64.71%	2.94%
	R.U. 19	8	2	2	9	13	0	34	35.29%	64.71%	0.00%
	Σ	37	3	10	43	39	4	136	36.76%	60.29%	2.94%
Formulário 5	R.U. 20	10	1	3	11	9	0	34	41.18%	58.82%	0.00%
	R.U. 21	8	1	1	16	5	3	34	29.41%	61.76%	8.82%
	R.U. 22	20	2	2	8	2	0	34	70.59%	29.41%	0.00%
	R.U. 23	19	0	2	11	2	0	34	61.76%	38.24%	0.00%
	Σ	57	4	8	46	18	3	136	50.74%	47.06%	2.21%
Total	252	19	59	253	165	34	782	42.20%	53.45%	4.35%	

Através desta análise foi possível verificar que a identificação de consenso pelos três critérios foi similar para formulários com cinco opções de resposta na escala de avaliação. Também é possível observar que mesmo com uma probabilidade elevada os critérios de CPIC e CPFA, que fazem uso de operações algébricas, apresentaram um número de itens inconclusivos inferior, Tabela 6. Estes critérios permitem um melhor ajuste da identificação de consenso, pois além do ajuste do posicionamento de fronteiras é possível ajustar a probabilidade mínima para que seja identificado consenso.

Estes motivos fazem com que seja mais adequado o uso de uma escala com cinco opções de resposta na escala de avaliação e um critério que utiliza operações algébricas para identificar consenso.

Tabela 6 – Comparação do consenso identificado para critérios distintos.

Formulários	Req. De usuário	CPQ			CPIC			CPFA		
		Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas	Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas	Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas
Formulário 1	R.U. 1	41.2%	44.1%	14.7%	38.2%	61.8%	0.0%	38.2%	61.8%	0.0%
	R.U. 2	38.2%	38.2%	23.5%	47.1%	38.2%	14.7%	47.1%	38.2%	14.7%
	R.U. 3	52.9%	29.4%	17.6%	52.9%	47.1%	0.0%	52.9%	47.1%	0.0%
	R.U. 4	26.5%	44.1%	29.4%	23.5%	58.8%	17.6%	23.5%	58.8%	17.6%
	R.U. 5	41.2%	29.4%	29.4%	41.2%	44.1%	14.7%	41.2%	44.1%	14.7%
	Σ	40.0%	37.1%	22.9%	40.6%	50.0%	9.4%	40.6%	50.0%	9.4%
Formulário 2	R.U. 6	50.0%	41.2%	8.8%	44.1%	50.0%	5.9%	44.1%	50.0%	5.9%
	R.U. 7	35.3%	55.9%	8.8%	29.4%	64.7%	5.9%	32.4%	61.8%	5.9%
	R.U. 8	58.8%	35.3%	5.9%	50.0%	50.0%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%
	R.U. 9	55.9%	35.3%	8.8%	58.8%	38.2%	2.9%	58.8%	38.2%	2.9%
	R.U. 10	52.9%	41.2%	5.9%	23.5%	73.5%	2.9%	32.4%	64.7%	2.9%
	Σ	50.6%	41.8%	7.6%	41.2%	55.3%	3.5%	43.5%	52.9%	3.5%
Formulário 3	R.U. 11	38.2%	58.8%	2.9%	23.5%	76.5%	0.0%	29.4%	70.6%	0.0%
	R.U. 12	23.5%	73.5%	2.9%	26.5%	70.6%	2.9%	26.5%	70.6%	2.9%
	R.U. 13	64.7%	29.4%	5.9%	58.8%	38.2%	2.9%	58.8%	38.2%	2.9%
	R.U. 14	26.5%	61.8%	11.8%	23.5%	73.5%	2.9%	23.5%	73.5%	2.9%
	R.U. 15	64.7%	26.5%	8.8%	61.8%	32.4%	5.9%	61.8%	32.4%	5.9%
	Σ	43.5%	50.0%	6.5%	38.8%	58.2%	2.9%	40.0%	57.1%	2.9%
Formulário 4	R.U. 16	32.4%	58.8%	8.8%	47.1%	47.1%	5.9%	47.1%	47.1%	5.9%
	R.U. 17	29.4%	50.0%	20.6%	32.4%	64.7%	2.9%	32.4%	64.7%	2.9%
	R.U. 18	23.5%	55.9%	20.6%	32.4%	64.7%	2.9%	32.4%	64.7%	2.9%
	R.U. 19	29.4%	64.7%	5.9%	35.3%	64.7%	0.0%	35.3%	64.7%	0.0%
	Σ	28.7%	57.4%	14.0%	36.8%	60.3%	2.9%	36.8%	60.3%	2.9%
Formulário 5	R.U. 20	32.4%	58.8%	8.8%	41.2%	58.8%	0.0%	41.2%	58.8%	0.0%
	R.U. 21	20.6%	55.9%	23.5%	29.4%	61.8%	8.8%	29.4%	61.8%	8.8%
	R.U. 22	70.6%	20.6%	8.8%	70.6%	29.4%	0.0%	70.6%	29.4%	0.0%
	R.U. 23	61.8%	35.3%	2.9%	61.8%	38.2%	0.0%	61.8%	38.2%	0.0%
	Σ	46.3%	42.6%	11.0%	50.7%	47.1%	2.2%	50.7%	47.1%	2.2%
Total		42.2%	45.4%	12.4%	41.4%	54.2%	4.3%	42.2%	53.5%	4.3%

5.5.3 Análise da influência da variação da probabilidade sobre a identificação de consenso

Para os critérios de CPIC e CPFA foi analisada a contribuição da variação da probabilidade na identificação de consenso. Na análise, a probabilidade foi variada de 70% a 95%, com incrementos de 5%. Para uma probabilidade de 95% os dois critérios apresentaram o mesmo número de itens inconclusivos, totalizando 11% dos itens, Tabela 7. O critério de CPFA identificou consenso de avaliação média em 6 itens, enquanto o critério de CPIC identificou em identificação avaliação média em 2 itens.

Conforme reduziu-se a probabilidade determinada para até 80%, reduziu-se

Tabela 7 – Efeito da variação do parâmetro de probabilidade sobre a identificação de CPIC e CPFA

Critério	Probabilidade						Inconclusivas	Total	Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas
		Baixa	Média	Alta	B/M	M/A					
CPIC	95%	198	2	52	285	156	89	782	32.2%	56.4%	11.4%
	90%	252	13	59	255	169	34	782	41.4%	54.2%	4.3%
	85%	276	22	76	244	156	8	782	47.8%	51.2%	1.0%
	80%	284	58	79	221	136	4	782	53.8%	45.7%	0.5%
	75%	305	84	86	189	118	0	782	60.7%	39.3%	0.0%
	70%	325	109	88	158	102	0	782	66.8%	33.2%	0.0%
CPFA	95%	198	6	52	282	155	89	782	32.7%	55.9%	11.4%
	90%	252	19	59	253	165	34	782	42.2%	53.5%	4.3%
	85%	276	74	76	225	123	8	782	54.5%	44.5%	1.0%
	80%	284	137	79	178	100	4	782	63.9%	35.5%	0.5%
	75%	305	187	86	133	71	0	782	73.9%	26.1%	0.0%
	70%	325	206	88	102	61	0	782	79.2%	20.8%	0.0%

também o número de itens inconclusivos, Tabela 7. Para probabilidades inferiores a 80% não foram identificados itens inconclusivos.

Como esperado, a redução da probabilidade facilita a identificação de consenso, em especial para avaliações médias através do CPFA. Para probabilidades inferiores a 85% a diferença do número de itens determinados com avaliação média entre os dois critérios cresce consideravelmente.

Pode-se observar também que para itens determinados através do CPFA, para probabilidades inferiores a 80% a proporção de itens com avaliação consensual média e baixa deixa de ser inferior a proporção das avaliações individuais médias e baixas, Tabela 7.

Considerando que o consenso pode ser identificado através de uma probabilidade de apenas 50% em uma das faixas de avaliação, o total de itens determinados para este caso seria 774, representando 99% dos itens. Os números de itens determinados com avaliação baixa, média e alta seriam respectivamente 362, 306 e 106.

Considerando que neste caso foi possível determinar quase todos os itens avaliados, a discrepância da proporção de avaliação dos itens determinados em relação à proporção das avaliações individuais seria um indício de falha do critério de consenso.

Porém deve ser lembrado que o posicionamento das fronteiras faz com que a faixa de avaliação média seja maior que as demais. Isto facilita que a faixa de avaliação média apresente probabilidades maiores do que as outras duas faixas.

De maneira geral pode-se dizer que o critério de CPFA é mais sensível à probabilidade determinada para identificar consenso, quando comparado ao critério de

CPIC.

5.5.4 Análise da influência da variação do posicionamento das fronteiras sobre a identificação de consenso

Foi feita uma análise similar para avaliar a contribuição do posicionamento das fronteiras sobre a identificação de consenso, porém esta análise foi restrita a alguns formulários.

Não foi feita a análise para formulários que utilizaram escala numérica com seis opções de resposta, pois estes apresentam valores numéricos fixos como opções de avaliação nas fronteiras. Como as opções de resposta de formulários de escala verbal com seis opções de resposta foram vinculadas às opções de resposta da escala numérica, também não foi feita a análise para formulários com esta escala.

A análise da contribuição do posicionamento das fronteiras na escala de avaliação sobre a identificação de consenso foi feita apenas com os formulários 1 e 4. Estes formulários utilizaram apenas quatro opções de resposta para cada item, sem opção de avaliação na fronteira, entre duas faixas de avaliação. Nesta análise foi determinada uma probabilidade de 80% para os critérios de CPIC e CPFA.

Durante a interpretação dos dados desta análise é importante lembrar que o formulário 1 apresentou 90 das 134 avaliações individuais inconclusivas.

Conforme já discutido anteriormente, o uso de formulários com apenas 4 opções de avaliação restringe a identificação de consenso através do critério de CPQ. Sem as opções de avaliação sobre as fronteiras da escala, diminui-se a chance de que os quartis se localizem próximos às fronteiras. Na Tabela 8 pode ser observado que houve apenas um item que apresentou alteração de seu consenso através do critério de posicionamento dos quartis.

Para os outros dois critérios de consenso foi observado um aumento do número de itens determinados conforme foi aumentada a distância entre as fronteiras. Destes itens houve um aumento expressivo de itens com avaliação média, enquanto ocorria uma pequena redução do número de itens com avaliação baixa e alta.

Para o critério de CPFA foi observado o maior aumento do número de itens determinados com avaliação média devido ao aumento da faixa de avaliação média. O aumento foi tão significativo que o número de itens determinados com avaliação média foi superior ao número de itens com avaliação baixa.

É perceptível que o critério de CPFA também é mais sensível ao posicionamento das fronteiras na escala de avaliação, quando comparado ao CPIC.

Tabela 8 – Efeito da variação do posicionamento das fronteiras sobre a identificação de CPQ, CPIC, CPFA.

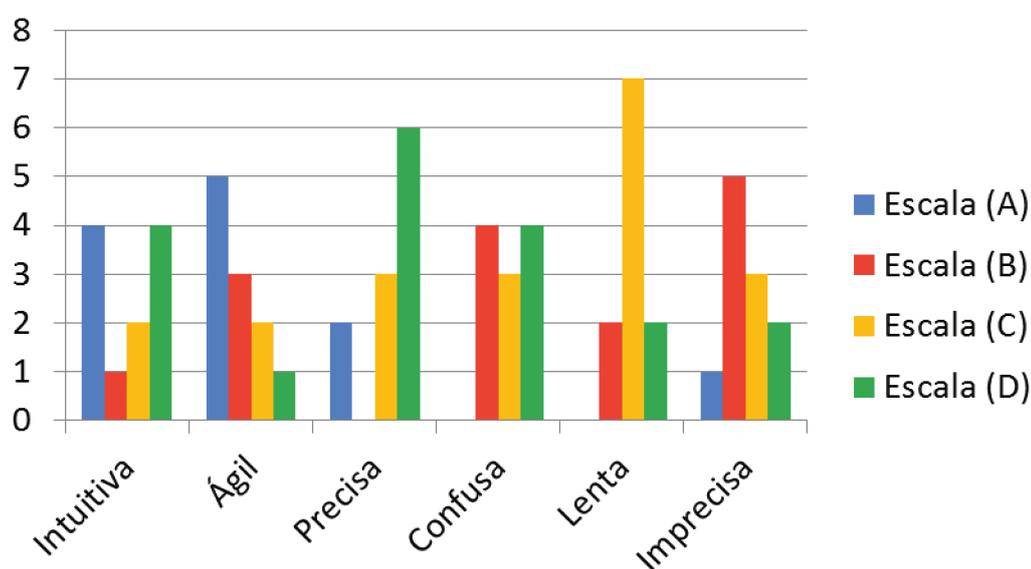
Critério	Formulário	Posição das fronteiras	Baixa	Média	Alta	B/M	M/A	Inconclusivas	Total	Determinadas	Indeterminadas	Inconclusivas
CPQ	1	2,5 e 7,5	58	2	9	34	29	38	170	40.6%	37.1%	22.4%
		2,75 e 7,25	58	1	9	34	29	39	170	40.0%	37.1%	22.9%
		3 e 7	58	1	9	34	29	39	170	40.0%	37.1%	22.9%
		10/3 e 20/3	58	1	9	34	29	39	170	40.0%	37.1%	22.9%
		3,5 e 6,5	58	1	9	34	29	39	170	40.0%	37.1%	22.9%
	4	2,5 e 7,5	27	3	9	43	35	19	136	28.7%	57.4%	14.0%
		2,75 e 7,25	27	3	9	43	35	19	136	28.7%	57.4%	14.0%
		3 e 7	27	3	9	43	35	19	136	28.7%	57.4%	14.0%
		10/3 e 20/3	27	3	9	43	35	19	136	28.7%	57.4%	14.0%
		3,5 e 6,5	27	3	9	43	35	19	136	28.7%	57.4%	14.0%
CPIC	1	2,5 e 7,5	57	33	11	42	27	0	170	59.4%	40.6%	0.0%
		2,75 e 7,25	59	16	13	49	33	0	170	51.8%	48.2%	0.0%
		3 e 7	64	7	15	45	35	4	170	50.6%	47.1%	2.4%
		10/3 e 20/3	68	2	17	43	33	7	170	51.2%	44.7%	4.1%
		3,5 e 6,5	70	0	17	42	33	8	170	51.2%	44.1%	4.7%
	4	2,5 e 7,5	37	25	10	36	28	0	136	52.9%	47.1%	0.0%
		2,75 e 7,25	42	18	15	35	26	0	136	55.1%	44.9%	0.0%
		3 e 7	42	10	16	38	30	0	136	50.0%	50.0%	0.0%
		10/3 e 20/3	48	4	18	33	32	1	136	51.5%	47.8%	0.7%
		3,5 e 6,5	49	2	19	32	32	2	136	51.5%	47.1%	1.5%
CPFA	1	2,5 e 7,5	57	51	11	32	19	0	170	70.0%	30.0%	0.0%
		2,75 e 7,25	59	42	13	36	20	0	170	67.1%	32.9%	0.0%
		3 e 7	64	22	15	38	27	4	170	59.4%	38.2%	2.4%
		10/3 e 20/3	68	5	17	40	33	7	170	52.9%	42.9%	4.1%
		3,5 e 6,5	70	1	17	41	33	8	170	51.8%	43.5%	4.7%
	4	2,5 e 7,5	37	44	10	27	18	0	136	66.9%	33.1%	0.0%
		2,75 e 7,25	42	32	15	27	20	0	136	65.4%	34.6%	0.0%
		3 e 7	42	23	16	32	23	0	136	59.6%	40.4%	0.0%
		10/3 e 20/3	48	9	18	32	28	1	136	55.1%	44.1%	0.7%
		3,5 e 6,5	49	3	19	32	31	2	136	52.2%	46.3%	1.5%

5.5.5 Análise da opinião dos participantes sobre as escalas de avaliação distintas

No final do quinto formulário, que utilizou as quatro escalas de avaliação, foi pedido que os participantes indicassem qual escala ele considerava mais intuitiva, ágil, precisa, confusa, lenta e imprecisa.

Analisando individualmente, a escala que foi indicada mais vezes com características positivas foi a escala (A), verbal com quatro opções de resposta, Figura 37. A escala (D), numérica com quatro opções de resposta foi a escala mais vezes indicada como mais precisa. Adicionalmente dois participantes informaram que sentiram pouca diferença entre o uso de escalas através de comentários no formulário.

Figura 37 – Opinião dos participantes sobre o uso das escalas aplicadas.



De maneira geral os participantes apresentaram uma maior preferência por escalas com quatro opções de resposta (escalas A e B) e por escalas verbais (escalas A e D). As escalas com seis opções de resposta foram consideradas mais precisas.

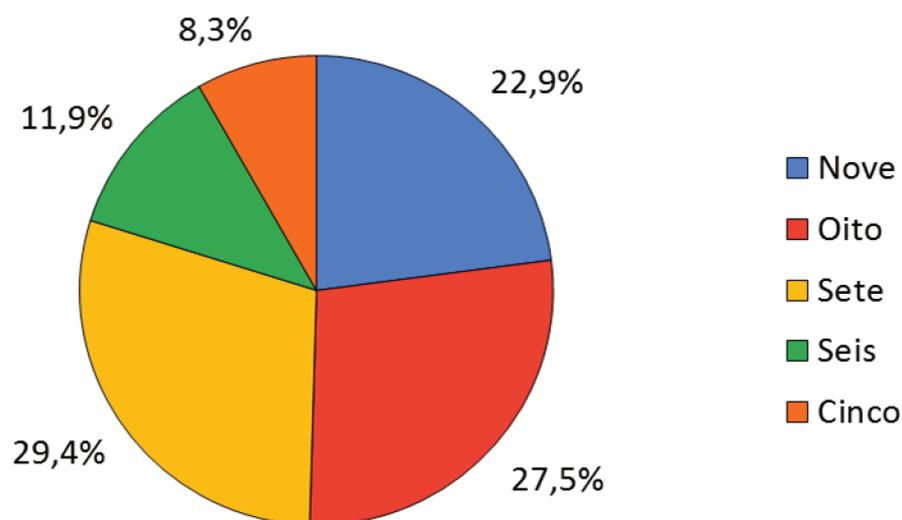
5.5.6 Itens contestados

Apesar dos itens de consenso determinado representarem 53,8% do total de itens, eles representam apenas 15,6% dos itens contestados. Ao final da votação foi alterada a avaliação de apenas 4 itens de consenso determinado, número que representa 6,7% dos itens que tiveram sua avaliação alterada após a votação e 0,9% dos itens determinados.

A subetapa de contestação dos itens foi feita por apenas nove participantes, de maneira que com cinco votos na votação desta subetapa obtêm-se maioria absoluta. Apenas dois itens apresentaram os votos distribuídos entre as três opções de avalia-

ção. Nos outros 107 itens os votos foram distribuídos entre duas opções de avaliação. Estes motivos fez com que para a votação de todos os itens, uma opção de avaliação apresentasse maioria absoluta dos votos, Figura 38. Para 22,9% dos itens a votação foi unânime, em 19 casos a favor e em 6 casos contra a alteração da avaliação do item.

Figura 38 – Número de votos na avaliação mais votada.



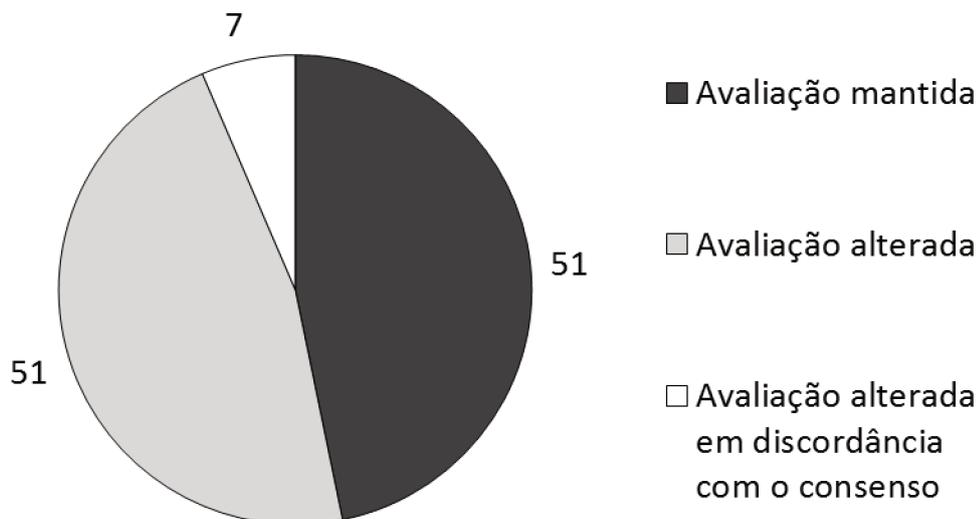
O fato de todas as votações apresentarem maioria absoluta facilitou a definição da avaliação dos itens que apresentaram alteração de avaliação após a votação. Para sete dedos 58 itens que apresentaram alteração de avaliação a nova avaliação estava em discordância com o consenso identificado, Figura 39. Para 4 destes itens a nova avaliação foi aceita de maneira unânime, para 3 destes itens a nova avaliação foi aceita por 7 dos 9 participantes.

O número de itens contestados e os resultados das votações demonstram que o método proposto permite priorizar o debate de itens com relações menos evidentes ou mais controversas. Ao mesmo tempo o método permite que integrantes com uma percepção alternativa sobre a relação de um item, ainda que estes integrantes representem a minoria do grupo, possam contribuir sobre a correta avaliação da relação do item.

5.5.7 Tempo de execução e conclusão remota

O tempo médio de preenchimento do primeiro ao quarto formulário na avaliação individual foi de 21,04 minutos, com um tempo médio de preenchimento de 4,39 minutos por requisito de usuário. Entre os formulários, do primeiro ao quarto, foi perceptível o decréscimo do tempo médio de preenchimento e desvio padrão deste, indicando uma curva de familiarização com os formulários.

Figura 39 – Disposição dos itens contestados.



O uso do tempo médio de preenchimento por requisito de usuário é mais adequado para calcular o tempo total investido, pois o número de requisitos de usuário por formulário foi distinto.

Não foi feito o registro de tempo do quinto formulário, pois para cada requisito de usuário fez-se uso e descrição de opções de resposta distintas. No quinto formulário também foram feitos questionamentos não relacionados com a avaliação da relação entre requisitos de projeto e usuário.

Com as considerações feitas, o tempo médio de conclusão da avaliação individual por participantes foi de 101,2 minutos, aproximadamente uma hora e 40 minutos.

A análise estatística foi iniciada antes da conclusão da etapa de avaliação de individual e envolveu avaliar critérios de consenso distintos, motivos que levaram a não contabilização do tempo investido nesta etapa.

A etapa de reunião e debate, única etapa do método proposto que é realizada presencialmente, teve de ser adaptada para que fosse executada remotamente. Devido às adaptações foi possível realizar anonimamente a contestação debate e votação das avaliações dos itens.

Em contra partida a adaptação da reunião de debate fez com que houvesse contestações e argumentos, favoráveis ou contrários à alteração de avaliações, muito similares. Ao total foram feitas 149 contestações de 109 itens durante a etapa de verificação. Na etapa de debate foram apresentadas 173 justificativas e argumentos, favoráveis ou contrários à alteração da avaliação dos itens.

As contestações, justificativas e argumentos foram divididos e organizados em tópicos. Buscou-se eliminar tópicos iguais ou que apresentavam informações muito próximas para a votação. Apesar disto foram levantados um total de 308 tópicos.

