

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PRISCILA BOSA VICENTE

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO À DECISÃO
MULTICRITERIAL PARA ANÁLISE DE PROPOSTAS DE
FORNECEDORES EPC *TURNKEY* PARA PROJETOS DE BESS**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PRISCILA BOSA VICENTE

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO À DECISÃO
MULTICRITERIAL PARA ANÁLISE DE PROPOSTAS DE
FORNECEDORES EPC *TURNKEY* PARA PROJETOS DE BESS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheira Eletricista.

Orientador:
Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Vicente, Priscila Bosa

Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão Multicriterial para Análise de Propostas de Fornecedores EPC Turnkey para Projetos de BESS / Priscila Bosa Vicente; orientação de Everthon Taghori Sica. - Florianópolis, SC, 2025.

173 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Sistemas de armazenamento de energia por baterias.
2. Contrato EPC Turnkey.
3. Seleção de fornecedores.
4. Decisão multicriterial. I. Sica, Everthon Taghori. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão Multicriterial para Análise de Propostas de Fornecedores EPC Turnkey

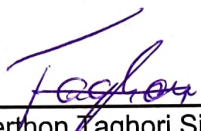
**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO À DECISÃO MULTICRITERIAL
PARA ANÁLISE DE PROPOSTAS DE FORNECEDORES EPC TURNKEY PARA
PROJETOS DE BESS**

PRISCILA BOSA VICENTE

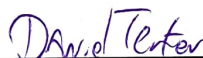
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira em Engenharia Elétrica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de julho, 2025.

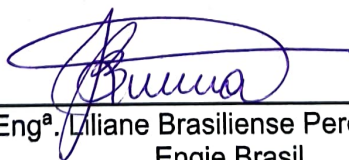
Banca Examinadora:



Prof. Everthon Faghor Sica, Dr. Eng.



Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.



Engª. Liliane Brasiliense Pereira, Esp.
Engie Brasil

Dedico este trabalho ao meu futuro eu,
que poderá vivenciar os resultados desta
jornada de aprendizado e crescimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu esposo Víctor, pelo companheirismo e incentivo durante toda a graduação, sendo minha fonte inesgotável de apoio, carinho e amor. Pelas centenas de vezes em que você precisou ler, reler e comentar este trabalho.

Aos meus pais, Luciana e Alcidemir, e minhas irmãs, Carolina e Fernanda, por serem inspiração, sempre me incentivarem a seguir meus sonhos e por todo o suporte ofertado para que eu pudesse, através do estudo, ter melhores oportunidades.

Agradeço também aos meus sogros por todo carinho e suporte durante os anos de graduação. Aos amigos que se tornaram família, que dividiram não apenas essa trajetória, mas também os momentos de angústias e que celebraram as minhas conquistas como se fossem suas.

As minhas gatas, Selina, Atena e Diana, por todo amor e carinho oferecido em forma de ronrons e por andarem em cima do teclado, me ajudando a escrever quando eu não tinha inspiração.

Aos professores que eu tive contato, pelos ensinamentos que me proporcionaram um melhor desempenho e que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional ao longo do curso. Em especial, ao professor Everthon Taghori Sica pela orientação, ajuda e paciência durante o andamento deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, a todos que de alguma forma tive contato durante a graduação e estágios, por dividirem comigo seus conhecimentos e suas culturas, me mostrando a força que temos nas nossas conexões e no apoio mútuo.

RESUMO

Os sistemas de armazenamento de energia por baterias (*Battery energy storage systems – BESS*) se destacam pela flexibilidade de aplicações, tendo soluções para a geração, a transmissão, a distribuição e para os consumidores finais. Devido à intermitência de fontes inesgotáveis como a eólica e a solar, no setor de geração de energia elétrica, empresas brasileiras têm buscado a viabilização de projetos para implantação de BESS, com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos ativos. Essas melhorias incluem a diminuição da geração frustrada de energia elétrica devido aos cortes, o auxílio na regulação de frequência e tensão da rede, e a oportunidade de melhores condições para comercializar a eletricidade que é gerada. Apesar do potencial do BESS, atualmente, essas empresas enfrentam diversos desafios, como a falta de regulamentação e normas técnicas específicas, o alto custo das baterias e a escassez de mão de obra qualificada. Em consequência, durante a fase de seleção de fornecedores é essencial estabelecer um processo estruturado que agregue robustez e assertividade na escolha desse fornecedor. O tipo de contrato escolhido relacionará o risco e a exposição de cada *stakeholder* no processo. Considerando o BESS como uma tecnologia emergente no mercado brasileiro a escolha do contrato EPC *Turnkey* pode ser benéfica, pois aloca maiores responsabilidades ao fornecedor, pressupondo que ele tenha mais experiência com a tecnologia e deve possuir melhores condições para mitigar e gerenciar os riscos envolvidos na implantação do BESS. A não inclusão de aspectos importantes sobre a tecnologia e o contrato na análise, pode ocasionar problemas durante a construção e operação do ativo que podem resultar em gastos não planejados, além de comprometer a segurança das pessoas. Nesse contexto, foi desenvolvido um modelo multicriterial baseado na escola francesa, com três níveis de hierarquia. O modelo integra aspectos técnicos, comerciais e econômico-financeiros. Foram utilizados os métodos AHP (Processo de Hierarquia Analítica) e MAUT (Método Multiatributo de Utilidade) para incorporar os comportamentos do decisor em relação aos critérios quantitativos e qualitativos selecionados. A realização da implementação do modelo em um cenário fictício com quatro fornecedores proporcionou a análise do desempenho econômico, o auxílio na tomada de decisão e a análise de sensibilidade do resultado obtido.

Palavras-chave: Sistemas de armazenamento de energia por baterias. Contrato EPC *Turnkey*. Seleção de fornecedores. Decisão multicriterial.

ABSTRACT

Battery energy storage systems (BESS) stand out due to their application flexibility, offering solutions for generation, transmission, distribution, and end-consumers. Due to the intermittency of inexhaustible sources like wind and solar, in the electricity generation sector, Brazilian companies have sought to make implementation projects viable, aiming to improve the energy performance of assets. These improvements include reducing frustrated electricity generation due to curtailment, assisting in grid frequency and voltage regulation, and the opportunity for better conditions to commercialize the electricity generated. Despite the potential of BESS, these companies currently face several challenges, such as the lack of specific regulation and technical standards, the high cost of batteries, and the scarcity of qualified labor. Consequently, during the supplier selection phase, it is essential to establish a structured process that adds robustness and assertiveness to the supplier choice. The type of contract chosen will relate the risk and exposure of each stakeholder in the process. Considering BESS as an emerging technology in the Brazilian market, choosing an EPC Turnkey contract can be beneficial, as it allocates greater responsibilities to the supplier, assuming they have more experience with the technology and should be better positioned to mitigate and manage the risks involved in BESS implementation. The non-inclusion of important aspects about the technology and the contract in the analysis can cause problems during the construction and operation of the asset, which can result in unplanned expenses, in addition to compromising people's safety. In this context, a multicriteria model based on the French school was developed, with three levels of hierarchy. The model integrates technical, commercial, and economic-financial aspects. The AHP (*Analytic Hierarchy Process*) and MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*) methods were used to incorporate the decision-maker's behaviors regarding the selected quantitative and qualitative criteria. The implementation of the model in a fictional scenario with four suppliers provided an analysis of economic performance, assistance in decision-making, and sensitivity analysis of the obtained result.

Keywords: Battery energy storage systems. EPC Turnkey contract. Supplier selection. Multicriteria decision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Adições de capacidade de armazenamento de baterias no mundo, 2013-2023	27
Figura 2 – BESS para Escala de Utilidades – MOURA.....	32
Figura 3 – Contêiner C20 BESS – EATON	33
Figura 4 – Partes dos sistemas de baterias	34
Figura 5 – Arquitetura do BMS	35
Figura 6 – Refrigeração líquida a nível módulo	39
Figura 7 – Processo de contratação de fornecedores.....	51
Figura 8 – Árvore de Decisão – Escola Americana	57
Figura 9 – Árvore de Decisão – Escola Francesa	58
Figura 10 – Estrutura do modelo	67
Figura 11 – Comportamento econômico (A 1.1).....	70
Figura 12 – Comportamento econômico (A 1.2).....	72
Figura 13 – Comportamento econômico (A 1.3).....	73
Figura 14 – Comportamento econômico (A 1.4).....	74
Figura 15 – Comportamento econômico (A 1.5).....	75
Figura 16 – Comportamento econômico (A 2.1).....	77
Figura 17 – Comportamento econômico (A 2.2).....	78
Figura 18 – Comportamento econômico (A 2.3).....	79
Figura 19 – Comportamento econômico (A 2.4).....	80
Figura 20 – Comportamento econômico (A 2.5).....	81
Figura 21 – Comportamento econômico (A 3.1).....	83
Figura 22 – Comportamento econômico (A 3.2).....	85
Figura 23 – Comportamento econômico (A 3.3).....	87
Figura 24 – Comportamento econômico (A 4.1).....	89
Figura 25 – Comportamento econômico (A 4.2).....	91
Figura 26 – Comportamento econômico (A 4.3).....	92
Figura 27 – Comportamento econômico (A 4.4).....	94
Figura 28 – Comportamento econômico (A 5.1).....	95
Figura 29 – Comportamento econômico (A 5.2).....	96
Figura 30 – Comportamento econômico (A 5.3).....	98
Figura 31 – Comportamento econômico (B 1.1).....	100
Figura 32 – Comportamento econômico (B 1.2).....	101

Figura 33 – Comportamento econômico (B 1.3).....	103
Figura 34 – Comportamento econômico (B 1.4).....	104
Figura 35 – Comportamento econômico (B 1.5).....	106
Figura 36 – Comportamento econômico (B 1.6).....	107
Figura 37 – Comportamento econômico (B 2.1).....	109
Figura 38 – Comportamento econômico (B 2.2).....	111
Figura 39 – Comportamento econômico (B 2.3).....	112
Figura 40 – Comportamento econômico (B 2.4).....	113
Figura 41 – Comportamento econômico (B 2.5).....	115
Figura 42 – Comportamento econômico (B 2.6).....	117
Figura 43 – Comportamento econômico (B 2.7).....	118
Figura 44 – Comportamento econômico (C 1.1)	120
Figura 45 – Comportamento econômico (C 1.2)	122
Figura 46 – Comportamento econômico (C 1.3)	124
Figura 47 – Comportamento econômico (C 1.4)	126
Figura 48 – Comportamento econômico (C 1.5)	127
Figura 49 – Comportamento econômico (C 1.6)	129
Figura 50 – Perfil de impacto dos fornecedores	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escala fundamental dos números absolutos	61
Quadro 2 – Índices randômicos.....	63
Quadro 3 – Exemplos de funções de utilidade	65
Quadro 4 – Descritores do PVF Técnico	68
Quadro 5 – Tipos de ataques Cibernéticos	85
Quadro 6 – Aspectos comparativos	89
Quadro 7 – Descritores do PVF Comercial	99
Quadro 8 – Descritores do PVF Econômico-Financeiro	118
Quadro 9 – Composição do CAPEX	121
Quadro 10 – Valores de referência de CAPEX	121
Quadro 11 – Composição do OPEX.....	122
Quadro 12 – Valores de referência de OPEX.....	123
Quadro 13 – Valores de referência de descomissionamento	125
Quadro 14 – Premissas do projeto.....	131
Quadro 15 – Matriz de consequências.....	132
Quadro 16 – Resumo dos <i>trade-offs</i>	137
Quadro 17 – Matriz intermediária – <i>k</i>	141
Quadro 18 – Matriz de decisão – $v(.)$	141
Quadro 19 – Desempenho dos fornecedores.....	142
Quadro 20 – Descritor de maior impacto.....	144
Quadro 21 – Resultado da análise	145
Quadro 22 – Novo desempenho econômico global.....	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala ordinal (A 1.1)	70
Tabela 2 – Escala ordinal (A 1.2)	71
Tabela 3 – Escala ordinal (A 1.3)	72
Tabela 4 – Escala ordinal (A 1.4)	73
Tabela 5 – Escala ordinal (A 1.5)	75
Tabela 6 – Escala ordinal (A 2.1)	76
Tabela 7 – Escala ordinal (A 2.2)	78
Tabela 8 – Escala ordinal (A 2.3)	79
Tabela 9 – Escala ordinal (A 2.4)	80
Tabela 10 – Escala ordinal (A 2.5)	81
Tabela 11 – Escala ordinal (A 3.1)	83
Tabela 12 – Escala ordinal (A 3.2)	84
Tabela 13 – Escala ordinal (A 3.3)	87
Tabela 14 – Escala ordinal (A 4.1)	88
Tabela 15 – Escala ordinal (A 4.2)	90
Tabela 16 – Escala ordinal (A 4.3)	92
Tabela 17 – Escala ordinal (A 4.4)	93
Tabela 18 – Escala ordinal (A 5.1)	94
Tabela 19 – Escala ordinal (A 5.2)	96
Tabela 20 – Escala ordinal (A 5.3)	97
Tabela 21 – Escala ordinal (B 1.1)	99
Tabela 22 – Escala ordinal (B 1.2)	101
Tabela 23 – Escala ordinal (B 1.3)	102
Tabela 24 – Escala ordinal (B 1.4)	104
Tabela 25 – Escala ordinal (B 1.5)	105
Tabela 26 – Escala ordinal (B 1.6)	107
Tabela 27 – Escala ordinal (B 2.1)	108
Tabela 28 – Escala ordinal (B 2.2)	110
Tabela 29 – Escala ordinal (B 2.3)	111
Tabela 30 – Escala ordinal (B 2.4)	113
Tabela 31 – Escala ordinal (B 2.5)	114
Tabela 32 – Escala ordinal (B 2.6)	116
Tabela 33 – Escala ordinal (B 2.7)	117

Tabela 34 – Escala ordinal (C 1.1)	120
Tabela 35 – Escala ordinal (C 1.2)	122
Tabela 36 – Escala ordinal (C 1.3)	123
Tabela 37 – Escala ordinal (C 1.4)	125
Tabela 38 – Escala ordinal (C 1.5)	127
Tabela 39 – Escala ordinal (C 1.6)	128
Tabela 40 – Matriz de concordância (PVFs)	134
Tabela 41 – Matriz de concordância e resultados (PVEs do PVF Técnico)	135
Tabela 42 – Matriz de concordância e resultados (PVEs do PVF Comercial)	136
Tabela 43 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.2	139
Tabela 44 – Matriz de concordância e resultados (A 1)	163
Tabela 45 – Matriz de concordância e resultados (A 2)	163
Tabela 46 – Matriz de concordância e resultados (A 3)	163
Tabela 47 – Matriz de concordância e resultados (A 4)	163
Tabela 48 – Matriz de concordância e resultados (A 5)	164
Tabela 49 – Matriz de concordância e resultados (B 1)	164
Tabela 50 – Matriz de concordância e resultados (B 2)	164
Tabela 51 – Matriz de concordância e resultados (C 1)	164
Tabela 52 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 1.2	165
Tabela 53 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 1.4	165
Tabela 54 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.1	165
Tabela 55 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.2	165
Tabela 56 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.3	166
Tabela 57 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.4	166
Tabela 58 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.5	166
Tabela 59 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 3.1	166
Tabela 60 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 3.2	166
Tabela 61 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 3.3	167
Tabela 62 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 4.1	167
Tabela 63 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 4.2	167
Tabela 64 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 4.3	167
Tabela 65 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 5.1	167
Tabela 66 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 5.2	168
Tabela 67 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 5.3	168
Tabela 68 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.1	168

Tabela 69 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.2.....	168
Tabela 70 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.3.....	169
Tabela 71 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.4.....	169
Tabela 72 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.5.....	169
Tabela 73 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.6.....	169
Tabela 74 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.1.....	169
Tabela 75 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.3.....	170
Tabela 76 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.5.....	170
Tabela 77 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.6.....	170
Tabela 78 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.7.....	170
Tabela 79 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.1.....	171
Tabela 80 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.2.....	171
Tabela 81 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.3.....	171
Tabela 82 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.4.....	171
Tabela 83 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.5.....	172
Tabela 84 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.6.....	172

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BAMS	Sistema de Gerenciamento Central das Baterias (<i>Battery Array Management System</i> , em inglês)
BESS	Sistema de Armazenamento de Energia por Bateria (<i>Battery Energy Storage System</i> , em inglês)
BMU	<i>Unidade de Monitoramento da Bateria (Battery Monitoring Unit</i> , em inglês)
BT	Baixa tensão
CA	Corrente alternada
CAPEX	Despesas de capital (<i>Capital Expenditure</i> , em inglês)
CC	Corrente contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CIF	Custo, Seguro e Frete (<i>Cost, Insurance, and Freight</i> , em inglês)
CNF	Cortes por razão de atendimento a requisitos de confiabilidade elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DAP	Entregue no Local (<i>Delivered At Place</i> , em inglês)
ENE	Cortes por razão energética
EPC	Engenharia, Suprimentos e Construção (<i>Engineering, Procurement, and Construction</i> , em inglês)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIDIC	Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils
FOB	Livre a bordo (<i>Free On Board</i> , em inglês)
GEE	Gases de efeito estufa
GPS	<i>Global Positioning System</i>

GW	Gigawatt
IEA	<i>International Energy Agency</i>
Isa CTEEP	Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista
kV	Quilovolt
kVA	Quilovolt-ampere
LCOS	Custo Nivelado de Armazenamento (<i>Levelized Cost of Storage</i> , em inglês)
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Média tensão
MWh	Megawatt hora
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	Despesas operacionais (<i>Operational Expenditure</i> , em inglês)
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PPC	<i>Power Plant Controller</i>
PVF	Ponto De Vista Fundamental
PVE	Ponto de Vista Elementar
REL	Cortes por razão de indisponibilidade externa
RTE	Eficiência de ciclo completo (<i>Round Trip Efficiency</i> , em inglês)
SBMS	Sistema de Gerenciamento de String (<i>String Battery Management System</i> , em inglês)
SCADA	Sistema de Controle de Supervisão e Aquisição de Dados (<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> , em inglês)

SIN	Sistema Interligado Nacional
SOC	<i>Estado de Carga (State of Charge, em inglês)</i>
SOH	Estado de Saúde (<i>State of Health</i> , em inglês)
TAF	Teste de Aceitação em Fábrica
tCO ₂	Tonelada de dióxido de carbono
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Definição do Problema	21
1.2	Justificativa	22
1.3	Objetivos.....	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivos Específicos	23
1.4	Estrutura do Trabalho.....	24
2	SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA POR BATERIAS.....	25
2.1	Cenário mundial	27
2.2	Cenário brasileiro.....	28
2.3	Principais componentes de um BESS.....	31
2.3.1	Contêiner.....	31
2.3.2	Sistema de baterias	33
2.3.3	Sistema de gerenciamento das baterias	35
2.3.4	Sistema de conversão de energia	36
2.3.5	Sistema de gerenciamento de energia.....	37
2.3.6	Sistemas auxiliares	37
2.3.6.1	<i>Sistema de gestão térmica</i>	<i>38</i>
2.3.6.2	<i>Sistema de detecção e extinção de incêndios</i>	<i>39</i>
2.4	Aplicações Relevantes	40
2.5	Conclusão.....	44
3	PROCEDIMENTOS DE ENGENHARIA, AQUISIÇÃO, CONSTRUÇÃO E COMISSIONAMENTO	46
3.1	Importância da seleção de fornecedores em projetos de BESS.....	46
3.2	Processo de contratação de fornecedores.....	49
3.3	Contrato EPC <i>Turnkey</i>.....	51
3.4	Conclusão.....	55
4	SISTEMA DE APOIO À DECISÃO MULTICRITERIAL	56
4.1	Metodologias	60
4.1.1	Processo de Hierarquia Analítica	60
4.1.2	Teoria da Utilidade Multiatributo.....	64
4.2	Estrutura do modelo proposto.....	67
4.2.1	Pontos de vista fundamentais	68
4.2.1.1	<i>PVF Técnico.....</i>	<i>68</i>
4.2.1.2	<i>PVF Comercial.....</i>	<i>98</i>
4.2.1.3	<i>PVF Econômico-Financeiro.....</i>	<i>118</i>
4.3	Conclusão.....	129
5	IMPLEMENTAÇÃO	131
5.1	<i>Trade-offs</i>.....	134
5.2	Desempenho econômico.....	138
5.3	Análise dos resultados	143
5.4	Conclusão.....	147
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	149
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	150

REFERÊNCIAS	151
APÊNDICES	162
APÊNDICE A – <i>Trade-off</i> dos critérios.....	163
APÊNDICE B – Matriz de concordância dos critérios	165

1 INTRODUÇÃO

A primeira grande conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) voltada ao meio ambiente ocorreu em 1972, quando diversos países se reuniram para definir planos, estipular prazos e metas para redução dos impactos causados a partir da exploração e do uso desenfreado dos recursos naturais. Dessa forma, houve o reconhecimento de que o desenvolvimento econômico deveria estar alinhado à preservação do meio ambiente. (UNITED NATIONS, 2024)

Nos anos seguintes, por conta do Protocolo de Kyoto, foram definidas metas para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Assim, os países passaram a adotar medidas, promover políticas e criar incentivos governamentais para inclusão de fontes renováveis e não esgotáveis em suas matrizes energética e elétrica. Em 2015, foram definidos dezessete objetivos com os principais desafios mundiais no desenvolvimento sustentável, sendo o sétimo, responsável por garantir energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos. (UNFCCC, 2024)

Apesar dos esforços para incluir fontes de energia com uma maior pegada ecológica, que causam menor impacto ambiental, a IEA (2023) informa que 70,5% da matriz elétrica mundial em 2022 era proveniente de combustíveis fósseis, sendo 35,7% por meio do carvão mineral. Entretanto, no Brasil, nota-se uma diferença considerável. Em 2022, aproximadamente 86,1% da geração de energia elétrica era de fontes renováveis. Vale ressaltar que a matriz energética, diferente da elétrica, necessita de progressos. No mesmo ano, 52,7% das fontes de energia, que são utilizadas no setor de transporte, na agropecuária, na cocção de alimentos, na geração de eletricidade, no aquecimento, entre outros, eram originárias de recursos esgotáveis. (EPE, 2023)

De acordo com EPE (2024), as usinas solares fotovoltaicas e as eólicas representaram juntas 20,2% da oferta interna de energia elétrica em 2023. Nesse mesmo período, a geração de energia elétrica teve um fator médio mensal de emissão de 0,0385 tCO₂/MWh, o menor valor desde 2011 (MCTI, 2024). Houve uma contribuição significativa dessas tecnologias na expansão da capacidade total de geração, em 69% e 25%, respectivamente (MME, 2024).

Atualmente, a região Nordeste é composta pela maioria das usinas eolielétricas e solares fotovoltaicas do Brasil, com uma capacidade instalada de respectivamente, 92,5% e 57,5% da totalidade nacional (EPE, 2024). Como as suas gerações dependem da disponibilidade do recurso natural, que varia ao longo do dia, a intermitência é um comportamento que impacta a estabilidade e a confiabilidade do sistema. Assim é necessário criar estratégias de operação e formas de complementariedade com outras fontes para que o restante do Sistema Interligado Nacional (SIN) não seja afetado pelo desequilíbrio entre oferta e demanda.

Um exemplo dessa instabilidade, foi o evento que ocorreu em setembro de 2023, devido a atuação inesperada do sistema de proteção principal da linha de transmissão 500 kV Quixadá – Fortaleza II. Essa atuação provocou um comportamento em cascata de desligamentos das usinas eolielétricas e solares fotovoltaicas da região, ocasionando oscilações de tensão e frequência no SIN. (ONS, 2023)

Os cortes de geração de energia elétrica, chamados de *curtailment*, são previstos na Resolução Normativa n. 1.030/2022 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e definidos em três categorias. Os cortes por razão de indisponibilidade externa (REL), os cortes por razão de atendimento a requisitos de confiabilidade elétrica (CNF) e os cortes por razão energética (ENE) (Brasil, 2022). Todavia, apenas o corte REL prevê compensação ao agente gerador. O total médio dos três tipos de cortes em usinas eolielétricas teve um aumento de 2,2% em abril para 18,1% em setembro de 2024, impulsionado, sobretudo, pelo corte tipo CNF que no mesmo período foi de 1,3% para 12,6% (FSET, 2024).

Tendo em vista as dificuldades abordadas, reitera-se a importância do desenvolvimento e pesquisa em novas tecnologias que forneçam complementariedade a essas unidades geradoras e auxiliem no funcionamento do SIN. Dessa forma, destaca-se como uma alternativa o uso de hidrogênio “verde” como vetor energético para a substituição dos recursos fósseis nos principais setores da matriz energética. Ademais, surge como uma solução estratégica para a mitigação de diversos fatores que afligem o SIN, a implementação dos sistemas de armazenamento de energia através de baterias (BESS – *Battery Energy Storage System*).

Durante a última década, houve um crescimento significativo no mercado de BESS. A capacidade instalada global passou de 1 GW para 85 GW, de 2013 a 2023. Apenas em 2023, houve uma inclusão de 40 GW, impulsionada pela China, União Europeia e Estados Unidos, que juntos, representam 90% dessa capacidade. Cerca de 65% do crescimento está relacionado ao mercado de sistemas em grande escala, onde o BESS realiza suporte na geração, transmissão ou distribuição. Essa aplicação é conhecida como em frente do medidor (FTM - *Front of the Meter*). O restante, 35%, corresponde a sistemas atrás do medidor (BTM – *Behind the Meter*), ou seja, junto ao consumidor final. (IEA, 2024)

No mercado nacional, embora a empregabilidade do armazenamento por baterias seja amplamente discutida, a implantação dessa tecnologia avança de forma gradual. Em 2022, foram mapeados 53 projetos, sendo 8 em frente do medidor, 21 atrás do medidor, 21 em sistemas isolados, 1 de pesquisa e desenvolvimento entre armazenamento e hidrogênio verde, e 2 projetos piloto de mobilidade elétrica. Ao todo foram identificados empreendimentos tanto em fase de execução, quanto já implantados (GIZ e MME, 2022). Conforme os Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034, espera-se uma expansão da tecnologia de 800 MW até 2034 (EPE, 2024).

1.1 Definição do Problema

Ao visualizar o potencial e os benefícios de sistemas de armazenamento de energia por bateria, empresas do setor elétrico brasileiro têm buscado a viabilização de projetos para implantação. Durante esse processo, elas enfrentam desafios como a falta de regulação, a carência de normas técnicas nacionais e ausência de clareza sobre a conexão dos sistemas à rede. Além disso, causam impactos as alíquotas tributárias significativas, que chegam a 74,5% da carga bruta para um BESS importado, o prazo longo de entrega, o preço alto das baterias e a ausência de mão de obra qualificada, principalmente na área de engenharia e na instalação dos equipamentos. (GIZ e MME, 2022)

Consequentemente, a escolha dos fornecedores na etapa de pré-construção, para a entrega dos componentes principais, desenvolvimento do projeto executivo, construção, montagem e instalação, alinhados ao prazo de entrega da

documentação para a fase operacional do ativo (*handover*), é essencial. Assim, torna-se necessário o uso de ferramentas e métodos de apoio à decisão que abrangem as barreiras de implementação, como o grande escopo, a compatibilidade com o sistema existente, o curto prazo para implantação, o preço da tecnologia e os riscos associados a essas aplicações.

1.2 Justificativa

Os sistemas de armazenamento podem auxiliar no montante de geração frustrada de energia elétrica decorrente dos cortes, na regulação de frequência e tensão da rede à qual está associado e na comercialização da energia elétrica armazenada no horário de ponta, entre outros. Em consequência de seu funcionamento flexível, pode ser empregado na geração, transmissão, distribuição e no consumidor final. Isso reforça a aplicação dos sistemas de armazenamento para a transição energética e maior aproveitamento da energia renovável e não esgotável oriunda de recursos energéticos primários eólicos.

Entretanto, a implantação de sistemas de armazenamento de energia por baterias por meio do contrato de tipo EPC (*Engineering, Procurement and Construction*) *Turnkey* demanda a análise detalhada das propostas apresentadas durante as rodadas de entregas de documentação, integrando os pontos sensíveis e os riscos associados a essa aplicação. Seguindo as definições e aprovações do contratante, a empresa escolhida deve desenvolver o projeto executivo e como construído, “*as built*”, do ativo, realizar a compra e fornecimento de todos os equipamentos principais e auxiliares, além da construção e comissionamento da usina. Problemas como a qualidade dos equipamentos e dos serviços das empresas subcontratadas, além de empecilhos financeiros e da alta rotação de profissionais importantes, devem ser evitados.

Nesse contexto, o trabalho apresenta como a utilização de um sistema multicritério de apoio à decisão permite à contratante visualizar de forma estratégica e ampla os diversos parâmetros que envolvem projetos de BESS. Envolvendo desde a concepção do projeto, com a definição de equipamentos e materiais, testes realizados durante o TAF (Teste de Aceitação em Fábrica), tempo de garantia e forma

de entrega, até às restrições da implantação, como aspectos relacionados à obra civil, desenvolvimento do projeto, descomissionamento das baterias, entre outros.

O sistema multicritério de apoio à decisão pode proporcionar uma avaliação dos fornecedores de maneira equitativa, escolhidos ao maximizar a utilidade econômica, propondo o melhor aproveitamento da tecnologia e da qualidade dos equipamentos. Espera-se que o desenvolvimento e a implementação do sistema de apoio auxiliem na escolha do fornecedor na fase de pré-construção de um ativo, garantindo o melhor custo-utilidade. Dessa maneira, beneficiando o agente gerador, o setor de energia elétrica e a sociedade afetada pelo melhor aproveitamento do recurso disponível, que é consoante com os preceitos da transição energética.

1.3 Objetivos

A seguir, são apresentados o objetivo geral e os específicos deste trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Implementar o modelo de um sistema de apoio à decisão multicritério para auxiliar na análise de propostas de fornecedores de escopo EPC *Turnkey* (*Engineering, Procurement, and Construction*) para projetos de BESS.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) conceituar os componentes de um sistema de armazenamento de energia por baterias;
- b) analisar os pontos chave referentes a um contrato de EPC *Turnkey* em um projeto de BESS com integração a uma usina existente;
- c) definir os métodos multicriteriais de apoio à decisão a serem adotados;
- d) desenvolver um modelo multicritério que integre os preceitos técnicos, contratuais, financeiros e econômicos;

e) implementar o modelo desenvolvido em um cenário fictício.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em seis capítulos. O primeiro é composto pela introdução ao tema, definição do problema e justificativa, além do objetivo geral e dos objetivos específicos. O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica, abordando os sistemas de armazenamento de energia elétrica por baterias, seus desafios e perspectivas para o setor, assim como os principais componentes do sistema e suas aplicações.

O capítulo 3 aborda a importância da seleção de fornecedores em projetos de BESS, o processo de contratação de fornecedores e o funcionamento de um contrato EPC *Turnkey*. No quarto capítulo, são apresentados os fundamentos das metodologias multicritério de apoio à decisão utilizadas no desenvolvimento da monografia, assim como a estrutura do modelo proposto, enfatizando os pontos de vista fundamentais e seus critérios.

No capítulo 5, encontra-se a implementação do modelo multicritério desenvolvido, abordando os valores de *trade-offs* calculados, o desempenho econômico das alternativas e análise dos resultados. Posteriormente, o capítulo 6 traz as considerações finais sobre o trabalho, assim como as sugestões para trabalhos futuros. Por fim, têm-se as referências bibliográficas utilizadas para compor o trabalho.

2 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA POR BATERIAS

As baterias, principal componente do BESS, desempenham um papel importante na sociedade desde 1800, quando Alessandro Volta as criou. Após diversos estudos, ele concluiu que era possível gerar um fluxo de corrente contínua a partir de um circuito com dois metais diferentes, separados por um pedaço de tecido embebido em eletrólito. Volta também compreendeu que o empilhamento das células resultaria em um aumento de tensão e que os metais utilizados influenciariam no valor da tensão gerada.

Em 1859, Gaston Planté desenvolveu o primeiro acumulador recarregável à base de chumbo e ácido, composto por um eletrodo de chumbo, e outro de dióxido de chumbo, ambos mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico. Em 1899, Waldemar Jungner criou uma bateria recarregável de níquel-cádmio, porém o custo do material era maior comparado ao do chumbo, limitando o seu uso. A selagem da célula de bateria de níquel-cádmio foi desenvolvida por Georg Neumann, em 1947. Posteriormente, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia implementaram a Diretiva 2006/66/CE, com o objetivo de melhorar o desempenho ambiental das baterias, regulamentar a utilização de certos componentes e estabelecer normas para a gestão dos resíduos. Assim, houve a restrição de venda desse tipo de produto na Europa, sendo empregado somente em indústrias onde não haveria substituição adequada. (BU, 2022)

Em 1970, Stanley Whittingham criou a primeira bateria de lítio, por meio de um impulso no lítio para liberação do seu elétron externo. Essa tecnologia foi aprimorada em 1980, por John B. Goodenough, que utilizou um cátodo de óxido de cobalto para abrigar os íons de lítio, por conta dos espaços que possui em nível molecular. Dessa forma, a célula passou a ter uma tensão maior. Devido ao surgimento de vários eletrônicos portáteis, empresas do Japão começaram a busca por acumuladores leves e recarregáveis. Logo, Akira Yoshino em 1985, conseguiu retirar o lítio puro e as células passaram a ser compostas somente por íons de lítio. Portanto, a bateria passou a ter maior capacidade e vida útil comparada às demais. Em razão das descobertas, Stanley, John e Akira ganharam o Prêmio Nobel de Química em 2019. (NOBEL PRIZE, 2025)

Com o passar dos anos, foram desenvolvidas novas baterias compostas por diferentes materiais, como zinco-ar, metano e mercúrio. Atualmente, as de íons de lítio são bastante empregadas no setor de armazenamento por baterias, por conta da sua capacidade de armazenamento, densidade de energia, vida útil e redução de custo.

Segundo a IEA (2024), houve uma redução de 90% nos preços das baterias de íons de lítio entre o período de 2010 a 2023, em virtude do progresso na pesquisa e desenvolvimento do produto. Apesar da significativa adaptabilidade química da tecnologia, como evidenciado com a utilização de baterias de lítio ferro fosfato, existe a preocupação do esgotamento do lítio, visto que a demanda crescente por ele pode superar a sua oferta. Para implementar outros componentes abundantes e substituí-lo, pesquisas empregando íons de sódio, potássio, magnésio e cálcio começaram a surgir.

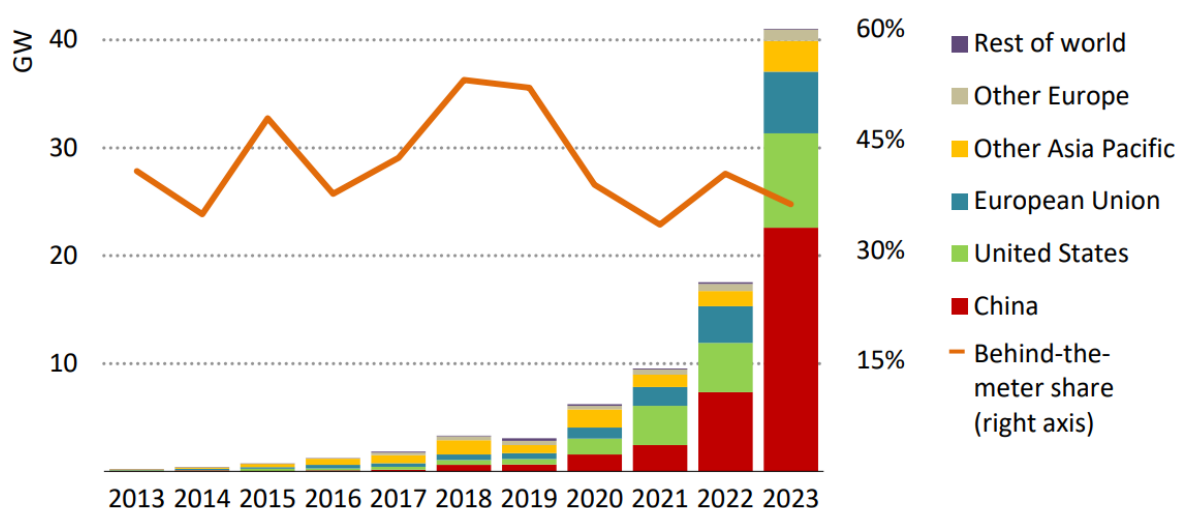
Há relatos do uso de sistemas de armazenamento de baterias para distribuição e transmissão de energia em 1884, em Londres, com a entrada em operação do projeto Colchester, desenvolvido pela empresa South Eastern Brush Electric Light Company, para fornecer energia elétrica para 2.000 lâmpadas incandescentes. Foram instalados geradores de arco de alta tensão para alimentar cinco subestações de baterias localizadas em porões de lojas da cidade. Elas eram carregadas em série e descarregadas em paralelo, mas, em função de diversos problemas causados pelas baterias, o projeto foi desativado em 1886. Entretanto, em 1888, a Chelsea Electricity Supply Company implementou um projeto com acumuladores que funcionou por quarenta anos. Nesse caso, os geradores alimentavam o banco de baterias em série quando a demanda do sistema estava baixa e, quando a carga aumentava, elas se reconectavam automaticamente em paralelo e supriam a necessidade. A combinação complexa dos geradores, baterias e experimentos no setor de transmissão em corrente contínua (CC) tiveram como resultado o reconhecimento do alto custo associado a esses equipamentos. O avanço das áreas de geração, transmissão e distribuição em corrente alternada (CA) nas décadas posteriores, fez com que o sistema de transmissão CC entrasse em desuso. Logo, em 1928 o sistema foi convertido para CA. (HUGHES, 1983)

2.1 Cenário mundial

Nos dias de hoje, é possível visualizar a aplicação do BESS mundialmente. Conforme mostra a Figura 1, o país com maior destaque participativo é a China, com uma adição global de 55%, chegando a 23 GW em 2023. Ressalta-se, neste contexto, o uso em escala de utilidade, influenciado por políticas para inclusão de novos projetos de energia solar fotovoltaica ou eólicoelétrica com armazenamento de energia. Para sistemas atrás do medidor, os subsídios e a aplicação de tarifas horárias auxiliam a adição de usuários comerciais em grande escala. (IEA, 2024)

O armazenamento de energia elétrica nos últimos anos foi o foco para os governos locais chineses e, os projetos já em operação apoiam na melhoria contínua do desenvolvimento da tecnologia. Dessa forma, as políticas criadas têm como objetivo orientar na construção dos novos ativos, criar mecanismos de preços de eletricidade, estabelecer uma gestão de energia padronizada e promover inovação tecnológica. Diversas regiões exploram a utilização das receitas de compensação de energia armazenada para cobrir os custos da implementação dos projetos. (CNESA, 2024)

Figura 1 – Adições de capacidade de armazenamento de baterias no mundo, 2013-2023



Fonte: IEA (2024).

A segunda maior participação nesse mercado, conforme Figura 1, vem dos Estados Unidos, com uma inclusão de 8 GW em 2023. Califórnia e Texas são os estados que mais contribuem para esse crescimento e os sistemas de escala de utilidade representaram 90% dessa aplicação. Devido às reformas de mercado,

redução dos custos dos equipamentos e crédito fiscal, aumentou significativamente o uso dos sistemas híbridos com armazenamento para melhorar a integração, a confiabilidade e a flexibilidade da geração intermitente, além da estabilidade e do fornecimento de serviços auxiliares à rede. (AMERICAN CLEAN POWER, 2024)

A União Europeia aumentou sua participação em 2023 com 6 GW, principalmente com a contribuição da Alemanha e da Itália, sendo a maior parte em aplicações atrás do medidor. Na Austrália, houve a adição de cerca de 1,3 GW no mesmo ano, onde 60% representam projetos em frente ao medidor. Países como Reino Unido, Japão e Coreia aumentaram sua contribuição em 2023 com 1 GW, 400 MW e 300 MW, respectivamente. Nota-se o crescimento aliado a isenções fiscais, incentivos financeiros, leilões de capacidade, diferença dos preços da eletricidade no atacado e os altos preços de serviços ancilares. (IEA, 2024)

Destacam-se alguns desafios em comissionar os projetos de grande escala na Europa, como a falta de regulação para conexão à rede, legislação inadequada, lentidão nos procedimentos de licenciamento, falta de padronização de segurança contra incêndio, entre outros (SOLARPOWER EUROPE, 2024). Entretanto, o crescimento do número de eventos de *curtailment* nos projetos de geração distribuída tem influenciado o aumento de projetos de BESS associado à sistema de geração solar fotovoltaica residencial.

Na Holanda, ocorreram 3.476 eventos de redução de geração de energia elétrica no primeiro semestre de 2023, um aumento de 2.402 cortes comparado ao mesmo período do ano anterior. Por fim, na Alemanha, mais de 80% das novas instalações de geração distribuída possuem sistemas de armazenamento por baterias. (EMBER, 2024)

2.2 Cenário brasileiro

No Brasil, apesar dos sistemas de armazenamento em geral não estarem presentes de forma significativa na matriz elétrica atual, surgiram iniciativas para a inserção da tecnologia. A Chamada Pública da ANEEL n. 021/2016 aprovou 21 projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) envolvendo diversas tecnologias, incluindo as baterias, sendo 14 relacionadas à distribuição, 6 à geração e 1 à

transmissão. Dos aprovados, 20 aplicações foram concluídas até 31/03/2024. (ANEEL, 2024)

A Companhia Paulista de Força e Luz, participante da chamada pública, avaliou a substituição de um gerador a diesel, por um sistema de armazenamento de energia por bateria (200 kW/430 kWh) como fonte alternativa em um consumidor do grupo A4 que é atendido em média tensão. Verificou-se eficácia com a aplicação de deslocamento temporal de energia, onde foi possível dar suporte no período de ponta do consumidor e deixar uma capacidade remanescente. O sistema deu apoio a faltas de eletricidade por problemas ou interrupções da distribuidora e realizou o suporte de tensão e filtro ativo de harmônicas. (ANEEL, 2024)

Um dos projetos propostos pela empresa Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) teve como objetivo principal desenvolver um sistema de gestão de energia para usinas solares fotovoltaicas distribuídas, que funciona de forma integrada ao sistema de gerenciamento do BESS. O projeto combinou reutilização de baterias que seriam descartadas, com o gerenciamento ótimo do sistema para redução de custos, maximização da receita e maior controle e qualidade da energia elétrica injetada na rede. (LEITE, 2019)

Outro projeto também proposto pela CEMIG, envolveu a implantação de dois sistemas de armazenamento de energia. Um composto com baterias de íons de lítio (750 kVA/1,1 MWh) e outro com as de chumbo-carbono (500 kVA/1 MWh), alocados em pontos estratégicos de uma rede de média tensão de 13,8 kV, para suporte à rede. A aplicação trouxe benefícios relacionados a qualidade do fornecimento de energia elétrica por conta dos serviços ancilares prestados, aumentando a confiabilidade e a possibilidade de postergar a expansão da rede de distribuição a qual estavam associados. (ESPÍNDOLA, 2023)

O primeiro sistema de armazenamento transportável do Brasil, com capacidade de 1 MVA/1 MWh, foi desenvolvido pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e aplicado em redes de média tensão. O projeto apresentou viabilidade operacional para atender locais de carga sazonal ou de contingências programadas. (ANEEL, 2024)

A COPEL, também implementou uma microrrede na Ilha das Cobras, para suprir a demanda com geração solar fotovoltaica, o BESS com baterias de íons de

Lítio e o gerador a diesel já existente. Baseada no gerenciamento energético para otimizar geração e demanda, trouxe uma solução mais sustentável e econômica para os moradores da região. (SANTOS, 2024)

A Petrobras em conjunto com outros parceiros, desenvolveu desde o projeto à operação de uma planta composta por baterias de íons de lítio (1 MW/0,43 MWh), conectada a usina solar fotovoltaica Alto do Rodrigues. Avaliou-se a capacidade de mitigar a intermitência e melhorar a estabilidade da frequência e da tensão das redes elétricas conectadas a usina. Criou-se um dispositivo para carregamento individualizado das baterias, tornando o carregamento do banco de baterias mais heterogêneo. (PETROBRAS; ANEEL, 2023)

Por fim, Engie Brasil Energia, no seu projeto com foco aplicado a geração, realizou a implantação de um BESS de 1 MW/1 MWh alimentado por uma usina híbrida, solar fotovoltaica e eólioelétrica. Como resultado, destaca-se a suavização dos impactos das gerações intermitentes, a prestação de serviços ancilares e a maximização da receita da usina devido à operação da bateria. (ENGIE, 2024)

Ainda existe escassez de sistemas de armazenamento em grande escala em aplicações em frente do medidor (FTM) que estejam outorgados e em operação. Até 2023, o único BESS desse porte foi implementado pela Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (Isa CTEEP), com capacidade de 30 MW/60 MWh, sendo composto por baterias de íons de lítio. Apesar de não ser possível comercializar a energia injetada na rede, presta suporte para serviços ancilares, aumentando a confiabilidade e permitindo a postergação ou substituição da expansão tradicional. (ANEEL, 2023)

Atualmente, empresas do setor de geração de energia começaram a estudar a associação de sistemas de grande escala de BESS a usinas já existentes, para melhorar a eficiência e o aproveitamento da geração. Esses estudos surgiram devido aos problemas relacionados às características de intermitência de fontes como solar e eólica, que adicionam incertezas para a operação do sistema. Outra situação que traz insegurança aos geradores são os cortes de energia elétrica impostos pelo ONS, que durante o período de janeiro até setembro de 2024, havia impactado a receita das usinas eólioelétricas brasileiras em cerca de R\$ 711 milhões (FSET, 2024).

Dessa forma, devido à pressão dos agentes de geração do setor, o Ministério de Minas e Energia divulgou, em outubro de 2024, para consulta pública, uma minuta contendo as “Diretrizes para a realização do Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência, por meio de sistemas de armazenamento, de 2025”. Nesse caso, diversos tipos de armazenamento estão incluídos, além das baterias. O objetivo principal é diminuir as barreiras regulatórias, para que seja facilitado a inserção de novas soluções de sistemas de armazenamento de energia elétrica no sistema elétrico brasileiro. (BRASIL, 2024)

A partir dos resultados obtidos pelos projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação e, das contribuições que estão sendo feitas para o leilão de reserva mencionado, visualiza-se a importância da atuação de entidades públicas junto às empresas do setor para o estímulo ao amadurecimento e inserção de novas tecnologias. Além disso, a versatilidade do BESS em termos de funcionalidade e localização, auxilia de forma benéfica o sistema de energia elétrica brasileiro, agregando o melhor uso de recursos já existentes e robustez à rede.

2.3 Principais componentes de um BESS

Os componentes de um sistema BESS geralmente variam de acordo com o fabricante. Entretanto, a sua estrutura básica é composta por um contêiner que abriga os seguintes subsistemas: sistemas de baterias; sistema de gerenciamento das baterias (*Battery Management System* - BMS); sistema de conversão de energia (*Power Conversion System* - PCS); sistema de gerenciamento de energia (*Energy Management System* - EMS); e os sistemas auxiliares (sistema de gestão térmica e sistema de detecção e extinção de incêndios). Nos próximos subtópicos haverá a explicação mais detalhada do funcionamento e importância de cada subsistema.

2.3.1 Contêiner

O contêiner serve como suporte à integração de todos os subsistemas do BESS. Os mais utilizados são os de 20 pés ou de 40 pés. Usualmente, os fornecedores criam produtos padrões, e os equipamentos inclusos, a modularidade do sistema e a capacidade de armazenamento definem o tamanho a ser utilizado. Na

Figura 2, há um exemplo de como pode ser feita a divisão dos componentes dentro do contêiner de 40 pés.

Figura 2 – BESS para Escala de Utilidades – MOURA

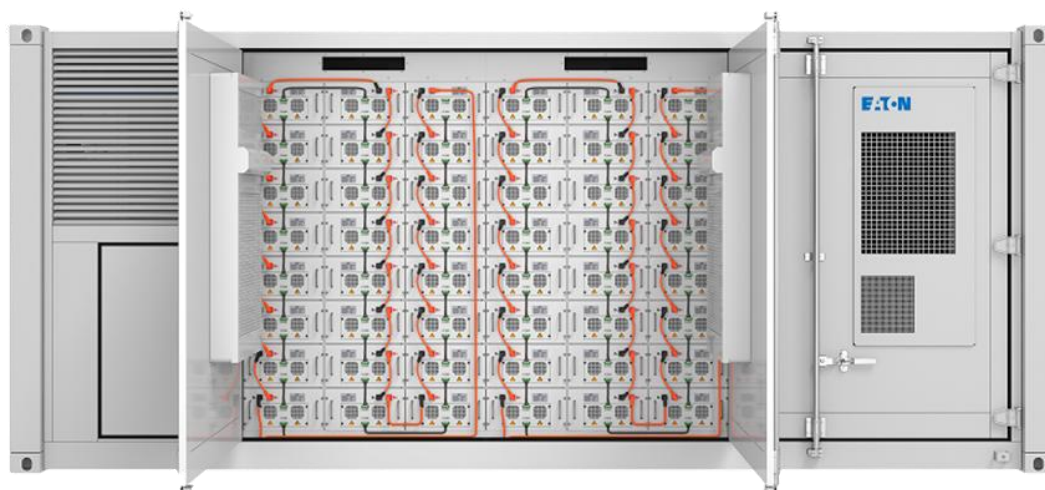


Fonte: MOURA (2022).

Neste modelo da Moura, representado pela Figura 2, visualiza-se uma divisória separando os componentes que são alocados no contêiner. Logo, à esquerda dessa divisória encontram-se os *racks* de baterias centralizados, o sistema de refrigeração e climatização na parede esquerda do contêiner, e na parte superior, há o sistema de vigilância, composto por câmeras e sensores para monitoramento. No espaço à direita da divisória, encontram-se os equipamentos principais do sistema de combate a incêndio, o PCS e o *rack* de telecomunicações, com o EMS, *nobreak*, *switch* e outros componentes. (MOURA, 2022)

A Figura 3 ilustra um contêiner de 20 pés, com o banco de baterias e dutos de ar posicionados ao centro. À esquerda das baterias, encontram-se o PCS, o EMS, o gabinete de entrada e o sistema de segurança contra incêndio. Enquanto o sistema de refrigeração é localizado à direita das baterias. (EATON, 2025)

Figura 3 – Contêiner C20 BESS – EATON



Fonte: EATON (2025).

O modelo da Eaton possui uma capacidade útil menor quando comparado ao modelo da Moura, e os seus componentes são alocados de maneira compacta no contêiner. Atualmente, em projetos de grande porte por acoplamento CA, diversos contêineres de 20 pés são associados a um transformador de potência. Assim, quando ocorre o diagnóstico de algum problema nas baterias que necessita o desligamento imediato, desvincula-se apenas o PCS responsável por ela. Apesar da divergência entre os modelos apresentados, os exemplos mostram a versatilidade que os sistemas de armazenamento por bateria possuem e que os fatores como, a potência total do projeto e os sistemas disponíveis pelos fabricantes, irão definir o melhor tipo de contêiner a ser utilizado.

2.3.2 Sistema de baterias

O sistema de baterias é o principal componente do BESS, responsável por armazenar energia durante o carregamento e, quando necessário, realizar o processo de descarregamento, fornecendo a energia elétrica previamente armazenada. A célula da bateria é composta por dois eletrodos, denominados ânodo e cátodo, um eletrólito, que pode estar em sua forma sólida, líquida ou pastosa, e um separador, para evitar o contato entre os eletrodos (LUO *et al.*, 2015). A Figura 4 exemplifica como é realizado o arranjo para construir a configuração do sistema de baterias.

Figura 4 – Partes dos sistemas de baterias



Fonte: Adaptado de EVESCO (2025).

A célula constitui o nível mais baixo da estrutura do sistema. A partir da sua associação com outras células de baterias, em série e em paralelo, são formados os módulos. A combinação de diversos módulos resulta nos bancos de baterias. Por fim, os *racks* são interconectados para gerar os parâmetros necessários do BESS, possibilitando o aumento da capacidade de energia armazenada e da autonomia do sistema. A energia útil do BESS está vinculada principalmente aos materiais que compõem a célula de bateria, visto que influenciam nas características como capacidade útil, quantidade de ciclos, densidade energética, faixa de operação de temperatura, degradação, entre outros.

O uso das baterias de chumbo-ácido em sistemas de armazenamento ocorreu inicialmente devido ao seu histórico de utilização, custo-benefício inicial, alta eficiência, confiabilidade e baixa degradação. No entanto, esse tipo de bateria apresenta uma quantidade limitada de ciclos, carregamento lento e baixa profundidade de descarga, fatores importantes no dimensionamento de um BESS. Observa-se o uso dessa tecnologia em sistemas menores, como os residenciais e em aplicações com células de segunda vida. (HU *et al.*, 2017)

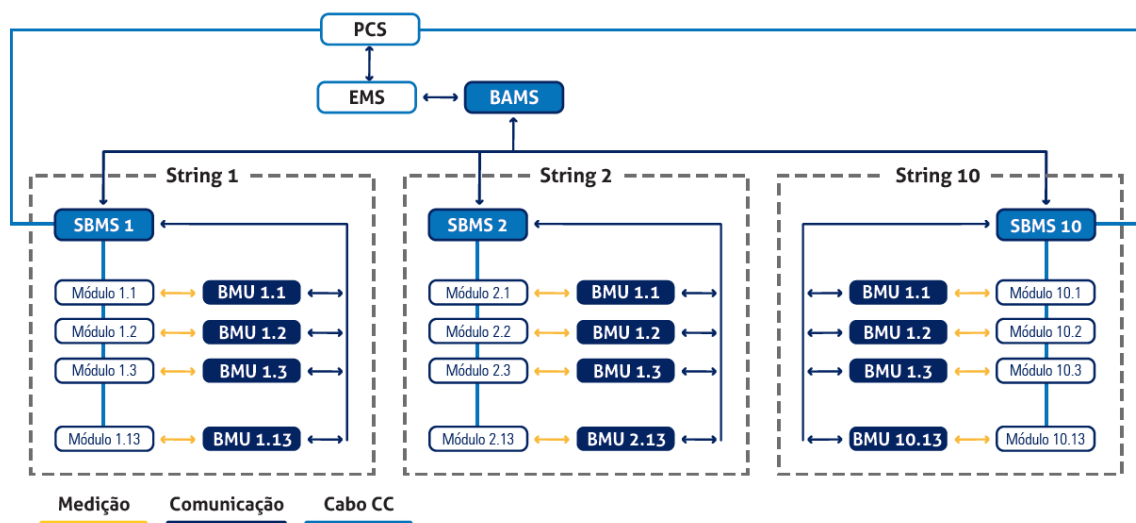
Atualmente, as baterias de íons de lítio têm conquistado um espaço significativo no mercado de armazenamento de energia ocasionando uma queda dos custos de aquisição dessa tecnologia. Quando comparada à bateria de chumbo-ácido, se destaca pelo maior valor de densidade de energia e de potência, alta eficiência, maior ciclo de vida e menor taxa de autodescarga (SABIHUDDIN *et al.*, 2014).

Existem estudos para a inserção de outras tecnologias de baterias no mercado do armazenamento, como a de íons de sódio e a de fluxo redox. As baterias de íons de sódio possuem uma densidade de energia menor, mas são constituídas por materiais de menor custo e requerem uma quantidade reduzida de minerais críticos. Resultando em uma diminuição de até 30% nos custos de produção quando comparada com a bateria de lítio ferro fosfato. Já, as baterias de fluxo redox surgem como uma alternativa para situações que demandam o uso de sistemas de armazenamento de longa duração. (IEA, 2024)

2.3.3 Sistema de gerenciamento das baterias

A falta de monitoramento e gerenciamento de parâmetros do BESS pode fazer com que a bateria degrade de forma mais rápida e diminua a sua capacidade de armazenamento. Por isso, é importante que durante a operação seja considerado os parâmetros, como temperatura, capacidade do sistema e estado de carga (*State of Charge – SOC*), estipulados durante o dimensionamento. O BMS é responsável por essa função, embora no nível mais baixo do sistema, ou seja, nas baterias. Dessa forma, elas operam de maneira ideal e segura. Cada fabricante desenvolve o gerenciamento das baterias de uma forma diferente, porém a arquitetura geralmente é composta por três níveis, como está disposto na Figura 5.

Figura 5 – Arquitetura do BMS



Fonte: MOURA (2022)

Conforme visualiza-se na Figura 5, o primeiro nível pode ser chamado de Unidade de Monitoramento da Bateria (*Battery Monitoring Unit* - BMU), sendo responsável pela verificação dos parâmetros das células, como tensão, corrente, temperatura e resistência. O segundo é responsável pelas *strings* e chamado de Sistema de Gerenciamento de *String* (*String Battery Management System* – SBMS). Nesse nível, realiza-se o monitoramento da temperatura, da corrente e da tensão das *strings*, também se calcula os valores de SOC e estado de vida (*State of Health* - SOH) das baterias, e é executado os comandos de proteção do BMS.

No último estágio existe o Sistema de Gerenciamento Central das Baterias (*Battery Array Management System* – BAMS), que é responsável por processar os dados informados pela BMU e SBMS e fazer a interface entre o banco de baterias e o sistema de gerenciamento de energia. Esse tipo de arquitetura é interessante, pois existe uma camada de monitoramento em cada estágio. Assim, podem ser programados diversos alarmes através das informações coletadas e calculadas pelo BMS. Dessa maneira, o operador do sistema pode evitar situações de fuga térmica¹ e melhorar a eficiência do sistema.

2.3.4 Sistema de conversão de energia

O Sistema de conversão de energia (PCS) é um sistema bidirecional que tem o intuito de fazer a interface entre os equipamentos de corrente contínua (CC) e de corrente alternada (CA). O PCS atua como retificador quando o banco de baterias é carregado, assim convertendo CA em CC, e como inversor na descarga do banco de baterias, convertendo CC em CA. O sistema de conversão de energia possui funcionalidades de proteção, como sub e sobre tensão e frequência, desequilíbrio de corrente e tensão e verificação de sincronismo do sistema.

O PCS pode atuar em diversos modos de operação, os mais utilizados para sistemas de armazenamento por baterias, são o conectado à rede (P-Q) e o ilhado (V-F). Na funcionalidade P-Q o conversor deve garantir o recebimento de informações referentes a tensão e a frequência de uma fonte externa, para fornecer as quantidades

¹ A fuga térmica é o resultado de várias reações exotérmicas que ocasionam a degradação dos componentes, como ânodo, eletrólito, separador e cátodo, respectivamente (WARNER, 2019).

necessárias de potência ativa ou reativa, operando nos quatro quadrantes da curva de potência. Já na função V-F são fornecidos e controlados os valores de tensão e de frequência, não sendo necessário que uma fonte externa forneça a referência desses parâmetros. (LEAL, 2024)

2.3.5 Sistema de gerenciamento de energia

O Sistema de gerenciamento de energia (EMS) é o gerenciador que integra a comunicação em tempo real dos sistemas do próprio BESS com os sistemas externos, como a rede elétrica, a carga ou a fonte inesgotável associada a ele. Ou seja, o EMS faz a interface entre o PCS, o BMS, os sistemas auxiliares e o sistema de controle de supervisão e aquisição de dados (*Supervisory Control and Data Acquisition* – SCADA), realizando avaliações das condições de operação do sistema e fornecendo os parâmetros para o melhor aproveitamento da energia elétrica.

O equipamento pode ser operado tanto localmente quanto de forma remota, e de acordo com as suas aplicações são implementadas lógicas de controle que determinam quando e a melhor maneira de serem realizados os carregamentos e despachos de energia. São indicados alertas ao identificar anomalias registradas pelos sistemas de gestão térmica ou de supressão e extinção de incêndio, garantindo a segurança do BESS.

2.3.6 Sistemas auxiliares

Os sistemas auxiliares representam os demais componentes do BESS, como os equipamentos responsáveis pela gestão térmica e detecção e extinção de incêndios. Essas cargas, apesar de serem auxiliares, têm grande relevância em um sistema de armazenamento. Por isso, geralmente são alimentadas por um transformador auxiliar ou conectadas ao painel de serviço auxiliar da subestação, se possível. Caso ocorra uma interrupção no fornecimento de energia elétrica desses sistemas, uma fonte de alimentação ininterrupta (*Uninterruptible Power Supply* - UPS) é ativada.

As falhas nas baterias podem ocorrer devido a diversos fatores, desde problemas durante o processo de fabricação da célula até a forma de operar o BESS.

Após um estudo da CEA (2024), realizado durante a fase de testes de aceitação em fábrica de diversos sistemas de armazenamento por baterias, 26% dos problemas encontrados se relacionavam a defeitos em equipamentos do sistema de supressão de incêndio e 18% no de gestão térmica. As falhas ocorriam principalmente devido à complexidade do processo de integração dos sistemas, que atualmente é manual e trabalhoso, além da ausência de verificações de qualidade dos componentes em etapas anteriores.

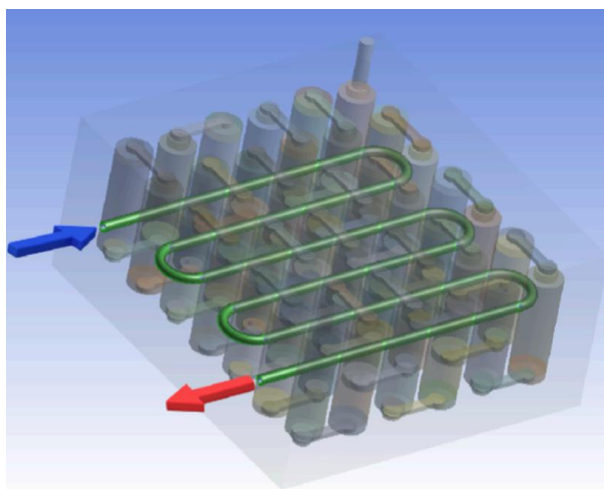
Os problemas encontrados variavam desde o diodo do atuador com defeito, o botão de abortar alarme e os sensores de fumaça e de temperatura com instalação incorreta. Até as placas de flange deformadas devido ao aperto excessivo e conexões de tubulações soltas do sistema de refrigeração líquida. Esses defeitos poderiam ocasionar a não liberação do agente extintor de incêndio, não detecção de fumaça ou leitura incorreta dos dados de temperatura, assim como eventos de curto-circuito e início de fuga térmica por conta do vazamento do material refrigerante. Resultando em danos aos equipamentos, a falta de segurança das pessoas que estão próximas e consequências ao meio ambiente pela liberação de gases tóxicos e contaminação do solo. (CEA, 2024)

2.3.6.1 Sistema de gestão térmica

O sistema de gestão térmica serve para evitar o aumento desenfreado de temperatura das células do banco de baterias durante a operação do sistema. Essas variações podem afetar a degradação, o desempenho das células ou gerar situações de fuga térmica. Caso a fuga térmica não seja controlada, pode acarretar em uma situação em cascata, afetando as demais células, módulos e *racks*, e causar um incêndio. (WARNER, 2019)

Para a gestão térmica existem sistemas com resfriamento a ar, que apesar de ser uma aplicação de baixo custo e simples, pode causar diferença de temperatura entre as baterias e facilitar a entrada de poeira e animais no interior do contêiner, sendo necessário maiores manutenções. As aberturas são projetadas de acordo com o posicionamento dos módulos. Outra alternativa é o uso de sistemas com refrigeração líquida, amplamente empregado, onde um fluido refrigerante circula por meio de tubos pelas células, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Refrigeração líquida a nível módulo



Fonte: ZHAO *et al.* (2023).