Alguns participantes comentaram que para alguns itens, com a apresentação de determinadas contestações e argumentos por outros membros, caso estivessem em uma reunião, não sentiriam necessidade de se expressar. Por este motivo alguns participantes acreditam que caso o método fosse concluído presencialmente, a conclusão do método seria mais fluida e ágil.

Não foi feito registro de tempo da etapa de reunião e debate, pois ela não foi executada conforme a metodologia proposta e alguns participantes executaram as fases de verificação e debate de maneira fracionada.

5.6 CONCLUSÕES PARCIAIS

Apesar da dificuldade da execução de uma das etapas do método proposto devido às medidas de distanciamento, foi possível concluir a execução do método de maneira remota e obter dados satisfatórios para sua análise. A aplicação do método proposto permitiu que todos os participantes, que representavam uma equipe de projeto completa, participassem da avaliação individual remota dos itens.

Devido ao número de itens avaliados foi possível fazer uma avaliação comparativa de diferentes critérios de consenso. Através da avaliação foi possível constatar que os critérios de CPIC e CPFA, que fazem uso da média e desvio padrão, apresentam resultados similares ao critério de CPQ para um mesmo conjunto de dados.

Com a finalização da execução do método adaptado foi observado que uma parcela considerável dos itens (92,6%) foi avaliada corretamente através de uma análise estatística simples, utilizando a média de avaliações individuais.

Porém também foi observado o impacto da alteração da avaliação dos demais itens sobre a ordem de prioridade dos requisitos de projeto. Isto evidencia a importância da realização de um debate para determinar a avaliação dos itens.

O método proposto facilitou a identificação dos itens que possivelmente necessitavam ter sua avaliação debatida através da classificação do CPIC das avaliações individuais. Isto reduziu o número de itens debatidos para apenas 13,9% do total, mas devido à adaptação para trabalho remoto não foi possível computar o tempo dedicado à reunião de debate e fechamento.

De um modo geral foi possível verificar o potencial do método proposto para que a priorização dos requisitos de projeto seja executada de maneira mais ágil, focada e com um menor número de reuniões presenciais. Porém para uma avaliação mais precisa da efetividade do método seria necessário aplicá-lo novamente devido à necessidade de adaptações da reunião de debate e fechamento.

6 MÉTODO DE AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA PARA SELEÇÃO DE CONCEPÇÕES

Neste capítulo serão apresentadas a justificativa, proposta, execução, resultados, discussão e conclusões sobre o método de avaliação estatística para seleção de concepções.

A análise de consenso através do posicionamento do intervalo de confiança, apresentada nesta seção, considera uma distribuição t-student em torno da média das avaliações individuais.

Para facilitar a leitura e compreensão deste capítulo são apresentadas abaixo as principais definições de termos usados de maneira recorrente ao longo desta seção.

- Equipe: termo utilizado para designar o conjunto de pessoas responsáveis pelo desenvolvimento do projeto;
- Grupo: termo utilizado para designar subconjunto de integrantes da equipe de projeto responsável por gerenciar o esclarecimento e apresentação das concepções;
- Time: termo utilizado para designar subdivisões do grupo responsável pelo aprofundamento e esclarecimento de informações de cada concepção a ser avaliada;
- Item: termo utilizado para designar combinações de um critério de avaliação com uma concepção avaliada, representando uma célula da matriz do método de Pugh utilizada para avaliar as concepções.

A seguir é apresentada a justificativa que instigou o desenvolvimento do método proposto.

6.1 JUSTIFICATIVA

A equipe de projeto da Celesc possuía um grande número de membros e havia sido dividida em times para aprofundar e esclarecer informações das concepções. Isto foi necessário para que a seleção da concepção fosse bem fundamentada. Cada time tinha conhecimento aprofundado apenas sobre a concepção que havia esclarecido.

Neste momento, os times que trabalharam no desenvolvimento das concepções necessitavam transmitir as informações levantadas ao restante da equipe de projeto com o mesmo nível de esclarecimento entre as concepções. Em seguida seria necessário esclarecer dúvidas para então iniciar um debate para que a equipe, com 26 membros, atingisse consenso para cada combinação de critério de avaliação com concepção avaliada.

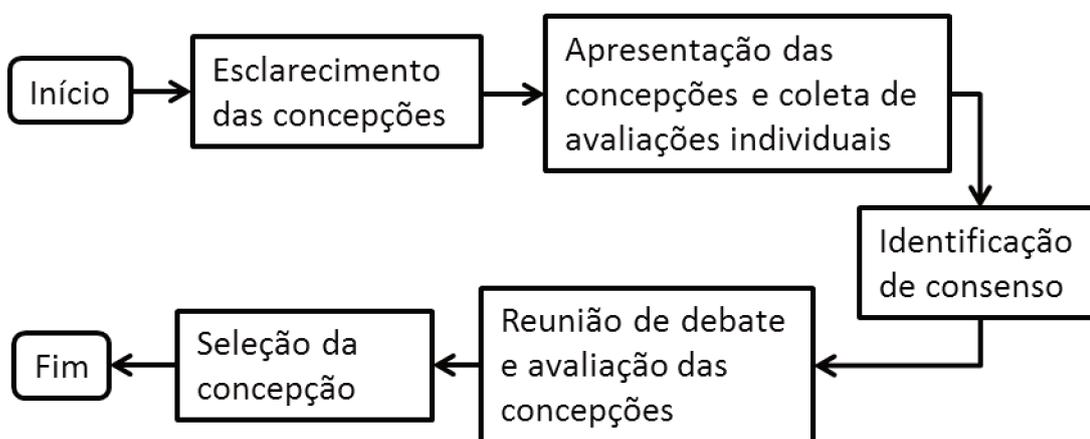
Devido ao grande número de membros, o fato de alguns membros não residirem na mesma cidade e dificuldade de conciliação de horários disponíveis para apresentação e seleção das concepções, era evidente de que o processo de seleção deveria ser

bem planejado. Também existia a necessidade de reduzir o número total de encontros presenciais para se atingir consenso na seleção da concepção, do contrário o processo poderia se estender além do prazo planejado para o projeto.

6.2 PROPOSTA

O processo é iniciado pelo esclarecimento das concepções. Em seguida o processo é dividido em outras quatro etapas, duas etapas envolvem reuniões de com a maioria da equipe. A primeira etapa de reunião deve contar com a presença do maior número possível de integrantes, sendo requisitada também a presença de todos os membros mais experientes em projeto. Nesta etapa são apresentadas as concepções e são coletadas as avaliações individuais destas concepções. A segunda etapa de reunião é dedicada ao debate para determinar a avaliação de cada concepção. Podem ser necessárias mais de uma reunião para concluir esta etapa. Entre as duas etapas de reunião é necessário tratar os dados coletados das avaliações individuais. Isto permite um melhor aproveitamento do tempo dedicado ao debate. O método proposto é encerrado com a etapa de seleção da concepção mais adequada ao projeto, compreendendo um total de cinco etapas descritas nesta seção, Figura 40.

Figura 40 – Fluxograma de execução do método de avaliação estatística para seleção de concepções.



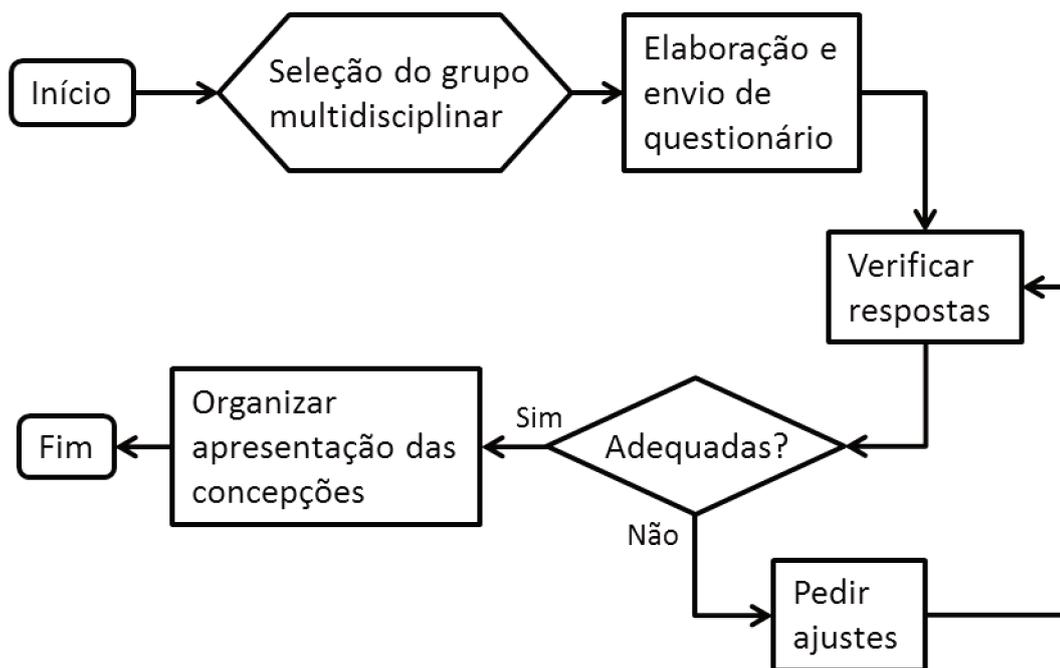
A seguir são apresentadas as etapas deste método. No início da descrição de cada etapa do método proposto é apresentado um fluxograma desta etapa precedido por um breve resumo de suas atividades em itálico.

6.2.1 Esclarecimento de cada concepção

Antes de dar início a apresentação das concepções é necessário nivelar o esclarecimento de informações entre as concepções. Para isso a equipe de projeto deve formar um grupo, de preferência multidisciplinar e com um membro de cada time

que está esclarecendo as concepções. Esse grupo ficará encarregado de desenvolver um questionário, o qual cada time deve responder. O grupo também deve verificar se as respostas dos questionários são satisfatórias para o esclarecimento das concepções, divulgar as respostas obtidas para a equipe e organizar como será feita a apresentação das concepções, Figura 41.

Figura 41 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de esclarecimento das concepções.



Para a elaboração do questionário o grupo deve procurar levantar questões que possam ser utilizadas para comparar as concepções, esclarecer características do funcionamento do sistema e de como o sistema interage com seus usuários. De preferência as questões levantadas devem ser possíveis de ser respondidas para todas as concepções que participarão do processo de seleção. Estas questões serão utilizadas para nivelar as informações que serão apresentadas sobre as concepções.

As questões podem ser levantadas de diferentes fontes. Através dos requisitos de projeto o grupo pode procurar identificar quais destes podem ser estimados para as concepções. Com os requisitos de usuário pode-se questionar como as concepções interagem ou atendem os requisitos, quais são os riscos da concepção não os atender. Pode-se pedir também que os times identifiquem forças e fraquezas das concepções relacionadas aos requisitos de usuário. Caso os times tenham realizados simulações ou testes com maquetes ou protótipos pode-se fazer questionamentos sobre os resultados e comportamento dos sistemas.

Um exemplo de questionário desenvolvido a partir dos requisitos de usuário, requisitos de projeto e testes com maquetes pode ser visualizado no Anexo A.

Após a elaboração do questionário o grupo deve enviar o questionário aos times que desenvolveram as concepções e posteriormente avaliar as respostas. Cada time deve verificar a necessidade de alterar ou complementar as respostas dadas. É desejável que ao menos uma pessoa não integrante do time as avalie. Após a atualização das respostas o grupo deve divulgar as respostas para a equipe de projeto, de preferência em forma de relatório.

Com as respostas em mãos, o grupo deve então organizar as diretrizes de como serão feitas as apresentações. O grupo pode utilizar as respostas do questionário como base para planejar as apresentações, através das seguintes etapas:

- Identificar quais são as informações mais relevantes para o esclarecimento do funcionamento do sistema e de como o sistema interage com seus usuários;
- Verificar quais respostas foram respondidas com um nível de informações similares, sendo preferível evitar a apresentação de informações com grande diferença de esclarecimento entre as concepções;
- Identificar melhor ordem lógica para a apresentação das informações.

6.2.2 Apresentação e avaliação individual das concepções

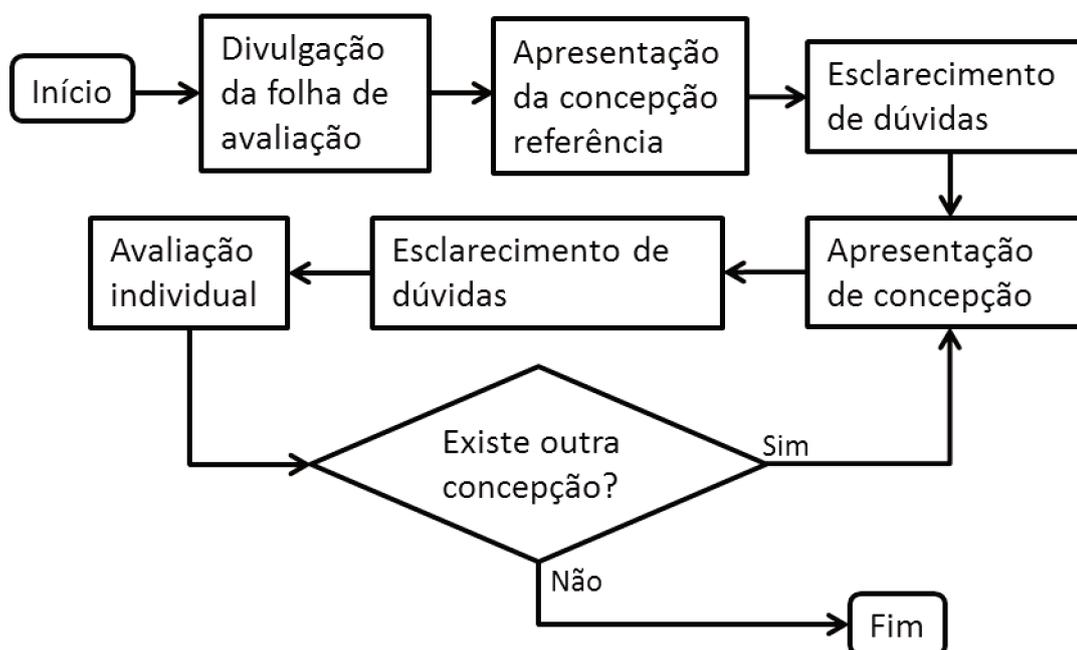
A apresentação das concepções tem início com a divulgação da folha com critérios de avaliação, para familiarização da equipe com os mesmos. Em seguida é feita a apresentação da concepção de referência e esclarecimento de dúvidas levantadas. O mesmo procedimento é realizado para as outras concepções, mas ao término de suas apresentações deve ser feita a avaliação comparativa da concepção recém-apresentada em relação à concepção de referência, Figura 42.

A avaliação das concepções será feita através do método de Pugh, Seção 2.2.2. Os critérios de avaliação podem ser os requisitos de usuário levantados no projeto informacional. Mais detalhes podem ser encontrados no livro de Back et al. (2008). Deve ser apresentado e fornecido para cada membro da equipe a folha de avaliação, assim como a listagem dos critérios de avaliação, com uma breve descrição de cada critério.

A folha de avaliação deve conter uma descrição das possíveis alternativas de preenchimento e deixar claro de que a avaliação é feita de maneira comparativa entre a concepção avaliada e a de referência, Anexo B. Caso não sejam alertados, alguns membros da equipe podem comparar duas concepções que não sejam a referência, ou utilizar a nota atribuída a outra concepção no processo de avaliação de uma concepção. É recomendado reforçar durante a apresentação de que a avaliação é feita aos pares, entre a concepção avaliada e a de referência.

É natural que surjam dúvidas durante as apresentações, sendo recomendado planejar intervalos entre as apresentações para o esclarecimento das dúvidas e a ava-

Figura 42 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de apresentação e avaliação individual das concepções.



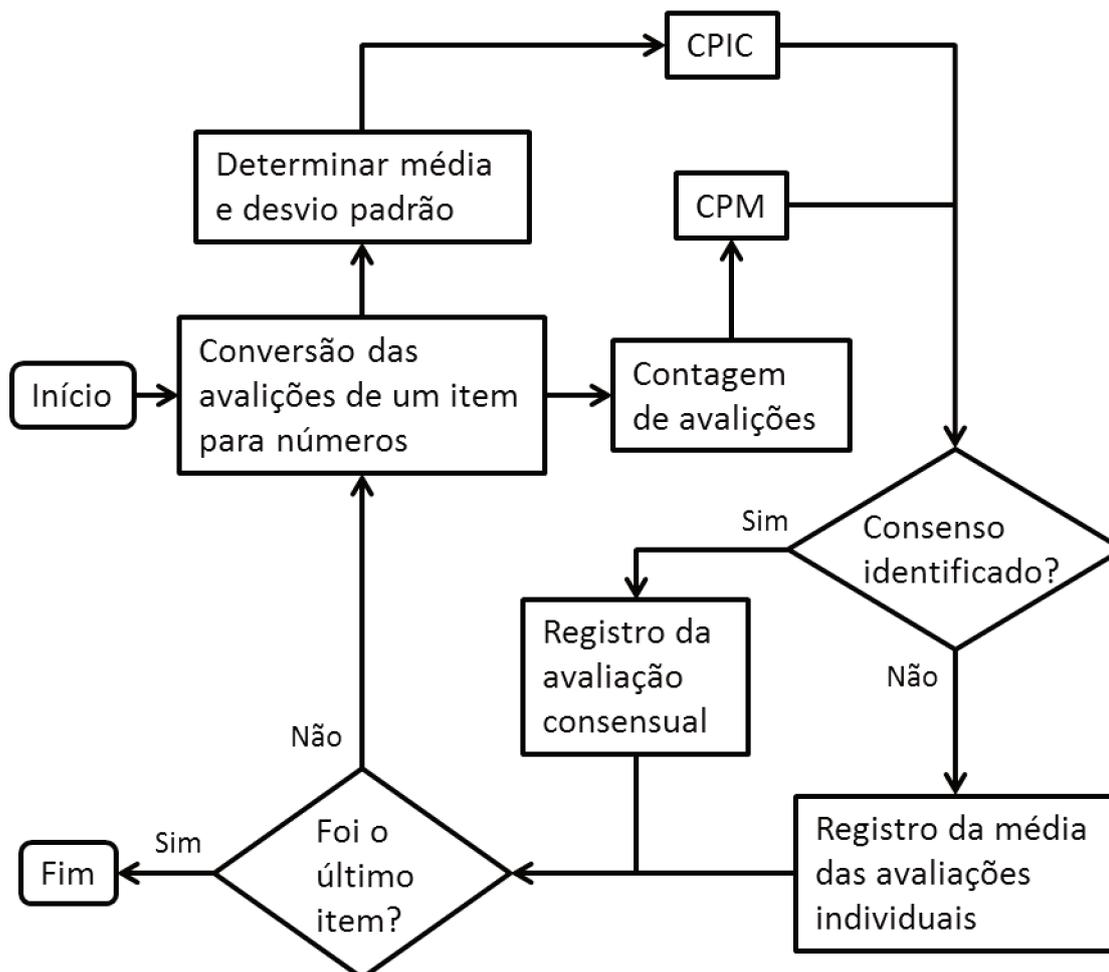
liação individual da concepção apresentada. Os membros responsáveis pela execução da apresentação devem encorajar que os demais membros verbalizem suas dúvidas de maneira alta e clara, para que todos possam refletir pessoalmente sobre o questionamento e resposta ao mesmo. Deve-se também gerenciar as perguntas e respostas buscando manter o cronograma das apresentações.

Preferencialmente os apresentadores devem responder de maneira concisa e clara, mas caso tenham dúvida de como responder podem direcionar a pergunta para a pessoa adequada. Devem ser evitados debates prolongados e discussão de opiniões nesta etapa, existe uma etapa posterior dedicada a isto. Os objetivos desta etapa são esclarecer o funcionamento das concepções e coletar avaliações individuais destas.

6.2.3 Identificação dos itens avaliados em que se atingiu consenso

O processo de identificação de consenso é iniciado com a conversão das avaliações individuais para valores numéricos, estes são registradas no domínio digital. Em seguida é feita a contagem de avaliações de cada item, determinação da média e variância das avaliações. Através da média e da variância é identificado o intervalo de confiança em torno da média. São verificados e registrados quais itens avaliados atingiram consenso percentual mínimo Consenso percentual mínimo (CPM) ou consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança Consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança (CPIC). Para os itens em que não foi identificado consenso é feito registro do valor médio das avaliações individuais para dar início a seu debate, Figura 43.

Figura 43 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de identificação dos itens avaliados em que se atingiu consenso.



Para facilitar a análise das avaliações individuais deve-se primeiro registrá-las no domínio digital, de preferência através de uma planilha. Durante seu registro deve-se converter os sinais utilizados durante a avaliação [(+), (-), (0)] para seus respectivos valores numéricos [1, -1, 0].

A identificação dos itens em que se atingiu consenso busca reduzir o tempo que será destinado a debate durante a avaliação final das concepções, sendo propostos para este método dois critérios de consenso.

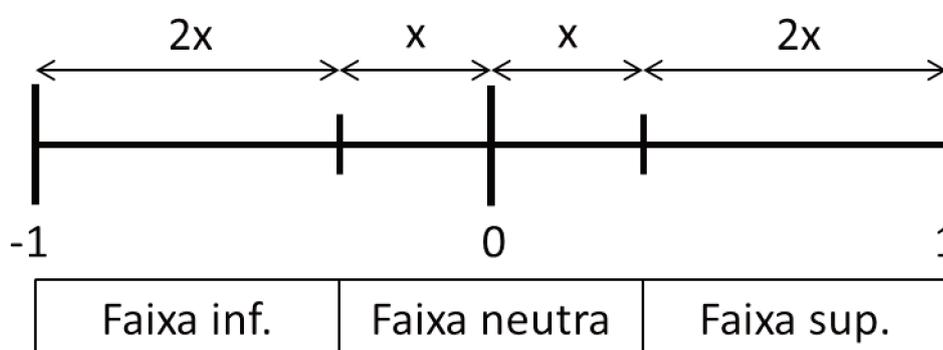
O primeiro critério de consenso proposto faz uso do número total de avaliações de cada opção de avaliação, sendo avaliadas as porcentagens de avaliações para cada item. Nos itens em que pelo menos dois terços das avaliações individuais forem iguais é considerado que a equipe atingiu consenso de sua avaliação. Neste trabalho este consenso é denominado consenso percentual mínimo (CPM).

O segundo critério proposto considera que o conjunto de avaliações individuais representa uma amostra do valor real a ser atribuído pela equipe para o item avaliado. São utilizadas duas fronteiras para delimitar três faixas de valores dentro do escala de avaliação. Cada faixa de avaliação representa uma opção de resposta. É identificado

consenso quando o intervalo de confiança das avaliações individuais está contido por uma única faixa de avaliação. Neste trabalho este consenso é denominado de consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança (CPIC).

As duas fronteiras definem os valores inferior e superior da faixa que representa uma avaliação neutra, em que a concepção de referência e a concepção comparada com esta atendem o critério de avaliação de maneira similar. Preferencialmente, os valores superior e inferior desta faixa devem possuir o mesmo módulo para que a divisão do espectro de respostas seja simétrica em relação ao seu centro. Também é desejável delimitar as fronteiras de maneira que as três faixas tenham extensões similares, Figura 44.

Figura 44 – Divisão simétrica da escala de avaliação.



A identificação do posicionamento da média das avaliações individuais é o primeiro passo para a identificação do intervalo de confiança. Em seguida deve-se definir a probabilidade associada a este intervalo, no caso seu nível de confiança.

Preferencialmente o valor selecionado para a probabilidade associada ao intervalo de confiança, no caso seu nível de confiança, deve estar entre os valores de 70% a 90%.