Neste caso os tubos são conectados de forma que o fluido que passa por um módulo não passe por outro, como uma ligação em paralelo. Esse método permite que a diferença de temperatura entre as células seja menor. Ao comparar esse tipo de refrigeração com o resfriamento a ar, observa-se um menor consumo de energia, um coeficiente de transferência de calor maior, menor geração de ruído e a possibilidade de construir baterias com dimensões menores, mas garantindo a mesma capacidade de resfriamento. (KHAN, 2024)

2.3.6.2 Sistema de detecção e extinção de incêndios

Em determinado estado durante os eventos de fuga térmica são gerados vapores e gases inflamáveis que quando não controlados podem resultar em incêndios ou explosões. A composição do gás e do vapor gerado depende da tecnologia da bateria, por isso o sistema de detecção e extinção pode atuar em diferentes níveis do banco de baterias, mitigando as situações e as propagações. (DNV, 2020)

Para o sistema de detecção de incêndios são utilizados detectores de gás inflamável, de fumaça, de calor, dispositivos de exaustão, de ventilação e de alívio de pressão espalhados pelo banco de baterias. Esses equipamentos são conectados a uma central do sistema de incêndio, ao BMS e ao EMS. Assim, quando necessário, os sinais visuais e sonoros são ativados para aviso dos operadores, indicando as

ocorrências de anomalias e suas localizações, além da liberação dos meios de extinção do incêndio.

O sistema de supressão de incêndio pode ser composto por névoa de água, produtos químicos ou aerossóis secos, gás inerte, NOVEC 1230, sprinklers entre outros. O sistema com névoa de água é eficaz em sistemas de menor capacidade e utiliza gotas de água que resfriam e tiram o oxigênio do fogo, não danificando os equipamentos. O uso de agentes com produtos químicos ou aerossóis faz com que o incêndio seja interrompido por meio de reação química. O gás inerte reduz o nível de oxigênio no contêiner até sua supressão. Já, o NOVEC 1230 é capaz de resfriar as chamas e impedir a realimentação do fogo, e os sprinklers auxiliam a não propagação do incêndio para outras partes do sistema. (ORR PROTECTION, 2025)

Os componentes para a extinção do fogo variam de acordo com o fornecedor, mas geralmente são utilizados agentes adequados a baterias, tubulação reserva de água para resfriamento e plug rápido para extintor de combate a incêndio. Alguns fabricantes adicionam um dispositivo em cada *pack* de baterias que opera um agente para liberar aerossol por meio de reação química.

2.4 Aplicações

As aplicações de sistemas de armazenamento por baterias podem atender necessidades de três grupos denominados, em frente do medidor (FTM), atrás do medidor (BTM) e os sistemas isolados. O grupo FTM engloba funcionalidades para sistemas de geração, transmissão e distribuição. Já o BTM está relacionado aos consumidores finais, como residências, comércios e indústrias.

Por fim, os sistemas isolados são sistemas autônomos utilizados em localidades remotas onde a rede básica não consegue dar suporte. As principais aplicações do BESS são, regulação de tensão e frequência, suavização de potência, arbitragem, auto restabelecimento (*Blackstart*), reserva de capacidade, postergação de investimentos, serviços ancilares, entre outros.

Nos sistemas isolados, o BESS pode diminuir o uso de geradores a óleo diesel, sendo associados a geradores de fontes inesgotáveis, como no projeto implantado na ilha das Cobras, mencionado no tópico 2.2. Para sistemas em BTM as

funções para melhoria de parâmetros de qualidade de energia e confiabilidade do sistema são importantes. O controle de demanda pode ser aplicado em conjunto com os sistemas de micro e minigeração distribuída e tendo bons resultados tornando o consumidor mais independente da rede elétrica. (SILVA, 2018)

No Brasil, os consumidores que são atendidos por média ou alta tensão contratam uma demanda máxima de energia e caso o consumidor ultrapasse o valor contratado são inseridos custos adicionais na fatura, como forma de penalidade. A utilização do armazenamento por baterias nesses casos, pode permitir que o consumidor contrate uma demanda menor. O BESS também pode ser útil para indústrias que tenham linhas de produção, funcionando como *backup* e auxiliando a oferta de eletricidade sem oscilações ou interrupções. (EPE, 2019)

Em frente do medidor, o BESS pode atuar como regulador de tensão e frequência em usinas eólicas, em momentos de flutuação de tensão ou de desbalanceamento entre geração e demanda por conta da intermitência do vento. O BESS também pode auxiliar aerogeradores em momentos em que há eventos de afundamentos de tensão ocasionados pela rede. Os serviços ancilares também são aplicados em grupos de FTM, o sistema de armazenamento funciona como uma reserva de capacidade e é ativado em momentos que a geração existente não produz o necessário. Também pode ser empregado para postergação de investimentos em sistemas de transmissão e distribuição. (SILVA, 2018)

As principais aplicações são descritas nos itens subsequentes.

1. Arbitragem

A arbitragem serve para sistemas que possam comprar ou armazenar energia elétrica em situações em que o preço está baixo ou não há como escoar a geração, e vendê-la em horários com preços elevados. Geralmente, são desenvolvidos projetos com maior capacidade de armazenamento e devido as incertezas dos preços, o BESS possui mais aplicações em conjunto desta estratégia. (EPE, 2019)

2. Auto restabelecimento (*Blackstart*)

Na função *blackstart*, os sistemas de armazenamento de eletricidade devem prestar suporte a rede para o reestabelecimento do sistema após um evento

de parada total. O BESS irá fornecer uma referência de tensão e corrente, para que as outras fontes possam sincronizar e voltar a operação. (HENRIQUES JUNIOR *et al.*, 2017)

Para essa aplicação, é importante que seja realizado um estudo para entender quais são os melhores locais que o BESS possa atuar apoiando os geradores e os sistemas de transmissão de forma eficaz. A função de auto restabelecimento em conjunto com fontes intermitentes é interessante, visto que o sistema de controle tende a desconectar a geração da rede, isolando-se e iniciando um processo de desligamento quando ocorrem eventos de falha como esses, provocando um desbalanceamento entre geração e demanda.

3. Regulação de tensão e Regulação de frequência

O BESS pode atuar na regulação de tensão e de frequência quando estão associados a unidades geradoras, em serviços ancilares ou em consumidores finais, auxiliando na operação e fornecendo maior estabilidade ao sistema. Nesses casos, em momentos de baixo nível de tensão, o BESS injeta potência reativa com o objetivo de elevar a tensão.

Entretanto, quando a tensão do sistema está acima do esperado, o reativo é absorvido, diminuindo a tensão até entrar no nível correto de operação. De maneira similar, para a regulação de frequência, há inserção de potência ativa à rede quando os níveis de frequência estão baixos ou absorção de potência ativa quando o sistema está com níveis acima do esperado.

4. Suavização de Potência

O método de suavização de potência auxilia a geração de eletricidade que tem como característica a intermitência, dando apoio nos momentos de variação da energia gerada. O BESS armazena o excedente da geração e quando necessário descarrega complementando o fornecimento de energia, controlando a rampa de variação de potência.

5. *Time shift* e *Peak shaving*

A função de deslocamento de energia (*time shift*), tem como objetivo o armazenamento da eletricidade gerada para utilizá-la nos momentos que a geração ou concessionária não consegue atender a demanda. Já, a aplicação de redução de

pico (*peak shaving*) permite que a energia elétrica seja armazenada quando se tem baixa demanda e seja descarregada em momentos de pico, evitando a ultrapassagem de demanda. (HENRIQUES JUNIOR *et al.*, 2017)

6. Reserva de capacidade

As baterias conseguem suprir a demanda com um tempo de resposta em torno de milissegundos, atuando rápido em momentos de perturbações no sistema elétrico. Sendo empregadas como reserva de capacidade, estarão sempre carregadas e descarregam somente quando solicitado, garantindo estabilidade e segurança no funcionamento da rede elétrica. Existem três tipos de reserva de capacidade: a reserva girante, que funciona em conjunto e sincronia com a rede e deve responder dentro de 10 minutos ao ocorrer o evento e em 10 segundos caso seja necessária uma correção por conta de variação de frequência; a reserva suplementar diferente da anterior não trabalha em sincronia com o sistema, mas deve efetuar uma resposta em 10 minutos após o transtorno e é exclusiva para cargas restritivas e ou interrompíveis; e a reserva de suporte que serve para apoio as duas opções anteriores. (SILVA, 2018)

7. Postergação de investimentos

Os sistemas de armazenamento de energia por baterias podem auxiliar na postergação de investimentos na infraestrutura de linhas de transmissão e de redes de distribuição, assim como no alívio de sobrecarga da geração e da carga. O BESS pode ser empregado para suprir a demanda com a energia carregada em momentos de baixa, e para suporte, melhorando o desempenho e estabilidade do sistema a partir do auxílio em momentos de anomalias e distúrbios. E, assim facilitando no intercâmbio de energia entre os subsistemas, no atendimento da demanda e, na postergação da construção de novas linhas de transmissão, redes de distribuição e ampliações em subestações. (HENRIQUES JUNIOR *et al.*, 2017)

8. Serviços ancilares

Os serviços ancilares servem para garantir o funcionamento do sistema elétrico com qualidade, segurança e confiabilidade. A aplicação de sistemas de armazenamento por baterias pode ser útil nesses casos, visto a resposta rápida do sistema, sendo capaz de auxiliar na regulação de tensão, prover inércia sintética e tempo para que o controle primário de frequência seja restabelecido. Também auxilia

o sistema em momentos de desequilíbrio entre carga e geração, atuando em Sistemas Especiais de Proteção, no auto restabelecimento de geradoras e entre outras aplicações. (EPE, 2019)

2.5 Conclusão

Ao longo deste capítulo foi apresentado de forma abrangente os sistemas de armazenamento por bateria, desde o seu desenvolvimento tecnológico até as aplicações que são relevantes para o setor elétrico. Inicialmente, abordou-se o surgimento das baterias e dos sistemas de armazenamento por baterias, destacando as principais composições químicas que auxiliaram na evolução do mercado e as primeiras aplicações utilizadas antes da aderência aos sistemas de corrente alternada.

Na sequência, destaca-se o cenário mundial do BESS, enfatizando as políticas, os mecanismos criados e as aplicações que os pioneiros na inserção da tecnologia estão aderindo. Em forma de adição de capacidade há o destaque da China, dos Estados Unidos e da União Europeia. Em contrapartida, apresenta-se o cenário brasileiro, onde apesar dos sistemas de armazenamento não estarem presentes significativamente, são encontrados projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Esses projetos fomentam a atuação de entidades públicas junto às empresas do setor elétrico para o desenvolvimento e inserção do BESS no Brasil.

Posteriormente, são apresentados os componentes dos sistemas de um BESS. Ressaltando as diferenças que podem ser encontradas entre os fornecedores e como esses fatores influenciam para a obtenção de um sistema eficiente e seguro. Por fim, foram comentadas as aplicações relevantes dos sistemas de armazenamento por baterias. Dentre as aplicações, destacam-se a regulação de tensão e frequência, o deslocamento de energia, a redução de pico de potência, a postergação de investimentos, os serviços ancilares e a arbitragem. Indicando a flexibilidade do BESS para atuar em todos pontos do sistema elétrico, melhorando a confiabilidade e a eficiência do mesmo.

Entretanto, apesar do BESS poder ser utilizado para mais de uma das funções citadas, os fornecedores apresentam sistemas com características técnicas

distintas entre si. Dessa forma, torna extremamente relevante a escolha do fornecedor aliada ao planejamento da gestão, da construção e do comissionamento da obra e do BESS. Deste modo, o próximo capítulo abordará os procedimentos de engenharia, aquisição, construção e comissionamento das plantas, enfatizando a importância da seleção de fornecedores qualificados, do estabelecimento do processo de contratação e do alinhamento do contrato EPC *Turnkey* para o sucesso da implementação do ativo.

3 PROCEDIMENTOS DE ENGENHARIA, AQUISIÇÃO, CONSTRUÇÃO E COMISSONAMENTO

A ABNT (2015) recomenda que uma organização deve desenvolver processos para a avaliação, seleção, monitoramento e reavaliação de fornecedores externos. Além de assegurar que exista uma comunicação sobre os requisitos relacionados a processos, produtos e serviços que serão fornecidos. Nesse contexto, este capítulo aborda temas acerca da importância de se estabelecer um processo para a seleção de fornecedores, da descrição de como essa etapa pode acontecer e as principais informações sobre o contrato EPC *Turnkey*.

3.1 Importância da seleção de fornecedores em projetos de BESS

A seleção de fornecedores representa uma etapa fundamental para o sucesso de um projeto, pois a escolha do fornecedor impactará diretamente a competitividade, o desempenho financeiro e a operação da empresa contratante (WEN-JIE; XIAO-FENG, 2006). Nos processos de grande escopo, geralmente, são envolvidos diversos *stakeholders* internos, representando áreas distintas, para a tomada de decisão. No momento de avaliação, identificam-se opiniões divergentes resultantes de objetivos conflitantes entre os setores envolvidos. Enquanto o departamento financeiro prioriza o fornecedor com menor custo, a área ambiental, busca um proponente que minimize os impactos ambientais em todo o ciclo de vida útil do BESS.

Esse comportamento reflete como a avaliação dos proponentes se tornou um processo complexo, ressaltando a importância de metodologias estruturadas. Inicialmente, o fator principal para a escolha de um fornecedor era o menor custo (CAKAR; ÇAVUŞ, 2021). Hoje, incorporam-se conceitos como qualidade e impactos socioambientais gerados. Diante disso, espera-se avaliar o valor agregado de cada solução apresentada, considerando os custos, os benefícios e os impactos decorrentes da aquisição dos componentes e dos serviços.

Para acompanhar a evolução dos processos de decisão, tornou-se necessário realizar as análises incluindo não apenas modelos matemáticos, com considerações puramente objetivas, mas também incluir aspectos organizacionais e

da cultura corporativa. O intuito é construir um modelo que auxilia a capacitação dos atores envolvidos para a evolução do processo de decisão. (ROY, 1996)

Dessa maneira, o uso da avaliação multicriterial para a seleção de fornecedores é essencial, visto a possibilidade de realizar a integração de diversos fatores acerca de um projeto de BESS. Para tanto, deve-se implementar aspectos técnicos, econômicos, financeiros e contratuais, agregando não somente os critérios tangíveis. As ferramentas existentes apoiam a união de critérios qualitativos e quantitativos em um único modelo, englobando robustez e assertividade na tomada de decisão.

Na literatura, há diversos exemplos de como implementar as metodologias para a decisão de fornecedores. Nesse contexto, Min (1994) empregou a teoria de utilidade de múltiplos atributos (MAUT) para lidar com a seleção eficaz de fornecedores internacionais de componentes de computadores. O autor abordou aspectos como restrições comerciais, barreiras culturais e de comunicação, desempenho do serviço, riscos percebidos, entre outros.

Ghodsypour e O'Brien (1998), combinaram programação linear e o processo de hierarquia analítica (AHP) para analisar fornecedores e definir as quantidades de produtos a serem adquiridos. O estudo retratou critérios como custo, qualidade e serviços, incorporando fatores como defeitos, flexibilidade do processo, comunicação, entre outros.

No estudo de Chai *et al.* (2025), foi desenvolvido uma estrutura de tomada de decisão multicritério Fuzzy, baseado na teoria da perspectiva cumulativa, para selecionar fornecedores de baterias para uma estação de troca de baterias de veículos elétricos. Os autores apresentam um modelo para avaliar fornecedores sustentáveis, incorporando questões sociais, econômicas, ambientais e técnicas.

Por fim, Israel (2024), por meio do método de processo de hierarquia analítica (AHP), desenvolveu um modelo para auxílio na tomada de decisão de fornecedores sustentáveis para a compra dos materiais de uma usina solar fotovoltaica. O objetivo era garantir uma solução estruturada e quantificável que considerasse fatores econômicos, sociais e ambientais.

Esses estudos mostram que diferentes métodos multicriteriais são aplicáveis e eficazes na seleção de fornecedores, mesmo em contextos e projetos

diversos. Para aplicá-los em uma situação de escopo de EPC *Turnkey* em BESS, seria necessário realizar ajustes que englobem os desafios acerca desse contrato.

A falta de capacidade técnica disponível no mercado é uma dessas dificuldades. O BESS se caracteriza por uma tecnologia emergente no sistema elétrico brasileiro. Por isso, há limitação de informações sobre experiências de implantação e operação dos ativos. Dessa forma, recomenda-se que a empresa contratante crie um bom relacionamento com os fornecedores disponíveis, analise as cadeias de subfornecedores, realize *benchmarking*, desenvolva cláusulas contratuais robustas e implemente projetos pilotos para testes.

Outro desafio reside na dificuldade de equalizar as propostas. Em virtude da flexibilidade e modularidade do BESS, proponentes diferentes que recorrem a mesma célula de bateria, podem fornecer sistemas completamente diferentes em termos de capacidade útil e de desempenho. Isto acontece, principalmente, por conta dos demais componentes existentes no sistema de armazenamento e pela falta de padronização dos cálculos de parâmetros, como a eficiência de *round-trip* e a degradação das baterias.

Como os processos de seleção estabelecidos geralmente não adotam uma metodologia estruturada, a equalização das propostas torna-se essencial, pois informações como os custos iniciais indicados pelos proponentes podem divergir do valor real. Assim, aumentando o retrabalhado das propostas para adequações e, conseqüentemente, impactando o cronograma do processo.

Além desses fatores, a dependência de fabricantes estrangeiros e a definição das garantias do sistema, devem ser considerados durante o processo de seleção. Atualmente, a China participa de todas as fases da cadeia de suprimentos das baterias, dominando as etapas de fabricação dos componentes, a montagem das células e bancos de baterias, e a integração dos equipamentos no contêiner. Essa concentração de fabricação aliada a extração do lítio pode gerar riscos à estabilidade e resiliência das cadeias de suprimentos globais. (IEA, 2024)

Portanto, torna-se necessário avaliar toda a cadeia produtiva, incorporando o estudo de pontos que relacionem desde a produção e logística dos equipamentos, até o serviço pós-venda oferecido pelo proponente. Com essas observações espera-

se a redução de potenciais riscos associados a essa dependência, como vulnerabilidades logísticas, flutuações de preços e restrições comerciais.

A definição das garantias das baterias se torna um desafio nos sistemas de armazenamento por baterias, visto que pode ser impactada diretamente por meio do modo de operação do ativo. A temperatura da célula, a velocidade de armazenamento, as quantidades de ciclos e a profundidade de descarga afetam o desempenho da bateria. Situações de sobrecarga frequente ou de superaquecimento causado por falha no sistema de gerenciamento térmico pode gerar contestações por parte do fornecedor durante a ativação da garantia. (CEA, 2024b)

Diante disso, é necessário a análise das garantias dos equipamentos oferecidas pelos fabricantes, considerando aspectos sobre degradação esperada, operação inadequada e possíveis falhas do BMS, EMS e do sistema de gestão térmica. Essa iniciativa surge para minimizar o risco de pleitos futuros que impactem a viabilidade técnica e econômica do projeto. Considerando os riscos e complexidades envolvidas em contratos de EPC *Turnkey* para BESS, torna-se fundamental estabelecer um processo estruturado para a contratação de fornecedores, tema que será abordado no próximo tópico.

3.2 Processo de contratação de fornecedores

Existem diversas definições do processo de contratação de fornecedores, Lima Junior e Carpinetti (2015) e Dissanayake (2017) estruturam o método em três etapas principais, a primeira para a definição do objetivo, a segunda para estabelecer as bases e os critérios de avaliação e por último a análise das propostas. Enquanto Barrera *et al.* (2022) agrupam o processo também em três etapas principais, mas primeiro definindo o problema, em seguida a realizando o cálculo dos indicadores e de pontuações e, por último, analisando os resultados obtidos.

De acordo com Neves (2003) o primeiro momento do processo de seleção consiste em obter informações internas, de mercado e de fornecedores, para que seja criado uma estratégia de compras. Depois são realizadas as solicitações das propostas, seguido do recebimento da documentação para a avaliação. Na etapa

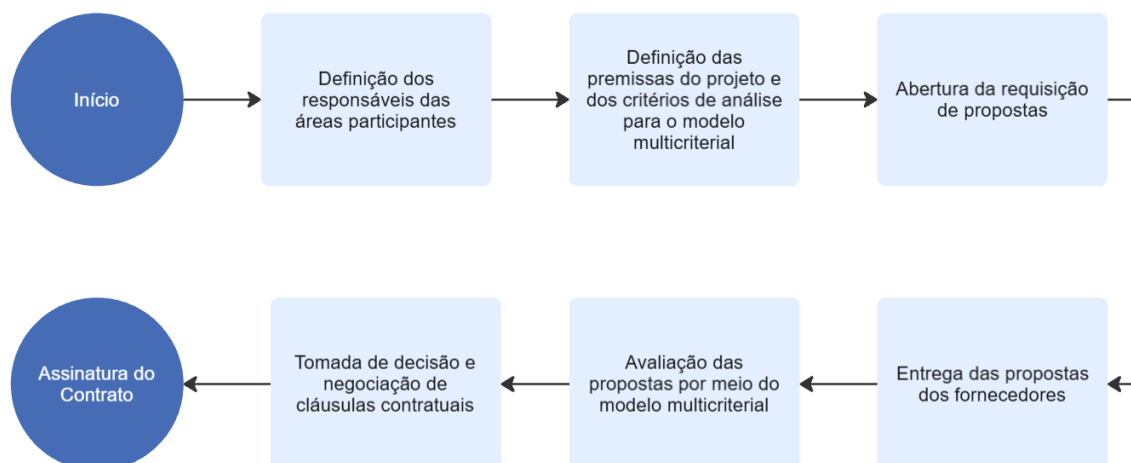
seguinte realiza-se a negociação do contrato e por fim, são implementadas e gerenciadas as atividades.

A estratégia de aquisição, o método de seleção e o tipo de contrato são fatores que podem influenciar no desenvolvimento de um processo de contratação de fornecedores. As principais estratégias de aquisição envolvem as opções de menor preço, melhor qualificação e melhor valor (DISSANAYAKE, 2017). Na primeira, a escolha se baseia somente no preço, enquanto na segunda somente nas qualidades apresentadas. Por último, a estratégia de melhor valor busca o equilíbrio entre preço e qualificações para garantir o desempenho e auxiliar na construção de valor do projeto. Esse método quando associado a uma abordagem multicritério estruturada permite que a análise dos critérios de áreas diversas influencie em um melhor resultado (ABDELRAHMAN *et al.*, 2008).

O método de negociação ou o de concorrência são as classificações do processo de seleção. Em compras ou serviços de emergência geralmente adota-se o método de negociação, onde há o envolvimento somente de um fornecedor, escolhido pela empresa desenvolvedora do projeto. No processo por concorrência são envolvidos diversos fornecedores para a apresentação das propostas. Há empresas que deixam o processo aberto a todos os fornecedores do mercado e participa aquele que se interessa pelo projeto. Ou em projetos complexos e que envolvem alta tecnologia, existe a escolha de quais fornecedores irão participar da etapa de apresentação de proposta. (DISSANAYAKE, 2017)

Com base na revisão bibliográfica deste tópico, foi desenvolvido o diagrama da Figura 7, ilustrando o processo de contratação de fornecedores considerado neste trabalho.

Figura 7 – Processo de contratação de fornecedores



Fonte: Elaborado pela autora.

O processo tem início com a definição dos responsáveis das áreas participantes, que juntos definem as premissas do projeto e os critérios de análise, que servirão como entrada para o modelo multicriterial. Nesse momento, também são desenvolvidos documentos padrões para que todos os fornecedores participantes do processo recebam as mesmas informações.

Na etapa de abertura da requisição de propostas são enviadas as documentações para os fornecedores desenvolverem elas. Durante um período estipulado, ocorre o desenvolvimento das propostas e depois a entrega das documentações. Posteriormente, há o levantamento dos dados para a avaliação por meio do modelo multicriterial, neste momento, pode ser solicitado mais informações ou informações faltantes. Em seguida ocorre a tomada de decisão com base no resultado obtido através do modelo, e a negociação de cláusulas contratuais mais específicas e por fim, a assinatura do contrato por ambas as partes.

3.3 Contrato EPC *Turnkey*

Existem diversas modalidades de contrato para a construção de empreendimentos e a escolhida deve abranger o escopo definido pela empresa proprietária do ativo. Geralmente, as diferenças entre os tipos de contratos estão relacionadas ao risco e a exposição de cada *stakeholder*. *Stakeholders* são aqueles que podem exigir ou influenciar em decisões ou ações em uma organização, como clientes, fornecedores e funcionários. (DONALDSON; PRESTON, 1995)

Os riscos podem variar de acordo com: a disponibilidade do proprietário em se envolver no processo; a divisão do escopo de gerenciamento da obra; o direito da empresa contratante para alterar as especificações do projeto; o nível de complexidade do projeto; e o prazo para conclusão da obra e o preço a ser pago. (MURDOCH; HUGLES, 2000)

Os contratos *Turnkey* surgiram por volta de 1930, como uma evolução do contrato de *design-build* (projetar e construir). A partir da década de 60, essa modalidade passa a ser utilizada em países em desenvolvimento, em obras envolvendo infraestrutura, geração de energia elétrica e processamento industrial. Enquanto o contrato entrava em desuso em algumas localidades, em outras havia a sua nacionalização, auxiliando empresas de engenharia no processo de repasse de obrigações. A modalidade *Turnkey* era adicionada aos contratos *design-build* para que além do projeto e construção, o fornecedor entregasse o empreendimento operando. (YOUNG *et al.*, 1989; BLAKENEY, 1989)

Logo, no contrato *Turnkey*, o fornecedor teria como responsabilidade entregar a obra pronta para uso, assumindo também as responsabilidades pelas atividades intelectuais e de execução direta e indireta, para fornecer, montar, testar e comissionar os equipamentos. Nesse contexto, o fornecedor deve treinar as equipes que irão operar o ativo, realizar comissionamentos assistidos, entregar os manuais de operação e manutenção, fornecer assistência técnica e os sobressalentes. (MESQUITA, 2019)

A partir dos anos 70 e 80, com a crise do petróleo, surgia a necessidade de viabilizar projetos de grande porte. Como os proprietários dos empreendimentos buscavam obter recursos para conseguir realizar financiamentos, surgiu o modelo *project finance*, onde o próprio projeto é oferecido como garantia para o empréstimo. Assim, a empresa conseguiria os recursos e delimitava o risco relacionado a execução da obra. Como forma de suporte jurídico, criou-se o contrato de EPC (*Engineering, Procurement and Construction* ou Engenharia, Suprimentos e Construção), restringindo com maior assertividade o atendimento ao preço, ao prazo de entrega e ao desempenho do ativo. No Brasil, a modalidade de contratação EPC começou a ganhar espaço na década de 90, aumentando a participação da iniciativa privada no

ramo de empreendimentos de infraestrutura. (BOON; GOFFIN, 1987; MESQUITA, 2019)

No contrato EPC, a parcela referente ao escopo de engenharia se refere a responsabilidade do fornecedor em receber as informações do projeto básico entregue pela empresa contratante e pelo gerenciamento de seus subcontratados. Também pelo desenvolvimento de atividades como, definições técnicas, realização do projeto executivo, e *as built*, métodos e processos construtivos, garantindo que o ativo terá bom desempenho.

O fornecedor deve adquirir os componentes principais e materiais necessários, a montagem, a instalação e os teste nos equipamentos, de acordo com as definições técnicas estipuladas com a empresa desenvolvedora do projeto. Caso o contrato seja EPC *Turnkey*, acrescenta-se a parcela do comissionamento dos equipamentos, treinamento da equipe de operação do ativo e caso necessário, operação por período determinado e assistência técnica. Com relação a construção do empreendimento, o fornecedor deve providenciar a contratação de equipes para realizar as atividades da obra, além da aquisição dos equipamentos e instrumentos necessários. (DEUS, 2019)

Para o desenvolvimento do contrato são adotadas referências, uma das mais utilizadas é o modelo *Silver Book*, desenvolvido pela *Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils* (FIDIC) para contratos como o de EPC *Turnkey*. Esse modelo conta com três partes de estruturação: a primeira engloba questões comerciais, financeiras e jurídicas, como a descrição do projeto, os requisitos comerciais, as resoluções de conflitos, entre outros; a segunda, apresenta-se as definições técnicas do projeto; a terceira, apresenta-se os ensaios necessários que irão garantir o desempenho do ativo. (GÓMEZ *et al.*, 2006)

Observando o escopo amplo de contratação, há uma transferência de risco do cliente para o fornecedor, tendo em vista que o preço global acordado, o prazo de conclusão e o desempenho do ativo pode implicar na geração inferior de receitas e na incidência de penalidades (MESQUITA, 2019). Dessa forma, a ideia de utilizar um modelo contratual EPC *Turnkey* para projetos complexos, como o de um BESS, é alocar os riscos existentes para o fornecedor. Tendo em vista que ele possui maior capacidade técnica para desempenhar todas as atividades requeridas e por

consequência, terá maiores condições de mitigar e gerenciar os riscos envolvidos (DONATO, 2015).

Construções de grande porte representam riscos relacionados a sua construção, a tecnologia empregada, ao modo de operação, ao efeito de mudanças econômico-financeiras e aos impactos socioambientais. Os riscos econômico-financeiros englobam as consequências dos impactos pelas mudanças econômicas locais e globais, como a variação da inflação, de juros ou de câmbio (ZANCHIM, 2012). As cláusulas contratuais podem determinar taxas máximas de variação para mitigar os riscos econômicos-financeiros (DONATO, 2015).

O risco da construção está atrelado a dificuldade encontrada pelo fornecedor em executar o projeto considerando o preço, o tempo e o desempenho acordados em contrato (GÓMEZ *et al.*, 2006). Um exemplo prático seria a realização de estudos geológicos, geotécnicos e hidrológicos antes da execução do projeto para ter conhecimento sobre o terreno da área de construção e assim, determinar o volume de movimentação de terra e terraplenagem.

Os riscos de operação envolvem a desatualização tecnológica ou as falhas do operador e, os riscos técnicos ou tecnológicos se relacionam aos desafios de implementação ou de logística referente a tecnologia empregada (CARMO, 2012). Nesse caso, o grau de inovação da tecnologia e a expertise do fornecedor podem gerar maiores riscos e, a incompatibilização de novos equipamentos com o do ativo existente pode ser um exemplo. Uma forma de mitigar os riscos de operação são os testes de aceitação em fábrica e em campo, que garantem o desempenho do sistema de armazenamento, e os treinamentos, que capacitam os operadores para que não ocorram falhas na operação do sistema.

Por fim, os riscos ambientais se referem aos impactos gerados ao meio ambiente e aos itens arqueológicos (ZANCHIM, 2012). Como exemplo, pode-se citar o fato de um fornecedor não considerar no projeto executivo uma área de preservação ambiental informada no projeto básico, e acarretar danos ao meio ambiente. A pesquisa de Soares (2023) relacionou os riscos de um empreendimento de geração de energia elétrica que adere ao contrato EPC *Turnkey* e, destacou que os elementos com um alto risco são: custo previsto, *compliance*, interface e gestão de stakeholders,

saúde financeira da contratada, flutuações cambiais, estudos de impacto ambiental e o projeto executivo.

3.4 Conclusão

Este capítulo teve o objetivo de apresentar a importância da seleção de fornecedores, evidenciando como um processo é estruturado e os principais pontos relacionados ao contrato EPC *Turnkey*. Inicialmente, destaca-se como o uso de ferramentas de avaliação multicriterial beneficiam a tomada de decisão, agregando robustez e assertividade. A falta de capacidade técnica disponível no mercado, a dificuldade de equalização de propostas em processos sem metodologia adequada, a dependência de fabricantes estrangeiros e o desafio para a definição das garantias das baterias, foram os pontos de atenção abordados referentes aos processos para implantação de projetos de sistemas de armazenamento.

Em seguida, foram expostas as etapas do processo de contratação de fornecedores considerado neste trabalho, mostrando desde o início do processo até a fase de assinatura do contrato. Por fim, houve a contextualização do contrato EPC *Turnkey*, que no Brasil, ganhou espaço a partir da década de 90 e é destinado em contratos que necessitam um fornecedor para realizar as atividades de engenharia, aquisição, construção e comissionamento do empreendimento. Ademais, foi elencado os principais riscos e exemplos de riscos associados a esse contrato e que se encaixam no escopo proposto para este trabalho.

Dessa maneira, no Capítulo 4, são apresentados a metodologia e o modelo de apoio a decisão propostos que envolvem múltiplos critérios quantitativos e qualitativos relacionando as áreas econômico-financeira, técnica e comercial.

4 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO MULTICRITERIAL

No contexto da tomada de decisão, diversas abordagens metodológicas são empregadas para lidar com problemas complexos, especialmente aqueles que envolvem múltiplos critérios, como a seleção de fornecedores. Esses processos geralmente enfrentam duas fases, a de estruturação do problema e a de avaliação das alternativas.

Durante a etapa de estruturação são reunidos os integrantes do processo, para a criação do modelo multicriterial que representará o problema e estabelecerá uma relação com os critérios de avaliação. Os integrantes do processo são, os decisores: indivíduos que possuem algum impacto direto e influenciam na decisão; os agidos: as partes afetadas direta ou indiretamente pela decisão; e o analista ou facilitador: responsável por reunir os decisores, estabelecer a comunicação entre eles, elaborar o modelo, interpretar e quantificar a opinião dos decisores. (BANA e COSTA, 1993)

Os critérios, também chamados de descritores ou atributos, compõem o modelo multicriterial e possuem o intuito de transformar o ponto de análise em uma medida, regra ou padrão que o represente e, funcione como ferramenta de comparação entre as alternativas. Os critérios podem ser classificados de acordo com três dimensões que abrangem se ele é quantitativo ou qualitativo; discreto ou contínuo; e direto ou construído. Quando expressos por números são classificados como quantitativo, caso contrário como qualitativo. Se estiver definido por categorias ou intervalos numéricos será discreto, enquanto se existir infinitos números entre os níveis de melhor possível e pior aceitável será contínuo. Por fim, se existir uma dimensão natural de medida associada a ele será dito como direto e caso contrário, construído. (SCHMIDT, 1995; ROY, 1985)

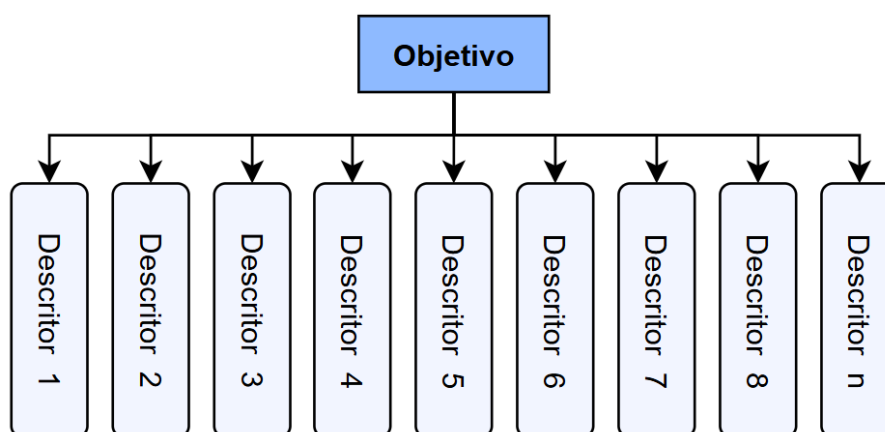
Ambas as fases utilizam preceitos das principais escolas amplamente citadas na literatura e, reconhecidas por suas contribuições à análise de decisão multicritério: a Escola Americana e a Escola Francesa. Embora possuam abordagens distintas, são complementares e podem ser integradas para aprimorar o processo decisório (ROY, 1996).

O modelo da Escola Americana de tomada de decisão multicritério tem suas bases teóricas na teoria das escolhas sociais de Arrow (1963), que explora como as preferências individuais podem ser agregadas em uma decisão coletiva. Além disso, a Escola Americana é fortemente influenciada pela Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), que se fundamenta nos princípios de von Neumann e Morgenstern (1947). Esses princípios estabelecem que as decisões devem ser baseadas em funções de utilidade, que representem as preferências do decisor de forma consistente e racional. (SCHMIDT, 1995)

No contexto da Escola Americana, o decisor deve identificar uma função de utilidade que agregue os valores associados a cada critério, permitindo a comparação e a ordenação das alternativas. Essa abordagem enfatiza a construção de funções de valor e a análise de *trade-offs* entre os descritores, dessa maneira, o decisor precisa ponderar os benefícios e custos relativos de cada alternativa em relação aos objetivos estabelecidos. (KEENEY; RAIFFA, 1993)

A estrutura hierárquica básica da Escola Americana, ilustrada pela Figura 8, mostra o nível de dependência entre os descritores e o objetivo final. A hierarquia auxilia na decomposição do objetivo geral em subobjetivos, de forma a compor na análise todos os fatores necessários para a tomada de decisão.

Figura 8 – Árvore de Decisão – Escola Americana



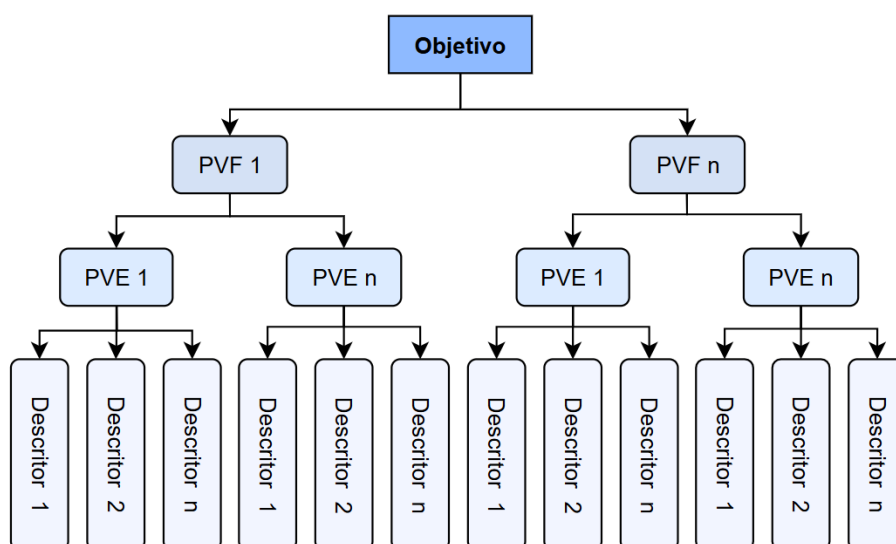
Fonte: Elaborado pela autora.

Na Escola Francesa, a estruturação do problema é baseada em Pontos de Vista Fundamentais (PVF's) e Pontos de Vista Elementares (PVE's). Os PVF's representam os critérios fundamentais que devem ser considerados na avaliação das alternativas. Eles são hierarquizados e refletem os objetivos estratégicos do decisor.

Os PVE's, por sua vez, são níveis intermediários que detalham os PVF's, permitindo uma análise mais granular. Cada PVE é avaliado individualmente antes de ser agregado ao PVF correspondente. Para quantificar o desempenho de cada alternativa em relação aos PVE's, são utilizados os descritores. (ROY; VINCKE, 1981; BOUYSSOU *et al.*, 2000)

A estruturação hierárquica dos PVF's e PVE's é frequentemente representada por meio de árvores de decisão que facilitam a visualização e a compreensão das relações entre os critérios e subcritérios, conforme Figura 9.

Figura 9 – Árvore de Decisão – Escola Francesa



Fonte: Elaborado pela autora.

A Escola Francesa, portanto, oferece uma metodologia estruturada e detalhada para a análise de decisão multicritério, com foco na clareza e na organização dos critérios. A integração das escolas permite uma análise mais completa, combinando a robustez da estruturação hierárquica da Escola Francesa com a flexibilidade e o rigor matemático da Escola Americana (ROY, 1996; KEENEY; RAIFFA, 1993).

Dois conceitos importantes que são utilizados em ambas as escolas: a função de valor econômico ou de utilidade econômica e o *tradeoff*. As funções de valor (v_i) e de utilidade (u_i) são ferramentas matemáticas que traduzem o desempenho de uma alternativa em diferentes critérios (quantitativos e qualitativos) em uma medida econômica única, facilitando a comparação entre as alternativas. A principal diferença entre essas funções é que a função de valor é determinística e a função de utilidade

econômica está associada a probabilidade de desempenho do descritor (i) em uma alternativa e , portanto, é estocástica. Podem ser estruturadas de duas formas principais: aditiva e multiplicativa. A diferença entre elas é a maneira como os critérios são combinados e nas suposições que fazem sobre as preferências do decisor. O *trade-off* (w_i), por sua vez, refere-se a importância relativa entre os critérios (i) que impacta no desempenho das alternativas. Em outras palavras, ao priorizar um critério, outro tem uma importância menor, isto é fundamentado no conceito de ótimo de Pareto. (KEENEY; RAIFFA, 1993)

A forma aditiva assume que a contribuição de cada critério para o desempenho da alternativa é independente dos demais e corresponde a equação (1). A produtiva, apresentada pela equação (2), é utilizada quando há interdependência entre os critérios, ou seja, quando a contribuição de um critério depende do desempenho de outro. Para essa forma, caso um critério tenha um desempenho muito baixo, ele pode reduzir significativamente o desempenho da alternativa, mesmo que os outros critérios tenham valores altos, ou mesmo zerar.

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(a) \quad (1)$$

$$V(a) = \prod_{i=1}^n v_i(a)^{w_i} \quad (2)$$

Onde:

n é o número de critérios, i ;

$V(a)$ é o valor global da alternativa, a ;

w_i é o *trade-off* do critério, i , sendo que $\sum w_i = 1$;

$v_i(a)$ é o valor de 0 a 1, que representa o desempenho da alternativa, a , no critério, i .

Apesar das diferenças entre as escolas, elas possuem o objetivo de auxiliar os tomadores de decisão na estruturação de um problema para a visualização, comunicação e entendimento sobre ele.

4.1 Metodologias

As metodologias de Tomada de Decisão Multicriterial (MCDM) e de Auxílio de Decisão Multicriterial (MCDA) são técnicas utilizadas para sintetizar diferentes abordagens na avaliação e priorização de alternativas. A principal diferença entre o MCDM e o MCDA é que o segundo envolve o decisor na estruturação do modelo multicriterial, adotando uma abordagem construtivista, e o primeiro não envolve necessariamente o decisor na estruturação do modelo. Ambos métodos consideram múltiplos fatores, como econômicos, ambientais e sociais, que são essenciais para decisões informadas. O objetivo é facilitar o processo de tomada de decisão, sem prescrever um resultado específico. (BELTON; STEWART, 2002)

Algumas técnicas amplamente utilizadas nessas metodologias no setor de energia elétrica para auxiliar no processo de tomada de decisão são: *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Multiattribute Utility Theory* (MAUT), *Elimination and Choice Expression Reality* (ELECTRE) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE).

Nos próximos tópicos, serão detalhadas as técnicas e a fundamentação matemática aderida para o desenvolvimento deste trabalho. Para a análise dos critérios qualitativos ou quantitativos descritos por intervalos, e para a avaliação dos *trade-offs*, será empregado o método AHP. Já, para os critérios quantitativos com comportamento contínuo, será utilizada o MAUT. A abordagem combinada visa garantir uma análise abrangente e estruturada, considerando os aspectos qualitativos e quantitativos na tomada de decisão.

4.1.1 Processo de Hierarquia Analítica

O Processo de Hierarquia Analítica (AHP), desenvolvido por Thomas L. Saaty, estrutura os diferentes componentes de uma decisão em uma hierarquia composta de diversos níveis: critérios, subcritérios e cenários. Nessa técnica existe a inclusão não somente de dados, mas da experiência e conhecimento dos participantes no processo de tomada de decisão, agregando ao modelo o consenso de julgamento e a preferência dos decisores. Adota-se que n alternativas, $A_1, A_2, \dots, A_n$, com intensidade de importância, $w_1, w_2, \dots, w_n$, conforme Quadro 1, estão sendo

consideradas por um grupo de pessoas interessadas, e que os seus objetivos são: (SAATY, 1980)

- prover um julgamento sobre a preferência relativa entre alternativas ou critérios; e
- garantir que os julgamentos sejam quantificados de modo que a interpretação sobre todas as alternativas ou critérios também possam ser quantificadas.

Quadro 1 – Escala fundamental dos números absolutos

Intensidade da preferência	Definição	Explicação
1	Indiferente	Contribuem igualmente para o objetivo, ou não é possível estabelecer preferência.
2	Fraca ou leve	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um elemento em relação a outro.
3	Moderada	Experiência e julgamento favorecem um elemento em relação a outro.
4	Moderadamente alta	-
5	Forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente um elemento em relação a outro.
6	Fortemente alta	-
7	Muito Forte ou Demonstrada	Um elemento é fortemente favorecido em relação a outro; seu domínio é demonstrado na prática.
8	Extremamente forte	-
9	Absoluta	A evidência favorecendo um elemento sobre outro é da mais alta ordem possível de afirmação.
Recíprocos dos valores acima	-	Se o elemento i tem um dos valores não nulos acima atribuídos quando comparado com o elemento j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i.
1.1–1.9	Se as preferências são muito próximas	Pode ser difícil atribuir o melhor valor, mas ao serem comparadas com outras atividades contrastantes, o tamanho dos números pequenos pode não ser tão perceptível, mas ainda podem indicar a preferência relativa entre elementos.

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Para quantificar esse julgamento os participantes desenvolvem a matriz de julgamento, também chamada de matriz de concordância, expressa pela equação (3), realizando a comparação par a par dos elementos e incorporando as preferências de importância do Quadro 1.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ 1/p_{21} & 1 & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/p_{n1} & 1/p_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde:

n é o número de elementos da matriz; e

p_{ij} representa a preferência relativa entre os elementos da linha i e da coluna j .

Como os elementos da matriz $p_{ij} = \gamma_i / \gamma_j$ tem suas entradas sempre positivas, respeita-se o axioma da propriedade recíproca onde $p_{ji} = 1/p_{ij}$. De acordo com Saaty (2008), a matriz das razões entre os pares é obtida ao multiplicar a matriz A pelo vetor de preferências relativas, γ , tendo como resultado que $A\gamma = \lambda\gamma$, conforme evidenciado pela equação (4).

$$A\gamma = \begin{bmatrix} 1 & \gamma_1/\gamma_2 & \dots & \gamma_1/\gamma_n \\ \gamma_2/\gamma_1 & 1 & \dots & \gamma_2/\gamma_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_n/\gamma_1 & \gamma_n/\gamma_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_n \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dessa maneira, se λ for um autovalor da matriz A , γ é um autovetor associado a ele. Considerando um caso ideal, todos os autovalores exceto um, têm valores pertencentes ao conjunto dos números reais diferente de zero e não negativo, $\mathbb{R}_+^*$. Assim, a soma dos autovalores de uma matriz é igual ao seu traço. Nesse caso, o traço de A é igual a λ , tornando λ o maior autovalor de A .

Para simplificar o processo, Saaty (1980) apresentou quatro maneiras de determinar o autovetor principal e o autovalor referente a matriz de julgamento. No método escolhido para este trabalho, o autovetor será calculado conforme a equação (5). Portanto, haverá a multiplicação dos elementos de cada linha da matriz e posteriormente será calculado a raiz n -ésima.

$$\gamma_i = \sqrt[n]{\prod_j (p_{ij})} \quad (5)$$

Onde:

γ_i é o autovetor da linha i da matriz A ;

d é a dimensão da matriz A ; e

p_{ij} é a preferência do elemento i sobre o elemento j .

Para tornar γ único, é necessário normalizar suas entradas realizando a divisão de cada elemento do autovetor γ pela soma dos elementos dele, fazendo com que a solução seja uma versão normalizada de qualquer coluna de A . Entretanto, como os valores de γ_i/γ_j não são precisos e sim estimados, pode haver algum erro de julgamento, sendo necessário buscar o maior autovalor, λ_{max} . (SAATY, 2008)

O λ_{max} pode ser calculado de uma maneira simples, que consiste em primeiro criar um vetor onde cada elemento representará a soma dos valores de uma coluna da matriz de concordância e, posteriormente multiplicá-lo pela norma do vetor γ . O índice de consistência (IC), representa o desvio de erro que ocorreu ao estimar p_{ij} , e pode ser encontrado considerando a equação (6).

$$IC = \frac{\lambda_{max} - d}{(d - 1)} \quad (6)$$

O grau de inconsistência ou coeficiente de racionalidade (CR) é a razão de IC pelo índice de inconsistência randômico (IR), apresentado no Quadro 2, e deve ser menor ou igual a 10% para ser considerado aceitável. Os IRs representam os índices resultantes da média de uma grande amostra de matrizes recíprocas de mesma ordem. (SAATY; VARGAS, 2012)

Quadro 2 – Índices randômicos

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1980).

Tendo em vista a técnica apresentada, caso os elementos comparados na matriz A sejam PVEs ou PVFs ou critérios (descritores), os autovetores, γ_i , são interpretados como *trade-offs*, sendo determinados pela normalização proporcional, conforme equação (7).

$$w_i = \frac{\gamma_i}{\sum_{i=1} \gamma_i} \quad (7)$$

Onde:

w_i é o *trade-off* do elemento i ;

γ_i é o autovetor do elemento i da matriz A .

Mas, caso os elementos comparados na matriz A sejam níveis de impacto ou valores de desempenho de alternativas, a_n , nos critérios (ou descritores), i , os autovetores, γ_i , são interpretados como índices da função de valor econômico, $v(a_i)$, pela normalização não proporcional conforme equação (9).

$$v_i(a_n) = \frac{\gamma_i - \min(\gamma_i)}{\max(\gamma_i) - \min(\gamma_i)} \quad (8)$$

Onde:

$v_i(a_n)$ é o valor econômico da alternativa a_n no critério i ;

γ_i é o autovetor do elemento i da matriz A .

A partir dos valores calculados das funções de valor econômico, é gerado o gráfico que ilustrará o comportamento econômico daquele critério e obtido a equação de tendência que representará a função de valor do critério.

4.1.2 Teoria da Utilidade Multiatributo

O Método Multiatributo de Utilidade (MAUT) tem como objetivo incorporar a incerteza presente em critérios quantitativos, estruturando um problema complexo em uma hierarquia simples e incorporando a preferência dos tomadores de decisão (MIN, 1994). Tendo em vista que são encontradas funções de utilidade simples que representam as preferências do decisor e, transformam o desempenho de alternativas, a_n , em critérios com escalas adimensionais de utilidade, com valores entre 0 a 1, para posteriormente serem combinadas dentro de uma decisão global (KIKER *et al.*, 2005). De acordo com Keeney (1977), o processo de avaliação é realizado em cinco etapas, são elas: entender os objetivos e critérios selecionados; verificar as suposições de independência entre os critérios; avaliar e determinar os *trade-offs* dos critérios; estabelecer a função de utilidade de cada critério; e verificar a consistência das respostas obtidas.

De modo a garantir a consistência do julgamento do decisor são estabelecidas diretrizes que avaliam tanto as preferências entre as alternativas,

quanto aos critérios. Assim, as preferências do decisor devem ser completas, ou seja, durante a comparação de duas alternativas considera-se que ou a é preferido a b , ($a \succ b$), ou b a a , ($b \succ a$), ou existe uma indiferença entre elas ($a \sim b$). Em termos de função de utilidade, tem-se respectivamente, $U(a) > U(b)$, $U(b) > U(a)$ e $U(a) = U(b)$. Da mesma forma que para garantir uma consistência lógica, considera-se que as preferências e indiferenças são transitivas. Logo, em um critério com três níveis de impacto, N_1 , N_2 e N_3 , se N_1 é preferível a N_2 , ($N_1 \succ N_2$), e N_2 é preferível a N_3 , ($N_2 \succ N_3$), então N_1 é preferível a N_3 , ($N_1 \succ N_3$). Dessa maneira, $N_1 \succ N_2 \succ N_3 \succ \dots \succ N_n$. (BELTON; STEWART, 2002)

Para a avaliação entre critérios, o método permite a obtenção do desempenho de cada alternativa em todos os critérios por meio da função de utilidade de síntese, como as equações (1) e (2), evidenciadas no tópico 4. Na análise intra-critério, primeiro é necessário considerar que o descritor é mensurável, ou seja, ele foi obtido de uma distribuição de probabilidade relacionando os níveis de importância do atributo e, também foi avaliado as preferências do tomador de decisão com relação a cada nível de impacto (KEENEY; RAIFFA, 1975).

Em seguida, são associadas funções de utilidade que representam o comportamento econômico do descritor, para posteriormente dar suporte a avaliação das alternativas. Em um caso simples, onde não existe estrutura hierárquica e não há interação entre os critérios, a função de utilidade global para uma alternativa, a_n , poderia ser $U(a_n) = \sum_i w_i \cdot u_i(k_i)$, onde k_i será um valor normalizado de um intervalo e u_i a função de utilidade econômica do critério, i , com um valor entre 0 a 1, refletindo o comportamento do decisor em relação a incerteza do critério i (HUANG *et al.*, 2011). Algumas dessas funções estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Exemplos de funções de utilidade

$u_i(k_i) = a + b \cdot k_i$
$u_i(k_i) = a - b \cdot e^{-c \cdot k_i}$
$u_i(k_i) = -e^{-a \cdot k_i} - b \cdot e^{-c \cdot k_i}$

Fonte: Keeney e Raiffa (1975).

Onde k_i corresponde ao desempenho da alternativa, a_n , no critério, i , normalizado, e a , b e c são constantes ou parâmetros que auxiliam a definir a função

de utilidade, evidenciando informações como aversão, propensão ou indiferença do decisor. O decisor avesso é aquele que prefere a consequência esperada de uma escolha do que os riscos atrelados a escolhas diferentes (KEENEY; RAIFFA, 1975). Um exemplo seria: um processo de seleção de fornecedores para o desenvolvimento de um projeto executivo que conta com dois possíveis fornecedores, n , a_1 e a_2 .

O fornecedor a_1 já teve contratos anteriores de mesmo escopo com o tomador de decisão e, entregou anteriormente um projeto dentro do prazo e com qualidade. No processo atual, a_1 tem o preço 10% maior que o fornecedor a_2 . Nesse caso, para o tomador de decisão ter um comportamento avesso, ele vai preferir escolher o fornecedor a_1 , pela experiência e “certeza” de que o projeto será entregue dentro do cronograma e com qualidade.

Logo, o decisor não irá correr o risco de escolher o fornecedor a_2 e ter uma entrega ineficiente, mesmo que, hipoteticamente, a_2 por um preço menor entregue um projeto dentro do prazo e com qualidade igual ou maior que o fornecedor a_1 entregou anteriormente. Se o decisor tivesse um comportamento propenso, ele assumiria o risco de ter um resultado incerto com o fornecedor a_2 e ter uma economia de 10%, no lugar da segurança do serviço proposto por a_1 .

Considerando as informações abordadas anteriormente, neste trabalho, a técnica será aplicada em critérios classificados como contínuo, que não estarão associados a níveis de impacto, mas sim a um valor que represente o melhor resultado possível a^* e a um pior cenário aceitável a_* . Dessa maneira, a função de utilidade intra-critério escolhida será exponencial com um comportamento, α , arbitrado pelo decisor, conforme define a equação (9).

$$v_i(a_n) = \frac{e^{\alpha k_i} - 1}{e^{\alpha} - 1} \quad (9)$$

Onde:

$\alpha \in R_{-}^*$, representa o comportamento avesso;

$\alpha \in R_{+}^*$, representa o comportamento propenso; e

k_i será obtido por meio da normalização não-proporcional da escala que representa o critério, i . Assim, se o critério for composto por uma escala crescente

será aderido a equação (10). Caso contrário, se o critério for decrescente, utiliza-se a equação (11).

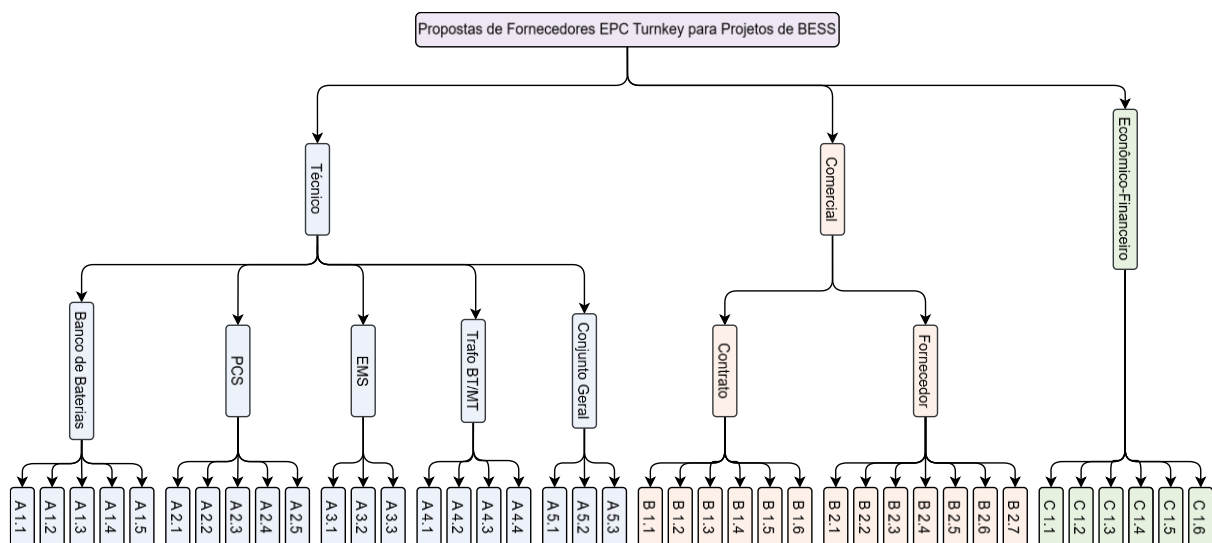
$$k_i = \frac{\gamma_i(a_n) - \min \gamma_i(a_n)}{\max \gamma_i(a_n) - \min \gamma_i(a_n)} \quad (10)$$

$$k_i = \frac{\max \gamma_i(a_n) - \gamma_i(a_n)}{\max \gamma_i(a_n) - \min \gamma_i(a_n)} \quad (11)$$

4.2 Estrutura do modelo proposto

No presente trabalho, o modelo proposto seguirá os fundamentos da Escola Francesa, visto que ela oferece uma metodologia estruturada e detalhada para a análise de decisão multicritério, com foco na decomposição do problema em PVF's, PVE's e descritores. Essa abordagem é amplamente utilizada em problemas complexos, onde a clareza e a organização dos critérios (descritores) são essenciais para uma tomada de decisão informada e eficaz. Ressalta-se que descritores são critérios, que possuem uma escala ordinal, associados a uma escala cardinal. A escala cardinal é a função de valor econômico ou de utilidade econômica que representa o comportamento econômico (avesso, propenso, indiferente) frente ao desempenho (valor) da escala ordinal do critério. Dessa maneira, o modelo completo desenvolvido está ilustrado por meio da Figura 10.

Figura 10 – Estrutura do modelo



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.1 Pontos de vista fundamentais

O modelo proposto conta com três Pontos de Vista Fundamentais (PVFs) separados em técnico, comercial e econômico-financeiro. Espera-se por meio dos PVFs, abranger os critérios para garantir uma tomada de decisão assertiva com relação a escolha de fornecedores de sistemas de armazenamento por baterias com contrato EPC *turnkey*. Dessa maneira, contemplando o máximo dos aspectos abordados para a implementação de uma nova tecnologia no sistema elétrico brasileiro.

4.2.1.1 PVF Técnico

O PVF técnico engloba as análises técnicas sobre os componentes do sistema de armazenamento de baterias, incluindo os equipamentos necessários para a conexão ao ponto de acoplamento comum. Com esse propósito, houve a divisão do PVF em cinco pontos de vista elementares (PVEs), sendo eles, banco de baterias, PCS, EMS, transformador BT/MT e conjunto geral.

O objetivo dos critérios técnicos é trazer segurança ao cliente com relação à qualidade e eficiência dos equipamentos que são ofertados e a aderência às aplicações escolhidas. O BESS é um sistema modular que pode ser desenvolvido em diversas configurações e embora os fornecedores possam utilizar a mesma tecnologia de baterias, existem variações de capacidade e degradação, resultando em sistemas completamente diferentes. Dessa forma, foram construídos vinte critérios, distribuídos em quatro Pontos de Vista Elementares (PVEs), que são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Descritores do PVF Técnico

PVF	PVE	Descritores	
Técnico	Banco de Baterias	Profundidade de descarga	A 1.1
Técnico	Banco de Baterias	Degradação no término de vida útil	A 1.2
Técnico	Banco de Baterias	Capacidade da célula de bateria	A 1.3
Técnico	Banco de Baterias	Ciclo de vida das baterias	A 1.4
Técnico	Banco de Baterias	Variação da temperatura de operação	A 1.5
Técnico	PCS	Tecnologia apresentada	A 2.1
Técnico	PCS	Aplicação do Sistema	A 2.2
Técnico	PCS	Eficiência do Equipamento	A 2.3
Técnico	PCS	Tempo de resposta a falhas	A 2.4
Técnico	PCS	Atendimento a normas	A 2.5

Técnico	EMS	Funcionalidades	A 3.1
Técnico	EMS	Arquitetura	A 3.2
Técnico	EMS	Sistema de Segurança Cibernética	A 3.3
Técnico	Transformador BT/MT	Compatibilidade com o sistema	A 4.1
Técnico	Transformador BT/MT	Tipo de isolamento	A 4.2
Técnico	Transformador BT/MT	Rendimento	A 4.3
Técnico	Transformador BT/MT	Fator K	A 4.4
Técnico	Conjunto Geral	Tipo de Sistema de Refrigeração	A 5.1
Técnico	Conjunto Geral	Eficiência no ciclo completo	A 5.2
Técnico	Conjunto Geral	Informações técnicas disponibilizadas	A 5.3

Fonte: Elaborado pela autora

PVE A 1. Banco de baterias: o ponto de vista elementar irá abranger os principais pontos técnicos relacionados aos equipamentos do banco de baterias. Foram desenvolvidos cinco critérios que são apresentados na sequência.

Descritor A 1.1 Profundidade de descarga: a profundidade de descarga (*Depth of Discharge – DoD*) é um parâmetro que indica a porcentagem de capacidade, em ampère-hora, descarregada de uma bateria em certo momento. Quanto maior o valor da porcentagem, mais descarregada é a bateria. A DoD impacta na vida útil das baterias e não o considerar pode refletir no desempenho elétrico do sistema, por isso, torna-se uma informação importante a ser analisada durante a seleção dos fornecedores. O parâmetro é obtido pela razão entre o valor da capacidade que foi descarregada e a capacidade nominal da bateria, conforme exposto pela equação (12). (HLAL *et al.*, 2019)

$$DoD [\%] = \frac{Cap_{desc}}{Cap_{nom}} \cdot 100 \quad (12)$$

Onde:

Cap_{desc} é a capacidade descarregada; e

Cap_{nom} é a capacidade nominal da bateria.