A seguir são apresentados os casos em que o intervalo de confiança se localiza em uma única faixa de avaliação, de maneira que é possível determinar o CPIC. Os casos em que o intervalo de confiança se localiza sobre duas ou mais faixas de avaliação são apresentados na Seção 5.2.2.

Caso a média esteja localizada na faixa neutra, o intervalo de confiança deverá apresentar um valor máximo e mínimo simétricos à média das avaliações individuais. Para que seja considerado que a equipe atingiu CPIC o intervalo de confiança deve estar contido entre as fronteiras inferior e superior, Figura 45.

Caso a média esteja localizada na faixa de avaliação inferior, que indica que a concepção avaliada atende o critério de avaliação de maneira pior, o intervalo de confiança apresentará apenas um valor máximo. É considerado que a equipe atingiu CPIC quando o intervalo de confiança estiver completamente à esquerda da fronteira inferior, Figura 46.

Figura 45 – Intervalo de confiança bicaudal contido pela faixa de avaliação intermediária.

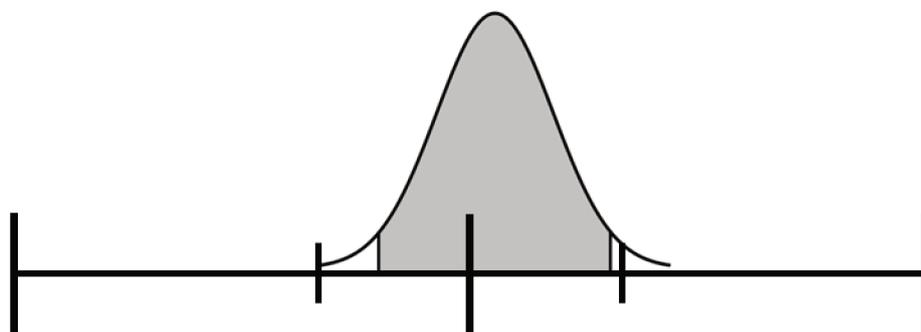
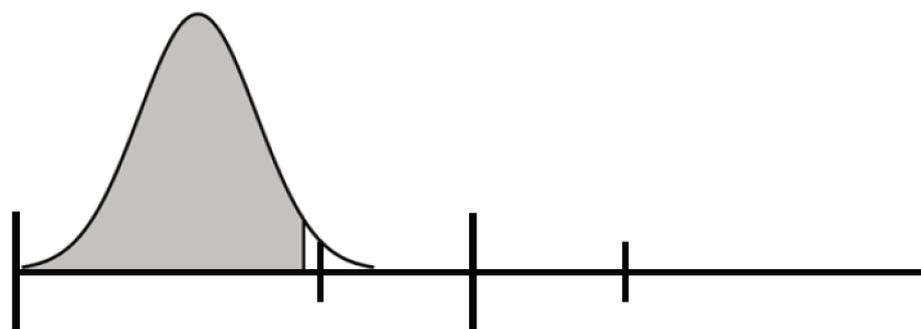
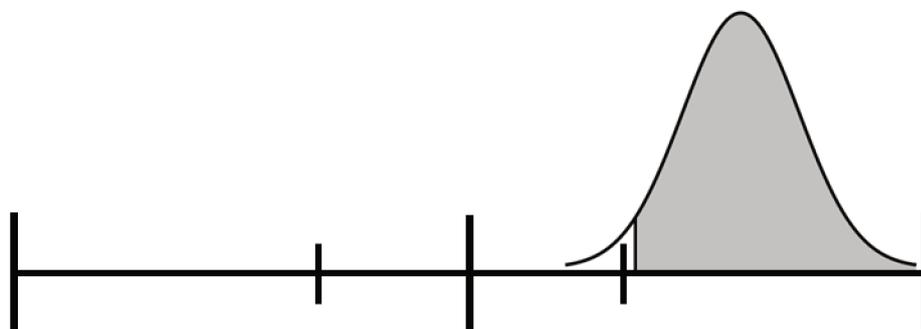


Figura 46 – Intervalo de confiança unicaudal contido pela faixa de avaliação inferior.



Caso a média esteja localizada na faixa de avaliação superior, que indica que a concepção avaliada atende o critério de avaliação de maneira melhor, o intervalo de confiança apresentará apenas um valor mínimo. É considerado que a equipe atingiu CPIC quando o intervalo de confiança estiver completamente à direita da fronteira superior, Figura 47.

Figura 47 – Intervalo de confiança unicaudal contido pela faixa de avaliação superior.

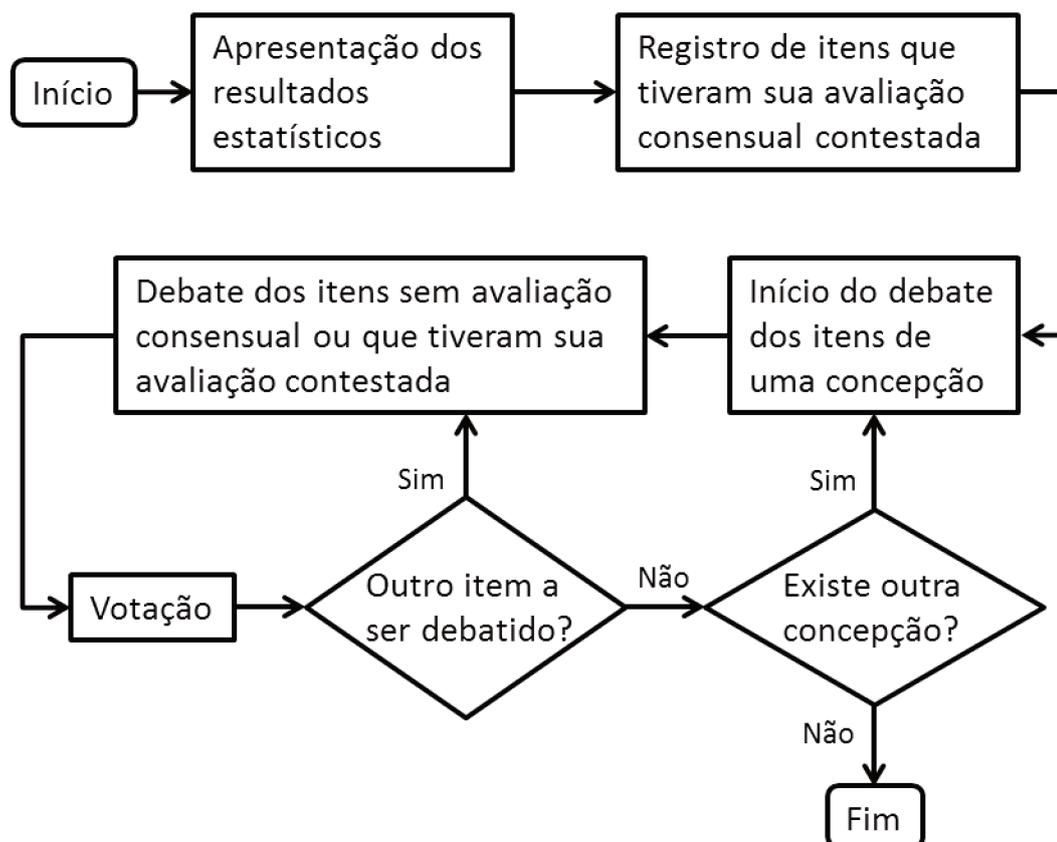


É esperado que para alguns itens os dois critérios indiquem consenso, mas não para todos. Recomenda-se que durante a apresentação dos resultados para a equipe esteja explícito, para cada item, com quais critérios foi identificado consenso.

6.2.4 Reunião de debate e avaliação das concepções

A reunião de debate deve ser iniciada com a apresentação dos resultados estatísticos. Em seguida é feito o debate sobre a avaliação dos itens em que não se atingiu consenso ou que teve sua avaliação consensual contestada. Após cada debate é feita uma votação para determinar a avaliação do item. Ao final da reunião a avaliação comparativa das concepções é concluída, Figura 48.

Figura 48 – Fluxograma das atividades executadas na etapa de reunião de debate e avaliação das concepções

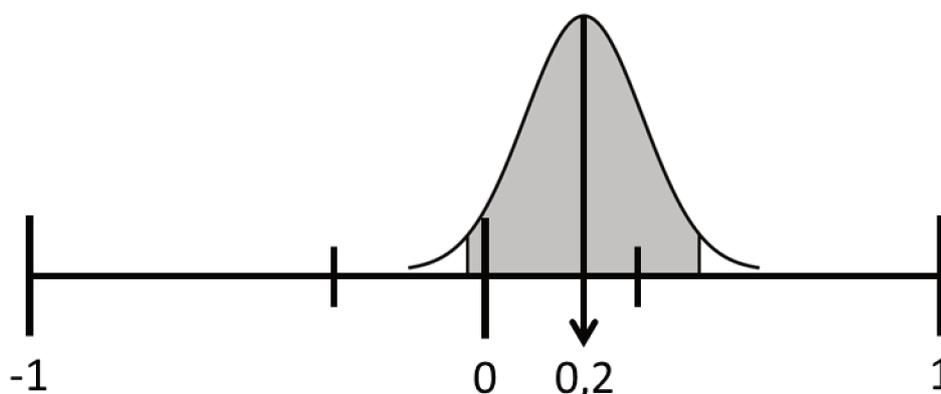


Apresentam-se os critérios de consenso utilizado na análise, os itens em que foi possível identificar o consenso e os valores médios de cada item avaliado que não atingiu consenso, Figura 49.

Apesar de ter sido identificado consenso, os membros da equipe podem e devem contestar caso não aceitem a atribuição de uma das notas em que foi atingido consenso. Se houver a contestação da avaliação de um ou mais itens, a avaliação dos mesmos será debatida na reunião conjuntamente dos itens em que não foi identificado consenso.

Caso a equipe sinta necessidade de debater sobre muitos itens nos quais o consenso só foi identificado por um dos dois critérios, a equipe pode desconsiderar o consenso de todos os itens identificado apenas através deste critério.

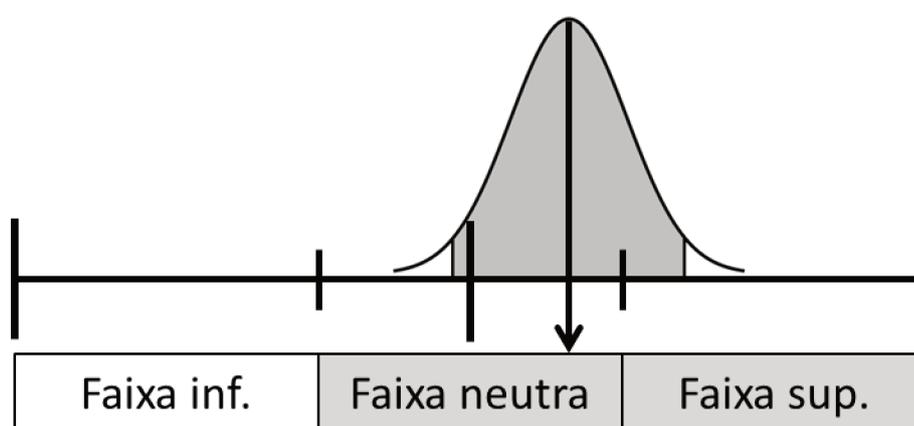
Figura 49 – Valor médio do conjunto de avaliações individuais de um item em que não foi possível determinar consenso.



O debate dos itens em que não foi possível identificar consenso ou que teve seu consenso contestado deve ser executado de forma ordenada. É preferível que sejam debatidos sequencialmente itens de uma mesma concepção para evitar a comparação direta entre concepções que não sejam a referência.

Para cada item debatido deve-se primeiramente verificar se algum membro da equipe discorda da avaliação atribuída a partir da média de suas avaliações individuais, no caso a avaliação da faixa em que a média está localizada, Figura 50. Caso nenhum membro discorde da avaliação, ela é atribuída ao item e o debate prossegue para o debate do item seguinte.

Figura 50 – Avaliação atribuída a partir do valor médio das avaliações individuais.



Caso algum membro discorde da avaliação, esse membro deve apresentar os argumentos que o levaram a discordar da avaliação, expor sua avaliação e justificá-la para os outros membros da equipe. Após a conclusão de sua justificativa, outros membros podem se expressar apresentando novos argumentos, para contestar o resultado estatístico ou a justificativa dada por algum membro, assim como apresentar

sua avaliação e justificativas para a avaliação do item.

O processo é repetido até que a equipe não tenha novos argumentos ou justificativas a serem apresentados. Em seguida é feita uma votação entre os membros presentes para identificar se a concepção estudada atende o critério de comparação de maneira melhor, pior ou semelhante do que a concepção de referência para o item debatido. A avaliação com maior número de votos é atribuída ao item e prossegue-se para o debate do item seguinte.

Ao final do debate de todos os itens é feita a soma dos conceitos atribuídos para cada concepção. A concepção que apresentar a maior soma é aquela que é mais propícia a atender os critérios de avaliação.

6.2.5 Análise da avaliação e seleção da concepção mais adequada

Após a conclusão da avaliação das concepções, os responsáveis pelo projeto devem se reunir para fazer a seleção da concepção que será desenvolvida no projeto preliminar, podendo ser incluído o contratante do projeto. Além da avaliação das concepções, devem-se considerar as viabilidades técnicas e legais de execução do projeto.

6.3 EXECUÇÃO

Conforme relatado no Seção 1.3, no projeto da Celesc o esclarecimento das concepções para a avaliação final estava em andamento, mas estava sendo feito por times distintos e sem definição de quais seriam os critérios de avaliação das concepções.

A equipe selecionou um grupo de pessoas do projeto para planejar a apresentação das concepções e seu processo de avaliação. O planejamento da apresentação incluía nivelar as informações apresentadas para cada concepção, visando evitar que a falta ou excesso de informação pudesse introduzir viés a avaliação comparativa das concepções. O grupo foi composto por três integrantes, dois engenheiros mecânicos e um graduando em engenharia elétrica, de três times de esclarecimento das concepções.

Buscando propor questões que pudessem ser respondidas para todas as concepções, o grupo se reuniu e, através de um *brainstorming* foram geradas quinze questões a partir dos requisitos de usuário e requisitos de projeto e de sete questões a partir dos testes com as maquetes, Anexo A.

Os questionários foram enviados aos times aprofundando e esclarecendo informações das concepções. Um membro de cada time ficou encarregado de devolver o questionário respondido pelo seu time. Após o preenchimento dos questionários, cada membro que havia ficado encarregado de devolver um dos questionários analisou as

respostas dadas pelos outros times e pediu ajustes. Com a conclusão dos ajustes, os documentos com as respostas ao questionário foram enviados para todos da equipe.¹

Dando continuidade ao planejamento da apresentação, foi necessário buscar um horário para a apresentação das concepções em que a previsão do tempo fosse favorável e que maioria dos membros com mais experiência em projeto pudessem comparecer.

A apresentação das concepções foi realizada no período matutino de um dia ensolarado, necessário para a apresentação das maquetes na rede de testes, com a presença de 17 dos 26 integrantes da equipe e uma duração de 90 minutos. A maioria dos professores do projeto pôde comparecer, inclusive de outras cidades.

Devido à restrição de tempo para a apresentação das quatro concepções, foi decidido que a apresentação iria se limitar a exemplificação do funcionamento das concepções com uso das maquetes e esclarecimento de dúvidas relativas à própria apresentação e a respostas dos questionários. Foi decidido utilizar os requisitos de usuário como critério de avaliação das concepções.

A apresentação das concepções foi concluída conforme planejado. Ela foi iniciada pela apresentação da folha de avaliação seguida da apresentação concepção de referência e esclarecimento de dúvidas relativas a esta concepção. Para cada uma das outras concepções foi feita sua apresentação, esclarecimento de dúvidas e por fim sua avaliação individual.

Ao final da última avaliação individual foi questionado aos participantes se as avaliações de outras concepções influenciaram a avaliação de uma nova concepção.

As folhas de avaliação individual foram recolhidas. Posteriormente as avaliações foram convertidas para valores numéricos e registradas em uma planilha digital. Através da planilha, para cada item foi feita a contagem de cada opção de avaliação, para identificação de CPM, assim como calculado a média e desvio padrão das avaliações individuais.

Para a identificação CPIC foram utilizadas uma probabilidade de 90% e fronteiras nos valores de $(- 1/3)$ e $(1/3)$ da escala de avaliação, proporcionando faixas de avaliação com a mesma extensão. Adicionalmente foi feita a contagem de votos a respeito da interferência da avaliação de uma concepção na avaliação de outra concepção.

Para cada item foi identificado se o conjunto de avaliações individuais atingiu consenso através de cada um dos critérios. Caso não fosse identificado consenso era feito o registro do valor médio das avaliações individuais, caso fosse identificado consenso por um dos critérios era feito registro da avaliação consensual da equipe. Foi usado um padrão de cores para identificar através de quais critérios de consenso este foi atingido, Tabela 9.

¹ Os questionários preenchidos não estão disponíveis por questão de sigilo.

Por fim foi realizada a reunião de debate e avaliação das concepções com 15 dos 26 integrantes da equipe em um período de 60 minutos, com a presença de apenas um professor. Após a apresentação dos critérios de consenso e dos resultados da análise estatística, os participantes da reunião aceitaram todas as avaliações dos itens em que foi identificado consenso. O debate dos itens em que não foi identificado consenso prosseguiu conforme o método, Seção 6.2.4. Com a conclusão do debate foram alteradas as avaliações de alguns itens.

Entre a apresentação das concepções e a reunião de debate e avaliação das concepções foi gerada uma nova concepção, a concepção “roda balão dupla”. Esta concepção incluía características de duas das concepções apresentadas, a concepção de referência e a concepção “roda balão”. Foram selecionados três integrantes para definir algumas características desta concepção e fazer sua pré-avaliação comparativa em relação à concepção de referência.

A pré-avaliação da concepção “roda balão dupla” foi apresentada ao final do debate dos itens das outras concepções na reunião de debate e avaliação. Após sua apresentação os participantes da reunião debateram sobre a avaliação de todos os seus itens em um período de 30 minutos. Com a conclusão do debate desta concepção determinou-se a avaliação de cada concepção.

Foi identificado que a concepção “drone”, que apresentou a melhor avaliação, poderia apresentar empecilhos legais relativos ao seu uso e dificuldade de atender o critério contratual de inovação. Por estes motivos foi selecionada a concepção que apresentou a segunda melhor avaliação, a concepção “roda balão dupla”.

6.4 RESULTADOS

Através da análise estatística foi possível identificar consenso em 45 dos 69 itens avaliados, Tabela 9. Destes itens, em 33 foi identificado consenso pelos dois critérios, em 9 apenas pelo critério de CPM e em 3 itens apenas pelo critério de CPIC.

A execução do método proposto proporcionou a identificação de consenso para 65% das avaliações dos itens, para todos estes itens foi aceita a avaliação através do consenso identificado.

Tabela 9 – Avaliação das concepções antes de ser feito o debate.

Requisitos de usuário		R.B.	T.L.	Drone
1. Não romper o cabo condutor		0	0.294	1
2. Não colidir com linha ou componentes		-0.059	0.412	0.412
3. Guardar informação		0	0	0
4. Transposição classe II - Alta complexidade		1	0.294	1
5. Ter inovação		0.412	0.059	-0.353
6. Ser fácil de instalar o robô na rede		-0.353	0	1
7. Monitoramento teleoperado assistido		0	0	0.235
8. Ter câmera visual e térmica		0	0	0
9. Ser compacto para transporte		-1	1	1
10. Ter vendibilidade		0	0	0.529
11. Não cair		1	-0.176	0.176
12. Ser seguro para o operador	Ref.	0	0	0
13. Deslocar sobre a rede no plano inclinado		-0.059	0	1
14. Fácil operação do robô na rede		-0.059	0.294	0.471
15. Operar isolado da rede		0	0	1
16. Deslocar sobre a rede no plano horizontal		0	0	1
17. Longo tempo de operação		0	0	-0.471
18. Ser teleoperado		0	0	0.353
19. Transposição classe I - Baixa complexidade		0.352	0.059	1
20. Ter movimento assistido		0	0	0.294
21. Ser robusto		-0.235	0	0.176
22. Ter georreferenciamento		0	0	0
23. Analisar fotos		0	0	0

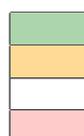
Legenda:

Apenas CPIC

Apenas CPM

CPIC e CPM

Consenso não identificado



Foi feito debate dos 24 itens em que não foi possível identificar consenso entre as avaliações individuais. Através do debate foram mantidas as avaliações a partir do valor médio das avaliações individuais de 14 destes itens, Tabela 10. Ao fim do debate apenas 10 itens tiveram sua avaliação alterada, representando 14,5% do total de itens avaliados.

H

Tabela 10 – Avaliação das concepções depois de ser feito o debate.

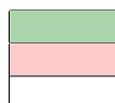
Requisitos de usuário		R.B	T.L.	Drone
1. Não romper o cabo condutor		0	0	1
2. Não colidir com linha ou componentes		-1	0	1
3. Guardar informação		0	0	0
4. Transposição classe II - Alta complexidade		1	1	1
5. Ter inovação		1	0	-1
6. Ser fácil de instalar o robô na rede		0	0	1
7. Monitoramento teleoperado assistido		0	0	0
8. Ter câmera visual e térmica		0	0	0
9. Ser compacto para transporte		-1	1	1
10. Ter vendibilidade		0	0	1
11. Não cair		1	-1	-1
12. Ser seguro para o operador	Ref.	0	0	0
13. Deslocar sobre a rede no plano inclinado		0	0	1
14. Fácil operação do robô na rede		0	-1	1
15. Operar isolado da rede		0	0	1
16. Deslocar sobre a rede no plano horizontal		0	0	1
17. Longo tempo de operação		0	0	0
18. Ser teleoperado		0	0	1
19. Transposição classe I - Baixa complexidade		1	0	1
20. Ter movimento assistido		0	0	1
21. Ser robusto		0	0	0
22. Ter georreferenciamento		0	0	0
23. Analisar fotos		0	0	0

Legenda:

Manteve avaliação a partir do valor médio

Alterou avaliação a partir do valor médio

Consenso aceito



6.5 DISCUSSÃO

Esta seção foi organizada em tópicos para facilitar sua leitura e compreensão das informações apresentadas a seguir.

6.5.1 Considerações iniciais

Projetos de sistemas robóticos no meio acadêmico geralmente apresentam um alto nível de inovação. No meio acadêmico também é usual que um grupo de pesquisa apresente uma alta rotatividade de membros. Em adição a estes fatos, muitas vezes o projeto de sistemas robóticos é desenvolvido para uma área de atuação específica. Estes motivos dificultam que a equipe de projetos avalie as concepções de produto de maneira quantitativa. Por este motivo foi selecionado o método de Pugh para a avaliação qualitativa das concepções.

No método de Pugh faz-se uso de uma escala ordinária no processo de comparação da concepção avaliada com a concepção de referência. Apesar de utilizar uma escala ordinária, o processo de avaliação das concepções pelo método faz uso de operações aritméticas. Por este motivo considerou-se válido o uso da média e desvio padrão para determinar respectivamente a tendência central e dispersão do conjunto de avaliações individuais.