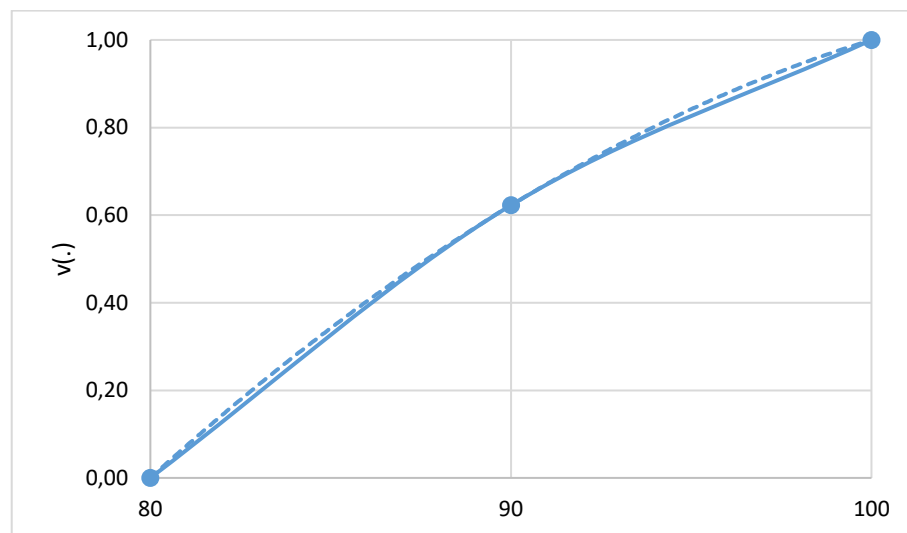
O descritor tem o intuito de averiguar o parâmetro apresentado pelo fornecedor, tendo em vista que a melhor situação seria possuir a profundidade de descarga, mas sem afetar a degradação ou desempenho da bateria. Dessa forma, na Tabela 1 está disposta a escala ordinal criada, sem níveis de impacto, pois o descritor é classificado como quantitativo, contínuo e direto.

Tabela 1 – Escala ordinal (A 1.1)

Nível	Descrição	Unidade
a^*	100	[%]
	90	
a_*	80	

Fonte: Elaborado pela autora.

O valor de k é definido pela equação (10) e a função de valor econômico será obtida por meio da equação (9), ambas apresentadas anteriormente no tópico 4.1.2, considerando o α negativo e um comportamento avesso. O comportamento econômico do descritor está evidenciado por meio da Figura 11 e especificado pela equação de tendência (13).

Figura 11 – Comportamento econômico (A 1.1)

Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0012 \cdot x^2 + 0,270 \cdot x - 13,797 \quad (13)$$

Descritor A 1.2 Degradação no término de vida útil: a degradação da bateria é um efeito provocado por conta das condições operacionais do sistema de armazenamento e é medido em porcentagem. A profundidade de descarga, quantidade de ciclos, taxa de carregamento e temperatura são alguns dos fatores que influenciam na capacidade de energia armazenada e por consequência, podem contribuir para um aumento da degradação das baterias durante a vida útil do BESS.

No momento atual da indústria, a degradação reflete um comportamento natural das baterias e considerá-la na etapa de dimensionamento é essencial para

entender o desempenho do sistema e assim, adotar medidas que previnam e integram esse efeito. Logo, utilizam-se duas opções, o superdimensionamento do BESS incorporando a degradação esperada, para que no final de vida útil haja a entrega da capacidade necessária. Ou então, a adoção da estratégia de *augmentation*, onde são previstas inserções de novas baterias.

Nesse contexto, o descritor tem como intuito avaliar o valor de degradação no término de vida útil do BESS, evitando subdimensionamentos que afetem a capacidade útil entregue e resultem em multas contratuais ou expansões não programadas. Além de ser suporte para outros critérios como o de capacidade útil e profundidade de descarga, proporcionando robustez a tomada de decisão.

A escala ordinal deste descritor é composta por quatro níveis e está disposta na Tabela 2. Onde N1 representa o melhor possível, uma degradação menor que 30% e N4 o pior cenário esperado, uma degradação maior que 42%. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e construído.

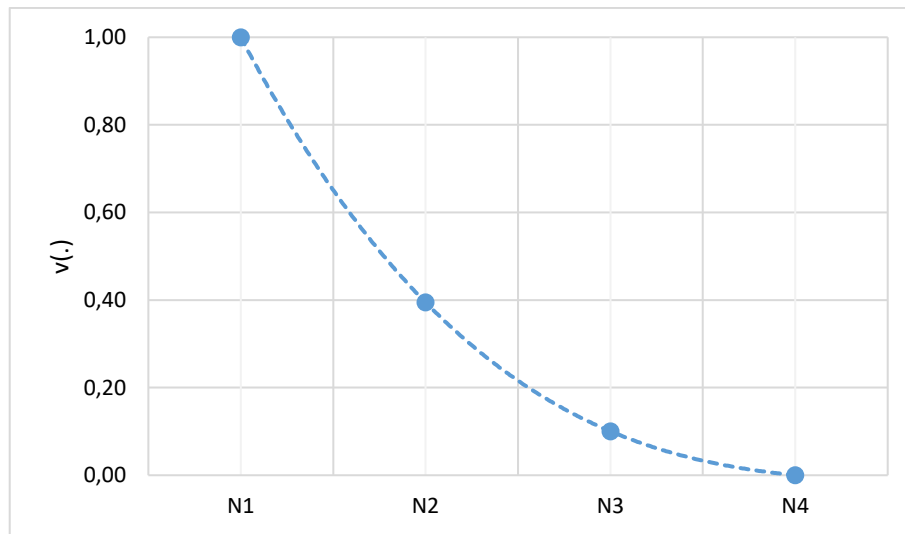
Tabela 2 – Escala ordinal (A 1.2)

Nível	Descrição	Unidade
N1	< 30	[%]
N2	[30; 38[	
N3	[38; 42]	
N4	> 42	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 12 apresenta o comportamento econômico do critério enquanto a equação de tendência (14) o define.

Figura 12 – Comportamento econômico (A 1.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0195 \cdot x^3 + 0,273 \cdot x^2 - 1,287 \cdot x + 2,034 \quad (14)$$

Descritor A 1.3 Capacidade da célula de bateria: a análise dos valores de capacidade nominal da célula de bateria, em ampère-hora, permite a compreensão da quantidade de energia que será armazenada e fornecida por uma célula. Esse valor pode ser diferente quando diversos fornecedores participam do mesmo processo de seleção. Apesar do avanço da tecnologia indicar células de baterias que apresentam maior valor de densidade de energia em dimensões reduzidas, a capacidade também influencia no tamanho físico e na modularidade do sistema. Nesse contexto, a Tabela 3 evidencia a escala ordinal do descritor, que não possui níveis de impacto, pois o descritor é classificado como quantitativo, contínuo e direto.

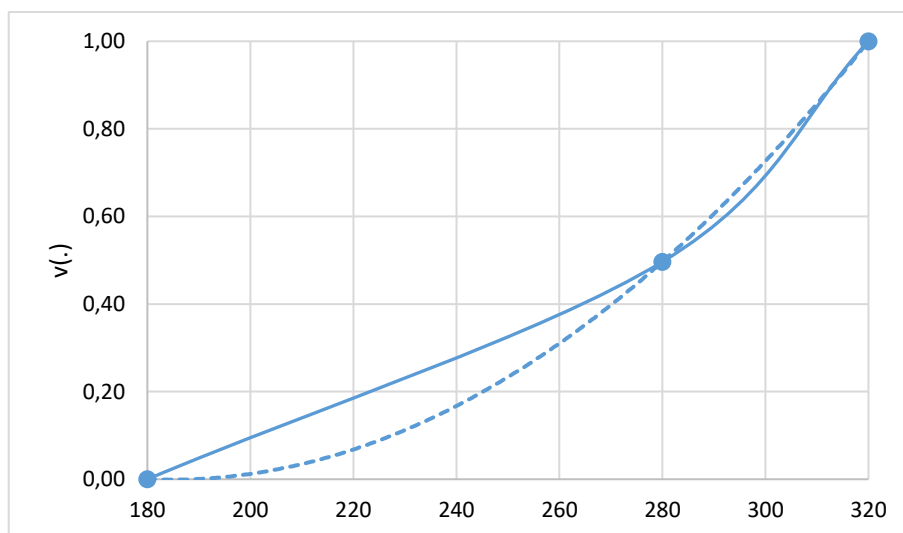
Tabela 3 – Escala ordinal (A 1.3)

Nível	Descrição	Unidade
a^*	320	[Ah]
	280	
a_*	180	

Fonte: Elaborado pela autora.

O valor de k é definido pela equação (10) e a função de valor econômico será obtida por meio da equação (9), adotando o α positivo e um comportamento propenso. O comportamento econômico do descritor está ilustrado pela Figura 13 e expresso pela equação de tendência (15).

Figura 13 – Comportamento econômico (A 1.3)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,00005 \cdot x^2 - 0,0201 \cdot x + 1,849 \quad (15)$$

Descritor A 1.4 Ciclo de vida das baterias: o ciclo de vida de uma bateria indica a quantidade de ciclos completos de carga e descarga que uma bateria suporta mantendo a sua capacidade e funcionalidade dentro de valores pré-determinados. Desta forma, o descritor avalia a quantidade de ciclos que o equipamento do fornecedor pode suportar, dentro dos parâmetros estabelecidos, durante a vida útil do projeto.

A Tabela 4 apresenta a escala ordinal criada com quatro níveis de impacto, supondo um projeto com vida útil de 20 anos, operando no mínimo um ciclo completo por dia. Dessa maneira, N1 representa o melhor cenário e N4 o pior aceitável. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e direto.

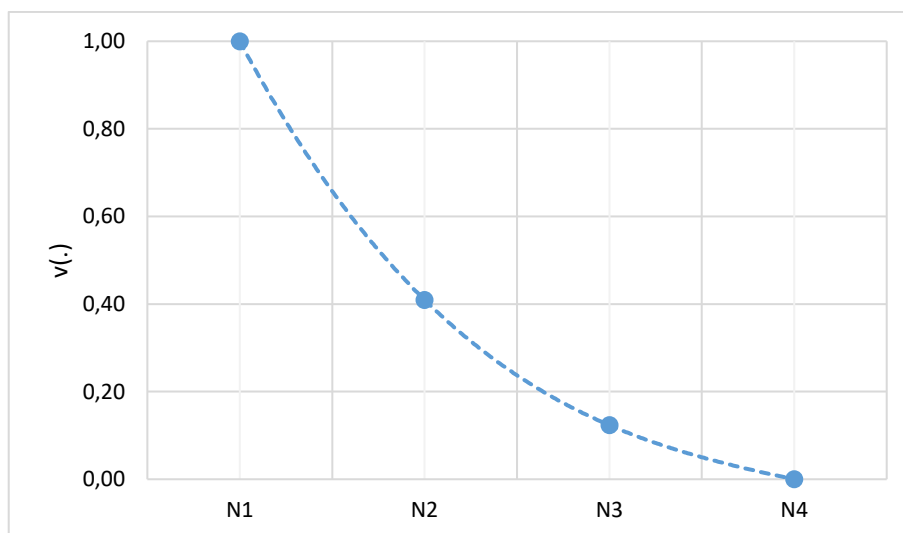
Tabela 4 – Escala ordinal (A 1.4)

Nível	Descrição	Unidade
N1	> 8030	[Ciclos]
N2	]7665; 8030]	
N3	[7300; 7665]	
N4	< 7300	

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor pode ser observado por meio da Figura 14 e está exposto pela equação de tendência (16).

Figura 14 – Comportamento econômico (A 1.4)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0236 \cdot x^3 + 0,294 \cdot x^2 - 1,306 \cdot x + 2,036 \quad (16)$$

Descritor A 1.5 Variação de temperatura em operação: a faixa de temperatura ideal para a operação das baterias, geralmente, é determinada pelo fabricante, por meio de testes. A temperatura torna-se um parâmetro essencial para análise durante a seleção dos fornecedores, pois quando a bateria é exposta a valores extremos, há degradações que afetam no desempenho e na segurança do BESS.

O descritor permite a análise através da variação de temperatura em operação, que pode ser suportada pela bateria do fornecedor, sem afetar o desempenho do sistema. Espera-se que uma maior variação de temperatura, em graus Celsius, reflita em uma maior flexibilidade operacional e climática do BESS. A escala ordinal exposta na Tabela 5, não possui níveis de impacto, visto que o critério é classificado como quantitativo, contínuo e direto. O melhor cenário é obtido por uma variação de 65 °C, enquanto o pior caso aceitável indica a variação de 45 °C.

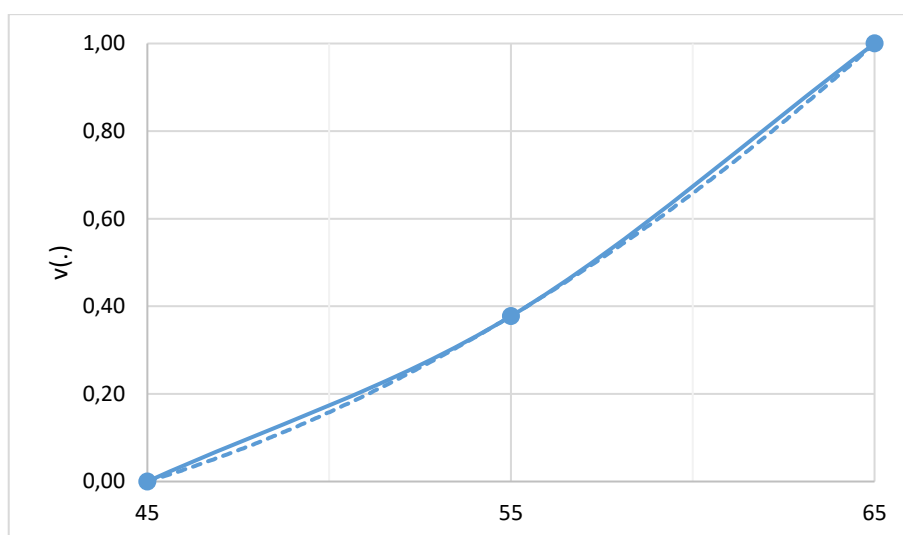
Tabela 5 – Escala ordinal (A 1.5)

Nível	Descrição	Unidade
a^*	65	[Δ°C]
	55	
a_*	45	

Fonte: Elaborado pela autora.

O valor de k é definido pela equação (10) e a função de valor econômico será obtida por meio da equação (9), considerando o α positivo e um comportamento propenso. A Figura 15 ilustra o comportamento econômico do descritor e a equação de tendência (17) o define.

Figura 15 – Comportamento econômico (A 1.5)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,0012 \cdot x^2 - 0,0847 \cdot x + 1,332 \quad (17)$$

PVE A 2. PCS: o ponto de vista elementar PCS, irá englobar os requisitos relacionados ao sistema de conversão de energia. A seguir, são expostos os cinco descritores criados para este PVE.

Descritor A 2.1 Tecnologia apresentada: um dos aspectos para avaliação da tecnologia apresentada pelo fornecedor é a necessidade do conversor escolhido ser bidirecional, e poder realizar os processos de carregamento e descarregamento do banco de baterias. A localização do PCS também é fundamental, visto que por meio dela determina-se o grau de proteção da carcaça do equipamento. Em sistemas

expostos a condições do tempo o ideal é que o componente seja resistente a poeira e jatos d'água.

Outra questão essencial é identificar os índices de confiabilidade e disponibilidade para auxiliar a gestão do ativo, entendendo o comportamento do equipamento e a possibilidade de falhas que podem impactar no desempenho do PCS e nos custos com interrupções. Dessa maneira, o descritor tem intuito de auxiliar na análise do sistema de conversão de energia ofertado, abordando detalhes de modo de funcionamento e atuação, compatibilidade com sistemas elétricos, grau de proteção e vida útil do equipamento. Além de observar compatibilidade com banco de baterias de outros fornecedores e índices de desempenho.

Na Tabela 6 contém a escala ordinal criada com três níveis de impacto, onde N1 representa o melhor cenário e o N3 o pior aceitável. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

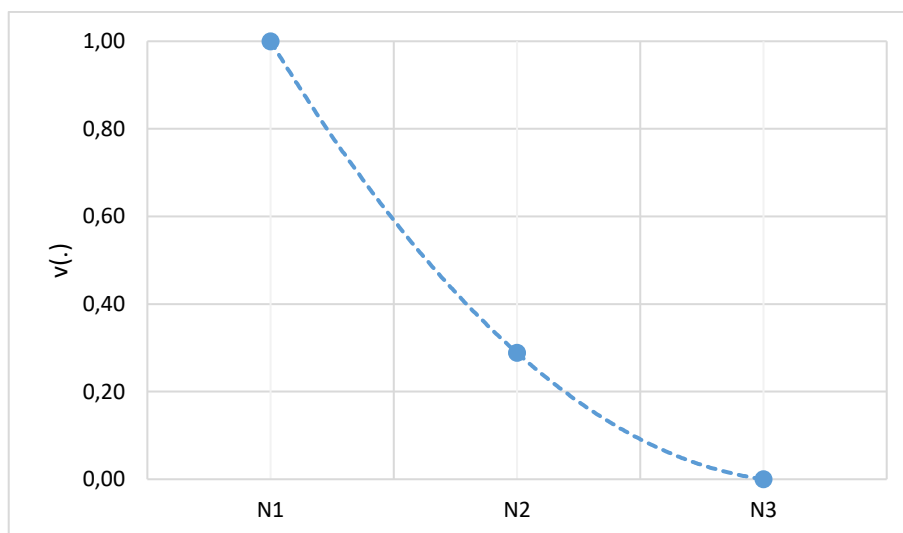
Tabela 6 – Escala ordinal (A 2.1)

Nível	Descrição
N1	O PCS é bidirecional, atua nos quatro quadrantes de potência e pode operar no modo P-Q ou no modo V-F. O equipamento é compatível com sistemas de baixa e média tensão, possui grau de proteção IP65, garantia de vida útil acima de 20 anos, além da capacidade de integração com bancos de baterias de outros fornecedores. Tem índices de confiabilidade e de disponibilidade maiores que 95%.
N2	O PCS é bidirecional, atua nos quatro quadrantes de potência e pode operar somente no modo P-Q. O equipamento é compatível com sistemas de baixa e média tensão, possui grau de proteção IP55, garantia de vida útil de 15 a 20 anos e não possui capacidade de integração com bancos de baterias de outros fornecedores. Tem índices de confiabilidade e de disponibilidade maiores que 95%.
N3	O PCS é bidirecional, atua nos quatro quadrantes de potência e pode operar somente no modo P-Q. O equipamento é compatível com sistemas de baixa e média tensão, possui grau de proteção IP54, garantia de vida útil menor que 15 anos e não possui capacidade de integração com bancos de baterias de outros fornecedores. Tem índices de confiabilidade e de disponibilidade menores que 95%.

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor é exemplificado por meio da Figura 16 e está expresso pela equação (18).

Figura 16 – Comportamento econômico (A 2.1)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,212 \cdot x^2 - 1,346 \cdot x + 2,135 \quad (18)$$

Descritor A 2.2 Aplicação do Sistema: o descritor Aplicação do Sistema tem por intuito identificar quais aplicações o produto poderá desempenhar. Tendo em vista que um equipamento com múltiplas funções traz como benefício para o fornecedor, apresentar uma tecnologia versátil, que abrange as necessidades de uma quantidade maior de clientes. Do ponto de vista do cliente, é benéfico pois será possível realizar o empilhamento de receitas por meio de duas ou mais aplicações. Esse comportamento possibilita um melhor uso da energia elétrica gerada pela planta ou rede a qual o BESS está associado, contribuindo pra um maior retorno financeiro e técnico.

As combinações de aplicações podem ser realizadas de duas maneiras, em série ou em paralelo. Na primeira opção, utiliza-se toda a potência do sistema de armazenamento para serviços e períodos distintos. Enquanto, na segunda estratégia, a potência do ativo é dividida para suprir os serviços no mesmo período. Essa adoção de múltiplas aplicações pode causar uma degradação maior das baterias e exige uma estratégia de operação mais robusta. (ZAMBONI; CASTRO, 2023)

Vale ressaltar que atualmente, no Brasil, não há regulação que determine como o BESS poderá atuar e nem de que forma as empresas serão compensadas, mas a adoção de empilhamento de receitas já é encontrada em países onde a tecnologia está mais desenvolvida. Nesse contexto, a escala ordinal conta com três

níveis de impacto e está apresentada na Tabela 7. Onde N1 representa a opção com melhor desempenho possível e o N3 a pior aceitável. O descritor foi classificado como qualitativo, discreto e construído.

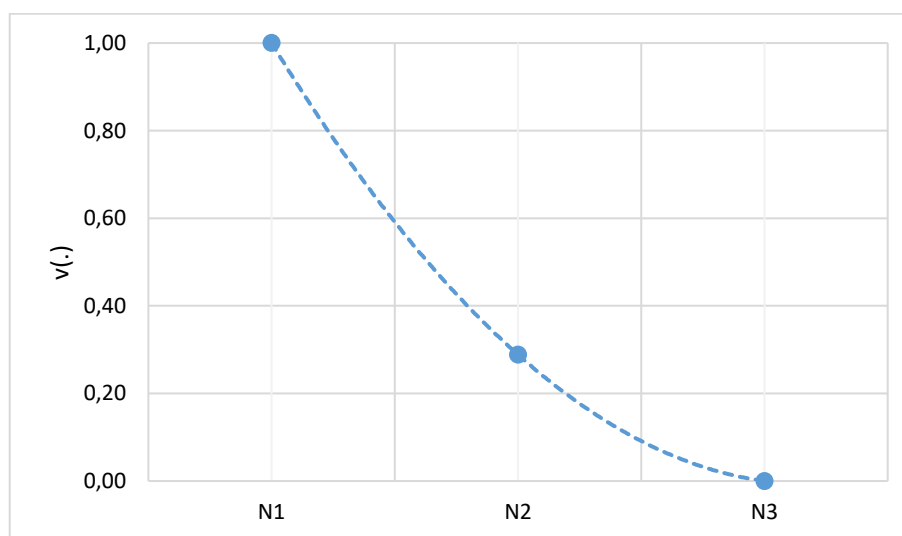
Tabela 7 – Escala ordinal (A 2.2)

Nível	Descrição
N1	O equipamento será capaz de realizar as seguintes aplicações: arbitragem, backup, regulação de frequência e tensão, suavização de potência, <i>time-shift</i> e <i>peak shaving</i> , reserva de capacidade e serviços ancilares.
N2	O equipamento será capaz de realizar as seguintes aplicações: arbitragem, backup, suavização de potência, <i>time-shift</i> e <i>peak shaving</i> e serviços ancilares.
N3	O equipamento será capaz de realizar as seguintes aplicações: arbitragem, <i>time-shift</i> e <i>peak shaving</i> e serviços ancilares.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 17 ilustra o comportamento econômico do descritor e a equação de tendência (19) o define.

Figura 17 – Comportamento econômico (A 2.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,212 \cdot x^2 - 1,346 \cdot x + 2,135 \quad (19)$$

Descritor A 2.3 Eficiência do equipamento: o descritor tem por objetivo avaliar a eficiência do PCS durante o processo de conversão de energia, parâmetro medido em porcentagem. Equipamentos com uma alta eficiência possibilitam ciclos de carga e descarga eficazes, minimizando as perdas de energia elétrica durante a conversão de corrente alternada para corrente contínua e aumentando o desempenho do sistema.

A escala ordinal criada é observada pela Tabela 8 e conta com três níveis de impacto, N1 que representa o melhor cenário possível, um equipamento com uma eficiência superior a 98%, e N3 o pior aceitável, um valor menor que 95%. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e direto.

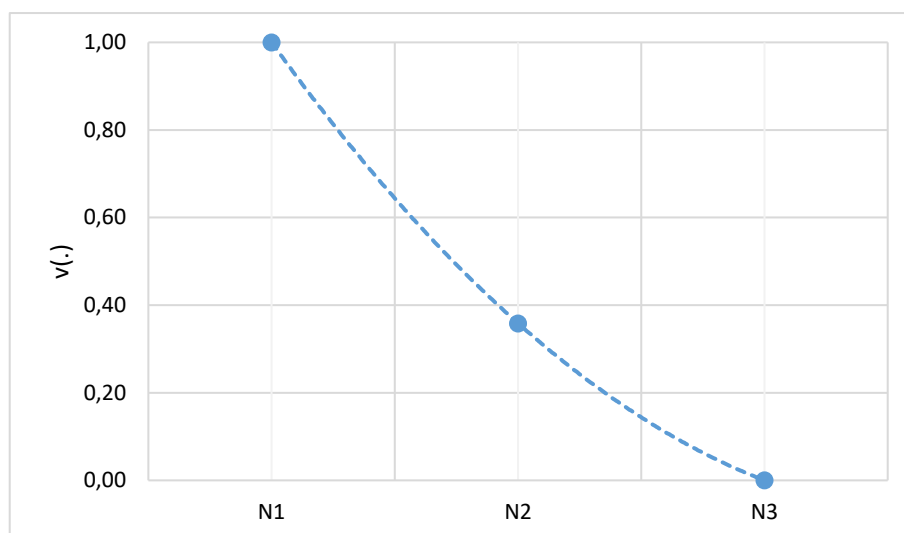
Tabela 8 – Escala ordinal (A 2.3)

Nível	Descrição	Unidade
N1	> 98	[%]
N2	[95; 98]	
N3	< 95	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 18 apresenta o comportamento econômico do critério e a equação de tendência (20) o caracteriza.

Figura 18 – Comportamento econômico (A 2.3)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,141 \cdot x^2 - 1,065 \cdot x + 1,924 \quad (20)$$

Descritor A 2.3 Tempo de Respostas a Falhas: o tempo de respostas a falhas é uma medida informada pelo fornecedor, em milissegundos, para abordar o comportamento do equipamento em momentos em que é constatado uma falha, seja do lado CC ou do CA. Espera-se que o PCS tenha uma resposta rápida para evitar situações que causem danos ou que afetem a segurança das pessoas e do sistema.

Assim, criou-se a escala ordinal indicada na Tabela 9, com três níveis de impacto. O N1 apresenta a melhor situação, um tempo menor que 50 ms e o N3 com

valores entre 200 ms e 500 ms. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e direto.

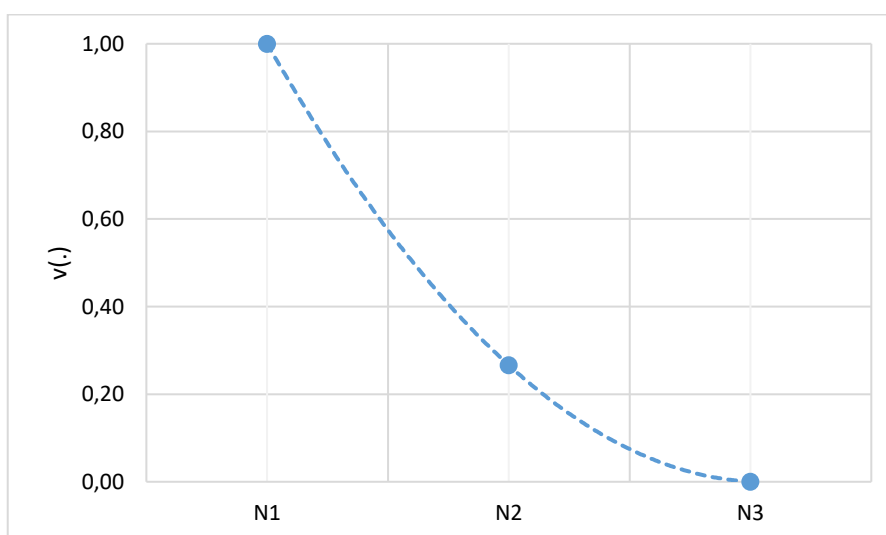
Tabela 9 – Escala ordinal (A 2.4)

Nível	Descrição	Unidade
N1	< 50	[ms]
N2	[50; 200]	
N3	]200; 500]	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 19 exemplifica o comportamento econômico do critério e a equação de tendência (21) o descreve.

Figura 19 – Comportamento econômico (A 2.4)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,234 \cdot x^2 - 1,436 \cdot x + 2,202 \quad (21)$$

Descritor A 2.5 Atendimento a Normas: o sistema de conversão de energia deve atender as principais normas existentes com relação a conversores, equipamentos de energia elétrica e sistemas de armazenamento por baterias. Atendendo a requisitos de segurança, conexão à rede, qualidade de energia elétrica, compatibilidade eletromagnética e testes específicos.

Para este descritor foi desenvolvida uma escala ordinal com três níveis de impacto, dispostos na Tabela 10. O N1 representa a melhor situação, a adequação as principais normas e procedimentos padrões relevantes, nacionais e internacionais, e

o N4, a pior aceitável, as normas mínimas que devem ser atendidas. Classifica-se o critério como qualitativo, discreto e construído.

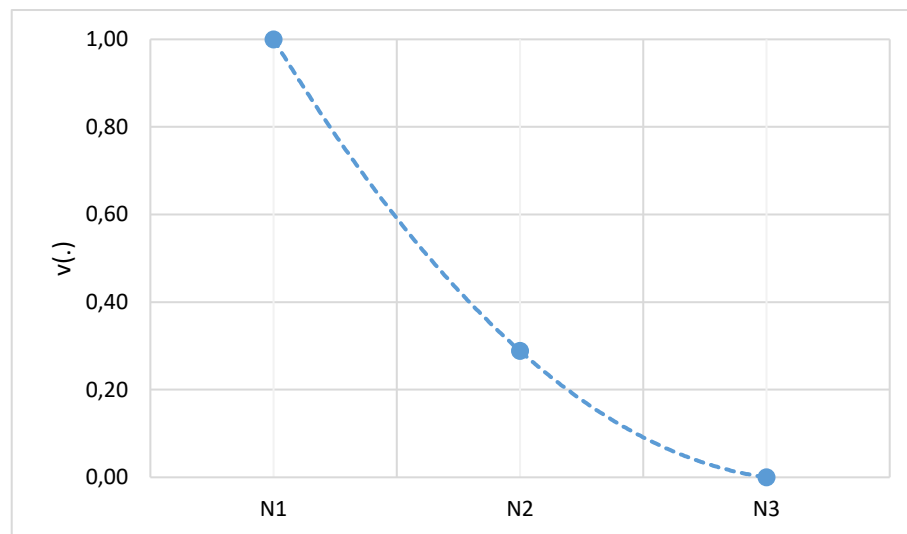
Tabela 10 – Escala ordinal (A 2.5)

Nível	Descrição
N1	IEC 62477-1; IEC 62109-1 e 2; UL 1741; UL 9540/9540A; UL 7041; EN 50178. IEEE 1547; IEC 62116; Procedimentos ONS; IEC 61850. IEEE 519; IEC 61000-6-2 e 6-4; EN 61000-3; IEC 62933-1; UL 9540A. NBR 16149/16150. IEC 61000-4-2 e 4 - 6. IEEE 5046.
N2	IEC 62477-1, IEC 62109-1/2, UL 1741, UL 9540. IEEE 1547, IEC 62116, Procedimentos ONS. IEC 61000-6-2 / 6-4. UL 9540.
N3	IEC 62477-1 / EN 50178, IEC 62109-1/2, UL 1741, UL 9540. IEEE 1547, IEC 62116, Procedimentos ONS.

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor está representado pela Figura 20 e definido pela equação de tendência (22).

Figura 20 – Comportamento econômico (A 2.5)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,212 \cdot x^2 - 1,346 \cdot x + 2,135 \quad (22)$$

PVE A 3. Sistema de Gerenciamento de Energia: este ponto de vista elementar abordará os aspectos relacionados a escolha do sistema de gerenciamento de energia. O EMS fará a comunicação disponibilizando as informações obtidas pelo sistema de gerenciamento das baterias para o sistema de conversão de energia, o SCADA e o PPC mestre da planta existente. Para este PVE foram desenvolvidos três descritores, dispostos na sequência, e utilizado como referência o sistema de gerenciamento de energia da Fractal (2025).

Descritor A 3.1 Funcionalidades: o descritor tem como intuito avaliar quais são as funcionalidades presentes no sistema de gerenciamento de energia ofertado pelo fornecedor. Por meio dos recursos do EMS conclui-se quais medições, análises e alarmes o sistema tem capacidade de efetuar, e o que será necessário desenvolver para que o componente atinja o seu objetivo no sistema em que será inserido.

O EMS, por exemplo, deverá atualizar, em segundos, os dados e exibir alarmes, falhas e alertas em tempo real. Além de realizar a localização de falhas de forma precisa e prever soluções. Espera-se que o sistema de gerenciamento consiga armazenar, no mínimo, os valores de potência ativa e reativa, tensão, corrente e resistência das células, *strings* e do banco de baterias. A partir desses dados, é necessário que sejam calculados e indicados para o operador, os estados de carga, de saúde e a degradação das baterias. O EMS deve conter dispositivos para o acionamento de parada de emergência do sistema geral e verificar se os parâmetros medidos estão dentro do limite seguro estipulado.

Caso detectar anomalias de sobre e sub tensão ou temperatura, falha em baterias, inversores, BMS e SBMS, faltas à terra ou perda de comunicação, o sistema deverá indicar alarmes. Situações em que as portas do contêiner estejam abertas, ou outras demandas relacionadas ao sistema de gestão térmica e o sistema de supressão de incêndio deverão ser indicadas por meio de alarmes ou alertas na tela do operador local ou remoto.

Além de realizar o gerenciamento da energia elétrica armazenada, o EMS deve efetuar otimizações de energia, considerando dados da usina existente e o histórico do BESS para que o sistema opere em nível ideal, conforme critérios do projeto e características da rede. Com relação a manutenções, o sistema deve desempenhar análise preditiva e aprendizado de máquina para antecipar falhas e recomendar manutenções preventivas. Por fim, também deve ser capaz de gerar relatórios diários, semanais e mensais com KPIs. Nesse contexto, a Tabela 11 expõe uma escala ordinal com três níveis que representa o descritor, considerando sua classificação como qualitativo, discreto e construído.

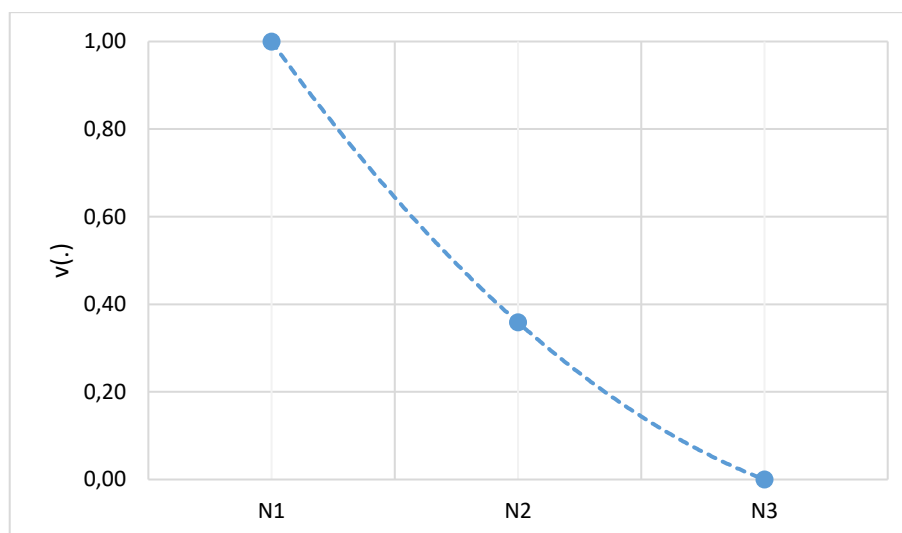
Tabela 11 – Escala ordinal (A 3.1)

Nível	Descrição
N1	O sistema do fornecedor atende 100% ao escopo.
N2	O sistema do fornecedor atualiza com base em minutos, não realiza a localização de falhas precisamente e desenvolve somente relatórios mensais. Não possui armazenamento vitalício de dados. O fornecedor garante o atendimento dos outros pontos.
N3	O sistema do fornecedor atualiza os dados com base em minutos. Não realiza localização de falhas precisamente; não prevê alarmes para faltas à terra, perda de comunicação e portas do contêiner abertas. Não emprega análise preditiva e aprendizado de máquina para antecipar falhas e recomendações de manutenções preventivas. Não desenvolve relatórios com KPIs. Não possui armazenamento vitalício de dados. O fornecedor garante o atendimento dos outros pontos.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 21 ilustra o comportamento econômico do critério e a equação de tendência (23) o descreve.

Figura 21 – Comportamento econômico (A 3.1)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,143 \cdot x^2 - 1,0653 \cdot x + 1,924 \quad (23)$$

Descritor A 3.2 Arquitetura: a arquitetura do EMS identifica como o sistema de gerenciamento e os seus componentes se comunicam com os demais equipamentos da planta. Dessa forma, estabelecer critérios mínimos de atendimento visa analisar o escopo proposto pelo fornecedor e garantir que o sistema geral atuará de maneira eficiente e segura.

Nesse sentido, para o descritor foi criado um escopo de referência apresentado a seguir. Assim, o EMS poderá ser acionado na planta de duas maneiras,

por meio de um painel com interface para usuário, geralmente, localizado no contêiner ou pelo SCADA, na subestação coletora do ativo. Algumas empresas que possuem um centro de operação ainda necessitam que o EMS aceite comandos através de acesso remoto.

O sistema de gerenciamento pode atuar como controlador ou dispositivo controlado e neste caso, adota-se o uso como dispositivo controlado, onde o EMS irá atuar respondendo a comandos externos de forma subordinada do SCADA e PPC mestre da planta existente, nos momentos de carregamento e descarregamento. Além de efetuar verificações de monitoramento em tempo real, em caso de perda de comunicação com o restante dos equipamentos, o EMS deve manter a funcionalidade básica do BESS.

Em conclusão, o equipamento deve ser compatível com os protocolos de comunicação mais utilizados, como Modbus TCP/IP, IEC61850, DNP3, Ethernet IP, REST API, CAN e garantir a sincronização de tempo via NTP (*Network Time Protocol*) ou GPS (*Global Positioning System*). A escala criada está disposta na Tabela 12 e contém três níveis de impacto, onde N1 representa o melhor cenário e N3 o pior aceitável. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

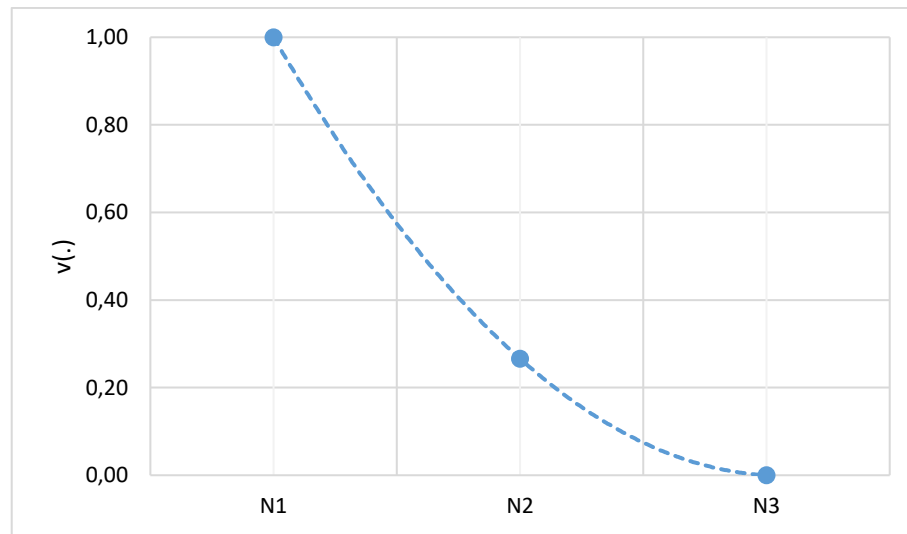
Tabela 12 – Escala ordinal (A 3.2)

Nível	Descrição
N1	O sistema do fornecedor atende 100% ao escopo.
N2	O sistema do fornecedor é somente compatível com sistemas que utilizam protocolos de comunicação por meio de IEC61850, Modbus TCP/IP e Ethernet IP, sem flexibilidade adicional para integração. Mas atende ao restante do escopo.
N3	O sistema do fornecedor só pode ser acionado ou na planta ou de forma remota. O sistema deverá atuar como o mestre e é compatível somente com sistemas que utilizar protocolos de comunicação Modbus TCP/IP, sem flexibilidade adicional para integração. E atende ao restante do escopo.

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor é apresentado por meio da Figura 22 e exposto pela equação de tendência (24).

Figura 22 – Comportamento econômico (A 3.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,234 \cdot x^2 - 1,436 \cdot x + 2,202 \quad (24)$$

Descritor A 3.3 Sistema de Segurança Cibernética: com a crescente demanda por energia elétrica e o avanço da tecnologia no âmbito de comunicação dos componentes, a segurança cibernética do ativo torna-se essencial. Por isso, será abordada no ponto de vista elementar do EMS. O relatório da IBM (2024) sobre cibersegurança, aponta que no ano de 2023, a indústria de energia foi a quarta mais visada para ataques cibernéticos, obtendo 11,1% do total de incidentes registrados entre as áreas analisadas pela empresa.

Destacam-se os ataques por *malware* e *ransomware*, representando 43% e 22% dos casos, respectivamente. Em 33% dos casos houve roubo ou vazamentos de dados e em 22% extorsão (IBM, 2024). No Quadro 5 estão representados alguns dos ataques cibernéticos e as suas descrições.

Quadro 5 – Tipos de ataques Cibernéticos

Tipo de Ataque	Descrição
<i>Malware</i>	Software inserido no sistema para danificá-lo ou explorá-lo. Geralmente causa mau funcionamento, roubo de dados ou o controle do sistema pode ser assumido por outro usuário.

Exaustão de recursos	Compromete a disponibilidade do sistema atuando nos componentes, aumentando o tráfego de respostas e travando o sistema.
Repetição	Afeta a integridade de comunicação por meio da captura de informações válidas em transmissões sem criptografia.
Homem no meio (<i>Man-in-the-middle</i>)	As mensagens para o operador são distorcidas. Exemplo: deveria aparecer um alerta avisando que a frequência do BESS está acima ou abaixo do esperado, mas não aparece. Ou então o sistema opera normalmente, mas o SCADA indica um alerta.
Negação de serviço	Interrupção, bloqueio ou obstrução de fluxo de informações por meio de redes de controle e comunicação.
Injeção ou alteração de dados ou sinal de comunicação	Polui e atrasa os dados que estão sendo comunicados entre componentes.

Fonte: Adaptado de Fonseca *et al.* (2020) e Ghosh *et al.* (2018).

O propósito do descritor é avaliar quais certificações, requisitos e diretrizes o fornecedor possui, além de identificar ferramentas e proteções utilizadas para garantir a segurança do ativo contra possíveis ataques. Por isso, espera-se que o fornecedor possua certificação da ISO 27001, atenda a requisitos de *frameworks* internacionais e nacionais, e siga as diretrizes da Resolução Normativa ANEEL nº 964, de 2021.

O fornecedor também deve garantir a disponibilidade, integridade e confidencialidade dos dados. Além implementar métodos de controle de acesso, backups de dados diários, autenticação e detecção de intrusos ou ataques. Também deve desenvolver planos para mitigações de riscos, medidas de recuperação do sistema e realizar testes para a verificação.

O sistema deve ser auditável e possuir proteção contra ataques dos tipos: *malware*, atraso aleatório (*random delay*), exaustão de recursos, repetição, homem no meio, negação de serviço, injeção de dados incorretos ou alteração dos dados. A Tabela 13 expõe a escala ordinal do descritor, que possui três níveis de impacto, N1 representando a melhor situação e N3 a pior aceitável. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

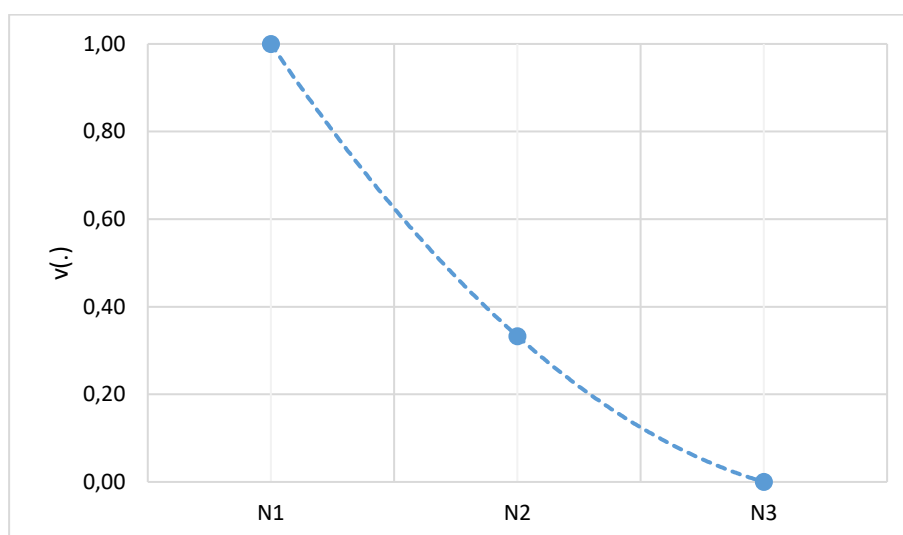
Tabela 13 – Escala ordinal (A 3.3)

Nível	Descrição
N1	O sistema do fornecedor atende 100% dos requisitos.
N2	O fornecedor atende a requisitos de frameworks como: NERC CIP, NIST CSF, CIS Controls, COBIT, ANSI. O fornecedor não desenvolve planos para mitigação de riscos. O sistema não realiza backups de dados diariamente e não possui autenticação. O sistema não possui proteção contra ataques dos tipos: homem no meio e negação de serviços.
N3	O fornecedor não tem certificação ISO 27001; atende somente a requisitos de frameworks como: CIS Controls e ANSI. O sistema não possui métodos de controle de acesso, backups de dados diariamente e autenticação. O sistema não emprega proteção contra ataques dos tipos: repetição, homem no meio, negação de serviço e injeção de dados incorretos ou alteração dos dados.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 23 exemplifica o comportamento econômico do descritor e a equação de tendência (25) o caracteriza.

Figura 23 – Comportamento econômico (A 3.3)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,167 \cdot x^2 - 1,169 \cdot x + 2,202 \quad (25)$$

PVE A 4. Transformador BT/MT: o PVE em questão trata das características e funcionalidades do transformador que irá aumentar da baixa tensão do PCS para média tensão da subestação em que será conectado. Dessa forma, foram designados quatros descritores para avaliação dos transformadores apresentados pelos fornecedores.

Descritor A 4.1 Compatibilidade com o sistema: os equipamentos a serem inseridos no projeto precisam ser compatíveis com o sistema existente, por isso, este

descriptor avalia as principais características do transformador ofertado, tendo como referência que o BESS será conectado em um *bay* na mesma subestação que um ativo de geração. Nesse contexto, avalia-se as cargas de atendimento, a configuração de conexão do transformador, a sua tensão no lado de média e a classe de isolamento.

A escala ordinal criada, evidenciada pela Tabela 14, conta com três níveis de impacto, sendo N1 o melhor caso possível e N3 o pior aceitável. O descriptor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

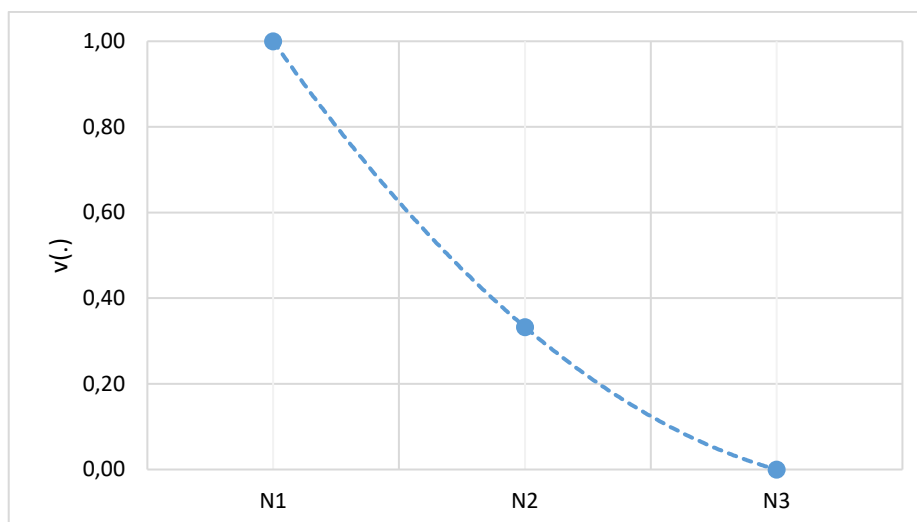
Tabela 14 – Escala ordinal (A 4.1)

Nível	Descrição
N1	O transformador atende o BESS e às cargas auxiliares do sistema, ou incluiu outro transformador somente para elas. A configuração de conexão e a tensão no lado de média são compatíveis com a subestação existente e a classe de isolamento está de acordo com a norma NBR 5356. O equipamento atende as normas da concessionária da região.
N2	O transformador inicialmente atende somente o BESS, mas o fornecedor está disposto a incluir. A configuração de conexão não é compatível com o sistema existente, mas é possível realizar a alteração. A tensão no lado de média é compatível com a subestação existente e a classe de isolamento está de acordo com a norma NBR 5356. O equipamento atende as normas da concessionária da região.
N3	O fornecedor dimensionou o transformador que atenderá somente o BESS. A configuração de conexão não é compatível com o sistema e não é possível realizar a mudança exigindo adaptações na subestação. A tensão no lado de média é compatível com a subestação existente. A classe de isolamento está de acordo com a norma NBR 5356. O equipamento atende as normas da concessionária da região.

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descriptor é apresentado por meio da Figura 24 e definido pela equação de tendência (26).

Figura 24 – Comportamento econômico (A 4.1)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,167 \cdot x^2 - 1,169 \cdot x + 2,002 \quad (26)$$

Descritor A 4.2 Tipo de Isolamento: os transformadores podem ser classificados por dois tipos principais de isolamento, os transformadores a óleo e os a seco. Enquanto na primeira opção existe a imersão do circuito magnético e do enrolamento em um líquido isolante, na segunda o ar realiza esse processo. Essa variação traz mudanças em aspectos construtivos e em características próprias, que afetam não somente os seus valores econômicos, mas o seu desempenho, manutenção, o seu método de instalação e nos impactos ambientais gerados, como apresenta o Quadro 6. (FINOCCHIO *et al.*, 2016)

Quadro 6 – Aspectos comparativos

Item	Material isolante	
	Óleo isolante	Resina epóxi (seco)
Manutenção	Deve ser periódica. Necessitando de substituições de óleo isolante, juntas, guarnições e acessórios.	Isento.
Vida útil	30 anos.	30 anos ou superior.
Obras civis	Demanda de paredes e portas corta-fogo, sistema contra incêndio e poço para recolhimento de fluido em caso de vazamento.	Não demanda obras especiais.

Segurança	Risco de explosão e incêndio, vazamentos e contaminação do ambiente.	Não explode, não alimenta ou propaga incêndios.
Proteção	Vários acessórios para proteção e controle.	Apenas sensores de temperatura para alarme, desligamento e medição de temperatura.
Restrições ambientais	Risco de contaminação pelo vazamento do líquido isolante.	Sem restrições.
Ambiente	São afetados pela umidade, salinidade, oxidante, etc.	Insensível à umidade e outros fatores ambientais.
Certificações ISO 14000 e NR10	Recomenda cuidados com este tipo de equipamento. Tendência a se evitar esta execução.	Não oferecer riscos ao ser humano e ao meio ambiente.

Fonte: Adaptado de Finocchio (2010).

Apesar das diferenças entre os tipos de transformadores, o equipamento ideal será aquele que contém a maior aderência aos requisitos da aplicação. Dessa maneira, o objetivo do critério é elencar a melhor opção de transformador enfatizando o seu tipo de isolamento. Tendo em vista um cenário onde há possibilidade de explosões e incêndios por conta das baterias, e que o equipamento escolhido cause um menor impacto ambiental.

Assim, a Tabela 15 informa os três níveis da escala ordinal criada, onde N1 representa o melhor cenário e N3 o pior aceitável. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

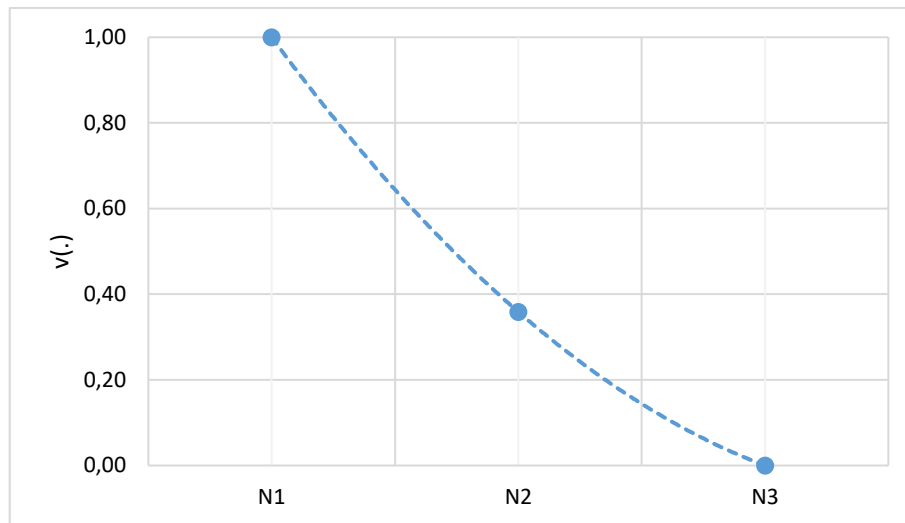
Tabela 15 – Escala ordinal (A 4.2)

Nível	Descrição
N1	A seco com resina Epóxi
N2	A óleo com óleo vegetal
N3	A óleo com óleo mineral

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor está representado pela Figura 25 e exposto pela equação de tendência (27).

Figura 25 – Comportamento econômico (A 4.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,141 \cdot x^2 - 1,065 \cdot x + 1,924 \quad (27)$$

Descritor A 4.3 Rendimento: o rendimento de um transformador indica, em porcentagem, a quantidade de energia que foi conservada durante o processo de transformação de tensão. As perdas existentes são as perdas no cobre, devido ao efeito Joule, e as do núcleo, por meio das correntes parasitas, e são obtidas através dos ensaios de curto-circuito e de circuito aberto. O cálculo para obter o valor de rendimento está descrito pela equação (28). (UMANS, 2015)

$$\eta = \left(\frac{P_{saída}}{P_{saída} + P_{perdas}} \right) \cdot 100\% \quad (28)$$

Onde:

η é o rendimento;

$P_{saída}$ é a potência de saída; e

P_{perdas} é a soma das potências das perdas no cobre e no núcleo.

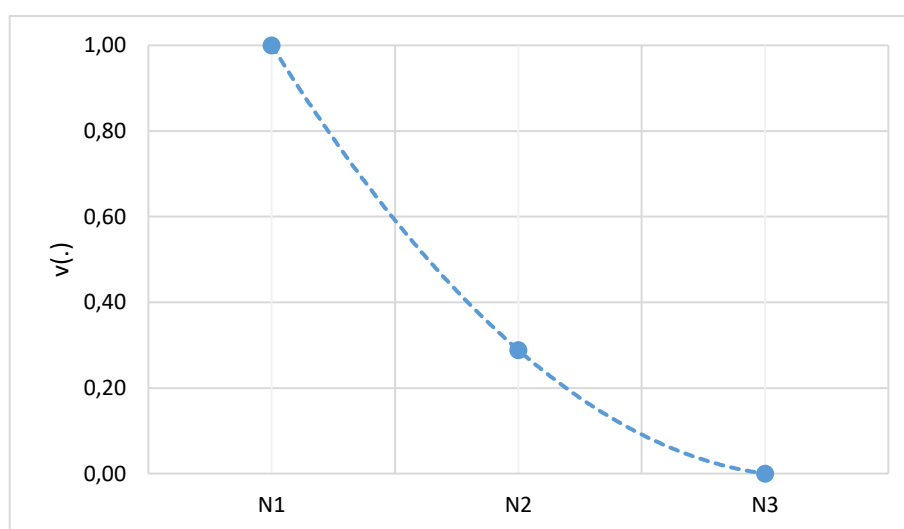
Com base nessas informações, o descritor tem o intuito de classificar o fornecedor relacionando o rendimento do transformador que fará a conversão de baixa tensão para média tensão, interligando o BESS com o bay da subestação. A Tabela 16 apresenta a escala ordinal criada, com três níveis de impacto. Em que N1 representa a melhor situação, um rendimento maior que 99% e N3 a pior, um valor menor que 97%. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e construído.

Tabela 16 – Escala ordinal (A 4.3)

Nível	Descrição	Unidade
N1	> 99	[%]
N2	[99; 97]	
N3	< 97	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 26 ilustra o comportamento econômico do descritor e a equação de tendência (29) o define.

Figura 26 – Comportamento econômico (A 4.3)

Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,212 \cdot x^2 - 1,346 \cdot x + 2,135 \quad (29)$$

Descritor A 4.4 Fator K: ao associar sistemas de armazenamento por baterias com outros ativos de geração renovável, pode resultar em harmônicos extras no sistema, devido a utilização de conversores de energia. Para evitar problemas com a qualidade de energia entregue ao ponto de acoplamento comum ou o aquecimento nos enrolamentos do transformador, uma estratégia empregada é adquirir um transformador que possui um fator K diferente de 1. (AHMED *et al.*, 2020)

O fator K é o índice que representa a quantidade de distorções harmônicas que um transformador consegue suportar, mantendo os seus limites de temperatura e sem afetar o seu desempenho e eficiência. Quanto maior o valor de K, maior é a taxa de distorção harmônica absorvida por ele. Exemplo, um transformador com o fator K igual a 4, pode suportar até 50% de cargas que gerem correntes harmônicas.

As normas e recomendações para estipular o fator K são a UL 1561 – *Standard for Safety Dry-Type General Purpose and Power Transformers* e IEEE C57.110 – *Recommended Practice for Establishing Liquid-Immersed and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents*. (BASCIANO, 2025)

Nesse contexto, a escolha do transformador do BESS deve considerar as distorções harmônicas produzidas também pelo ativo existente. A escala apresentada por meio da Tabela 17, não tem níveis de impacto e o descritor é classificado como quantitativo, contínuo e direto.

Tabela 17 – Escala ordinal (A 4.4)

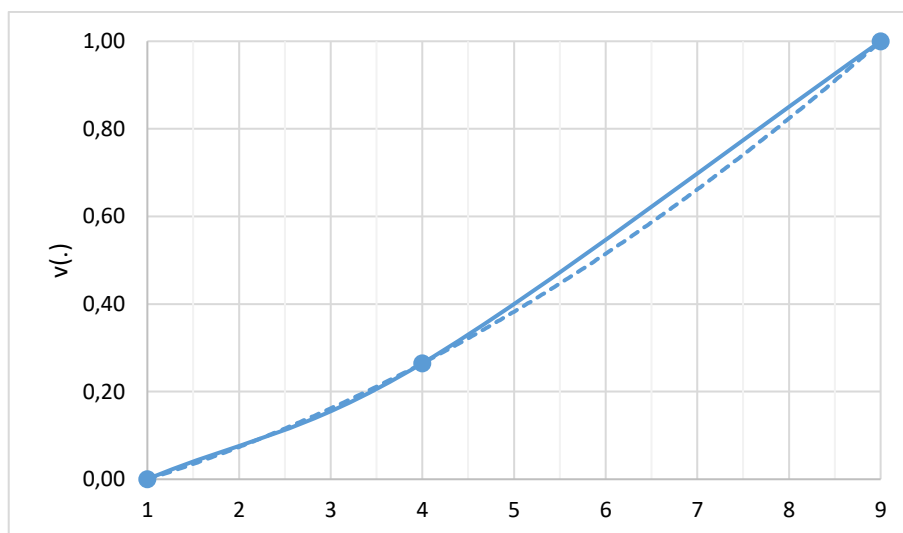
Nível	Descrição	Unidade
a*	9	[adm]
	4	
a*	1	

Fonte: Elaborado pela autora.

Vale ressaltar, que nesse trabalho o cenário utilizado é fictício. Assim, é essencial que seja escolhido e aplicado uma metodologia de cálculo para identificar o fator K ideal do projeto e gerar uma escala específica. Também deve-se entregar aos fornecedores participantes do processo de seleção, informações sobre o conteúdo harmônico gerado pelo projeto existente para que eles também determinem o fator K.

O valor de k é definido pela equação (10) e a função de valor econômico será obtida por meio da equação (9), considerando o α positivo e um comportamento propenso. A Figura 27 evidencia o comportamento econômico do critério e a equação de tendência (30) o descreve.

Figura 27 – Comportamento econômico (A 4.4)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,0073 \cdot x^2 + 0,0515 \cdot x - 0,0589 \quad (30)$$

PVE A 5. Conjunto Geral: o intuito do ponto de vista elementar, conjunto geral, é relacionar os principais requisitos acerca do desempenho e das características do BESS como um todo. Para este PVE foram desenvolvidos três descritores apresentados na sequência.

Descritor A 5.1 Tipo de Sistema de Refrigeração: a variação de temperatura impacta na degradação das baterias e por consequência ocasiona a diminuição do desempenho do sistema. Ter um sistema de refrigeração eficiente e que seja capaz de manter a temperatura das baterias em condições estipuladas pelo fornecedor torna-se essencial em um BESS.

Dessa forma, o descritor objetiva a avaliação do tipo de sistema de refrigeração contido no banco de baterias ofertado, com base nas tecnologias apresentadas no tópico 2.3.6.1. A Tabela 18 contém os três níveis que impacto da escala ordinal criada para este descritor, onde N1 demonstra o melhor cenário, um sistema que possui refrigeração líquida e o N3 o pior, que refrigera por meio de passagem de ar. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

Tabela 18 – Escala ordinal (A 5.1)

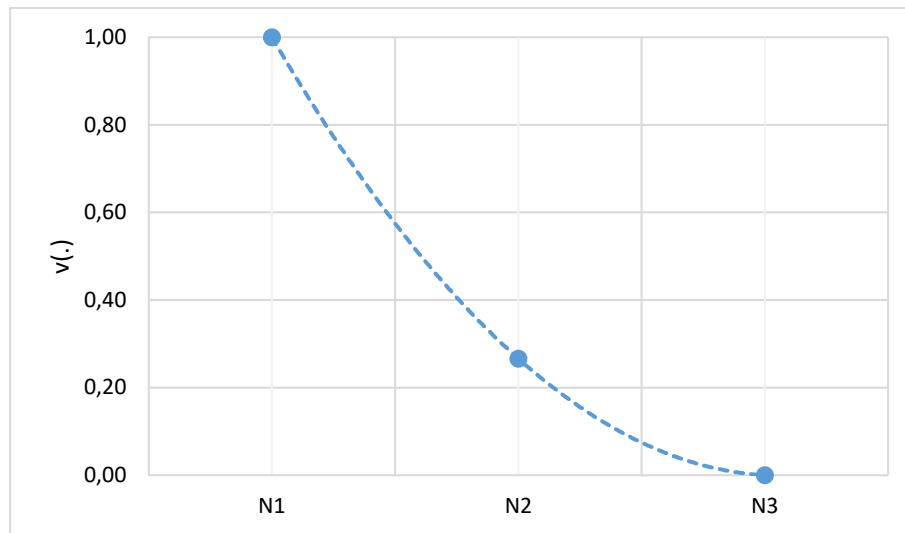
Nível	Descrição
N1	Líquido
N2	Ar-condicionado

N3 **Ar**

 Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor está retratado pela Figura 28 e exposto pela equação de tendência (31).