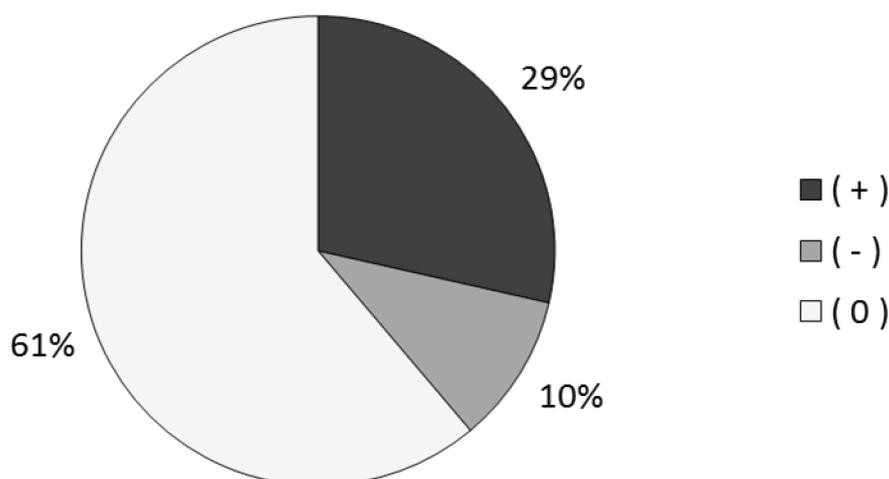
6.5.2 Predominância de avaliações neutras

A escala ordinal utilizada no método apresenta uma opção de avaliação neutra, em que se considera que as duas concepções atendem ao critério de avaliação de maneira similar. Devido à proximidade desta opção de resposta com a incapacidade de comparar as concepções, ou identificar diferença entre as concepções, foi considerado que para o processo de avaliação individual não havia necessidade de incluir uma opção de resposta nula.

Durante a aplicação do método, foi instruído aos participantes que fizessem registro de avaliação neutra caso tivessem dificuldade de comparar duas concepções em relação a um critério de avaliação. Majoritariamente, e em um caso de maneira unânime, os participantes da etapa de avaliação individual desconsideraram o uso de 5 dos 23 critérios de avaliação. Em outras palavras, foi considerado que todas as concepções atendiam estes cinco critérios de avaliação de maneira semelhante.

Para outros itens avaliados também houve uma grande contagem de avaliações neutras, de maneira que esta opção de avaliação foi predominante durante o processo de avaliação individual, Figura 51.

Figura 51 – Distribuição das avaliações individuais.



Estes motivos favoreceram que em 33 dos 45 itens em que foi identificado consenso do conjunto de avaliações individuais recebessem avaliações neutras.

6.5.3 Divergência de resultados para critérios de consenso distintos

É esperado que os dois critérios de consenso apresentem resultados distintos para um mesmo conjunto de avaliações individuais. Para uma amostra com 17 avaliações individuais, o critério de CPM identificará consenso quando 12 das 17 avaliações apresentarem a mesma avaliação, independente das outras avaliações dadas. O critério de CPIC permite a identificação de consenso com um número menor de avaliações idênticas. Entretanto, este critério depende também da contagem das outras opções de avaliação, ou seja, da distribuição das avaliações individuais.

Para uma amostra com 17 avaliações individuais em que a maioria das avaliações está em um dos extremos da escala de avaliação, o critério de CPIC permite identificar consenso com apenas 9 das 17 avaliações, Tabela 11. Porém deve-se observar que tanto para 9 quanto para 10 avaliações em um dos extremos, é necessário que todas as outras avaliações sejam neutras para que o consenso seja identificado. Este critério indicará consenso independente das outras avaliações dadas quando pelo menos 14 das 17 avaliações se localizarem em um dos extremos da escala de avaliação.

Tabela 11 – Identificação de avaliação positiva com CPM e CPIC para contagens de voto distintas

Contagem			P. Estatísticos		IC Unicaudal
+1	-1	0	Média	Desv. P.	Lim. Inf.
14	3	0	0.647	0.786	0.392
13	4	0	0.529	0.874	0.246
13	3	1	0.588	0.795	0.330
13	2	2	0.647	0.702	0.419
12	0	5	0.706	0.470	0.554
12	1	4	0.647	0.606	0.450
12	2	3	0.588	0.712	0.357
12	3	2	0.529	0.800	0.270
11	3	3	0.470	0.800	0.211
11	2	4	0.529	0.717	0.297
11	1	5	0.588	0.618	0.388
11	0	6	0.647	0.492	0.487
10	1	6	0.529	0.624	0.327
10	0	7	0.588	0.507	0.428
9	0	8	0.529	0.514	0.363

Legenda:

CPM aceito

CPIC aceito



Caso fosse utilizado um valor percentual para o CPM equivalente à probabilidade do critério de CPIC, o critério de CPM apresentaria um número de itens com consenso identificado inferior. Para valores percentuais elevados a identificação de CPM poderia ser inviabilizada, motivo pelo qual é usual utilizar percentuais inferiores a 80% em uma ou duas opções de avaliação para identificar consenso (ULSCHAK, 1983; GREEN, 1982)

Para efeito de comparação com o critério de CPM, caso 12 das 17 avaliações se localizarem em um dos extremos da escala de avaliação, é necessário que no máximo 2 avaliações estejam localizadas no outro extremo da escala de avaliação para que seja identificado CPIC.

A análise da contagem de avaliações individuais é similar na identificação de CPIC para uma avaliação neutra, mas identifica consenso para outras distribuições das avaliações, Tabela 12. Isso acontece em parte devido à escolha do posicionamento das fronteiras da escala de avaliação.

Tabela 12 – Identificação de avaliação média com CPM e CPIC para contagens de voto distintas

Contagem			P. Estatísticos		IC Bicaudal	
+1	-1	0	Média	Desv. P.	Lim. Sup.	Lim. Inf.
2	0	15	0.118	0.332	0.258	-0.023
3	0	14	0.176	0.393	0.343	0.010
2	1	14	0.0589	0.429	0.240	-0.122
4	0	13	0.235	0.437	0.420	0.050
3	1	13	0.118	0.485	0.323	-0.088
5	0	12	0.294	0.470	0.493	0.095
4	1	12	0.176	0.529	0.400	-0.047
3	2	12	0.059	0.556	0.294	-0.176
4	2	11	0.118	0.600	0.372	-0.136
3	3	11	0	0.612	0.259	-0.259
4	3	10	0.059	0.659	0.338	-0.220
4	4	9	0	0.707	0.299	-0.299
5	5	7	0	0.791	0.335	-0.335

Legenda:

CPM aceito

Limite do IC dentro da faixa neutra



Para as fronteiras selecionadas (-1/3, 1/3) a distância da avaliação neutra para uma das fronteiras equivale à metade da distância de uma avaliação no extremo da escala de avaliação para a fronteira mais próxima. Devido este fato, quando as avaliações individuais se concentram entre uma avaliação extrema e a avaliação neutra, é mais difícil identificar CPIC para uma avaliação neutra do que para uma avaliação em um dos extremos da escala de avaliação.

Para uma amostra de 17 avaliações individuais contendo 12 avaliações neutras, só será identificado consenso caso as demais avaliações estejam distribuídas homogeneamente entre as outras opções de avaliação.

Comparando a identificação de consenso através dos dois critérios propostos, percebe-se que ocorreu divergência na identificação de consenso quando a maioria das avaliações individuais se concentrava entre duas opções vizinhas da escala de avaliação. O critério de CPM apresentou uma maior facilidade para identificar consenso de avaliação neutra. O critério de CPIC apresentou uma maior facilidade de identificar consenso de avaliação nos extremos da escala de avaliação.

6.5.4 Possibilidade de ajuste do consenso pelo posicionamento do intervalo de confiança através do posicionamento das fronteiras

É importante observar que para o critério de CPIC, através do ajuste do posicionamento das fronteiras é possível ajustar a facilidade de identificação de consenso de cada opção de avaliação. Com as fronteiras posicionadas em $(-1/3, 1/3)$, uma probabilidade de 90% para o intervalo de confiança e uma amostra de 17 avaliações individuais, existem 15 combinações de contagem das avaliações individuais para que seja identificado o CPIC de avaliação neutra. Para identificar o consenso de avaliação de cada um dos extremos da escala de avaliação nas mesmas condições, existem 20 combinações.

Alterando-se o posicionamento das fronteiras para $(-4/10, 4/10)$ o número de combinações de contagem para avaliação consensual neutra passa a ser 21, para avaliação consensual em cada um dos extremos o número de combinações de contagem passa a ser 16.

Apesar de existir a possibilidade de ajuste do posicionamento das fronteiras, para este método recomenda-se utilizar as fronteiras posicionadas em $(-1/3, 1/3)$, proporcionando faixas de avaliação de mesma extensão. Esta recomendação é dada devido a dois fatores: a predominância de avaliações neutras e o uso de critérios de consenso complementares. A identificação de CPM independe do posicionamento das fronteiras e a equipe de projeto tem no total quatro opções para identificar itens com avaliação consensual:

- Aceitar apenas o consenso de itens que apresentaram CPM e CPIC;
- Aceitar apenas o consenso de itens que apresentaram CPM;
- Aceitar apenas o consenso de itens que apresentaram CPIC;
- Aceitar o consenso de itens que apresentaram CPM ou CPIC;

6.5.5 Avaliação comparativa entre concepções que não são a concepção de referência

Sobre a avaliação individual das concepções, apesar de ter sido enfatizado de que a avaliação deveria ser executada através da comparação direta entre a concepção recém-apresentada e a concepção de referência, 10 dos 17 participantes assinalaram que avaliações de outras concepções influenciaram a avaliação de uma nova concepção.

Por discordarem que duas concepções receberiam a mesma avaliação por atender o critério de avaliação de maneira melhor ou pior do que a concepção de referência, alguns participantes verbalizaram sua necessidade de que houvesse mais opções de avaliação. Também houve casos em que alguns participantes alteraram a avaliação de uma concepção após a apresentação de uma nova concepção.

Analisando o comportamento dos participantes durante a avaliação individual, observaram-se dois fatores que podem ter influenciado a comparação entre concepções avaliadas, no caso concepções que não são a referência.

A folha de avaliação continha uma coluna para a avaliação de todas as concepções em uma única folha, Anexo B. Isso permitiu que os participantes verificassem suas avaliações anteriores durante a avaliação de uma nova concepção.

Outro ponto que favorece a comparação cruzada das concepções avaliadas foi a apresentação sequencial destas. Apesar de serem reapresentadas informações da concepção de referência durante o esclarecimento de dúvidas, de maneira geral as informações mais recentes não são relativas à concepção de referência.

Uma alternativa para minimizar a influência da comparação entre concepções que não sejam a concepção de referência é o uso de múltiplas folhas de avaliação, no caso uma para cada concepção comparada com a concepção de referência. Ao final da avaliação de cada concepção poderia ser feito o recolhimento das folhas de avaliação, limitando o acesso às avaliações feitas anteriormente e impossibilitando a alteração de avaliações dadas.

Outra medida poderia ser o uso de formulários online para as avaliações individuais, um para cada concepção avaliada em relação à concepção de referência. Estes deveriam conter apenas documentos com informações da concepção avaliada e da concepção de referência e serem preenchidos periodicamente. Porém esta medida limita o esclarecimento de dúvidas e necessitaria que a avaliação das concepções fosse realizada durante um maior intervalo de dias.

Em trabalhos futuros pode ser estudada a aplicação de uma análise estatística de um conjunto de avaliações individuais realizadas através de outra ferramenta de avaliação, no caso diferente do método de Pugh.

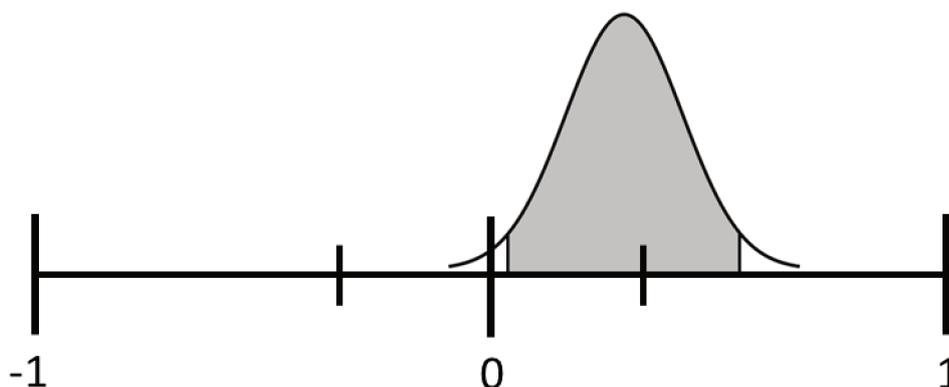
6.6 CONCLUSÕES PARCIAIS

A concepção “roda balão dupla” foi avaliada apenas pelos participantes da reunião de debate e fechamento. Em contrapartida, o método proposto permitiu que todos os integrantes da equipe de projeto participassem da avaliação das concepções que seguiram todas as etapas do método. Com auxílio das avaliações médias o debate e avaliação destas concepções ocorreram de forma fluida. O debate dessas concepções foi concluído em apenas 60 minutos, 30 minutos a menos do que o planejado.

A reunião de debate foi realizada com um número inferior de integrantes da equipe de projeto em relação à etapa de avaliação individual, inclusive com integrantes distintos entre as duas etapas. Apesar disto, foram aceitas todas as avaliações consensuais obtidas pelo método proposto. Considerando que foi possível identificar consenso de avaliação de uma parcela considerável dos itens avaliados, pode-se concluir que a execução do método proposto teve bons resultados.

Um ponto a se observar é que para um dos 69 itens avaliados ocorreu uma mudança extrema de sua avaliação. O item apresentava uma avaliação média próxima à fronteira superior da escala de avaliação no valor de (0,294), Figura 52. Apesar de que o intervalo de confiança estar inteiramente posicionado na região positiva da escala de avaliação, após o debate este item recebeu a avaliação (-1).

Figura 52 – Consenso indeterminado indicando uma avaliação neutra ou positiva.



Na reunião de debate e fechamento não estavam presentes cinco das seis pessoas que, durante a avaliação individual, identificaram que a concepção avaliada atendia o critério de avaliação deste item de maneira melhor do que a concepção de referência. Este é um risco da aplicação do método. Para prevenir que ele aconteça pode-se evitar que durante o debate sejam feitas sugestões de avaliação de faixas de avaliação que não possuem intersecção com o intervalo de confiança.

A existência de influência da avaliação de uma concepção sobre a avaliação de outras concepções também é um ponto de melhoria.

O método de Pugh foi selecionado para o processo de avaliações de concepções de sistemas robóticos no meio acadêmico por apresentar uma avaliação objetiva através da comparação das concepções com uma concepção de referência.

O uso de um maior número de opções para a avaliação comparativa das concepções inclui subjetividade ao processo de avaliação. É necessário definir quão melhor ou pior a concepção atende ao critério de avaliação em relação à concepção padrão. Isto poderia permitir ranquear as concepções avaliadas sem estimar valores de suas características técnicas.

A subjetividade existente em ranquear as concepções quando se tem dificuldade de estimar valores de suas características técnicas é o motivo pelo qual Pahl et al. (2007) não recomenda o uso da matriz de avaliação para estes casos. Por estes motivos não é recomendado o uso de um maior número de opções de avaliação através do método de Pugh no projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas conclusões sobre os métodos desenvolvidos nesta dissertação, assim como sugestões para trabalhos futuros envolvendo estes métodos.

7.1 CONCLUSÕES

Através da aplicação dos três métodos desenvolvidos neste trabalho, foi possível constatar de que eles são apropriados para o projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico.

Dos três métodos, o método de conversão sistemática de requisitos de usuário em requisitos de projeto é o único que apresenta a maioria de suas etapas sendo executada por uma fração da equipe. A divisão da conversão em três etapas subsequentes com atividades bem definidas permitiu que um grupo de participantes com pouca experiência prévia determinassem requisitos de projeto similares aos obtidos durante a execução do projeto da Celesc. Em contrapartida o método apresenta um custo de tempo elevado. Esses motivos fazem com que o método de conversão sistemática de requisitos de usuário em requisitos de projeto seja indicado para equipes em que poucos membros possuem experiência com metodologias prescritivas.

O método de avaliação estatística para seleção de concepções apresenta um conjunto de atividades para que as concepções sejam apresentadas à equipe de projeto com o mesmo nível de informação. Pelo fato de ser feita uma avaliação individual antes de dar início ao debate sobre as avaliações das concepções, integrantes da equipe de projeto com uma maior restrição de horário podem ter uma maior participação na avaliação das concepções. O método também apresenta uma avaliação qualitativa das concepções. Esses motivos fazem com que o método de avaliação estatística para seleção de concepções seja indicado para equipes de projeto grandes e/ou para projetos em que é difícil mensurar parâmetros para a avaliação das concepções.

O método para priorização semipresencial dos requisitos de projeto faz uso de consenso estatístico para avaliar a relação dos requisitos de projeto com requisitos de usuário. O método permite que toda a equipe de projeto participe da priorização dos requisitos de projeto através da etapa de avaliação individual remota. Através da aplicação do método, é possível focar o debate em itens que apresentaram uma maior divergência de opiniões sobre sua avaliação, podendo proporcionar uma maior agilidade na priorização dos requisitos de projeto. É provável que para um maior número de itens avaliados, maior será a redução de tempo para concluir a priorização dos requisitos de projeto em relação à priorização através de reuniões sucessivas da equipe de projeto. Esses motivos fazem com que o método de priorização semipresencial dos requisitos de projeto seja indicado para equipes de projeto grandes e/ou para projetos

com um elevado número de requisitos de projeto e requisitos de usuário.

Apesar de terem sido desenvolvidos para o projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico, os três métodos podem ser aplicados para outros projetos, devendo ser observadas as indicações de uso de cada método.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do desenvolvimento e aplicação dos métodos foram observados alguns pontos que poderiam ser desenvolvidos em trabalhos futuros. A seguir são apresentados estes pontos.

7.2.1 Integração dos três métodos propostos a um software

Os três métodos desenvolvidos apresentam atividades que podem ser executadas por um software e fazem uso de informações em comum com pelo menos um dos outros dois métodos. Por estes motivos, a integração dos três métodos a um software pode tornar a aplicação dos métodos mais ágil.

Para o método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto existem alguns pontos que podem ser beneficiados pela integração a um software, apresentados a seguir:

- Preparação de listas e matrizes utilizadas como material de apoio;
- Preenchimento das propostas de requisito de projeto;
- Preenchimento das denominações finais e unidade de medição dos requisitos de usuário;
- Realizar análise da conversão sistemática de maneira automática.

A preparação automática do material de apoio diminui consideravelmente o tempo investido pelo facilitador entre as etapas do método. Caso o material de apoio seja fornecido aos participantes da dinâmica através de uma interface gráfica, é possível utilizar um sistema de banco de dados atualizável para fornecer sugestões de preenchimento de propostas de requisitos de projeto, denominações finais e unidades de medição dos requisitos de projeto.

A análise da conversão sistemática demanda muito tempo e atenção para ser realizada manualmente, mas com auxílio de um software dedicado esta análise pode ser feita rapidamente e com precisão. Neste método, a análise pode ser utilizada para auxiliar a identificação de requisitos de projeto com elevada relação entre si, assim como auxiliar a identificação de requisitos de usuário que não estejam bem caracterizados pelos requisitos de projeto sintetizados.

Para o método de priorização semipresencial dos requisitos de projeto, a análise da conversão sistemática poderia ser utilizada para pré-avaliar ou restringir parcialmente as opções de avaliação da relação dos requisitos de usuário com os requisitos de projeto. Porém esta abordagem deve ser feita com cautela.

É importante lembrar que a conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto não prevê a identificação completa da relação entre as propostas com os requisitos de projeto. Ela pode ser utilizada para indicar a existência de relação, mas não para quantificar a relação entre os requisitos de projeto com os requisitos de usuário.

Outro fator de risco é o fato de que este método é realizado com uma pequena parcela da equipe de projeto. As relações identificadas entre os requisitos de usuário e de projeto através da análise da conversão sistemática não necessariamente representam a avaliação da equipe.

O método de avaliação estatística para seleção de concepções é beneficiado principalmente através do uso de interface gráfica e registro online para a avaliação individual das concepções. Com a introdução automática dos dados ao software, pode-se fazer a análise estatística das avaliações individuais rapidamente. Caso fosse do interesse da equipe, a etapa de apresentação e avaliação individual das concepções poderia ser realizada em conjunto com a etapa de debate.

Para o método de priorização semipresencial dos requisitos de projeto, o software também pode auxiliar em suas atividades não presenciais. Pode-se automaticamente gerar e enviar os formulários para as avaliações individuais, realizar a análise estatística e fornecer a avaliação global da análise estatística durante o preenchimento dos formulários. Também é possível automatizar o envio dos resultados da análise estatística e incluir uma interface gráfica para auxiliar a verificação e atualização das avaliações durante o debate.

7.2.2 Adaptação do método de priorização dos requisitos de projeto para avaliar relação entre requisitos de projeto

A priorização dos requisitos de projeto é parte da avaliação dos requisitos de projeto feita na matriz casa qualidade. Para concluir a avaliação dos requisitos de projeto, é necessário avaliar a relação que cada requisito de projeto apresenta com os demais, sendo realizada no campo 7 da matriz casa qualidade, Seção 2.2.2.

A relação entre requisitos de projeto busca identificar se a otimização de um requisito de projeto dificulta, facilita ou é indiferente para que seja atingido o objetivo de outro requisito, geralmente sendo utilizados respectivamente os símbolos (-), (+), (0). Por este motivo, a identificação da relação entre requisitos de projeto apresenta um conjunto de características similares ao processo de avaliação das concepções através da matriz de Pugh.

O método proposto poderia ser adaptado para avaliar a relação entre os requisitos de projeto. As principais diferenças seriam as opções de resposta, escala utilizada para converter os valores numéricos e o posicionamento das fronteiras.

A principal semelhança da avaliação das concepções através da matriz de Pugh com a avaliação da relação entre requisitos de projeto é o fato de que a opção de avaliação intermediária é neutra. Isto faz com que a partir da avaliação neutra existam duas “direções de avaliação” (facilitar ou dificultar). Por fim, a avaliação da relação entre requisitos de projeto também visa identificar a “direção de avaliação”, não o quão grande é a relação.

Pelas semelhanças apresentadas com a avaliação das concepções através da matriz de Pugh, caso seja necessário avaliar a relação entre requisitos de projeto em trabalhos futuros recomenda-se utilizar:

- Três opções de resposta;
- Instruir o uso da resposta neutra como resposta nula;
- Escala numérica [-1, 0, 1] para a conversão das opções de respostas ordinais;
- Evitar que as faixas de avaliação apresentem extensões distintas;
- Utilizar CPIC na análise estatística;
- Realizar avaliação global da análise estatística.

Esta avaliação poderia ser incluída ao software descrito na seção 7.2.1.

REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, A. The Norris Brothers Ltd. morphological approach to engineering design—an early example of applied morphological analysis. **Acta Morphologica Generalis AMG Vol**, v. 3, n. 2, 2014.

ÁLVAREZ, A.; RITCHEY, T. Applications of general morphological analysis. **Acta Morph. Gen**, v. 4, n. 1, 2015.

BACK, N.; OGLIARI, A. **Desenvolvimento do Produto: Aspectos Gerais**. Florianópolis, SC, 2000. Apostila.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos**. 1. ed. [S.l.]: Editora Manoele Ltda., 2008. ISBN 978-85-204-2208-3.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. [S.l.]: Editora Blucher, 2000.

BONAMENTE, M. **Statistics and analysis of scientific data**. [S.l.]: Springer, 2017.

BORGES, C. L. Rodrigues; F. M. Pontos passíveis de melhoria no método de projeto de produto de Pahl e Beitz. **Gest. Prod.**, v. 17, n. 2, p. 271–281, 2010.

BURKE, E.; KLOEBER, J. M.; DECKRO, R. F. Using and abusing QFD scores. **Quality Engineering**, Taylor & Francis, v. 15, n. 1, p. 9–21, 2002.

CAMPOS, R. T. O.; MIRANDA, L.; GAMA, C. A. P.; FERRER, A. L.; DIAZ, A. R.; GONÇALVES, L.; TRAPÉ, T. L. Oficinas de construção de indicadores e dispositivos de avaliação: uma nova técnica de consenso. **Estudos e pesquisas em psicologia**, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 221–241, 2010.

CHRISTIE, C. A.; BARELA, E. The Delphi technique as a method for increasing inclusion in the evaluation process. **The Canadian Journal of Program Evaluation**, v. 20, n. 1, p. 105–122, 2005.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. Out. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

FRANCESCHINI, F.; RUPIL, A. Rating scales and prioritization in QFD. **International Journal of Quality & Reliability Management**, MCB UP Ltd, 1999.

GREEN, P. The Content of a College-Level Outdoor Leadership Course. ERIC, 1982.

GUIZZO, E. **What Is a Robot?** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://robots.ieee.org/learn/what-is-a-robot/>>. Acesso em: 6 de setembro de 2020.

HEIBERGER, R. M.; HOLLAND, B. **Statistical analysis and data display**. [S.l.]: Springer, 2004.

HESLIN, P. A. Better than brainstorming? Potential contextual boundary conditions to brainwriting for idea generation in organizations. **Journal of Occupational and Organizational Psychology**, Wiley Online Library, v. 82, n. 1, p. 129–145, 2009.

HEUMANN, C.; SCHOMAKER, M. **Introduction to statistics and data analysis**. [S.l.]: Springer, 2016.

HSU, C. C.; SANDFORD, B. A. The Delphi technique: making sense of consensus. **Practical Assessment, Research, and Evaluation**, v. 12, n. 1, p. 10, 2007.

IEEE. **Robots**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://robots.ieee.org/robots/>>. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

IONESCU, T.G. Mechanism and Machine Theory 38. *In*: [S.l.]: Elsevier, 2003. P. 607–901.

KITTELL-LIMERICK, P. **Perceived barriers to completion of the academic doctorate: A Delphi study**. [S.l.]: Texas A&M University-Commerce, 2005.

KNAPP, J.; ZERATSKY, J.; KOWITZ, B. **Sprint: O método usado no Google para testar e aplicar novas ideias em apenas cinco dias**. [S.l.]: Editora Intrínseca, 2017.

LORD, F. M. Further Comment on "Football Numbers". American Psychological Association, 1954.

- MINDTOOLS. **Brainwriting**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.mindtools.com/pages/article/newCT_86.htm>. Acesso em: 17 de setembro de 2019.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. [S.l.]: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2009.
- NORRIS, K. W. The morphological approach to engineering design. *In*: MACMILLAN. CONFERENCE on Design Methods. New York: [s.n.], 1963. P. 115–140.
- OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes plásticos injetados**. Jul. 1999. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.H. **Engineering design**. 3. ed. [S.l.]: Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-318-5.
- PENSO, C. C. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Produtos na Indústria de Alimentos**. Set. 2003. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- PEREZ, M. M. **Projeto conceitual de um instrumento para avaliar o estado de compactação do solo**. Abr. 2016. Diss. (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília/DF.
- PMI (Ed.). **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)/Project Management Institute**. 6. ed. [S.l.]: Project Management Institute, 2017. ISBN 9781628253917.
- ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Ago. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- SAURO, J. **PRIORITIZING UI IMPROVEMENTS: THE QFD**. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <<https://measuringu.com/qfd-ui/>>. Acesso em: 5 de julho de 2020.
- SAURO, J.; LEWIS, J. R. **Quantifying the user experience: Practical statistics for user research**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2016.

SCHUMACKER, R.; TOMEK, S. **Understanding statistics using R**. [S.l.]: Springer Science, 2013.

ULSCHAK, F. L. **Human resource development: The theory and practice of need assessment**. [S.l.]: Reston Pub. Co., 1983.

WASSERMAN, L. **All of statistics: a concise course in statistical inference**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

APÊNDICE A – ENTREVISTAS

Visando identificar características e dificuldades usuais de projeto de sistemas robóticos no meio acadêmico foram feitas entrevistas com participantes de projetos distintos. Neste apêndice são apresentadas as questões utilizadas para orientar a entrevista e um breve resumo sobre a entrevista feita para cada projeto.

Deve-se observar que para algumas das informações apresentadas não foram consultados registros oficiais dos projetos.

A.1 QUESTÕES UTILIZADAS PARA ORIENTAR AS ENTREVISTAS

Características do projeto:

Nome do projeto?

Qual era a função global do projeto?

- Qual era a principal função para a qual o projeto foi executado?

O projeto foi multidisciplinar?

- Quais áreas de conhecimento foram necessárias para o desenvolvimento do projeto?

Qual foi o motivo de execução do projeto?

- Ele foi desenvolvido para suprir uma necessidade de mercado que a empresa identificou?
- Foi desenvolvido para suprir uma necessidade tecnológica por parte do contratante?
- Foi desenvolvido para suprir demandas regulamentarias/legais?

Em que estágio está o projeto?

- O projeto já foi entregue?

Como foi feita a entrega do projeto? (Quais produtos entregues?)

O projeto conseguiu atender todos seus objetivos? (Satisfez as necessidades do usuário?)

- Já foi definido qual o conceito a ser desenvolvido?
- Foi feita a construção de um protótipo da concepção final?
- Conhecendo o desenvolvimento atual do projeto, você faria alguma alteração no planejamento do projeto?

Quais foram as dificuldades encontradas?

- Planejamento?
- Burocracia?
- Coordenação?
- Técnico?

Qual foi o tempo de execução do projeto?

- Foi necessário extensão do tempo de execução do projeto?
- Quais motivos de prorrogação do projeto?
 - Rotação da equipe?
 - Falta de experiência em uma das áreas de conhecimento?
 - Mudança de objetivos durante o desenvolvimento do projeto?

Características da equipe:

Qual era a composição da equipe?

- Quais as áreas de formação dos membros?
- Houve rotação de membros durante a execução do projeto?
- Ela foi composta por quantos membros?
 - Qual era a média de membros ativos no desenvolvimento do projeto?
 - Qual o total de membros que participou do desenvolvimento do projeto?
- O projeto fornecia bolsa para os membros?
 - Para que graus de escolaridade foram fornecidas bolsas?
 - Qual o número de bolsas por grau de escolaridade?
 - Houveram membros voluntários, que não receberam bolsas? Quantos? Qual o grau de escolaridade?
- Quantos membros já possuíam experiência com desenvolvimento de projetos ao ingressar na equipe?
- Quantos membros já haviam participado do projeto de um produto com função global similar?

Requisitos de projeto:

A equipe de projeto determinou quais eram os requisitos de projeto? (Parâmetros técnicos a serem atingidos para atender objetivos do projeto) Como foram determinados os requisitos de projeto? Como foi feita a priorização dos requisitos?

- Quantas reuniões foram necessárias para priorizar os requisitos? Quanto tempo?
- Como a equipe chegou a um consenso sobre a priorização?

Seleção e avaliação da concepção:

Quantas concepções foram geradas? (Opcional) Em quantas etapas foi realizado o processo de seleção da melhor concepção? Como foi feito o processo de seleção da melhor concepção?

- Quantas reuniões foram necessárias para selecionar a concepção? Quanto tempo?
- Como a equipe chegou a um consenso sobre a seleção?

Foi necessário escolher outra concepção?

- Quais os motivos que levaram a descartar o uso da concepção selecionada? (Dificuldade de realização tecnológica, modificação de objetivos de projeto, seleção de concepção enviesada, etc.)
- Foi necessário desenvolver uma nova concepção, que não havia sido listada/desenvolvida anteriormente?
- Como foi feito o processo de seleção da nova concepção?

A.2 RESUMO DAS ENTREVISTAS**A.2.1 PROJETO A**

Entrevistado: Henrique Simas.

Nome do projeto: projeto para manutenção de isoladores de rede de distribuição urbana.

Função global do sistema robótico: limpeza de isoladores de rede de distribuição urbana.

O projeto foi iniciado com o intuito de suprir uma necessidade tecnológica e demandas regulamentares/legais da Companhia Energética do Maranhão S.A. (CEMAR). Para o desenvolvimento do sistema robótico responsável pela remoção do salitre de isoladores foi necessário conhecimento de hidráulica, automação e robótica. O projeto atendeu todos seus objetivos e foi concluído através da entrega do protótipo desenvolvido.

O projeto demorou a ser iniciado devido à burocracias institucionais e de fundações. A inflação acumulada entre a submissão da proposta e início do projeto fez com que o orçamento planejado na data de submissão do projeto passasse a ser subestimado após o início do projeto. Apesar desta dificuldade a equipe de projeto conseguiu concluir a execução do projeto dentro do período previsto de 24 meses.

A equipe possuía em média 10 membros com formação em engenharia mecânica, engenharia elétrica ou engenharia de automação. Cinco dos dez membros já possuíam experiência com o desenvolvimentos de projetos ao ingressar na equipe, mas nenhum membro tinha experiência no desenvolvimento de um produto com função global similar. O projeto fornecia bolsa para professores, alunos de pós-graduação e possivelmente para alunos de graduação.

A determinação dos requisitos de projeto foram feitas através de entrevistas com representantes da CEMAR. Não foi feita a priorização dos requisitos de projeto.

O projeto foi iniciado com uma concepção parcialmente predeterminada. A concepção era composta por sistemas comerciais e adaptações para a interface desses sistemas e para que fossem atendidos os requisitos de projeto.

A.2.2 PROJETO B

Entrevistado: Henrique Simas.

Nome do projeto: projeto de sistema automatizado para manutenção de rotores de turbinas hidráulicas de grande porte.

Função global do sistema robótico: medição da cavitação e preenchimento por solda.

O projeto foi iniciado com intuito de suprir uma necessidade tecnológica e de mercado. Para o desenvolvimento do sistema robótico foi necessário conhecimentos de soldagem, metrologia, robótica, informática e projeto mecânico. O projeto atendeu todos seus objetivos e foi concluído em aproximadamente 78 meses através da entrega do protótipo desenvolvido.

O projeto sofreu com atrasos no repasse de verbas e atraso de compras. Do ponto de vista de inovação este foi um projeto criativo (BACK *et al.*, 2008). Foi necessário aplicar novos conhecimentos e desenvolver novas tecnologias, não presentes no mercado, para subsistemas deste sistema robótico. Estas dificuldades favoreceram que os 36 meses previstos para a execução do projeto não fossem suficientes para sua conclusão.

Ao longo do desenvolvimento do projeto a composição de sua equipe foi variada, mas geralmente seus membros possuíam formação em engenharia mecânica, engenharia de automação ou engenharia elétrica. A equipe era composta por pelo menos 15 membros e chegou a ser composta por 40 membros. É estimado que 70 pessoas tenham participado do desenvolvimento do projeto.

O projeto fornecia bolsas para professores, alunos de pós graduação e alunos de graduação. Também houve participação voluntária de alunos de graduação e possivelmente pós-graduação. Possivelmente oito membros já possuíam experiência com o desenvolvimento de projetos ao ingressar na equipe, mas nenhum membro já havia participado do projeto de um produto com função global similar.

A determinação dos requisitos de projeto e características desejadas foi feita através de visitas em campo, medições em campo e testes com maquetes em tamanho real (*mockup*). Não foi feita a priorização dos requisitos de projeto.

Foram geradas duas concepções cinemáticas para o sistema robótico: uma concepção PRP PRP-P-R e outra PRP-R-R. Através de testes com maquetes foi verificado que a concepção PRP-P-R não era adequada para solucionar o problema. O projeto deu continuidade ao desenvolvimento da concepção PRP-R-R.

A.2.3 PROJETO C

Entrevistado: Henrique Simas.

Nome do projeto: UFSCRVM – *Reverse vending machine* – Máquina de venda reversa para reciclagem de recipientes de bebidas.

Função global do sistema robótico: venda reversa de garrafas PET e latas de alumínio de bebidas.

O projeto foi iniciado com o intuito de suprir uma necessidade de mercado identificada pela empresa parceira ao projeto. Para o desenvolvimento do sistema robótico foi necessário conhecimentos de engenharia mecânica, automação e design. O projeto atendeu todos seus objetivos e foi parcialmente entregue em 60 meses.

O projeto sofreu com atrasos de licitações e pagamentos, além de suspensões periódicas de pagamentos. Houve necessidade de modificar o objetivo do projeto para remanejar seus recursos. Estas dificuldades favoreceram que os 24 meses previstos para a execução do projeto não fossem suficientes para sua conclusão.

Quando questionado se faria alguma modificação no planejamento do projeto o entrevistado respondeu que gostaria de rever o cronograma e planejamento das atividades do projeto.

Ao longo do desenvolvimento do projeto a composição de sua equipe foi variada, mas geralmente seus membros possuíam formação em engenharia mecânica, engenharia elétrica ou ciências da computação. A equipe geralmente era composta por cinco membros e aproximadamente 12 pessoas participaram do desenvolvimento deste projeto. Possivelmente três membros já possuíam experiência com o desenvolvimento de projetos ao ingressar na equipes, mas nenhum membro havia participado do projeto de um produto com função global similar.

A equipe de projeto determinou os requisitos de projeto através de reuniões com a empresa parceira e reuniões internas, estas para avaliar o funcionamento da

máquina e o que seria necessário para solucionar cada um de seus problemas. Não foi feita a priorização dos requisitos de projeto.

Foram geradas duas concepções de compactador, um dos subsistemas da máquina de venda reversa. A seleção do compactador foi feita através de testes em bancada, sendo avaliados os tempos de compactação e repetibilidade das concepções. O processo de solução foi iterativo, sendo concluído ao longo de aproximadamente um ano. Foi selecionada a concepção que melhor atendia a demanda da máquina de venda reversa.

A.2.4 PROJETO D

Entrevistado: Rodrigo de Souza Vieira.

Nome do projeto: pesquisa e Desenvolvimento de Simuladores, para Treinamento de Condutores de Motocicletas (Simoto).

Função global do sistema robótico: demonstrar os riscos de condução de motocicletas no trânsito em cidades.

O projeto foi iniciado para suprir demandas regulamentares e/ou legais. Para o desenvolvimento do sistema robótico foi necessário conhecimentos de psicologia, área de ensino, engenharia mecânica, automação e elétrica. O projeto atendeu todos seus objetivos e foi entregue em 20 meses através de um *workshop* e *benchmark* do simulador desenvolvido.

Ocorreram atrasos na fabricação do protótipo, em parte devido à burocracia dentro e fora da universidade. Estes atrasos favoreceram que os 14 meses previstos para a execução do projeto não fossem suficientes para sua conclusão.

Quando questionado se faria alguma modificação no planejamento do projeto o entrevistado respondeu que gostaria de aumentar o tempo dedicado ao projeto informacional para aprofundar a pesquisa de mercado, análise de soluções similares e concorrentes.

Durante o projeto a equipe foi geralmente composta por 12 membros com formações na área de ensino, psicologia, e nas engenharias mecânica, elétrica e de automação. Aproximadamente 15 pessoas participaram do projeto. O projeto fornecia bolsas para professores, alunos de pós-graduação e graduação. Sete membros já possuíam experiência ao ingressar na equipe de projeto e dois membros já haviam participado do projeto de um produto com função global similar. O projeto fornecia um total de 12 bolsas.

A equipe determinou os requisitos de projeto, no caso parâmetros técnicos a serem atingidos, através da análise de patentes e produtos comerciais. Não foi feita a priorização dos requisitos de projeto.

Foram geradas quatro concepções para este projeto. O processo de seleção realizou a avaliação das concepções através da matriz de Pugh em duas reuniões

de aproximadamente uma hora cada. Após a seleção da concepção não houve necessidade de escolher uma nova concepção, mas foi necessário utilizar o princípio de solução de outra concepção para um dos subsistemas do produto. Esta necessidade ocorreu devido a uma dificuldade de fabricar e encontrar fornecedores para o subsistema da concepção selecionada.

A.2.5 PROJETO E

Entrevistado: Estevan Hideki Murai.

Nome do projeto: desenvolvimento de um gerador de energia eólica cabeado.

Função global do sistema robótico: conversão de energia eólica em energia elétrica.

O projeto foi iniciado para suprir uma demanda governamental de desenvolvimento tecnológico na área de energias sustentáveis. Para o desenvolvimento do sistema robótico foi necessário conhecimentos de mecânica, programação eletrônica e controle (automação). O projeto está em desenvolvimento desde 2014 e foram desenvolvidos protótipos intermediários para validar conceitos. Atualmente o projeto já possuiu um protótipo do produto final.

Do ponto de vista do entrevistado ocorreram atrasos no desenvolvimento no projeto. O primeiro motivo identificado é o elevado nível de inovação do projeto, motivo que dificulta quantificar o tempo necessário para o desenvolvimento do projeto. O segundo motivo identificado pelo entrevistado foi a rotatividade dos membros da equipe.

O entrevistado acredita que apenas 3 membros, ele incluso, permaneceram da equipe que deu início ao projeto em 2014. Na entrevista foi comentado que entre 2017 a 2019 houve uma grande renovação da equipe de projeto, motivo que levou a equipe a investir muito tempo em 2019 na revisão de conhecimentos e desenvolver novamente o software de controle.

Quando questionado se faria alguma modificação no planejamento do projeto o entrevistado respondeu que considera rever no cronograma o tempo dedicado às tarefas. Ele considera que seria necessário prever o tempo extra necessário para a conclusão das atividades e incluí-lo ao cronograma.

A equipe de projeto era em sua maioria composta por estudantes de pós-graduação e graduação tendo em média 10 membros. É estimado que 20 pessoas tenham participado do projeto.

A definição dos requisitos de projeto e proposição de conceitos foi feita simultaneamente através de reuniões de equipe ao longo de três meses. Não foi feita a priorização dos requisitos de projeto, mas foi identificado quais requisitos eram demandas e quais eram desejáveis para o projeto.

O processo de propor conceitos e avaliá-los foi feito simultaneamente, no sentido de que para cada proposta buscava-se identificar possíveis falhas ou dificuldades de

seu funcionamento ou construção. Por este motivo não houve uma etapa em que as concepções foram avaliadas de maneira conjunta.

APÊNDICE B – MATRIZES DE APOIO À SÍNTESE DE REQUISITOS DE PROJETO

Neste apêndice são apresentadas as matrizes de apoio à análise dos requisitos de usuário utilizadas na execução do método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto.

Requisitos de usuário	Atributos específicos							
	Geometria	Cinemática/ Tempo	Forças	Energia	Materiais	Sinais	Automação/ Operação	Produção/ Manutenção
Transposição classe I - Baixa complexidade								
Ter movimento assistido								
Ser robusto								
Ter georreferenciamento								
Analisar fotos								

Conversão livre:

Requisitos de usuário	Atributos específicos							
	Geometria	Cinemática/ Tempo	Forças	Energia	Materiais	Sinais	Automação/ Operação	Produção/ Manutenção
Ser fácil de instalar o robô na rede								
Monitoramento teleoperado assistido								
Ter câmera visual e térmica								
Ser compacto para transporte								
Ter vendibilidade								

Conversão livre:

Requisitos de usuário	Atributos específicos							
	Geometria	Cinemática/ Tempo	Forças	Energia	Materiais	Sinais	Automação/ Operação	Produção/ Manutenção
Não romper o cabo condutor								
Não colidir com linha ou componentes								
Guardar informação								
Transposição classe II - Alta complexidade								
Ter inovação								

Conversão livre:

Requisitos de usuário	Atributos específicos							
	Geometria	Cinemática/ Tempo	Forças	Energia	Materiais	Sinais	Automação/ Operação	Produção/ Manutenção
Não cair								
Ser seguro para o operador								
Deslocar sobre a rede no plano inclinado (Subir a cive)								
Fácil operação do robô na rede								

Conversão livre:

Requisitos de usuário	Atributos específicos							
	Geometria	Cinemática/ Tempo	Forças	Energia	Materiais	Sinais	Automação/ Operação	Produção/ Manutenção
Operar isolado da rede								
Deslocar sobre a rede no plano horizontal								
Longo tempo de operação								
Ser teleoperado								

Conversão livre:

APÊNDICE C – SISTEMA DE ENUMERAÇÃO DOS REQUISITOS DE USUÁRIO E ATRIBUTOS ESPECÍFICOS

Este apêndice apresenta a enumeração utilizada no material de apoio da etapa de síntese de requisitos de projeto do método de conversão sistemática de requisitos de usuário em requisitos de projeto.

Requisitos de usuário:

1. Não romper o cabo condutor
2. Não colidir com linha ou componentes
3. Guardar informação
4. Transposição classe II - Alta complexidade
5. Ter inovação
6. Ser fácil de instalar o robô na rede
7. Monitoramento teleoperado assistido
8. Ter câmera visual e térmica
9. Ser compacto para transporte
10. Ter vendibilidade
11. Não cair
12. Ser seguro para o operador
13. Deslocar sobre a rede no plano inclinado (Subir a cive)
14. Fácil operação do robô na rede
15. Operar isolado da rede
16. Deslocar sobre a rede no plano horizontal
17. Longo tempo de operação
18. Ser teleoperado
19. Transposição classe I - Baixa complexidade
20. Ter movimento assistido
21. Ser robusto

22. Ter georreferenciamento

23. Analisar fotos

Atributos específicos:

(A) Geometria

(B) Cinemática/Tempo

(C) Forças

(D) Energia

(E) Materiais

(F) Sinais

(G) Automação/Operação

(H) Produção/Manutenção

APÊNDICE D – EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DAS LISTAS DE APOIO À SÍNTESE DE REQUISITOS DE PROJETO

Antes de começar a leitura do exemplo é necessário compreender o conteúdo e a finalidade de cada uma das listas presentes no Apêndice F.

A primeira lista contém as propostas de requisito de projeto assim como o requisito de usuário e atributo específico dos quais elas foram originadas. As propostas estão listadas alfabeticamente com o intuito de facilitar a localização das propostas pelo seu nome. Esta lista é indicada para navegação, pois consultando a origem de uma proposta pode-se localizar em qual conjunto de propostas ela está pré-agrupada.

A segunda lista contém as propostas listadas alfabeticamente e sem repetições. Esta lista também apresenta um campo em branco para cada proposta onde pode-se registrar em qual requisito de projeto esta proposta foi sintetizada. Através deste registro os times têm controle sobre quais propostas já foram avaliadas ou não. A ausência de registro também facilita a identificação de propostas que apesar de terem sido avaliadas ainda não foram sintetizadas em requisitos de projeto.

A terceira lista apresenta as propostas pré-agrupadas em função de seus atributos específicos de origem. Dentro de cada pré-agrupamento as propostas são organizadas alfabeticamente e sem repetições. Os pré-agrupamentos têm o intuito de facilitar a localização de propostas similares, facilitando o processo de síntese de requisitos de projeto. É esperado que os pré-agrupamentos desta lista sejam maiores do que da lista seguinte, sendo mais adequado começar a síntese dos requisitos de projeto através desta lista.

A quarta lista apresenta as propostas pré-agrupadas em função de seus requisitos de usuários de origem. Dentro de cada pré-agrupamento as propostas são organizadas alfabeticamente e sem repetições. Os pré-agrupamentos têm o intuito de facilitar a localização de propostas similares, facilitando o processo de síntese de requisitos de projeto. É esperado que o número de requisitos de usuário seja superior ao de atributos específicos, o que faz com que os pré-agrupamentos desta lista sejam menores.

Como exemplo será apresentada a síntese das propostas contidas pelo pré-agrupamento do atributo específico **Cinemática/Tempo** de índice B. O primeiro passo é avaliar as propostas contidas neste pré-agrupamento da terceira lista. Analisando as propostas deste pré-agrupamento na tabela seguinte podem ser identificados 5 grandes grupos de propostas. Neste exemplo estes grupos serão sintetizados nos seguintes requisitos de projeto: aceleração, graus de liberdade, erro de posicionamento, complacência das juntas, tempo de processamento e velocidade. Deve-se verificar se algum destes requisitos já havia sido registrado na segunda lista para então ser feitos o registro dos que ainda não estão nela.