Figura 28 – Comportamento econômico (A 5.1)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,234 \cdot x^2 - 1,436 \cdot x + 2,202 \quad (31)$$

Descritor A 5.2 Eficiência de Ciclo Completo: a eficiência de ciclo completo ou eficiência de ida e volta (RTE – *Round Trip Efficiency*) representa, em porcentagem, a relação entre a quantidade de energia útil entregue ao ponto de acoplamento comum e a quantidade de energia útil armazenada. Dessa maneira, indica o quanto de energia realmente foi aproveitada durante o processo de armazenamento, considerando todas as eficiências dos equipamentos, condutores e consumo dos sistemas auxiliares. A RTE pode ser calculada conforme a equação (32). (ABNT, 2023)

$$\eta_{rt} = \frac{E_o - E_{aux_o}}{E_l - E_{aux_l}} \quad (32)$$

Onde:

E_o é a energia total de saída medida no ponto de acoplamento comum, considerando as perdas de energia;

E_{aux_0} é a energia consumida pelos sistemas auxiliares durante o descarregamento, também medido no ponto de acoplamento comum;

E_I é a energia total de entrada medida no ponto de acoplamento comum; e

E_{aux_I} é a energia consumida pelos sistemas auxiliares durante o carregamento, também medido no ponto de acoplamento comum.

Nesse contexto, o descritor tem o intuito de avaliar o indicador de RTE apresentado pelo fornecedor, tendo como referência o final da vida útil do sistema. A escala ordinal está indicada por meio da Tabela 19 e possui quatro níveis de impacto, em que N1 representa o melhor possível e o N4, o pior aceitável. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e direto.

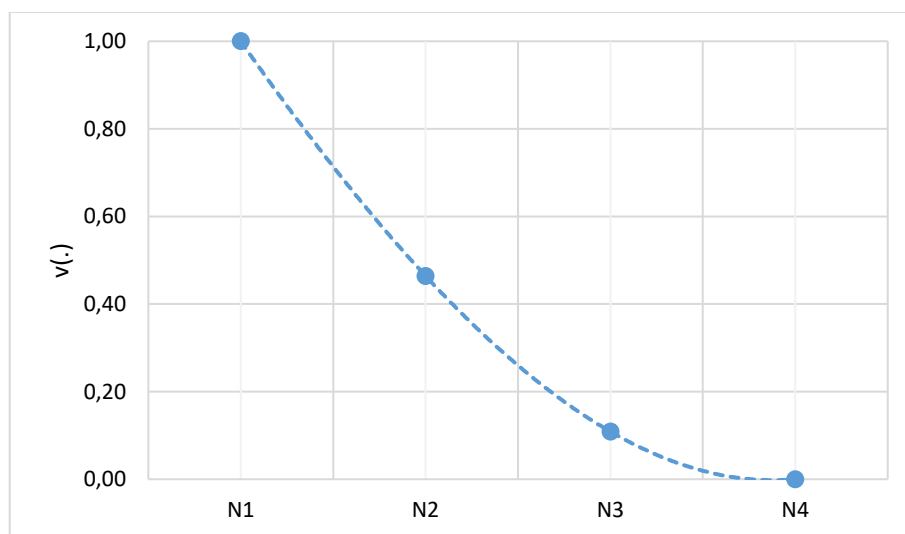
Tabela 19 – Escala ordinal (A 5.2)

Nível	Descrição	Unidade
N1	> 90	[%]
N2	[80; 90]	
N3	[75; 80[	
N4	< 75	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 29 ilustra o comportamento econômico do critério e a equação de tendência (33) o define.

Figura 29 – Comportamento econômico (A 5.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,011 \cdot x^3 + 0,0241 \cdot x^2 - 0,685 \cdot x + 1,650 \quad (33)$$

Descritor A 5.3 Informações Técnicas Disponibilizadas: a falta de informações básicas e comprometimento do fornecedor durante o processo de seleção pode ser prejudicial na avaliação do produto ofertado e no relacionamento durante e após ao fechamento do contrato. O fornecedor precisa mostrar comprometimento disponibilizando uma proposta técnica estruturada, abordando todo o escopo e informações sobre os equipamentos que ele está disponível a ofertar.

A apresentação da tecnologia e a disponibilidade para sanar dúvidas sobre o produto, ajudam a entender melhor o cenário atual dos equipamentos que compõem o BESS e o comprometimento do fornecedor com o projeto que será desenvolvido. Além disso, para um projeto de BESS é importante que seja disponibilizada a curva de degradação da bateria e o histórico de degradação de acordo com os parâmetros definidos pela cliente. Os memoriais de cálculo de RTE e da energia útil do sistema auxiliam a interpretação sobre a metodologia empregada e na verificação da inclusão dos valores de eficiência e das perdas necessárias, mostrando o desempenho esperado do sistema.

Com base nesse contexto, foi desenvolvida a escala ordinal apresentada na Tabela 20, composta por quatro níveis de impacto, em que N1 representa o melhor cenário e N4 o pior aceitável. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

Tabela 20 – Escala ordinal (A 5.3)

Nível	Descrição
N1	O sistema do fornecedor atende 100% dos requisitos.
N2	A lista apresenta somente os equipamentos principais e suas informações básicas. Disponibilizou somente a curva de degradação do BESS, mas utilizou os parâmetros definidos pela cliente. O restante dos requisitos foi atendido.
N3	O fornecedor disponibilizou documento com a proposta técnica indicando parcialmente o escopo da sua participação no projeto, uma lista com os equipamentos principais incluídos, mas sem as informações básicas sobre eles. Disponibilizou somente a curva de degradação do BESS considerando parâmetros distintos dos definidos pela cliente. Não considerou no cálculo do RTE todos os equipamentos e condutores até o PAC. No cálculo de energia útil do sistema não foi considerado as cargas auxiliares. Não entregou documentos de todos os equipamentos para comprovar a eficiência da tecnologia. O restante dos requisitos foi atendido.

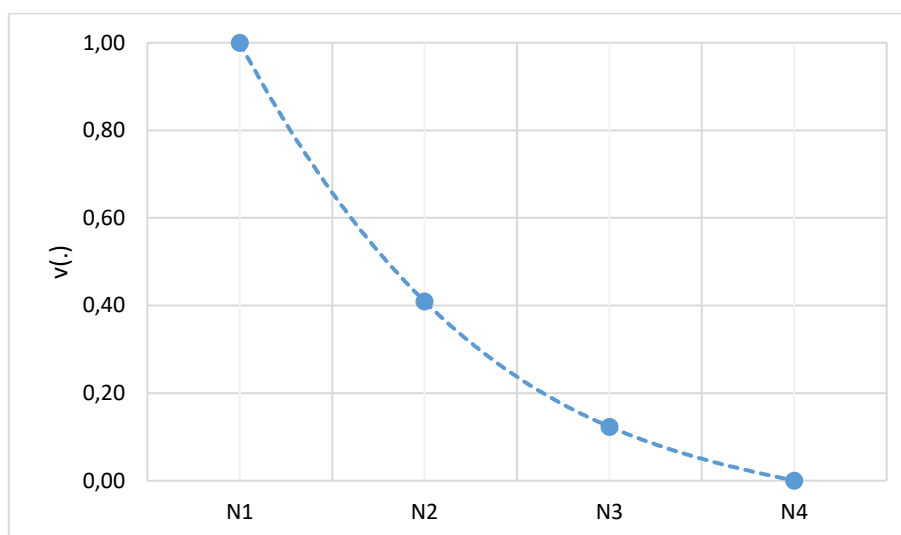
N4

O fornecedor disponibilizou documento com a proposta técnica indicando parcialmente o escopo da sua participação no projeto, incluiu somente uma lista com os equipamentos principais do BESS, mas sem as informações básicas sobre eles. Disponibilizou somente a curva de degradação do BESS considerando parâmetros distintos dos definidos pela cliente. Incluiu somente as eficiências dos equipamentos para o cálculo do RTE completo e não considerando até o PAC. No cálculo de energia útil do sistema não foi considerado as cargas auxiliares. Não apresentou a tecnologia, a equipe teve dificuldade em contatar a empresa para realizar questionamentos e só comprovou a eficiência tecnológica do BESS.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 30 ilustra o comportamento econômico do critério e a equação de tendência (34) o define.

Figura 30 – Comportamento econômico (A 5.3)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0236 \cdot x^3 + 0,294 \cdot x^2 - 1,306 \cdot x + 2,036 \quad (34)$$

4.2.1.2 PVF Comercial

O objetivo deste PVF é garantir que o fornecedor escolhido tenha experiência na implantação de sistemas de armazenamento de energia por baterias, além de estar ciente e disposto a cumprir o escopo requerido. Desse modo, promovendo uma avaliação equânime entre os fornecedores e mitigando riscos financeiros, legais e de reputação. O PVF comercial está dividido em dois PVEs, fornecedor e contrato, e ao total foram desenvolvidos treze descritores que são observados no Quadro 7.

Quadro 7 – Descritores do PVF Comercial

PVF	PVE	Descritores	
Comercial	Fornecedor	Nível de experiência	B 1.1
Comercial	Fornecedor	Histórico de atuação e reputação	B 1.2
Comercial	Fornecedor	Serviço de suporte pós-venda	B 1.3
Comercial	Fornecedor	Sistema de Gestão da Qualidade	B 1.4
Comercial	Fornecedor	Capacidade Produtiva	B 1.5
Comercial	Fornecedor	Busca por Inovação	B 1.6
Comercial	Contrato	Escopo de Obra	B 2.1
Comercial	Contrato	Escopo do Projeto	B 2.2
Comercial	Contrato	Tipo de Entrega	B 2.3
Comercial	Contrato	Cronograma de entrega	B 2.4
Comercial	Contrato	Testes de Aceitação em Fábrica - BESS	B 2.5
Comercial	Contrato	Comissionamento	B 2.6
Comercial	Contrato	Garantias dos equipamentos - BESS	B 2.7

Fonte: Elaborado pela autora.

PVE B 1. Fornecedor: o objetivo deste PVE é avaliar as informações referentes ao fornecedor, englobando sua experiência e reputação com outros projetos, o serviço de suporte ofertado, os requisitos de gestão da qualidade, entre outros. Dessa maneira, foram desenvolvidos seis descritores que estão dispostos na sequência.

Descritor B 1.1 Nível de Experiência: este descritor tem por objetivo avaliar a experiência em implantações por meio da potência instalada informada pelo fornecedor. Um maior valor de potência instalada em MW, irá refletir em um fornecedor com maior expertise e capacitação para agregar de forma eficiente ao projeto, ofertando uma tecnologia consolidada e auxiliando com a aplicação de lições aprendidas. A escala desenvolvida, disposta na Tabela 21, conta com quatro níveis de impacto e considera o descritor como quantitativo, discreto e construído.

Tabela 21 – Escala ordinal (B 1.1)

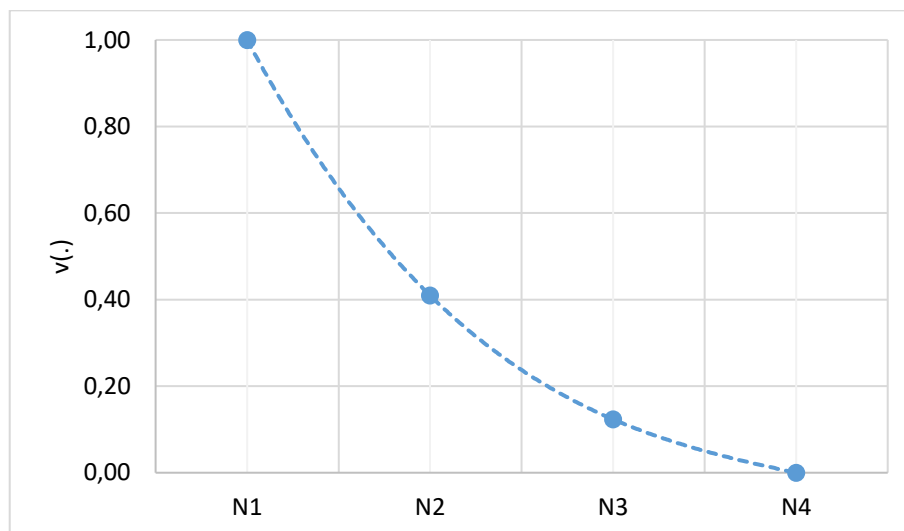
Nível	Descrição	Unidade
N1	> 100	[MW]
N2	]60; 100]	
N3	]30; 60]	
N4	< 30	

Fonte: Elaborado pela autora.

O nível N1 representa o melhor caso possível, onde o fornecedor já implementou mais de 100 MW de BESS. Enquanto o nível N4, reflete o pior aceitável,

um fornecedor que construiu menos que 30 MW. O comportamento econômico deste descritor está representado por meio da Figura 31 e equação de tendência (35).

Figura 31 – Comportamento econômico (B 1.1)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0236 \cdot x^3 + 0,294 \cdot x^2 - 1,306 \cdot x + 2,036 \quad (35)$$

Descritor B 1.2 Histórico de Atuação e Reputação: em um processo de seleção de fornecedor são disponibilizadas diversas documentações, incluindo apresentações com a trajetória da empresa, abordando a área de atuação e informações básicas, detalhes sobre os projetos já executados e os currículos dos profissionais essenciais que participarão do projeto. Essas especificações apoiam o cliente a identificar se o fornecedor tem experiência e as qualificações necessárias para atender com qualidade o empreendimento que está sendo desenvolvido.

Em vista disso, o histórico de atuação e reputação tem o intuito de avaliar o fornecedor de forma abrangente, identificando informações como o seu tempo de mercado, o tipo de contratos já atuados, os resultados dos projetos já executados e a equipe técnica disponível. Essa análise trará segurança e robustez para a decisão do cliente e dará suporte a avaliação dos descritores como nível de experiência e capacidade produtiva.

A escala ordinal desenvolvida é apresentada na Tabela 22, contendo três níveis de impacto, onde o N1 é o melhor possível e o N3 o pior cenário aceitável. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

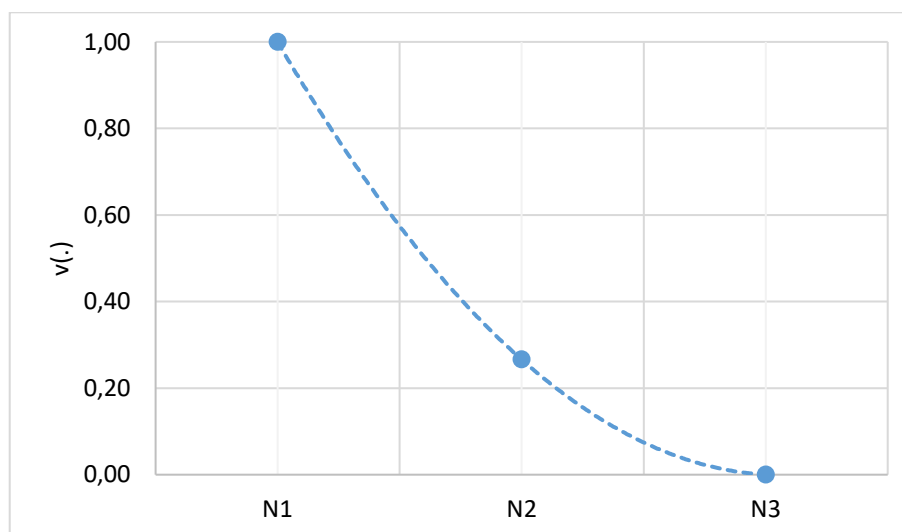
Tabela 22 – Escala ordinal (B 1.2)

Nível	Descrição
N1	O fornecedor está no mercado a mais de 10 anos; realizou no mínimo 5 projetos atuando em contratos de EPC <i>turnkey</i> de BESS; os projetos não tiveram atrasos e não apresentaram degradação antecipada; o fornecedor possui no mínimo 1 especialista por área (civil, elétrica, automação e controle, mecânica, segurança, qualidade, planejamento, social, meio ambiente).
N2	O fornecedor está no mercado a 10 anos; realizou 3 projetos atuando em contratos de EPC <i>turnkey</i> de BESS; 1 dos projetos apresentou 10% de atrasos no cronograma, mas nenhum obteve degradação antecipada; o fornecedor não apresentou especialistas na área de automação e controle, qualidade e segurança.
N3	O fornecedor está no mercado a menos de 5 anos; realizou 1 projeto atuando em contrato como EPC <i>turnkey</i> de BESS; o projeto teve 20% de atraso no cronograma e não apresentou degradação antecipada; o fornecedor não possui especialistas nas áreas de automação e controle, qualidade, segurança, social e meio ambiente.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 32 representa o comportamento econômico deste descritor e a equação de tendência (36) o define.

Figura 32 – Comportamento econômico (B 1.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,234 \cdot x^2 - 1,436 \cdot x + 2,202 \quad (36)$$

Descritor B 1.3 Serviço de Suporte Pós-venda: a forma como o serviço pós-venda é colocada em prática, impacta na satisfação e fidelização de clientes, contribuindo para construir um relacionamento e uma boa reputação no mercado (BORCHARDT *et al.*, 2008). Em projetos complexos como o de sistemas de armazenamento e subestações, conhecer o fornecedor e esclarecer como será

realizada essa etapa trará confiança a cliente. Visto que os componentes podem ser originados de fornecedores estrangeiros e geralmente o proponente escolhido integra diversas empresas parceiras para a construção do projeto. Esse comportamento poderá evitar situações que coloquem em risco a segurança das pessoas e a confiabilidade do ativo.

Nesse sentido, o descritor foi desenvolvido para identificar características, que englobam o idioma abortado, o tipo de atendimento, quais plataformas e canais existem para que esse contato seja feito, até a quantidade de dias necessários para uma reposição. Buscou-se avaliar também métricas como o tempo de resposta inicial, o índice de satisfação do cliente e o índice de resolução no primeiro contato. Na Tabela 23 contém a escala ordinal criada, com a descrição dos seus três níveis, sendo N1 o melhor caso e N3 o pior aceitável. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

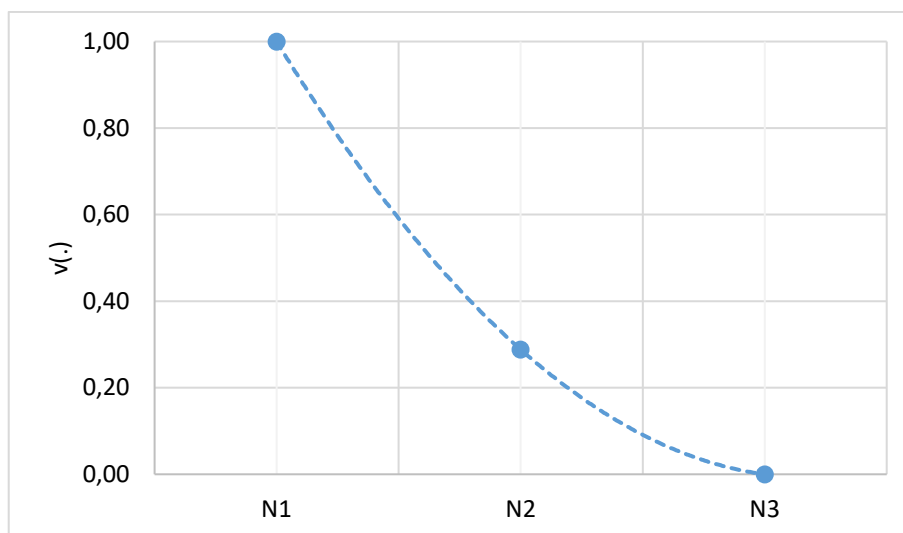
Tabela 23 – Escala ordinal (B 1.3)

Nível	Escala
N1	O serviço pós-venda ofertado será realizado na língua local, de forma remota e, se necessário, presencial, com suporte técnico especializado. Há garantia de entrega e reposição em até 5 dias úteis de componentes que possuem falhas. Oferece ferramentas como e-mail, telefone e site específico para abertura de chamados. O fornecedor possui: tempo de resposta inicial de 30 minutos; índice de satisfação do cliente superior a 80%; índice de resolução no primeiro contato superior a 60%.
N2	O serviço pós-venda ofertado será realizado na língua local, de forma remota e, se necessário, presencial, com suporte técnico especializado. Há garantia de entrega e reposição em até 15 dias úteis de componentes que possuem falhas. Oferece ferramentas como e-mail e telefone para suporte. O fornecedor possui: tempo de resposta inicial de 2 horas; índice de satisfação do cliente entre 65% a 80%; índice de resolução no primeiro contato entre 50% a 60%.
N3	O serviço pós-venda ofertado será realizado somente na língua inglesa de forma remota com suporte técnico especializado. Há garantia de entrega e reposição em 30 dias úteis de componentes que possuem falhas. Oferece ferramentas como e-mail e site para abertura de chamados. O fornecedor possui: tempo de resposta inicial de 5 horas; índice de satisfação do cliente entre 55% a 65%; índice de resolução no primeiro contato entre 30% a 50%.

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico deste descritor está ilustrado por meio da Figura 33 e definido pela equação de tendência (37).

Figura 33 – Comportamento econômico (B 1.3)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,212 \cdot x^2 - 1,346 \cdot x + 2,135 \quad (37)$$

Descritor B 1.4 Sistema de Gestão da qualidade: a gestão da qualidade é obtida por meio da soma de processos, técnicas e estratégias que contribuem para garantir que produtos e serviços sejam entregues, com a segurança que os padrões mínimos requeridos sejam atendidos e melhorados quando necessário (FIA, 2024). A implementação de um sistema de gestão da qualidade visa reduzir erros, detectar falhas e criar um plano com ações corretivas e preventivas em todas as fases de um projeto, para evitar que essas situações aconteçam novamente (AIZED, 2012).

No âmbito de construção de um ativo, espera-se que o fornecedor possua um sistema de gestão de qualidade, garantindo o armazenamento da documentação de forma eficiente, com padronizações e equipes focadas em itens da qualidade acompanhando todo o processo da obra. Dessa maneira, o descritor será utilizado para avaliar itens que envolvem, certificações, horas anuais de capacitação, métodos e KPIs (*Key Performance Indicator*) implementados pelo fornecedor. A escala criada está apresentada na Tabela 24 e possui três níveis de impacto. O descritor é qualitativo, discreto e construído.

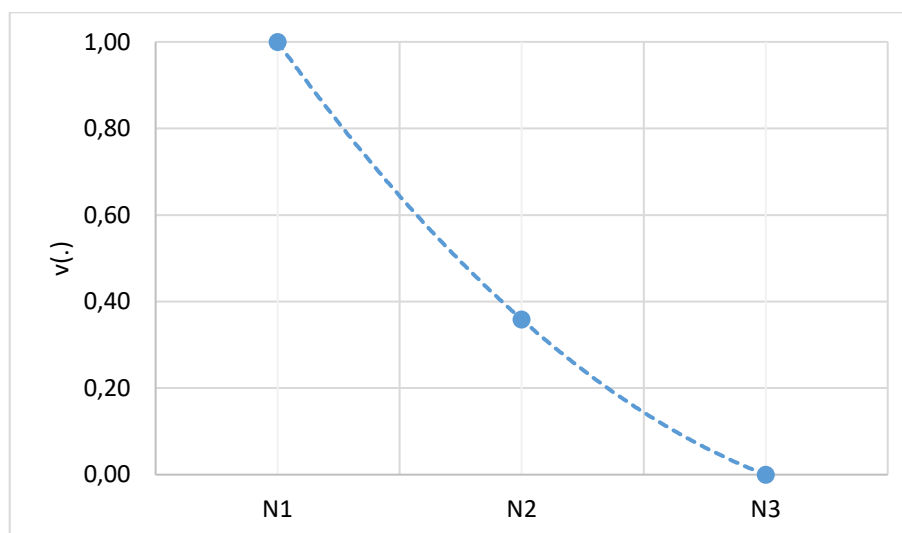
Tabela 24 – Escala ordinal (B 1.4)

Nível	Descrição
N1	O fornecedor possui as certificações: ISO 9001 e 14001 (Gestão Ambiental) e/ou 45001 (Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional) e/ou 50001 (Gestão de Energia); investe em capacitação para o uso de ferramentas da qualidade (como PDCA, Diagrama de Ishikawa, etc), ofertando no mínimo 15 horas ao ano; obtém o engajamento de pelo menos 70% dos colaboradores em programas de melhoria contínua em obras; possui um Sistema de Gestão Integrada, controla e rastreia as documentações e padronizações, realiza registros de não conformidades e de lições aprendidas; desenvolve KPIs para análise de resultados (como taxa de acidentes, taxa de não conformidade em materiais, % de aderência ao cronograma, etc).
N2	O fornecedor possui um sistema de gestão da qualidade sem certificação; investe em capacitação para o uso de ferramentas da qualidade, ofertando entre 8 a 14 horas anuais; obtém o engajamento de pelo menos 40% dos colaboradores em ações envolvendo o tema da qualidade; controla e rastreia as documentações e padronizações e realiza registros de não conformidades;
N3	O fornecedor não possui um sistema de gestão da qualidade; investe em capacitação para o uso de ferramentas da qualidade, ofertando entre 0 a 8 horas anuais; obtém o engajamento de pelo menos 10% dos colaboradores em ações envolvendo o tema da qualidade; possui um controle e rastreio de documentações, mas não investe em padronizações e não desenvolve KPIs para análise de resultados;

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 34, evidencia o comportamento econômico do descritor, que é especificado pela equação de tendência (38).

Figura 34 – Comportamento econômico (B 1.4)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,141 \cdot x^2 - 1,065 \cdot x + 1,924 \quad (38)$$

Descritor B 1.5 Capacidade Produtiva: a demanda do mercado global de baterias tem crescido nos últimos anos, proporcionando uma estruturação no setor,

com cadeias de suprimentos mais integradas, que auxiliam também na queda dos preços dos produtos. A capacidade produtiva de um fornecedor é definida por meio de diversos fatores, incluindo a quantidade de trabalhadores, suas qualificações, a quantidade de horas trabalhadas, as instalações da fábrica, disponibilidade da matéria-prima, entre outros (ADIDA; PERAKIS, 2014).

O descritor em questão tem o intuito de avaliar o fabricante do BESS mediante a porcentagem da capacidade produtiva que está à disposição para atender o projeto. Dessa forma, garantindo que problemas relacionados a prioridade de fabricação de outros empreendimentos, falta de qualidade de produtos e inflexibilidade de cronograma sejam evitados.

A escala desenvolvida possui quatro níveis de impacto, representados na Tabela 25, onde o nível N1 é considerado o melhor cenário, com 80% de capacidade produtiva para atendimento e o N4 conta com o pior aceitável, uma capacidade menor que 20%. O descritor é quantitativo, discreto e construído.

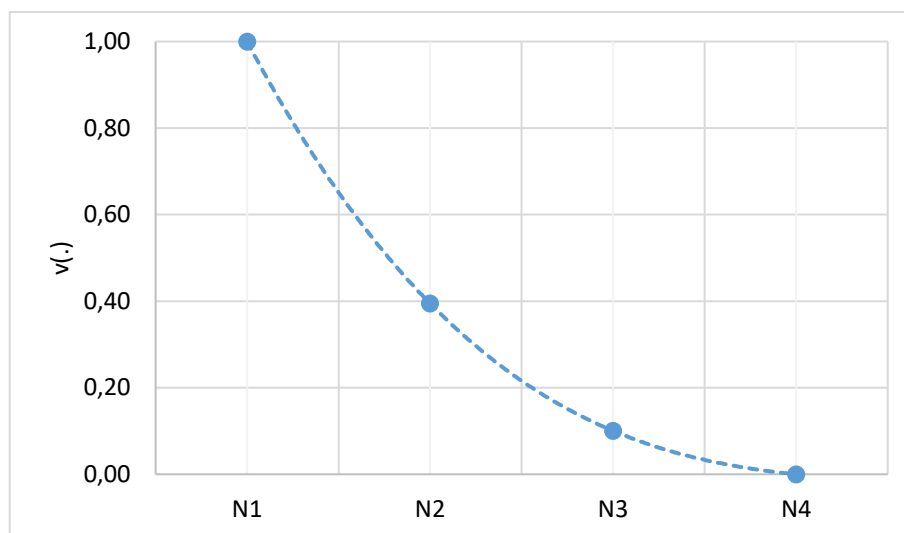
Tabela 25 – Escala ordinal (B 1.5)

Nível	Descrição	Unidade
N1	> 80	[%]
N2	]55; 80]	
N3	]20; 55]	
N4	< 20	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 35, ilustra o comportamento econômico do descritor e que está descrito pela equação de tendência (39).

Figura 35 – Comportamento econômico (B 1.5)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0195 \cdot x^3 + 0,273 \cdot x^2 - 1,287 \cdot x + 2,034 \quad (39)$$

Descritor B 1.6 Busca por inovação – BESS: a inovação dentro de uma organização pode ser empregada de duas maneiras, por meio do desenvolvimento de novos produtos e serviços ou pela inserção de melhorias e adaptações nos processos de produção (PRAJOGO, 2016). Em 2023, a CATL investiu 4,58% da sua receita operacional anual em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de sistemas de armazenamento por baterias. Esse investimento gerou um crescimento de 26% em empregos direcionados ao setor P&D e no lançamento de novas tecnologias, como um BESS com zero degradação nos primeiros cinco anos de operação (CATL, 2024). Enquanto a BYD, no mesmo ano, destinou 6,6% da sua receita operacional em P&D. Um dos resultados são os novos veículos elétricos que poderão percorrer até 2.000 km sem reabastecer ou carregar (POLLARD; DONG, 2024).

Por meio do contexto apresentado, o descritor busca entender o posicionamento do fornecedor em relação a busca por inovação de produtos e processos que envolvem o BESS. Espera-se que o fornecedor tenha ou esteja integrando fabricantes que possuam projetos de P&D, além da capacidade para desenvolver produtos ou melhorias em processos.

A empresa deve realizar a gestão de métricas e objetivos de forma que os colaboradores possam contribuir com ideias que auxiliarão na tomada de decisões estratégicas, identificando possíveis problemas e aperfeiçoando processos. A Tabela

26 contém três níveis de impactos que compõem a escala ordinal. O descritor é qualitativo, discreto e construído, onde N1 representa o melhor cenário possível e o N3 o pior aceitável.