Propostas	A.E.
Aceleração (-)	B
Aceleração otimizada (o)	B
Acelerometro (o)	B
Eficiência do motor (o)	B
Graus de liberdade (-)	B
Graus de liberdade (+)	B
Graus de liberdade adequados para instalação (o)	B
Graus de liberdade adequados para segurança (o)	B
Inércia do movimento (+)	B
Inércia do sistema (-)	B
Monumentos precisos (o)	B
Movimentação fluida (movimentação da camera)(+)	B
Movimentos bruscos (-)	B
Número de frames (+)	B
Possuir movimentos de transposição gerais (o)	B
Possuir movimentos de transposição inovadores (o)	B
Sistema de frenagem eficiente (+)	B
Tempo de inspeção (-)	B
Tempo de resposta (-)	B
Tempo de transposição (-)	B
Tempo gasto para deslocamento (-)	B
Tempo gasto para operação (-)	B
Tempo para analisar fotos (-)	B
Tempo para georreferenciar (-)	B
Tempo para transposição (-)	B
Velocidade de avanço (-)	B
Velocidade de operação (-)	B
Velocidade otimizada (o)	B
Velocidade otimizada para reduzir consumo e melhorar rend. (+)	B
Velocimetro (o)	B

De 30 propostas temos agora apenas 6 para sintetizar. Supondo que este não foi o primeiro agrupamento analisado, pode-se verificar na segunda lista se já foi sintetizado um requisito de projeto correspondente a uma destas propostas. Vamos supor que já haviam sido sintetizados os requisitos de projeto Massa e Tempo de transposição.

Para a proposta **Tempo de transposição** já havia sido feita a síntese e registro devido a análise de outro agrupamento. Pode ser feito o registro do mesmo requisito de projeto para a proposta **Tempo para transposição**. Pode-se considerar que as propostas **Inércia do movimento** e **Inércia do sistema** possuem uma alta relação com o requisito Massa e são bem representadas por ele.

Agora só falta realizar a síntese de mais duas propostas: "Eficiência do motor" e **Número de frames**. Através da primeira lista, tabela abaixo, é identificado que a proposta **Eficiência do motor** tem origem no requisito de usuário de índice 17. De maneira análoga a proposta **Número de frames** tem origem no requisito de usuário de índice 23.

Analisando o pré-agrupamento do requisito de usuário de índice 17 pode-se verificar que a proposta **Eficiência do motor** tem relação com um requisito de projeto

Listagem completa das propostas de requisitos de projeto	R. U.	A. Esp.
...
Eficiência do motor (o)	17	B
...
Número de frames (+)	23	B
...

sintetizado anteriormente: Consumo energético.

Propostas	A.E.
Aceleração otimizada (o)	17
Autonomia (+)	17
Baterias melhores (o)	17
Capacidade da bateria (+)	17
Consumo energético (-)	17
Eficiência do motor (o)	17
Graus de liberdade (-)	17
Massa (-)	17
Massa dos materiais (-)	17
Materiais leves (+)	17
Materiais resistentes (+)	17
Necessidades de intervenção ao longo da inspeção (-)	17
Peso (-)	17
Potência (-)	17
Potência requerida (-)	17
Processadores internos (+)	17
Processamento necessário (somente o necessário) (-)	17
Quantidade de materias (-)	17
Recarregável durante operação (o)	17
Sensoriamento (+)	17
Tempo de processamento (-)	17
Tempo de resposta (-)	17
Torque exigido dos motores (-)	17
Velocidade otimizada (o)	17

Analisando o pré-agrupamento do requisito de usuário de índice 23 identifica-se que a proposta **Número de frames** tem relação com as propostas destacadas abaixo, mas ainda não foi sintetizado um requisito de projeto para nenhuma delas. É então sintetizado e registrado o requisito de projeto Repetibilidade do sistema de tratamento de imagens.

Propostas	A.E.
Associar visão térmica e visual (-)	23
Consumo energético na análise de fotos (-)	23
Nível de automação na análise (+)	23
Número de frames (+)	23
Processador consumo (-)	23
Sensoriamento (+)	23
Sistema de tratamento de imagens	23
Software intuitivo (o)	23
Tempo para analisar fotos (-)	23
Ter backup das fotos obtidas na operação antes da operação terminar	23
Velocidade de operação (-)	23

APÊNDICE E – DEFINIÇÕES DOS REQUISITOS DE USUÁRIO

Neste apêndice são apresentadas as definições dos requisitos de usuário utilizada na execução do método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto e na execução do método de avaliação semipresencial dos requisitos de projeto.

1. **Não romper o cabo condutor:** Nem o processo de instalação e desinstalação nem o uso do sistema robótico pode causar o rompimento de algum cabo condutor.
2. **Não colidir com linha ou componentes:** Nem o processo de instalação e desinstalação nem o uso do sistema robótico pode fazer com que este colida com a linha ou componentes para que estes não sejam danificados.
3. **Guardar informação:** O sistema robótico deve possuir uma maneira segura para armazenar informações, tanto imagens quanto registro temporal de comandos e leituras de demais sensores.
4. **Transposição classe II - Alta complexidade:** É desejável que o sistema robótico consiga transpor obstáculos de alta complexidade (derivações, musgo, capa de proteção, cruzamento de rua, obstáculos entre isoladores de uma cruzeta*, cruzetas com isoladores tipo suspensão). Os obstáculos da classe 2 aparecem com uma menor frequência na rede piloto e/ou não ocorrem de maneira padrão, sendo considerados de baixa prioridade.

*ninho de João de barro
5. **Ter inovação:** O projeto deve seguir as diretrizes da ANEL (deve-se produzir ao menos uma patente).
6. **Ser fácil de instalar o robô na rede:** O processo de instalação/desinstalação deve ser simples. Atualmente a inspeção é realizada com dois funcionários em campo, não sendo viável enviar um número maior de pessoas para realizar a inspeção com o sistema robótico.
7. **Monitoramento teleoperado assistido:** O monitoramento deve ser feito remotamente com auxílio de vídeo, os detalhes devem ser armazenados em fotos.
8. **Ter câmera visual e térmica:** O sistema robótico deve ser capaz de adquirir fotografias térmicas e fotografias no espectro visível.
9. **Ser compacto para transporte:** O sistema robótico deve conseguir ser transportado por automóveis da frota da Celesc, sem que seja necessário realizar adaptações nos veículos.

10. **Ter vendibilidade:** O sistema robótico deve ser comercialmente atrativo.
11. **Não cair:** O sistema robótico não pode cair durante operação, instalação ou desinstalação.
12. **Ser seguro para o operador:** O sistema robótico não pode fazer com que os operadores ou transeuntes tenham risco de segurança devido sua operação, instalação e desinstalação.
13. **Deslocar sobre a rede no plano inclinado (Subir a cimeira):** O sistema robótico deve ser capaz de se deslocar entre postes com diferentes altitudes (existe um declive ou a cimeira entre os dois postes).
14. **Fácil operação do robô na rede:** A operação do sistema robótico deve ser simples, de maneira que a atual equipe de inspeção tenha capacidade de operar o robô (sem ter a necessidade de fazer cursos externos) e que o processo de inspeção seja mais prático em relação a como é realizado atualmente (operadores do solo buscam localizar componentes danificados fazendo uso de uma câmera térmica).
15. **Operar isolado da rede:** O sistema não pode ter seu funcionamento prejudicado pelo campo eletromagnético da rede. O sistema não pode promover a conexão elétrica entre dois ou mais cabos condutores distintos.
16. **Deslocar sobre a rede no plano horizontal:** O sistema robótico deve ser capaz de se deslocar entre postes de mesma altitude (não existe um declive ou a cimeira entre os dois postes).
17. **Longo tempo de operação:** O sistema robótico deve executar poucas paradas durante o período dedicado à inspeção da rede para maximizar a produtividade do operador durante o período que este se dedica a atividade de inspeção.
18. **Ser tele operado:** É necessário que o operador consiga controlar o sistema robótico do solo, de maneira tele operada.
19. **Transposição classe I - Baixa complexidade:** É necessário que o sistema robótico consiga transpor obstáculos de baixa complexidade (emendas, cruzetas simples com isolador tipo pino ou pilar, cruzetas duplas com isolador tipo pino ou pilar). Os obstáculos da classe 1 aparecem com elevada frequência na rede piloto e/ou ocorrem de maneira padrão, sendo considerados de alta prioridade.
20. **Ter movimento assistido:** O sistema robótico deve apresentar rotinas de controle para facilitar sua operação.

21. **Ser robusto:** O robô deve ser capaz de funcionar corretamente mesmo após sofrer impactos pequenos ou médios, que podem ser comuns durante o transporte, (des)montagem e (des)instalação.
22. **Ter georreferenciamento:** É necessário identificar a localização geográfica dos postes que apresentam componentes com necessidade de manutenção.
23. **Analisar fotos:** Deve-se desenvolver um sistema para análise de maneira autônoma das fotografias capturadas pelo sistema robótico para identificação de componentes que necessitam de manutenção.

APÊNDICE F – LISTAS DE APOIO À SÍNTESE DE REQUISITOS DE PROJETO

Neste apêndice são apresentadas as listas de apoio à síntese de requisitos de projeto utilizadas na execução do método de conversão sistemática dos requisitos de usuário em requisitos de projeto.

Listagem completa das propostas de requisitos de projeto	R. U.	A. Esp.
Absorver impacto (dúctil) (+)	2	E
Aceleração (-)	1	B
Aceleração otimizada (o)	17	B
Acelerometro (o)	7	B
Aderência (+)	16	E
Aderência nos cabos (+)	6	E
Aderência nos cabos (+)	6	E
Aerodinâmica (+)	1	A
Aerodinâmica (+)	11	A
Aplicação em diferentes redes (o)	10	H
Associar visão térmica e visual (-)	23	F
Automatizar operação de transposição desta classe (o)	19	G
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	12	D
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	14	D
Autonomia (+)	3	D
Autonomia (+)	11	D
Autonomia (+)	17	D
Autonomia (+)	21	D
Autonomia (+)	5	G
Autonomia (+)	18	G
Autonomia (+)	20	G
Autonomia para operação (+)	4	D
Autonomia para segurança (+)	1	D
Autonomia para segurança (+)	2	D
Autonomia para transposição (+)	19	D
Baterias melhores (o)	17	D
Blindagem dos componentes internos (+)	15	F
Blindagem eletrostática (+)	15	E
Capacidade da bateria (+)	17	D
Capacidade de processamento (+)	20	G
Central de comando (o)	7	H
Complexidade elétrica (-)	12	H
Complexidade elétrica (+)	3	F
Complexidade elétrica (+)	7	G
Complexidade mecânica (-)	12	H
Complexidade mecânica (-)	14	H
Complexidade na montagem/desmontagem (-)	10	H
Comunicação sem fio	20	G
Comunicação sem fio (o)	3	F
Comunicação sem fio (o)	18	F
Confiabilidade (+)	11	G
Confiabilidade (+)	1	H
Consumo de energia (-)	7	D
Consumo de energia (-)	10	D
Consumo energético (-)	4	D
Consumo energético (-)	5	D
Consumo energético (-)	17	D
Consumo energético (-)	18	D
Consumo energético (-)	19	D

Consumo energético na análise de fotos (-)	23	D
Consumo energético no deslocamento (-)	16	D
Consumo energético no georreferenciamento (-)	22	D
Consumo energético para instalação (-)	6	D
Consumo na operação (-)	20	D
Consumo para GPS (-)	22	D
Controle remoto sobre parâmetros do robô (+)	7	F
Conversor	13	D
Curvas (+)	10	A
Custo (-)	10	E
Custo (-)	10	G
Custo de compra (-)	8	H
Custo de manutenção (-)	8	H
Custo de manutenção da câmera (-)	8	H
Custo de produção/fabricação (-)	10	H
Custo do material (-)	15	H
Custo dos sensores (-)	7	H
Densidade (-)	1	E
Dificuldade de manutenção (-)	21	H
Disposição do robô (o)	19	A
Durabilidade da bateria para a operação (+)	18	D
Eficiência do motor (o)	17	B
Exigência de esforço físico do operador (-)	12	C
Exigência dos esforços (-)	11	C
Fácil de montar/desmontar/acoplar (o)	6	H
Facilidade de instalação (+)	14	H
Facilidade de manutenção (+)	5	H
Facilidade de preparar o sistema para operação (+)	14	H
Facilidade na manutenção (+)	21	H
Facilidade na operação (+)	8	G
Facilidade na operação (+)	16	G
Facilidade para montar/desmontar (+)	9	H
Força sobre o cabo (-)	1	C
Força sobre o cabo (-)	19	C
Força sobre o cabo e outros componentes (-)	4	C
Forças sobre o cabo (-)	16	C
Forma de armazenamento (associar com a foto) (o)	22	G
Formas ergonômicas (+)	10	A
Formato seguro (o)	15	A
Gasto de energia (-)	5	D
Geometria favorável (+)	11	A
Geometria favorável (+)	13	A
Geometria favorável (cantos vivos)(+)	12	A
Geometria favorável (distribuição da massa) (o)	1	A
Geometria favorável (inovadora) (o)	5	A
Geometria favorável (o)	2	A
Geometria favorável (o)	4	A
Geometria favorável (o)	14	A
Geometria favorável (o)	16	A
Geometria favorável (o)	19	A

Geometria que não foi pensada (inovação (o))	5	A
Geometria resistente ao impacto	21	A
Graus de liberdade (-)	6	A
Graus de liberdade (-)	14	B
Graus de liberdade (-)	17	B
Graus de liberdade (-)	19	B
Graus de liberdade (-)	20	B
Graus de liberdade (+)	2	A
Graus de liberdade (+)	4	A
Graus de liberdade (+)	21	A
Graus de liberdade (+)	2	B
Graus de liberdade (+)	2	B
Graus de liberdade (+)	4	B
Graus de liberdade (+)	4	B
Graus de liberdade (+)	9	E
Graus de liberdade adequados para instalação (o)	6	B
Graus de liberdade adequados para segurança (o)	11	B
Guardar informações dos sinais (o)	3	F
Inércia (-)	14	C
Inércia do movimento (+)	16	B
Inércia do sistema (-)	20	B
Intuitividade (+)	12	F
Intuitividade (+)	14	F
Intuitividade (+)	14	F
Intuitividade (o)	10	G
Intuitividade (o)	18	G
Intuitividade (o)	20	G
Intuitivo (+)	14	H
Intuitivo (figuras associativas) (+)	14	H
Lentes de aumento (+)	8	E
Limite de escoamento (resistência elástica) (+)	11	E
Local para câmera (o)	8	A
Massa (-)	1	E
Massa (-)	1	E
Massa (-)	6	E
Massa (-)	6	E
Massa (-)	10	E
Massa (-)	11	E
Massa (-)	12	E
Massa (-)	13	E
Massa (-)	13	E
Massa (-)	14	E
Massa (-)	16	E
Massa (-)	17	E
Massa (-)	18	E
Massa (-)	21	E
Massa dos materiais (-)	17	E
Materiais condutores (-)	15	E
Materiais leves (+)	17	E
Materiais leves (+)	21	E

Materiais pesados (-)	1	E
Materiais pesados (o)	5	E
Materiais que conduzem corrente (-)	12	E
Materiais resistentes (+)	17	E
Materiais resistentes (+)	21	E
Material aderente (+)	6	E
Material de contato com coef. De atrito (+)	13	E
Memória (+)	3	F
Memória (+)	3	G
Monumentos precisos (o)	15	B
Monitoramento da trajetória (+)	19	F
Monitoramento da trajetória (+)	20	F
Monitoramento da trajetória (+)	21	F
Monitoramento da trajetória (+)	22	F
Movimentação fluida (movimentação da camera)(+)	20	B
Movimentos bruscos (-)	11	B
Multiploespectro (+)	8	F
Necessidades de intervenção ao longo da inspeção (-)	17	H
Nível de automação (+)	4	G
Nível de automação (+)	11	G
Nível de automação (+)	12	G
Nível de automação (+)	13	G
Nível de automação (+)	13	G
Nível de automação (+)	14	G
Nível de automação (+)	14	G
Nível de automação (+)	16	G
Nível de automação (+)	18	G
Nível de automação (+)	20	G
Nível de automação geral (+)	5	G
Nível de automação geral (+)	10	G
Nível de automação na análise (+)	23	G
Nível de automação no deslocamento (+)	16	G
Nível de automação no georreferenciamento (+)	22	G
Nível de automação para rotina de instalação (+)	6	G
Nível de automação para segurança (+)	1	G
Nível de automação para segurança (+)	2	G
Nível de automação para segurança (+)	21	G
Nível de automação na transposição (+)	19	G
Número de comandos (+)	14	H
Número de comandos (o)	7	G
Número de componentes (-)	14	E
Número de componentes expostos (-)	2	A
Número de frames (+)	23	B
Número de peças/materiais necessários para transpor (-)	19	E
Objetos cortantes (-)	1	E
Opções de onde colocar a câmera no robô (+)	8	A
Partes desmontáveis (o)	9	A
Pegador com curvas suaves (+)	1	A
Peso (-)	6	C
Peso (-)	6	C

Peso (-)	12	C
Peso (-)	16	C
Peso (-)	17	C
Pontas e arestas cortantes (-)	12	A
Pontos de apoio no cabo (-)	1	A
Pontos de apoio no cabo (-)	2	A
Pontos de apoio no cabo (+)	6	A
Pontos de contato (+)	1	A
Pontos de contato com o material isolante (+)	15	E
Pontos de fixação (+)	21	E
Pontos de fixação (caso do robô ser desmontável) (-)	14	A
Posição da câmera (o)	20	A
Possuir movimentos de transposição gerais (o)	5	B
Possuir movimentos de transposição inovadores (o)	5	B
Potência (-)	17	D
Potência (+)	13	D
Potência requerida (-)	13	D
Potência requerida (-)	17	D
Potência requerida (-)	19	D
Precisão (+)	2	F
Precisão nos comandos (+)	16	F
Precisão nos comandos (+)	4	G
Precisão nos comandos (+)	7	G
Precisão nos comandos (+)	11	G
Precisão nos comandos (+)	14	G
Preciso (+)	3	F
Previsão de acidentes (+)	20	F
Processador consumo (-)	23	D
Processadores internos (+)	17	F
Processamento necessário (somente o necessário) (-)	17	G
Quantidade de materias (-)	17	E
Recarregável durante operação (o)	5	D
Recarregável durante operação (o)	17	D
Resistência a impacto (+)	21	C
Resistência mecânica (+)	21	C
Rigidez (+)	6	A
Rigidez (+)	21	E
Rotina de automação segurança (o)	15	G
Rotina de auto-testes de segurança (o)	5	H
Sensoriamento (+)	1	F
Sensoriamento (+)	2	F
Sensoriamento (+)	3	F
Sensoriamento (+)	4	F
Sensoriamento (+)	5	F
Sensoriamento (+)	5	F
Sensoriamento (+)	6	F
Sensoriamento (+)	7	F
Sensoriamento (+)	10	F
Sensoriamento (+)	11	F
Sensoriamento (+)	11	F

Sensoriamento (+)	13	F
Sensoriamento (+)	13	F
Sensoriamento (+)	14	F
Sensoriamento (+)	14	F
Sensoriamento (+)	15	F
Sensoriamento (+)	17	F
Sensoriamento (+)	18	F
Sensoriamento (+)	18	F
Sensoriamento (+)	19	F
Sensoriamento (+)	20	F
Sensoriamento (+)	20	F
Sensoriamento (+)	20	F
Sensoriamento (+)	21	F
Sensoriamento (+)	22	F
Sensoriamento (+)	23	F
Sensoriamento (+)	16	G
Sensoriamento (+)	18	G
Sensoriamento de tensão/auto-circuito (o)	15	F
Ser fácil de usar (o)	10	H
Ser longo (+)	4	A
Simetria (+)	12	A
Simetria flexível (+)	20	A
Simetria flexível (+)	21	A
Simetria variável (o)	11	A
Simplicidade de fabricação (+)	5	H
Sinais vitais do sistema (o)	3	H
Sistema de frenagem eficiente (+)	2	B
Sistema de GPS	22	F
Sistema de tratamento de imagens	23	F
Software intuitivo (o)	23	H
Suporte para a câmera (o)	7	E
Suporte para a câmera (o)	8	E
Suporte para demais sensores (o)	7	E
Tamanho (-)	1	A
Tamanho (-)	2	A
Tamanho (-)	9	A
Tamanho (-)	9	A
Tamanho (-)	10	A
Tamanho (-)	12	A
Tamanho (-)	15	A
Tamanho (-)	15	A
Tempo de inspeção (-)	5	B
Tempo de montagem (-)	9	A
Tempo de operação (+)	10	D
Tempo de processamento (-)	17	F
Tempo de processamento (-)	8	G
Tempo de resposta (-)	17	B
Tempo de resposta (-)	18	B
Tempo de resposta (-)	20	B
Tempo de resposta (-)	2	F

Tempo de resposta (-)	7	F
Tempo de resposta (-)	12	F
Tempo de resposta (-)	16	F
Tempo de resposta (-)	22	F
Tempo de resposta (-)	3	G
Tempo de resposta (-)	4	G
Tempo de resposta (-)	14	G
Tempo de transposição (-)	4	B
Tempo gasto para deslocamento (-)	16	B
Tempo gasto para operação (-)	5	B
Tempo para analisar fotos (-)	23	B
Tempo para georreferenciar (-)	22	B
Tempo para transposição (-)	19	B
Ter backup das fotos obtidas na operação antes da operação terminar	23	G
Ter backup dos dados durante operação (o)	3	G
Ter materiais isolantes elétricos (o)	15	E
Ter materiais isolantes térmicos (o)	15	E
Ter sistema de integridade de informação (o)	3	G
Torque dos atuadores (-)	19	C
Torque dos motores (+)	13	C
Torque exigido dos motores (-)	17	C
Tração	13	C
Transmissão de dados (+)	8	F
Velocidade de avanço (-)	1	B
Velocidade de operação (-)	2	B
Velocidade de operação (-)	13	B
Velocidade de operação (-)	23	B
Velocidade de operação (relativo ao deslocamento do robô) (-)	18	B
Velocidade de processamento (+)	8	F
Velocidade de processamento (+)	18	F
Velocidade no processamento de dados (+)	21	G
Velocidade otimizada (o)	17	B
Velocidade otimizada para reduzir consumo e melhorar rend. (+)	14	B
Velocímetro (o)	7	B
Velocímetro (o)	7	B
Vida útil (+)	2	H
Vida útil (+)	15	H
Vida útil (+)	21	H
Volume (-)	9	A
Volume (-)	9	A

Propostas de requisitos de projeto sem repetição	Req. de proj. sintetizado
Absorver impacto (dúctil) (+)	
Aceleração (-)	
Aceleração otimizada (o)	
Acelerometro (o)	
Aderência (+)	
Aderência nos cabos (+)	
Aerodinâmica (+)	
Aplicação em diferentes redes (o)	
Associar visão térmica e visual (-)	
Automatizar operação de transposição desta classe (o)	
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	
Autonomia (+)	
Autonomia para operação (+)	
Autonomia para segurança (+)	
Autonomia para transposição (+)	
Baterias melhores (o)	
Blindagem dos componentes internos (+)	
Blindagem eletrostática (+)	
Capacidade da bateria (+)	
Capacidade de processamento (+)	
Central de comando (o)	
Complexidade elétrica (-)	
Complexidade elétrica (+)	
Complexidade mecânica (-)	
Complexidade na montagem/desmontagem (-)	
Comunicação sem fio	
Comunicação sem fio (o)	
Confiabilidade (+)	
Consumo de energia (-)	
Consumo energético (-)	
Consumo energético na análise de fotos (-)	
Consumo energético no deslocamento (-)	
Consumo energético no georreferenciamento (-)	
Consumo energético para instalação (-)	
Consumo na operação (-)	
Consumo para GPS (-)	
Controle remoto sobre parâmetros do robô (+)	
Conversor	
Curvas (+)	
Custo (-)	
Custo de compra (-)	
Custo de manutenção (-)	
Custo de manutenção da câmera (-)	
Custo de produção/fabricação (-)	
Custo do material (-)	
Custo dos sensores (-)	
Densidade (-)	
Dificuldade de manutenção (-)	
Disposição do robô (o)	

Durabilidade da bateria para a operação (+)	
Eficiência do motor (o)	
Exigência de esforço físico do operador (-)	
Exigência dos esforços (-)	
Fácil de montar/desmontar/acoplar (o)	
Facilidade de instalação (+)	
Facilidade de manutenção (+)	
Facilidade de preparar o sistema para operação (+)	
Facilidade na manutenção (+)	
Facilidade na operação (+)	
Facilidade para montar/desmontar (+)	
Força sobre o cabo (-)	
Força sobre o cabo e outros componentes (-)	
Forma de armazenamento (associar com a foto) (o)	
Formas ergonômicas (+)	
Formato seguro (o)	
Gasto de energia (-)	
Geometria favorável (+)	
Geometria favorável (cantos vivos)(+)	
Geometria favorável (distribuição da massa) (o)	
Geometria favorável (inovadora) (o)	
Geometria favorável (o)	
Geometria que não foi pensada (inovação) (o)	
Geometria resistente ao impacto	
Graus de liberdade (-)	
Graus de liberdade (+)	
Graus de liberdade adequados para instalação (o)	
Guardar informações dos sinais (o)	
Inércia (-)	
Inércia do movimento (+)	
Inércia do sistema (-)	
Intuitividade (+)	
Intuitividade (o)	
Intuitivo (+)	
Intuitivo (figuras associativas) (+)	
Lentes de aumento (+)	
Límite de escoamento (resistência elástica) (+)	
Local para câmera (o)	
Massa (-)	
Massa dos materiais (-)	
Materiais condutores (-)	
Materiais leves (+)	
Materiais pesados (-)	
Materiais pesados (o)	
Materiais que conduzem corrente (-)	
Materiais resistentes (+)	
Material aderente (+)	
Material de contato com coef. De atrito (+)	
Memória (+)	
Monumentos precisos (o)	

Monitoramento da trajetória (+)	
Movimentação fluida (movimentação da camera)(+)	
Movimentos bruscos (-)	
Multiploespectro (+)	
Necessidades de intervenção ao longo da inspeção (-)	
Nível de automação (+)	
Nível de automação geral (+)	
Nível de automação na análise (+)	
Nível de automação no deslocamento (+)	
Nível de automação no georreferenciamento (+)	
Nível de automação para rotina de instalação (+)	
Nível de automação para segurança (+)	
Nível de automação na transposição (+)	
Número de comandos (+)	
Número de comandos (o)	
Número de componentes (-)	
Número de componentes expostos (-)	
Número de frames (+)	
Número de peças/materiais necessários para transpor (-)	
Objetos cortantes (-)	
Opções de onde colocar a câmera no robô (+)	
Partes desmontáveis (o)	
Pegador com curvas suaves (+)	
Peso (-)	
Pontas e arestas cortantes (-)	
Pontos de apoio no cabo (-)	
Pontos de apoio no cabo (+)	
Pontos de contato (+)	
Pontos de contato com o material isolante (+)	
Pontos de fixação (+)	
Pontos de fixação (caso do robô ser desmontável) (-)	
Posição da câmera (o)	
Possuir movimentos de transposição gerais (o)	
Possuir movimentos de transposição inovadores (o)	
Potência (-)	
Potência (+)	
Potência requerida (-)	
Precisão (+)	
Precisão nos comandos (+)	
Preciso (+)	
Previsão de acidentes (+)	
Processador consumo (-)	
Processadores internos (+)	
Processamento necessário (somente o necessário) (-)	
Quantidade de materias (-)	
Recarregável durante operação (o)	
Resistência a impacto (+)	
Resistência mecânica (+)	
Rigidez (+)	
Rotina de automação segurança (o)	

Rotina de auto-testes de segurança (o)	
Sensoriamento (+)	
Sensoriamento de tensão/auto-circuito (o)	
Ser fácil de usar (o)	
Ser longo (+)	
Simetria (+)	
Simetria flexível (+)	
Simetria variável (o)	
Simplicidade de fabricação (+)	
Sinais vitais do sistema (o)	
Sistema de frenagem eficiente (+)	
Sistema de GPS	
Sistema de tratamento de imagens	
Software intuitivo (o)	
Suporte para a câmera (o)	
Suporte para demais sensores (o)	
Tamanho (-)	
Tempo de inspeção (-)	
Tempo de montagem (-)	
Tempo de operação (+)	
Tempo de processamento (-)	
Tempo de resposta (-)	
Tempo de transposição (-)	
Tempo gasto para deslocamento (-)	
Tempo gasto para operação (-)	
Tempo para analisar fotos (-)	
Tempo para georreferenciar (-)	
Tempo para transposição (-)	
Ter backup das fotos obtidas na operação antes da operação terminar	
Ter backup dos dados durante operação (o)	
Ter materiais isolantes elétricos (o)	
Ter materiais isolantes térmicos (o)	
Ter sistema de integridade de informação (o)	
Torque dos atuadores (-)	
Torque dos motores (+)	
Torque exigido dos motores (-)	
Tração	
Transmissão de dados (+)	
Velocidade de avanço (-)	
Velocidade de operação (relativo ao deslocamento do robô)(-)	
Velocidade de operação(-)	
Velocidade de processamento (+)	
Velocidade no processamento de dados (+)	
Velocidade otimizada (o)	
Velocidade otimizada para reduzir consumo e melhorar rend. (+)	
Velocímetro (o)	
Vida útil (+)	
Volume (-)	

Listagem das propostas em função dos atributos específicos	A. Esp.
Aerodinâmica (+)	A
Curvas (+)	A
Disposição do robô (o)	A
Formas ergonômicas (+)	A
Formato seguro (o)	A
Geometria favorável (+)	A
Geometria favorável (cantos vivos)(+)	A
Geometria favorável (distribuição da massa) (o)	A
Geometria favorável (inovadora) (o)	A
Geometria favorável (o)	A
Geometria que não foi pensada (inovação (o)	A
Geometria resistente ao impacto	A
Graus de liberdade (-)	A
Graus de liberdade (+)	A
Local para câmera (o)	A
Número de componentes expostos (-)	A
Opções de onde colocar a câmera no robô (+)	A
Partes desmontáveis (o)	A
Pegador com curvas suaves (+)	A
Pontas e arestas cortantes (-)	A
Pontos de apoio no cabo (-)	A
Pontos de apoio no cabo (+)	A
Pontos de contato (+)	A
Pontos de fixação (caso do robô ser desmontável) (-)	A
Posição da câmera (o)	A
Rigidez (+)	A
Ser longo (+)	A
Simetria (+)	A
Simetria flexível (+)	A
Simetria variável (o)	A
Tamanho (-)	A
Tempo de montagem (-)	A
Volume (-)	A
Aceleração (-)	B
Aceleração otimizada (o)	B
Acelerometro (o)	B
Eficiência do motor (o)	B
Graus de liberdade (-)	B
Graus de liberdade (+)	B
Graus de liberdade adequados para instalação (o)	B
Graus de liberdade adequados para segurança (o)	B
Inércia do movimento (+)	B
Inércia do sistema (-)	B
Monumentos precisos (o)	B
Movimentação fluida (movimentação da camera)(+)	B
Movimentos bruscos (-)	B
Número de frames (+)	B
Possuir movimentos de transposição gerais (o)	B
Possuir movimentos de transposição inovadores (o)	B

Sistema de frenagem eficiente (+)	B
Tempo de inspeção (-)	B
Tempo de resposta (-)	B
Tempo de transposição (-)	B
Tempo gasto para deslocamento (-)	B
Tempo gasto para operação (-)	B
Tempo para analisar fotos (-)	B
Tempo para georreferenciar (-)	B
Tempo para transposição (-)	B
Velocidade de avanço (-)	B
Velocidade de operação (-)	B
Velocidade otimizada (o)	B
Velocidade otimizada para reduzir consumo e melhorar rend. (+)	B
Velocímetro (o)	B
Exigência de esforço físico do operador (-)	C
Exigência dos esforços (-)	C
Força sobre o cabo (-)	C
Força sobre o cabo e outros componentes (-)	C
Inércia (-)	C
Peso (-)	C
Resistência a impacto (+)	C
Resistência mecânica (+)	C
Torque dos atuadores (-)	C
Torque dos motores (+)	C
Torque exigido dos motores (-)	C
Tração	C
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	D
Autonomia (+)	D
Autonomia para operação (+)	D
Autonomia para segurança (+)	D
Autonomia para transposição (+)	D
Baterias melhores (o)	D
Capacidade da bateria (+)	D
Consumo de energia (-)	D
Consumo energético na análise de fotos (-)	D
Consumo energético no deslocamento (-)	D
Consumo energético no georreferenciamento (-)	D
Consumo energético para instalação (-)	D
Consumo na operação (-)	D
Consumo para GPS (-)	D
Conversor	D
Durabilidade da bateria para a operação (+)	D
Gasto de energia (-)	D
Potência (-)	D
Potência (+)	D
Potência requerida (-)	D
Processador consumo (-)	D
Recarregável durante operação (o)	D
Tempo de operação (+)	D
Absorver impacto (dúctil) (+)	E

Aderência (+)	E
Aderência nos cabos (+)	E
Blindagem eletrostática (+)	E
Custo (-)	E
Densidade (-)	E
Graus de liberdade (+)	E
Lentes de aumento (+)	E
Limite de escoamento (resistência elástica) (+)	E
Massa (-)	E
Massa dos materiais (-)	E
Materiais condutores (-)	E
Materiais leves (+)	E
Materiais pesados (-)	E
Materiais pesados (o)	E
Materiais que conduzem corrente (-)	E
Materiais resistentes (+)	E
Material aderente (+)	E
Material de contato com coef. De atrito (+)	E
Número de componentes (-)	E
Número de peças/materiais necessários para transpor (-)	E
Objetos cortantes (-)	E
Pontos de contato com o material isolante (+)	E
Pontos de fixação (+)	E
Quantidade de materias (-)	E
Rigidez (+)	E
Suporte para a câmera (o)	E
Suporte para demais sensores (o)	E
Ter materiais isolantes elétricos (o)	E
Ter materiais isolantes térmicos (o)	E
Associar visão térmica e visual (-)	F
Blindagem dos componentes internos (+)	F
Complexidade elétrica (+)	F
Comunicação sem fio (o)	F
Controle remoto sobre parâmetros do robô (+)	F
Guardar informações dos sinais (o)	F
Intuitividade (+)	F
Memória (+)	F
Monitoramento da trajetória (+)	F
Multiploespectro (+)	F
Precisão (+)	F
Precisão nos comandos (+)	F
Preciso (+)	F
Previsão de acidentes (+)	F
Processadores internos (+)	F
Sensoriamento (+)	F
Sensoriamento de tensão/auto-circuito (o)	F
Sistema de GPS	F
Sistema de tratamento de imagens	F
Tempo de processamento (-)	F
Tempo de resposta (-)	F

Transmissão de dados (+)	F
Velocidade de processamento (+)	F
Automatizar operação de transposição desta classe (o)	G
Autonomia (+)	G
Capacidade de processamento (+)	G
Complexidade elétrica (+)	G
Comunicação sem fio	G
Confiabilidade (+)	G
Custo (-)	G
Facilidade na operação (+)	G
Forma de armazenamento (associar com a foto) (o)	G
Intuitividade (o)	G
Memória (+)	G
Nível de automação (+)	G
Nível de automação geral (+)	G
Nível de automação na análise (+)	G
Nível de automação no deslocamento (+)	G
Nível de automação no georreferenciamento (+)	G
Nível de automação para rotina de instalação (+)	G
Nível de automação para segurança (+)	G
Nível de automação na transposição (+)	G
Número de comandos (o)	G
Precisão nos comandos (+)	G
Processamento necessário (somente o necessário) (-)	G
Rotina de automação segurança (o)	G
Sensoriamento (+)	G
Tempo de processamento (-)	G
Tempo de resposta (-)	G
Ter backup das fotos obtidas na operação antes da operação terminar	G
Ter backup dos dados durante operação (o)	G
Ter sistema de integridade de informação (o)	G
Velocidade no processamento de dados (+)	G
Aplicação em diferentes redes (o)	H
Central de comando (o)	H
Complexidade elétrica (-)	H
Complexidade mecânica (-)	H
Complexidade na montagem/desmontagem (-)	H
Confiabilidade (+)	H
Custo de compra (-)	H
Custo de manutenção (-)	H
Custo de manutenção da câmera (-)	H
Custo de produção/fabricação (-)	H
Custo do material (-)	H
Custo dos sensores (-)	H
Dificuldade de manutenção (-)	H
Fácil de montar/desmontar/acoplar (o)	H
Facilidade de instalação (+)	H
Facilidade de manutenção (+)	H
Facilidade de preparar o sistema para operação (+)	H
Facilidade na manutenção (+)	H

Facilidade para montar/desmontar (+)	H
Intuitivo (+)	H
Intuitivo (figuras associativas) (+)	H
Necessidades de intervenção ao longo da inspeção (-)	H
Número de comandos (+)	H
Rotina de auto-testes de segurança (o)	H
Ser fácil de usar (o)	H
Simplicidade de fabricação (+)	H
Sinais vitais do sistema (o)	H
Software intuitivo (o)	H
Vida útil (+)	H

Listagem das propostas em função dos requisitos de usuário	R. U.
Aceleração (-)	1
Aerodinâmica (+)	1
Autonomia para segurança (+)	1
Confiabilidade (+)	1
Densidade (-)	1
Força sobre o cabo (-)	1
Geometria favorável (distribuição da massa) (o)	1
Massa (-)	1
Materiais pesados (-)	1
Nível de automação para segurança (+)	1
Objetos cortantes (-)	1
Pegador com curvas suaves (+)	1
Pontos de apoio no cabo (-)	1
Pontos de contato (+)	1
Sensoriamento (+)	1
Tamanho (-)	1
Velocidade de avanço (-)	1
Absorver impacto (dúctil) (+)	2
Autonomia para segurança (+)	2
Número de componentes expostos (-)	2
Geometria favorável (o)	2
Graus de liberdade (+)	2
Nível de automação para segurança (+)	2
Pontos de apoio no cabo (-)	2
Precisão (+)	2
Sensoriamento (+)	2
Sistema de frenagem eficiente (+)	2
Tamanho (-)	2
Tempo de resposta (-)	2
Velocidade de operação (-)	2
Vida útil (+)	2
Autonomia (+)	3
Complexidade elétrica (+)	3
Comunicação sem fio (o)	3
Guardar informações dos sinais (o)	3
Memória (+)	3
Preciso (+)	3
Sensoriamento (+)	3
Sinais vitais do sistema (o)	3
Tempo de resposta (-)	3
Ter backup dos dados durante operação (o)	3
Ter sistema de integridade de informação (o)	3
Autonomia para operação (+)	4
Consumo energético (-)	4
Força sobre o cabo e outros componentes (-)	4
Geometria favorável (o)	4
Graus de liberdade (+)	4
Nível de automação (+)	4
Precisão nos comandos (+)	4

Sensoriamento (+)	4
Ser longo (+)	4
Tempo de resposta (-)	4
Tempo de transposição (-)	4
Autonomia (+)	5
Consumo energético (-)	5
Facilidade de manutenção (+)	5
Gasto de energia (-)	5
Geometria favorável (inovadora) (o)	5
Geometria que não foi pensada (inovação) (o)	5
Materiais pesados (o)	5
Nível de automação geral (+)	5
Possuir movimentos de transposição gerais (o)	5
Possuir movimentos de transposição inovadores (o)	5
Recarregável durante operação (o)	5
Rotina de auto-testes de segurança (o)	5
Sensoriamento (+)	5
Simplicidade de fabricação (+)	5
Tempo de inspeção (-)	5
Tempo gasto para operação (-)	5
Aderência nos cabos (+)	6
Consumo energético para instalação (-)	6
Fácil de montar/desmontar/acoplar (o)	6
Graus de liberdade (-)	6
Graus de liberdade adequados para instalação (o)	6
Massa (-)	6
Material aderente (+)	6
Nível de automação para rotina de instalação (+)	6
Peso (-)	6
Pontos de apoio no cabo (+)	6
Rigidez (+)	6
Sensoriamento (+)	6
Acelerometro (o)	7
Central de comando (o)	7
Complexidade elétrica (+)	7
Consumo de energia (-)	7
Controle remoto sobre parâmetros do robô (+)	7
Custo dos sensores (-)	7
Número de comandos (o)	7
Precisão nos comandos (+)	7
Sensoriamento (+)	7
Suporte para a câmera (o)	7
Suporte para demais sensores (o)	7
Tempo de resposta (-)	7
Velocímetro (o)	7
Custo de compra (-)	8
Custo de manutenção (-)	8
Custo de manutenção da câmera (-)	8
Facilidade na operação (+)	8
Lentes de aumento (+)	8

Local para câmera (o)	8
Multiploespectro (+)	8
Opções de onde colocar a câmera no robô (+)	8
Suporte para a câmera (o)	8
Tempo de processamento (-)	8
Transmissão de dados (+)	8
Velocidade de processamento (+)	8
Facilidade para montar/desmontar (+)	9
Graus de liberdade (+)	9
Partes desmontáveis (o)	9
Tamanho (-)	9
Tempo de montagem (-)	9
Volume (-)	9
Complexidade na montagem/desmontagem (-)	10
Consumo de energia (-)	10
Curvas (+)	10
Custo (-)	10
Custo de produção/fabricação (-)	10
Formas ergonômicas (+)	10
Intuitividade (o)	10
Massa (-)	10
Nível de automação geral (+)	10
Sensoriamento (+)	10
Ser fácil de usar (o)	10
Aplicação em diferentes redes (o)	10
Tamanho (-)	10
Tempo de operação (+)	10
Aerodinâmica (+)	11
Autonomia (+)	11
Confiabilidade (+)	11
Exigência dos esforços (-)	11
Geometria favorável (+)	11
Graus de liberdade adequados para segurança (o)	11
Massa (-)	11
Limite de escoamento (resistência elástica) (+)	11
Movimentos bruscos (-)	11
Nível de automação (+)	11
Precisão nos comandos (+)	11
Sensoriamento (+)	11
Simetria variável (o)	11
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	12
Complexidade elétrica (-)	12
Complexidade mecânica (-)	12
Exigência de esforço físico do operador (-)	12
Geometria favorável (cantos vivos)(+)	12
Intuitividade (+)	12
Massa (-)	12
Materiais que conduzem corrente (-)	12
Nível de automação (+)	12
Peso (-)	12

Pontas e arestas cortantes (-)	12
Simetria (+)	12
Tamanho (-)	12
Tempo de resposta (-)	12
Conversor	13
Geometria favorável (+)	13
Massa (-)	13
Material de contato com coef. De atrito (+)	13
Nível de automação (+)	13
Potência (+)	13
Potência requerida (-)	13
Sensoriamento (+)	13
Torque dos motores (+)	13
Tração	13
Velocidade de operação (-)	13
Autonomia (- necessidade de trocar baterias) (+)	14
Complexidade mecânica (-)	14
Facilidade de instalação (+)	14
Facilidade de preparar o sistema para operação (+)	14
Geometria favorável (o)	14
Graus de liberdade (-)	14
Inércia (-)	14
Intuitividade (+)	14
Intuitivo (+)	14
Intuitivo (figuras associativas) (+)	14
Massa (-)	14
Nível de automação (+)	14
Número de comandos (+)	14
Número de componentes (-)	14
Pontos de fixação (caso do robô ser desmontável) (-)	14
Precisão nos comandos (+)	14
Sensoriamento (+)	14
Tempo de resposta (-)	14
Velocidade otimizada para reduzir consumo e melhorar rend. (+)	14
Blindagem dos componentes internos (+)	15
Blindagem eletrostática (+)	15
Custo do material (-)	15
Formato seguro (o)	15
Materiais condutores (-)	15
Monumentos precisos (o)	15
Pontos de contato com o material isolante (+)	15
Rotina de automação segurança (o)	15
Sensoriamento (+)	15
Sensoriamento de tensão/auto-circuito (o)	15
Tamanho (-)	15
Ter materiais isolantes térmicos (o)	15
Vida útil (+)	15
Aderência (+)	16
Consumo energético no deslocamento (-)	16
Facilidade na operação (+)	16

Forças sobre o cabo (-)	16
Geometria favorável (o)	16
Inércia do movimento (+)	16
Massa (-)	16
Nível de automação (+)	16
Nível de automação no deslocamento (+)	16
Peso (-)	16
Precisão nos comandos (+)	16
Sensoriamento (+)	16
Tempo de resposta (-)	16
Tempo gasto para deslocamento (-)	16
Aceleração otimizada (o)	17
Autonomia (+)	17
Baterias melhores (o)	17
Capacidade da bateria (+)	17
Consumo energético (-)	17
Eficiência do motor (o)	17
Graus de liberdade (-)	17
Massa (-)	17
Massa dos materiais (-)	17
Materiais leves (+)	17
Materiais resistentes (+)	17
Necessidades de intervenção ao longo da inspeção (-)	17
Peso (-)	17
Potência (-)	17
Potência requerida (-)	17
Processadores internos (+)	17
Processamento necessário (somente o necessário) (-)	17
Quantidade de materias (-)	17
Recarregável durante operação (o)	17
Sensoriamento (+)	17
Tempo de processamento (-)	17
Tempo de resposta (-)	17
Torque exigido dos motores (-)	17
Velocidade otimizada (o)	17
Autonomia (+)	18
Comunicação sem fio (o)	18
Consumo energético (-)	18
Durabilidade da bateria para a operação (+)	18
Intuitividade (o)	18
Massa (-)	18
Nível de automação (+)	18
Sensoriamento (+)	18
Tempo de resposta (-)	18
Velocidade de operação (relativo ao deslocamento do robô) (-)	18
Velocidade de processamento (+)	18
Automatizar operação de transposição desta classe (o)	19
Autonomia para transposição (+)	19
Consumo energético (-)	19
Disposição do robô (o)	19

Força sobre o cabo (-)	19
Geometria favorável (o)	19
Graus de liberdade (-)	19
Monitoramento da trajetória (+)	19
Nível de automação na transposição (+)	19
Número de peças/materiais necessários para transpor (-)	19
Potência requerida (-)	19
Sensoriamento (+)	19
Tempo para transposição (-)	19
Torque dos atuadores (-)	19
Autonomia (+)	20
Capacidade de processamento (+)	20
Comunicação sem fio	20
Consumo na operação (-)	20
Graus de liberdade (-)	20
Inércia do sistema (-)	20
Intuitividade (o)	20
Monitoramento da trajetória (+)	20
Movimentação fluida (movimentação da camera)(+)	20
Nível de automação (+)	20
Posição da câmera (o)	20
Previsão de acidentes (+)	20
Sensoriamento (+)	20
Simetria flexível (+)	20
Tempo de resposta (-)	20
Autonomia (+)	21
Dificuldade de manutenção (-)	21
Facilidade na manutenção (+)	21
Geometria resistente ao impacto	21
Graus de liberdade (+)	21
Massa (-)	21
Materiais leves (+)	21
Materiais resistentes (+)	21
Monitoramento da trajetória (+)	21
Nível de automação para segurança (+)	21
Pontos de fixação (+)	21
Resistência a impacto (+)	21
Resistência mecânica (+)	21
Rigidez (+)	21
Sensoriamento (+)	21
Simetria flexível (+)	21
Velocidade no processamento de dados (+)	21
Vida útil (+)	21
Consumo energético no georreferenciamento (-)	22
Consumo para GPS (-)	22
Forma de armazenamento (associar com a foto) (o)	22
Monitoramento da trajetória (+)	22
Nível de automação no georreferenciamento (+)	22
Sensoriamento (+)	22
Sistema de GPS	22

Tempo de resposta (-)	22
Tempo para georreferenciar (-)	22
Associar visão térmica e visual (-)	23
Consumo energético na análise de fotos (-)	23
Nível de automação na análise (+)	23
Número de frames (+)	23
Processador consumo (-)	23
Sensoriamento (+)	23
Sistema de tratamento de imagens	23
Software intuitivo (o)	23
Tempo para analisar fotos (-)	23
Ter backup das fotos obtidas na operação antes da operação terminar	23
Velocidade de operação (-)	23

APÊNDICE G – LISTAS DE REQUISITOS DE PROJETO OBTIDAS NA ETAPA DE SÍNTESE

Neste apêndice são apresentadas as listas de requisito de projeto produzidas na durante a execução da etapa de síntese de requisitos de projeto do método de conversão sistemática de requisitos de usuário em requisitos de projeto.

G.1 REQUISITOS DE PROJETO LISTADOS PELA DUPLA

- Aceleração
- Autonomia
- Capacidade de armazenamento
- Coeficiente de atrito
- Custo
- Esforço de instalação
- Forma
- FPS*
- Graus de liberdade
- Intuitividade
- Massa
- Número de câmeras
- Número de operações automatizadas
- Número de sensores
- Pontos de apoio no cabo
- Potência
- Precisão
- Resistência mecânica
- Resistência térmica
- Rigidez dielétrica
- Rigidez mecânica

- Taxa de transmissão de dados
- Tempo de processamento
- Tempo de transposição
- Velocidade
- Volume de operação
- Volume de transporte

G.2 REQUISITOS DE PROJETO LISTADOS PELO TRIO

- Aceleração
- Coeficiente de arrasto
- Coeficiente de atrito
- Consumo de energia
- Custo de produto
- Custo de uso
- Massa
- Memória
- Número de comandos na interface usuário/robô
- Número de componentes expostos
- Número de graus de liberdade
- Número de operações automatizadas
- Número de sensores
- Período entre falhas
- Permissividade elétrica dos materiais
- Quantidade de pontos de apoio
- Resistência à radiação (térmica)
- Rigidez
- Taxa de transmissão da comunicação wireless

- Tempo de instalação
- Tempo de montagem
- Tempo de processamento do robô Volume

G.3 REQUISITOS DE PROJETO LISTADOS AO FINAL DA SÍNTESE

- Aceleração
- Autonomia
- Capacidade de armazenamento
- Coeficiente de arrasto
- Coeficiente de atrito
- Consumo de energia
- Custo
- Custo de produto
- Custo de uso
- Esforço de instalação
- Forma
- FPS*
- Graus de liberdade
- Intuitividade
- Massa
- Memória
- Número de câmeras
- Número de comandos na interface usuário/robô
- Número de componentes expostos
- Número de graus de liberdade
- Número de operações automatizadas
- Número de reivindicações para patente

- Número de sensores
- Período entre falhas
- Permissividade elétrica dos materiais
- Pontos de apoio no cabo
- Potência
- Precisão
- Precisão de posicionamento do GPS
- Quantidade de pontos de apoio
- Resistência à radiação (térmica)
- Resistência mecânica
- Resistência térmica
- Rigidez
- Rigidez dielétrica
- Rigidez mecânica
- Taxa de acerto na identificação de componentes
- Taxa de atualização do GPS
- Taxa de transmissão da comunicação wireless
- Taxa de transmissão de dados
- Tempo de instalação
- Tempo de montagem
- Tempo de processamento
- Tempo de processamento do robô
- Tempo de transposição
- Ter redundância de segurança contra queda
- Velocidade
- Volume

- Volume de operação
- Volume de transporte

APÊNDICE H – DEFINIÇÕES DOS REQUISITOS DE PROJETO

Neste apêndice são apresentadas as definições dos requisitos de projeto utilizada na execução do método de avaliação semipresencial dos requisitos de projeto.

1. **Aceleração:** este requisito de projeto representa a aceleração que o robô apresentará em relação à rede de distribuição sobre a qual ele percorre. Busca-se minimizar este requisito visando reduzir o esforço aplicado sobre a linha, para concepções que apresentem contato com a mesma, e permitir um retorno visual da câmera e movimentação do robô fluidos.
2. **Coefficiente de atrito:** este requisito de projeto representa o coeficiente de atrito entre a rede de distribuição e o sistema robótico, sendo válido para concepções que necessitem de contato com a linha para deslocamento. Busca-se maximizar este requisito para evitar perda energética e, possivelmente, incapacidade de locomoção ou controle do robô devido escorregamento. Pode-se considerar que concepções que não necessitam de contato com a linha para se deslocar não apresentam risco de escorregamento.
3. **Consumo de energia:** este requisito de projeto representa a quantidade de energia consumida em um intervalo de tempo conhecido. Busca-se minimizar este requisito para permitir que o robô apresente um tempo de operação.
4. **Custo de produto:** este requisito do projeto representa o custo de produção de uma unidade robótica. Busca-se reduzir este requisito para melhorar a vendibilidade.
5. **Erro de posicionamento do GPS:** este requisito de projeto representa o erro de posicionamento do sistema de georreferenciamento do sistema robótico. Deseja-se minimizar este requisito para permitir a localização georreferenciada precisa do poste inspecionado.
6. **Graus de liberdade atuados:** este requisito de projeto representa o número total de graus de liberdade atuados do sistema robótico. Em outras palavras, este requisito indica o número de atuadores mecânicos, motores, que o operador controla para movimentar o sistema robótico. Deseja-se atingir um valor adequado para que o robô consiga movimentar, transpor e inspecionar a rede de maneira eficiente e simples.
7. **Intuitividade:** este requisito de projeto representa a facilidade de operação do sistema robótico. Deseja-se maximizar este requisito.
8. **Massa:** este requisito de projeto representa a massa total do sistema robótico. Deseja-se reduzir seu valor.

9. **Número de comandos na interface usuário/robô:** este requisito de projeto representa o número total de comandos presentes ao operador para controle do sistema robótico. Deseja-se minimizar este requisito para facilitar a operação do robô.
10. **Número de componentes expostos:** este requisito de projeto representa o número total de protuberâncias da forma do sistema robótico que podem colidir com a rede, componentes ou obstáculos durante a movimentação sobre a rede ou transposição de obstáculos. Deseja-se minimizar este requisito para que sejam evitadas quedas e danos a rede, componentes e/ou ao robô.
11. **Número de operações automatizáveis:** este requisito de projeto representa o número total de operações automatizáveis do sistema robótico. Deseja-se maximizar o número de operações automatizáveis para facilitar o controle do sistema robótico.
12. **Número de reivindicações para patente:** este requisito de projeto representa o número de reivindicações patenteáveis do sistema robótico. Deseja-se maximizar o número de reivindicações para aumentar a probabilidade de atender o critério de geração de patente do regulamento da ANEL.
13. **Número de sensores:** este requisito de projeto representa o número total de sensores acessórios, desconsiderando a(s) câmera(s) de inspeção, destinados ao monitoramento e/ou controle do sistema robótico. Deseja-se maximizar este requisito para facilitar a operação do robô.
14. **Período entre falhas:** este requisito de projeto representa o intervalo de tempo de trabalho, não necessariamente contínuo, em que o robô opera sem necessidade de manutenção. Deseja-se maximizar este requisito para diminuir o número de paradas para manutenções corretivas.
15. **Pontos de apoio no cabo:** este requisito de projeto representa o número total de pontos de apoio do robô sobre o cabo durante a operação de deslocamento. Deseja-se atingir um valor adequado para otimizar a distribuição de carga sobre o cabo, comprimento do sistema robótico e manobra de transposição.
16. **Potência máxima dos motores:** este requisito de projeto representa a potência máxima dos motores do sistema robótico. Deseja-se maximizar este requisito para que os motores tenham potência suficiente para o controle do robô em situações previstas.
17. **Precisão de sensores:** este requisito de projeto representa a precisão dos sensores dada a relação (1- resolução do sensor/faixa de medição). Deseja-se maximizar a precisão para permitir um controle mais preciso do sistema robótico.

18. **Resistência térmica nos pontos de apoio:** este requisito de projeto representa a capacidade de isolamento térmico dos pontos de apoio do sistema robótico. Deseja-se maximizar este requisito para evitar que a temperatura dos cabos possa danificar componentes do robô.
19. **Resolução da câmera:** este requisito de projeto representa a qualidade da imagem nos espectros visível e térmico. Deseja-se maximizar este requisito para facilitar a análise de fotografias e aumentar a eficiência do retorno visual ao operador para auxiliar no controle do robô.
20. **Rigidez dielétrica:** este requisito de projeto representa a capacidade de isolamento elétrico do sistema robótico. Deseja-se maximizar este requisito para evitar que ocorram acidentes que possam danificar a rede, o robô e/ou representar risco de segurança aos operadores e transeuntes.
21. **Rigidez mecânica:** este requisito de projeto representa a rigidez mecânica global do sistema robótico, considerando-se a complacência estrutural e das juntas. Deseja-se maximizar este requisito para permitir que a operação do robô seja mais precisa.
22. **Taxa de acerto na identificação de componentes:** este requisito de projeto representa a capacidade de identificar corretamente os componentes do sistema de análise de fotos, sendo este não incorporado ao sistema robótico. Deseja-se maximizar este requisito.
23. **Taxa de atualização do GPS:** este requisito de projeto representa a frequência com que o georreferenciamento do sistema robótico é atualizado. Deseja-se maximizar este requisito para permitir a localização georreferenciada precisa do poste inspecionado.
24. **Taxa de transmissão da comunicação wireless:** este requisito de projeto representa a quantidade de informação que pode ser transmitida entre o sistema robótico e operador em um tempo finito. Deseja-se maximizar este requisito.
25. **Temperatura interna do robô:** este requisito de projeto representa a temperatura interna do sistema robótico. Deseja-se minimizar este requisito para garantir um correto funcionamento dos componentes eletrônicos.
26. **Tempo de instalação:** este requisito de projeto representa o tempo necessário para fazer a instalação e desinstalação do sistema robótico à rede de distribuição, desconsiderando o tempo de montagem, desmontagem e/ou preparação do sistema após retirar o mesmo do automóvel ou da rede. Deseja-se minimizar este requisito para permitir que o processo de instalação seja simples e que a inspeção seja mais ágil.

27. **Tempo de montagem:** este requisito de projeto representa o tempo necessário para montar o sistema robótico após sua remoção do veículo de transporte, assim como o tempo necessário para desmontar e acondicionar o robô no veículo de transporte. Deseja-se minimizar este requisito para agilizar o processo de inspeção.
28. **Tempo de operação:** este requisito de projeto representa o tempo contínuo durante operação do sistema robótico na rede, sem contar tempo de instalação ou montagem, em que este opera sem necessidade de parada ou intervalo para manutenção ou reabastecimento. Deseja-se maximizar este requisito.
29. **Tempo de processamento do robô:** este requisito de projeto representa o tempo necessário para o sistema robótico compute sinais, obtidos através de sensores e de comandos enviados pelo operador, e tome decisões a partir destes. Deseja-se minimizar este requisito para facilitar o controle do robô.
30. **Tempo de transposição:** este requisito de projeto representa o tempo necessário para que o sistema robótico realize a manobra de transposição. Deseja-se minimizar este requisito para que a inspeção seja mais ágil.
31. **Ter redundância de segurança contra queda:** este requisito de projeto deve ser atendido para que o sistema robótico não dependa de apenas um sistema de segurança para impedir sua queda, no caso da falha de um dos sistemas de segurança os demais são suficientes para impedir a queda do sistema robótico. Deseja-se maximizar o número de sistemas de segurança contra queda independentes.
32. **Velocidade de deslocamento do robô:** este requisito de projeto representa a velocidade máxima de deslocamento do sistema robótico sobre a rede, entre postes. Deseja-se atingir um valor adequado para que o processo de inspeção seja ágil, não danifique a rede ou componentes e permita a aquisição adequada de imagens.
33. **Volume de operação:** este requisito de projeto representa o volume que o sistema robótico pode ocupar dadas suas dimensões e liberdades de movimentação. Deseja-se que o volume de operação seja adequado para realizar a transposição de obstáculos sem colidir com a rede, componentes ou obstáculos.
34. **Volume de transporte:** este requisito de projeto representa o volume da caixa que será utilizada para armazenar e transportar o sistema robótico. Deseja-se minimizar este requisito.

APÊNDICE I – EXEMPLO DA RASTREABILIDADE DO MÉTODO DE CONVERSÃO SISTEMÁTICA DOS REQUISITOS DE USUÁRIO EM REQUISITOS DE PROJETO

Na etapa de análise dos requisitos de usuário os participantes fazem registro de propostas de requisitos de projeto analisando a interação de um requisito de usuário com um atributo específico. Este registro permite que através da lista de propostas pré-agrupadas em função de seus requisitos de usuário de origem sejam rapidamente identificados com quais propostas um requisito está relacionado.

Analisando o requisito de usuário **Não romper o cabo condutor** identifica-se que ele apresenta relação com 17 propostas de requisito de projeto apresentadas a seguir.

- Aceleração (-)
- Aerodinâmica (+)
- Autonomia para segurança (+)
- Confiabilidade (+)
- Densidade (-)
- Força sobre o cabo (-)
- Geometria favorável (distribuição da massa) (o)
- Massa (-)
- Materiais pesados (-)
- Nível de automação para segurança (+)
- Objetos cortantes (-)
- Pegador com curvas suaves (+)
- Pontos de apoio no cabo (-)
- Pontos de contato (+)
- Sensoriamento (+)
- Tamanho (-)
- Velocidade de avanço (-)

Na lista das propostas de requisito de projeto listadas sem repetições, dedicada ao registro e acompanhamento da síntese de requisitos de projeto, é possível verificar em quais requisitos de projeto estas propostas foram sintetizadas por cada time.

A dupla relacionou estas propostas aos seguintes requisitos de projeto: aceleração, autonomia, forma, massa, número de operações automatizadas, número de sensores, pontos de apoio no cabo, velocidade, volume de operação.

O trio relacionou estas propostas aos seguintes requisitos de projeto: aceleração, coeficiente de arrasto, consumo de energia, massa, número de componentes expostos, número de operações automatizadas, número de sensores, período entre falhas, quantidade de pontos de apoio, tempo de instalação, tempo de processamento do robô, volume.

Na etapa de eliminação alguns requisitos levantados foram agrupados em um único requisito de projeto, como "autonomia" e "consumo energético". Outros requisitos podem sofrer alterações de suas denominações como "número de operações automatizadas" para "número de operações automatizáveis". Por fim alguns requisitos de projeto podem ser eliminados da listagem final, como foi o caso do requisito "coeficiente de arrasto".

Concluindo-se as alterações da etapa de eliminação e agrupando os requisitos de projeto que os dois times sintetizaram a partir das propostas oriundas do requisito de usuário obtém-se a lista de requisitos de projeto que provavelmente possuem relação com **Não romper o cabo condutor**.

- Aceleração
- Consumo de energia
- Massa
- Número de componentes expostos
- Número de operações automatizáveis
- Número de sensores
- Período entre falhas
- Pontos de apoio no cabo
- Tempo de instalação
- Tempo de processamento do robô
- Velocidade máxima de deslocamento
- Volume de operação

APÊNDICE J – REQUISITOS DE PROJETO PRIORIZADOS

Neste apêndice são apresentadas as ordens de prioridade dos requisitos de projeto a partir das avaliações individuais e após a conclusão da reunião de debate.

Requisitos de projeto	Prioridade através da média das A.I.	Ordem através da média das A.I.	Prioridade após debate	Ordem após debate	Diferença na ordem de prioridade
Massa	5,17%	1	5,42%	1	→ 0
Número de sensores	4,90%	2	4,79%	2	→ 0
Graus de liberdade	4,59%	3	4,63%	3	→ 0
Volume de operação	3,82%	7	3,94%	4	↑ 3
Taxa de transmissão da comunicação wireless	3,79%	8	3,92%	5	↑ 3
Número de comandos na interface usuário/robô	3,82%	5	3,87%	6	↓ -1
Custo de produto	3,46%	15	3,81%	7	↑ 8
Pontos de apoio no cabo	3,86%	4	3,73%	8	↓ -4
Velocidade de deslocamento do robô	3,76%	9	3,65%	9	→ 0
Consumo de energia	3,34%	16	3,63%	10	↑ 6
Número de operações automatizadas	3,82%	6	3,63%	11	↓ -5
Aceleração	3,66%	10	3,62%	12	↓ -2
Tempo de processamento do robô	3,50%	13	3,56%	13	→ 0
Coefficiente de atrito	3,28%	17	3,53%	14	↑ 3
Ter redundância de segurança contra queda	3,62%	12	3,51%	15	↓ -3
Tempo de transposição	3,49%	14	3,35%	16	↓ -2
Precisão de sensores	3,63%	11	3,34%	17	↓ -6
Resolução da câmera	2,98%	19	3,07%	18	↑ 1
Número de componentes expostos	3,08%	18	3,05%	19	↓ -1
Tempo de operação	2,94%	20	2,91%	20	→ 0
Intuitividade	2,56%	21	2,67%	21	→ 0
Potência máxima dos motores	2,52%	22	2,66%	22	→ 0
Rigidez mecânica	2,38%	23	2,35%	23	→ 0
Tempo de instalação	1,98%	25	2,04%	24	↑ 1
Rigidez dielétrica	1,81%	27	1,93%	25	↑ 2
Período entre falhas	1,67%	29	1,82%	26	↑ 3
Taxa de acerto na identificação de componentes	2,15%	24	1,62%	27	↓ -3
Volume de transporte	1,69%	28	1,61%	28	→ 0
Tempo de montagem	1,52%	31	1,58%	29	↑ 2
Número de reivindicações para patente	1,18%	34	1,48%	30	↑ 4
Taxa de atualização do GPS	1,83%	26	1,40%	31	↓ -5
Resistência térmica nos pontos de apoio	1,39%	32	1,37%	32	→ 0
Temperatura interna do robô	1,21%	33	1,30%	33	→ 0
Erro de posicionamento do GPS	1,63%	30	1,21%	34	↓ -4

ANEXO A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO DURANTE O PROJETO DA CELESC

A equipe de projeto desenvolveu e aplicou um questionário para nivelar as informações apresentadas para cada concepção antes de ser feita a avaliação das concepções no projeto da Celesc. Neste apêndice é apresentado o questionário.

Questionário - Parte 1

1. Durante o teste da maquete, houve risco da maquete cair da rede durante o deslocamento?
2. Durante o teste da maquete, houve risco da maquete cair da rede durante as manobras de transposição? (A maquete ficou instável ao ponto de ter sido necessário segurá-la para que não caísse?)
3. O teste da maquete danificou ou modificou o arranjo dos componentes da rede de teste?
4. Quais foram os procedimentos padrões para preparar a maquete para teste?
5. Quais obstáculos foram possíveis de ser transpostos pela maquete?
6. Houve dificuldade em controlar os graus de liberdade da maquete?
7. Quais são as dimensões da maquete montada e desmontada? (LxPxA)

Questionário - Parte 2

1. Quais são os riscos de queda desta concepção? Como funcionam os dispositivos anti-queda da concepção (Mecânicos ou eletrônicos/rotinas de segurança)?
2. Existe risco de danificar a rede ou algum componente? Quais os riscos de que isto aconteça desta concepção? Como esta concepção evita que este risco venha a acontecer?
3. Quais são as etapas de montagem e desmontagem desta concepção? Liste cada um dos procedimentos em ordem lógica (Como se fosse uma rotina de programação), e quais destas podem ser automatizadas?
4. Quais as etapas de instalação do dispositivo na rede? Liste cada um dos procedimentos em ordem lógica (Como se fosse uma rotina de programação), e quais destas podem ser automatizadas?
5. Quais obstáculos da classe I a concepção consegue transpor? Como é feita a transposição para os obstáculos desta classe? Liste cada um dos procedimentos

em ordem lógica (Como se fosse uma rotina de programação), e quais destas podem ser automatizadas?

Obstáculos Classe I: emendas, Cruzetas simples com isolador tipo pino ou pilar, Cruzetas duplas com isolador tipo pino ou pilar.

6. Quais obstáculos da classe II a concepção consegue transpor? Como é feita a transposição para os obstáculos desta classe? Liste cada um dos procedimentos em ordem lógica (Como se fosse uma rotina de programação)

Obstáculos Classe II: derivações, Bromélias, Cobertura de proteção, Cruzamento de rua, Obstáculos entre isoladores (João de Barro), Cruzetas com isoladores tipo suspensão - config. up, Cruzetas com isoladores tipo suspensão - config. down,

7. Quais serão as informações necessárias para que o operador consiga controlar o robô de maneira segura? (Ex: imagem em tempo real, inclinação, distância do obstáculo, etc)
8. Quantos graus de liberdade atuados possui a concepção? Destes quantos podem ser atuados por motores de baixa potência (Ex: micro servos)?
9. A concepção já possui uma região ou local específico para a câmera? Ela estará posicionada abaixo ou acima da linha? A Câmera deverá possuir graus de liberdade atuados exclusivos para seu posicionamento? (Ex: gimbal)
10. Quais as dimensões mínimas de uma caixa para transportar esta concepção?
11. Qual o valor da distância máxima de transposição desta concepção?
12. Entre o primeiro e último postes da rede piloto, quantas vezes será necessário realizar a desinstalação e instalação da concepção na rede por impossibilidade de transposição de obstáculo? (Desconsidere autonomia)
13. O robô se apoia em quantos cabos? Qual o número de apoios por cabo?
14. Quantos operadores são necessários em campo para instalar, monitorar e/ou operar a concepção?
15. Qual a estimativa de tempo de transposição com base em testes na rede teste e na sua experiência?

ANEXO B – FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome:

Instruções:

Faça a COMPARAÇÃO das concepções em relação à concepção de REFERÊNCIA.

Utilize os símbolos abaixo para indicar que :

(+) Esta concepção atende o req. de usuário de maneira MELHOR do que a REFERÊNCIA

(0) Esta concepção atende o req. de usuário de maneira SEMELHANTE do que a REFERÊNCIA

(-) Esta concepção atende o req. de usuário de maneira PIOR do que a REFERÊNCIA

Requisitos de usuário	Concepção Boomerangue	Concepção Roda balão	Concepção Transposição lateral	Concepção Drone
1. Não romper o cabo condutor	Referência			
2. Não colidir com linha ou componentes				
3. Guardar informação				
4. Transposição classe II - Alta complexidade				
5. Ter inovação				
6. Ser fácil de instalar o robô na rede				
7. Monitoramento teleoperado assistido				
8. Ter câmera visual e térmica				
9. Ser compacto para transporte				
10. Ter vendibilidade				
11. Não cair				
12. Ser seguro para o operador				
13. Deslocar sobre a rede no plano inclinado (Subir aclone)				
14. Fácil operação do robô na rede				
15. Operar isolado da rede				
16. Deslocar sobre a rede no plano horizontal				
17. Longo tempo de operação				
18. Ser teleoperado				
19. Transposição classe I - Baixa complexidade				
20. Ter movimento assistido				
21. Ser robusto				
22. Ter georreferenciamento				
23. Analisar fotos				