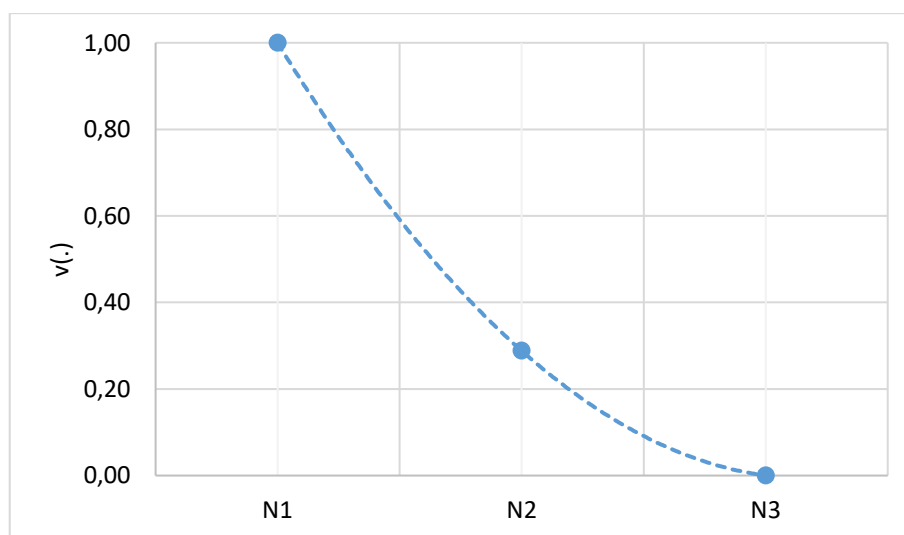
Tabela 26 – Escala ordinal (B 1.6)

Nível	Descrição
N1	A empresa possui KPIs e/ou OKRs (Objectives and Key Results) em todas as etapas dos processos; investe 6% da sua receita operacional anual em pesquisa, desenvolvimento e inovação; cria projetos para o engajamento de colaboradores da empresa para indicação de possíveis melhorias em processos e tecnologia; possui parcerias com instituições de ensino e pesquisa; e apresenta 70% de taxa de sucesso nos projetos implementados.
N2	A empresa possui KPIs e/ou OKRs nos principais processos de fabricação; investe 4% da sua receita operacional anual em pesquisa, desenvolvimento e inovação; cria projetos para o engajamento de colaboradores da empresa para indicação de possíveis melhorias em processos e tecnologia; possui parcerias com instituições de ensino e pesquisa; e apresenta 50% de taxa de sucesso nos projetos implementados.
N3	A empresa possui KPIs nos principais processos de fabricação; investe 1% da sua receita operacional anual em pesquisa, desenvolvimento e inovação; cria projetos para o engajamento de colaboradores da empresa para indicação de possíveis melhorias em processos e tecnologia; e apresenta 20% de taxa de sucesso nos projetos implementados.

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor está ilustrado por meio da Figura 36 e exposto na equação de tendência (40).

Figura 36 – Comportamento econômico (B 1.6)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,212 \cdot x^2 - 1,346 \cdot x + 2,135 \quad (40)$$

PVE B 2. Contrato: o intuito deste PVE é abordar os itens relacionados ao escopo de serviço, entrega, testes de equipamentos e garantia ofertados pelo fornecedor. A seguir, são expostos os sete descritores criados para este PVE.

Descritor B 2.1 Escopo de Obra: para o sucesso do projeto é essencial determinar qual será o escopo de obra do empreiteiro, considerando o uso do contrato EPC *Turnkey* em um projeto de BESS, o fornecedor deve realizar todas as atividades relacionadas as áreas civil, elétrica e eletromecânica. Dessa forma, o descritor almeja avaliar a garantia de que sejam executados os estudos geotécnicos, hidrológicos e os topográficos pré e pós terraplenagem. Bem como seja conduzida a supressão vegetal, movimentação de terra, terraplanagem, compactação e nivelamento da área, se necessário.

O fornecedor deverá cercar a área do projeto e implantar portões, efetuar a abertura de valas de cabos de média tensão, baixa tensão, sistema de drenagem, malha de aterramento, e caso necessário, adequar os sistemas existentes. Além de construir o *bay* da subestação, preparando as fundações de todos os equipamentos e posteriormente realizar a montagem eletromecânica, instalação e conexão entre os componentes do BESS, da subestação e da casa de comando.

Nesse contexto, este descritor tem por objetivo avaliar o nível de aceitação de escopo de obra de cada proponente. A escala ordinal apresentada na Tabela 27, possui três níveis de impacto e o descritor é considerado qualitativo, discreto e construído.

Tabela 27 – Escala ordinal (B 2.1)

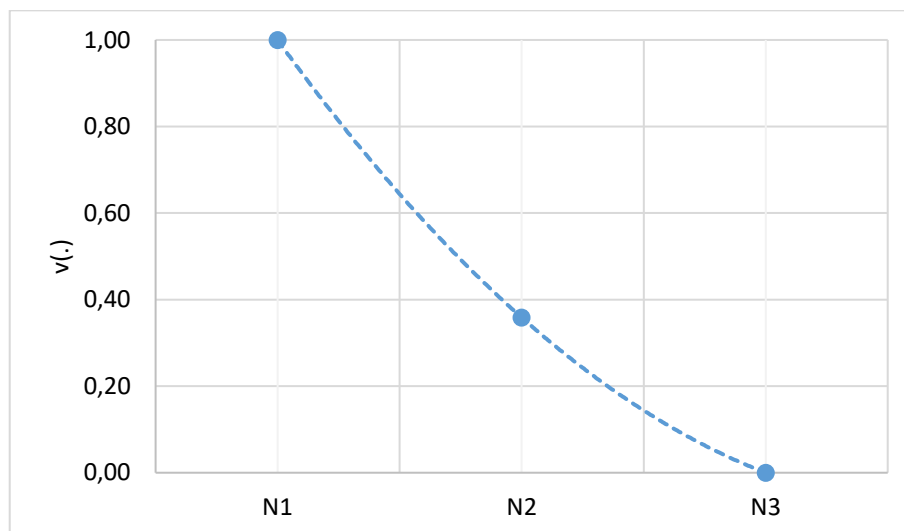
Nível	Descrição
N1	O fornecedor atende totalmente o escopo apresentado. O fornecedor espera que o terreno já esteja pronto para o início das atividades de abertura de valas e preparação das fundações. Logo, não está incluso: estudos geotécnicos, hidrológicos e os topográficos pré e pós terraplenagem, supressão vegetal, movimentação de terra, terraplanagem, compactação e nivelamento da área, se necessário; cercamento da área do projeto e implantações de portões; adequação dos sistemas existentes.
N2	
N3	O fornecedor garante que irá realizar somente o escopo que envolva o BESS.

Fonte: Elaborado pela autora.

O nível N1 representa o melhor desempenho, um fornecedor que atende totalmente o escopo apresentado, e N3 o pior cenário, um atendimento insuficiente por parte do empreiteiro, efetuando apenas as atividades relacionadas ao BESS. A

Figura 37 ilustra o comportamento econômico deste descritor que é descrito por meio da equação de tendência (41).

Figura 37 – Comportamento econômico (B 2.1)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,141 \cdot x^2 - 1,0653 \cdot x + 1,924 \quad (41)$$

Descritor B 2.2 Escopo de Projeto: o critério escopo de projeto tem por objetivo identificar todos os estudos, memoriais, listas e desenhos que devem ser entregues durante e após a obra. O desempenho do fornecedor nesse escopo permite alinhar as expectativas entre as partes interessadas e entender a capacidade dele em desempenhar as atividades requeridas.

No âmbito de projeto espera-se que a equipe do fornecedor desenvolva o projeto executivo completo e o "as built" do BESS e da subestação, incluindo os documentos das áreas civil, elétrica, eletromecânica, de sistema de proteção e controle, os do PPC (*Power Plant Controller*) e SCADA, abrangendo os estudos, memoriais descritivos, listas de materiais e quantitativos, desenhos e diagramas necessários. Todas as documentações devem estar em conformidade com as normativas vigentes, com os parâmetros determinados em contrato e considerando as compatibilizações com a usina geradora já existente.

Supõe-se que serão efetuadas reuniões semanais com o responsável técnico do projeto e os responsáveis das demais áreas mencionadas, para discussão e esclarecimento de pontos pendentes, com o desenvolvimento de ata que

posteriormente deve ser disponibilizada para a contratante. Com a finalização do projeto é exigido a entrega do *Data Book*, contendo relatórios de ensaios e inspeções dos equipamentos, o de operação e manutenção, de todos os certificados de materiais, plano de operação do sistema, fornecimento das folhas de dados e dos manuais, incluindo equipamentos que compõem o escopo do fornecedor.

Por fim, será necessário realizar treinamentos teóricos e práticos para equipe de operação e manutenção do ativo, considerando o BESS e a subestação. Na Tabela 28 estão dispostos os quatro níveis de impacto da escala. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

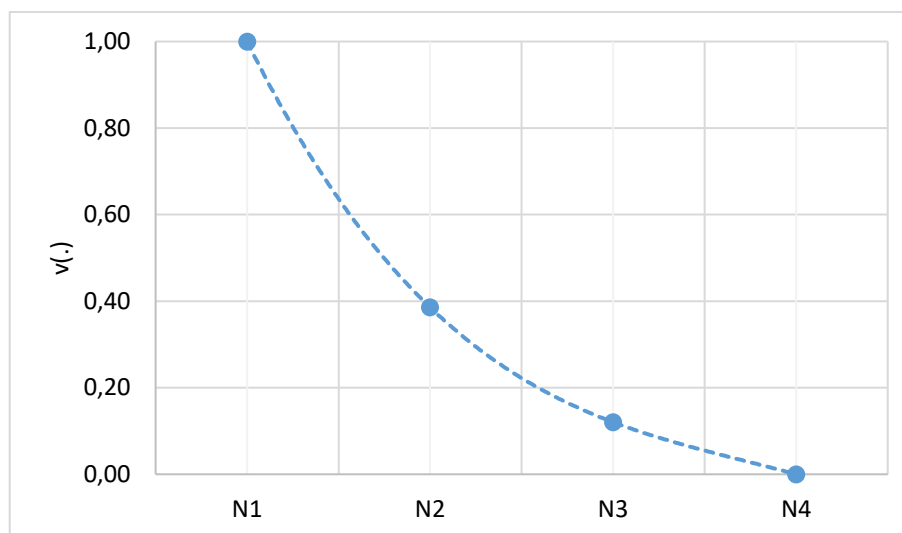
Tabela 28 – Escala ordinal (B 2.2)

Nível	Descrição
N1	O fornecedor atende totalmente o escopo apresentado.
N2	O fornecedor não está incluindo em sua proposta a realização dos projetos de PPC e SCADA; compatibilizações com a usina geradora já existente. Se propõe a realizar somente reuniões quinzenais.
N3	O fornecedor não está desenvolverá os projetos de PPC e SCADA; compatibilizações com a usina geradora já existente. As reuniões serão quinzenais e para o <i>Data Book</i> é entregue somente a documentação dos componentes principais.
N4	O fornecedor inclui somente o escopo relacionado ao BESS.

Fonte: Elaborado pela autora.

O melhor desempenho está representado pelo nível N1, com o atendimento total do escopo apresentado, enquanto o pior cenário, nível N4, conta com um atendimento insuficiente por parte do fornecedor. O comportamento econômico deste descritor está exemplificado pela Figura 38 e definido pela equação de tendência (42).

Figura 38 – Comportamento econômico (B 2.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,034 \cdot x^3 + 0,378 \cdot x^2 - 1,511 \cdot x + 2,167 \quad (42)$$

Descritor B 2.3 Tipo de Entrega: o tipo de entrega afeta nas responsabilidades compartilhadas entre fornecedor e cliente, e nos custos de aquisição dos componentes, tornando a análise deste ponto essencial. Para este critério criou-se três níveis de impactos apresentados na Tabela 29, considerando um descritor qualitativo, discreto e construído.

Tabela 29 – Escala ordinal (B 2.3)

Nível	Descrição
N1	DAP
N2	CIF
N3	FOB

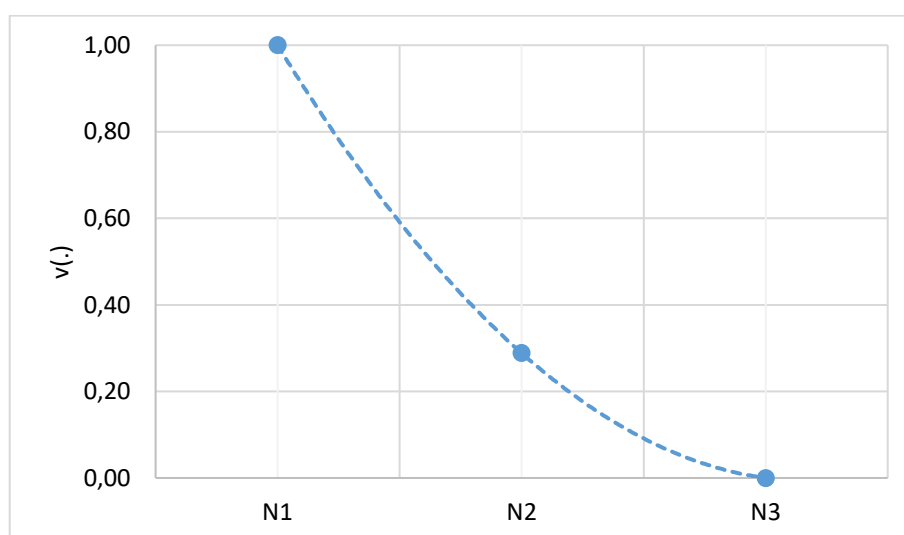
Fonte: Elaborado pela autora.

A escala ordinal tem em vista que, atualmente, a maioria dos fabricantes de BESS são estrangeiros e haverá maiores custos e riscos associados a entrega dos equipamentos principais do sistema de armazenamento. A modalidade DAP (*Delivered At Place* ou Entregue no Local), neste caso, é considerada a melhor opção visto que o fornecedor assume maiores responsabilidades. Tornando-se responsável pelo risco e custos relacionados a entrega dos equipamentos no local de destino. Enquanto o comprador tem como obrigação arcar com o custo de desembaraço aduaneiro para importação e realizar o descarregamento das mercadorias. No CIF (*Cost, Insurance, and Freight* ou Custo, Seguro e Frete) o fornecedor assume os

custos, seguro e frete até o porto de destino. A partir da entrega da mercadoria ao transportador, o risco e os custos de transporte do porto de destino até a planta são responsabilidades da contratante. Por fim, na modalidade FOB (*Free On Board* ou Livre a bordo), considerada a alternativa pior aceitável, o fornecedor assume os custos e riscos até o porto de embarque acordado e o restante do processo é responsabilidade do cliente. (SISCOMEX, 2025)

A Figura 39 apresenta o comportamento econômico do descritor, enquanto a equação de tendência (43) o define.

Figura 39 – Comportamento econômico (B 2.3)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,212 \cdot x^2 - 1,346 \cdot x + 2,135 \quad (43)$$

Descritor B 2.4 Cronograma de Entrega: a avaliação do cronograma de entrega tem o intuito de auxiliar o cliente na definição da sequência de atividades de obra, prevenindo o conflito entre as etapas, além da possibilidade do gerenciamento dos riscos e possíveis imprevistos. O tamanho, a complexidade do projeto e a capacidade produtiva do fabricante determinam a quantidade de meses a ser considerado. A escala apresentada na Tabela 30, não possui níveis de impacto, visto que o descritor é quantitativo, contínuo e construído.

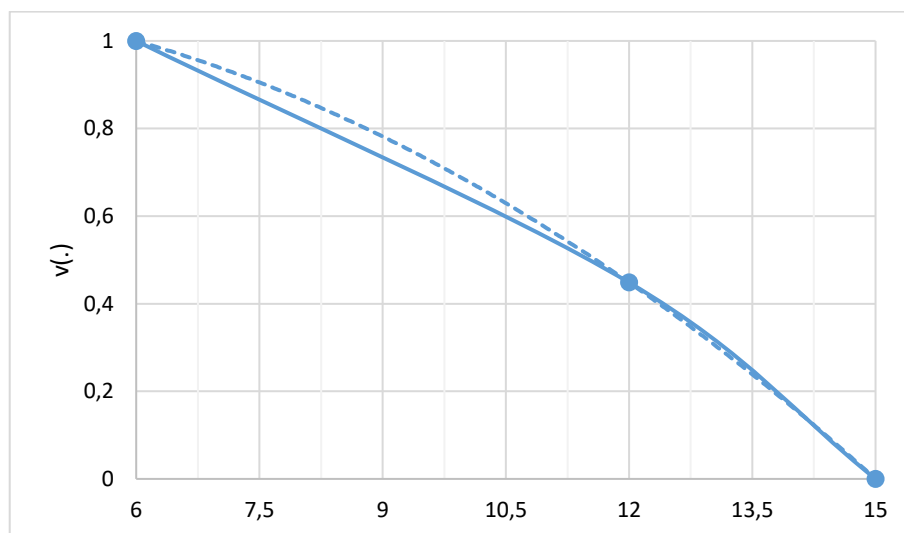
Tabela 30 – Escala ordinal (B 2.4)

Nível	Descrição	Unidade
a^*	6	[meses]
	12	
a_*	15	

Fonte: Elaborado pela autora.

Para este descritor o melhor prazo considerado é o de seis meses e o pior aceitável é de quinze meses. O valor de k é definido pela equação (11) e a função de valor econômico será obtida por meio da equação (9), considerando o α negativo e um comportamento avesso. O comportamento econômico do descritor é exemplificado pela Figura 40 e a equação de tendência (44) o apresenta.

Figura 40 – Comportamento econômico (B 2.4)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,006 \cdot x^2 + 0,213 \cdot x - 1,182 \quad (44)$$

Descritor B 2.5 Teste de Aceitação em Fábrica – BESS: os testes de aceitação em fábrica têm por objetivo garantir a qualidade e eficiência dos equipamentos que serão fornecidos, mediante a inspeções e testes nos componentes do sistema, evitando e se necessário corrigindo problemas encontrados direto na fábrica. O descritor foi construído para avaliar e entender o posicionamento do fornecedor, usando como base os estudos de Riboldi *et al.* (2021) e Angenendf (2025) para definir o escopo apresentado a seguir.

Espera-se que o fornecedor autorize a presença de uma pessoa que represente a cliente para o acompanhamento de todos os ensaios de fábrica dos equipamentos do BESS. Assim como em ter acesso aos processos de fabricação, as normas e procedimentos de qualidade, e se necessário, sugerir melhorias.

A inspeção visual em todos os componentes deverá ser realizada antes e após a montagem dos equipamentos no contêiner. Será necessário executar os seguintes ensaios: carregamento e descarregamento com variação da potência ativa e reativa nominal; degradação das baterias; eficiência de *roundtrip* e capacidade energética; tempo de resposta e taxa de rampa; resposta a variações de tensão e frequência, harmônicos e flutuações; desequilíbrio de tensão; sobre ou subcorrente; e injeção de corrente contínua.

Por fim, testes nos comandos para certificação de comunicação e funcionamento do EMS e BMS. Ocorrendo verificações acerca da atuação de proteções e de alarmes, estabilidade térmica, reconexão após condições anormais e medições de ruído. A escala tem três níveis que podem ser observados na Tabela 31, onde N1 representa o melhor possível e o N3 o pior aceitável. O descritor é considerado qualitativo, discreto e construído.

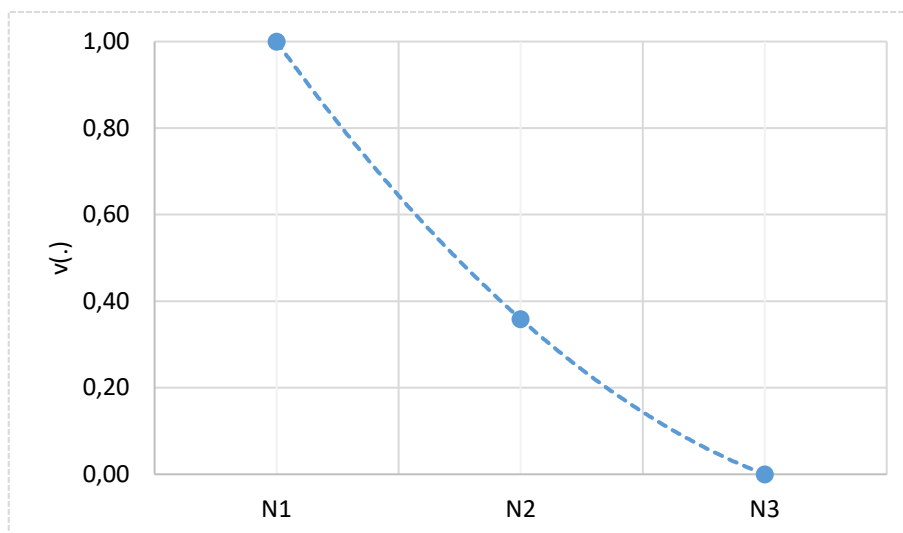
Tabela 31 – Escala ordinal (B 2.5)

Nível	Descrição
N1	O fornecedor atende totalmente o escopo.
N2	O fornecedor disponibiliza acesso moderado aos processos de fabricação, normas e procedimentos de qualidade. As inspeções visuais são realizadas apenas após a montagem dos componentes no contêiner, excluindo testes como verificação de harmônicos, flutuações, desequilíbrio de tensão e ruídos.
N3	O fornecedor autoriza a presença de um auditor, mas com acesso restrito, acompanhando somente os ensaios de fábrica. Não disponibiliza acesso aos processos de fabricação, normas e procedimentos. As inspeções visuais são realizadas apenas após a montagem dos componentes no contêiner, excluindo testes como verificação de harmônicos, flutuações, desbalanço de tensão e ruídos e de comunicação do EMS e BMS.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 41 ilustra o comportamento econômico do descritor, enquanto a equação de tendência (45) apresenta a sua definição.

Figura 41 – Comportamento econômico (B 2.5)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,141 \cdot x^2 - 1,065 \cdot x + 1,924 \quad (45)$$

Descritor B 2.6 Comissionamento: o comissionamento de um ativo é um processo importante dentro de um projeto em construção, visto que nessa etapa verifica-se o atendimento a requisitos de instalação e de funcionamento dos equipamentos. A fim de garantir que houve a instalação de todos os sistemas da planta de forma segura, em conformidade com o projeto desenvolvido e as normas técnicas atuais exigidas. Geralmente o comissionamento é dividido em fases, que abrange o teste de aceitação em campo, o *start-up*, o teste de aceitação funcional e o teste operacional (CLARK; BORNEO, 2021).

No contexto de um contrato EPC *turnkey*, a responsabilidade de comissionar a planta é da contratada, com supervisão de uma equipe da cliente para assegurar que os requisitos contratuais, técnicos e de desempenho sejam cumpridos. Considerando esse cenário, o descritor comissionamento tem como objetivo avaliar o posicionamento do proponente e englobar todas as verificações e testes para que a usina entre em operação. Assim, o fornecedor será responsável por verificar resistência de isolamento, torque de parafusos, faseamento de circuitos, sistemas de segurança, comunicação e sinalização de toda a planta.

Especificamente para o BESS, realizar teste de degradação da bateria, carga e descarga de potência nominal, eficiência de *roundtrip*, energia útil, tempo de

rampa de estabilização, testes referentes ao EMS e BMS, incluindo comunicação com o PPC e SCADA da planta. Além de verificar e desempenhar testes nos sistemas de gestão térmica e supressão de incêndio. (RIBOLDI *et al.*, 2021; CLARK; BORNEO, 2021)

Para a subestação, executa-se o comissionamento da infraestrutura eletromecânica (malha de aterramento, barramento e estruturas) e dos equipamentos (seccionadores, disjuntores, chaves seccionadoras, capacitor, para-raios, baterias, regulador de tensão, transformador de potencial e corrente, entre outros). Assim como o comissionamento dos painéis, sistema de medição e dos equipamentos de telecomunicações. (ARANHA, 2022; ASSMANN, 2022)

Para os condutores, deve-se efetuar os testes de isolamento, rigidez dielétrica, continuidade, fuga de corrente, tensão aplicada em *Very Low Frequency*, funcionamento sob carga, descargas parciais e blindagem no cabo, se necessário (ANSI; NETA, 2017). Por fim, o fornecedor terá que entregar os relatórios elaborados ao decorrer da fase de comissionamento.

A Tabela 32 apresenta os três níveis da escala ordinal, considerando um descritor qualitativo, discreto e construído.

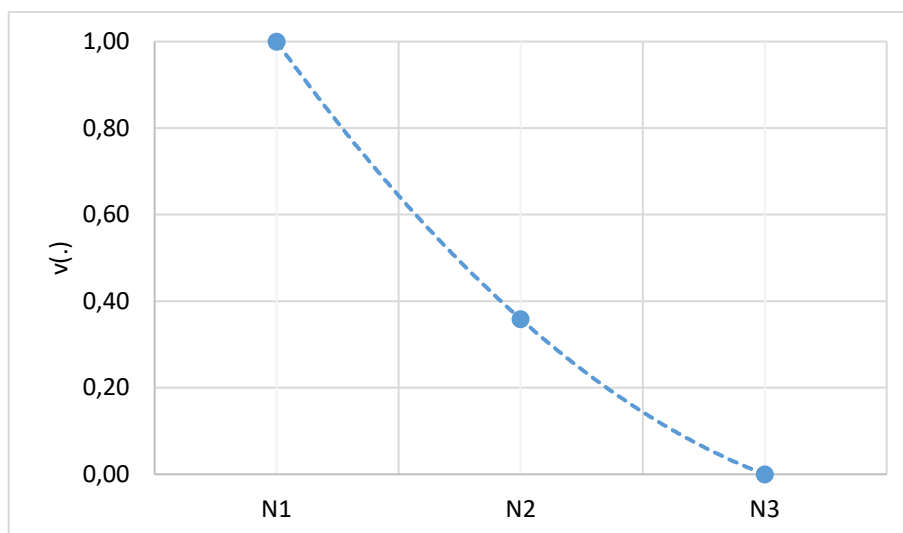
Tabela 32 – Escala ordinal (B 2.6)

Nível	Descrição
N1	O fornecedor atende totalmente o escopo de comissionamento dos sistemas da subestação, BESS, cabos, incluindo todos os testes exigidos no contrato e nas normas vigentes. O fornecedor realiza a integração entre BESS, SCADA e PPC e a entrega dos relatórios e documentações geradas durante o processo de comissionamento, como checklists e certificações.
N2	O fornecedor realiza o comissionamento apenas do BESS e seus cabos e conexões, respeitando as normas vigentes e o contrato.
N3	O fornecedor realiza o comissionamento somente dos equipamentos do BESS.

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse caso, N1 representa o melhor possível, onde o fornecedor se propõe a realizar todo o escopo, enquanto o N3, reflete o pior cenário em que há o comissionamento somente dos equipamentos do BESS. A Figura 42 retrata o comportamento econômico do descritor e a equação de tendência (46) o define.

Figura 42 – Comportamento econômico (B 2.6)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,141 \cdot x^2 - 1,065 \cdot x + 1,924 \quad (46)$$

Descritor B 2.7 Garantia das Baterias: como mencionado anteriormente, o modo de operação do sistema de armazenamento irá influenciar na sua degradação e desempenho. Logo, a garantia das baterias se torna um ponto sensível que precisa ser analisado durante a escolha do fornecedor. No momento, ainda não existe um padrão industrial e diversos fornecedores passaram a atribuir restrições operacionais, como a taxa de carregamento e o estado médio de carga, como pontos a serem verificados.

Portanto, o descritor criado visa mensurar o prazo de garantia, considerando o número de anos em que o cliente terá o direito de acioná-la para suporte ou substituição dos equipamentos. A Tabela 33 representa os quatro níveis de impactos, considerando que o descritor é quantitativo, discreto e construído.

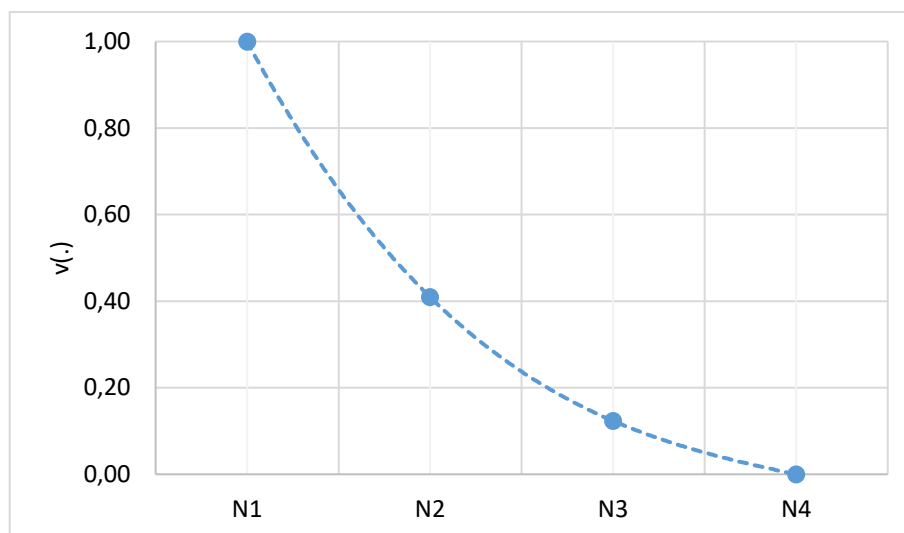
Tabela 33 – Escala ordinal (B 2.7)

Nível	Descrição	Unidade
N1	> 15	[Anos]
N2	[10; 15]	
N3	[5; 10[	
N4	< 5	

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico está ilustrado mediante a Figura 43 e a equação de tendência (47) expõe sua definição.

Figura 43 – Comportamento econômico (B 2.7)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0236 \cdot x^3 + 0,294 \cdot x^2 - 1,306 \cdot x + 2,036 \quad (47)$$

4.2.1.3 PVF Econômico-Financeiro

Além de atender aos descritores já mencionados, o fornecedor deve demonstrar o desempenho econômico e financeiro do cliente ao adotar a sua solução. Dessa forma, considerando a capacidade de oferecer a melhor garantia de retorno com o sistema de armazenamento escolhido. Por isso, o PVF econômico-financeiro possui seis descritores apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Descritores do PVF Econômico-Financeiro

PVF	PVE	Descritores	
Econômico-Financeiro	-	Custo nivelado de armazenamento	C 1.1
Econômico-Financeiro	-	Despesas de capitais - CAPEX	C 1.2
Econômico-Financeiro	-	Despesas operacionais - OPEX	C 1.3
Econômico-Financeiro	-	Descomissionamento	C 1.4
Econômico-Financeiro	-	<i>Payback</i>	C 1.5
Econômico-Financeiro	-	<i>Due diligence</i>	C 1.6

Fonte: Elaborado pela autora.

Descritor C 1.1 Custo Nivelado de Armazenamento: o custo nivelado de armazenamento (*Levelized cost of storage* - LCOS) é um parâmetro capaz de quantificar, no valor presente, o custo médio do armazenamento de eletricidade de um sistema ao longo de sua vida útil. Dessa forma, são relacionados os valores de

despesas de capitais, operacionais e as garantias dos equipamentos com os parâmetros de capacidade útil do sistema, considerando os parâmetros como o DoD, a quantidade de ciclos por ano e a degradação da bateria (EIA, 2023). O LCOS pode ser calculado conforme a equação (48) definida por Salas *et al.* (2023).

$$LCOS = \frac{C_{BESS}}{E_{BESS}} \quad (48)$$

Em que:

$$C_{BESS} = \sum_{t=0}^n \left(\frac{C_{cap_{BESS}} + C_{inst_{BESS}} + C_{O\&M_{BESS}} + C_{LOG_{BESS}}}{(1+r)^t} \right) \quad (49)$$

$$E_{BESS} = \eta \cdot \sum_{t=0}^n \left(\frac{E_t^{exc} \cdot (1 - D_{BESS})^{t_{BESS}}}{(1+r)^t} \right) \quad (50)$$

Assim, os custos anuais de capital, de instalação, de operação e manutenção, assim como os custos anuais de transporte são representados pelas variáveis $C_{cap_{BESS}}$, $C_{inst_{BESS}}$, $C_{O\&M_{BESS}}$ e $C_{LOG_{BESS}}$, respectivamente. A taxa de degradação anual da bateria, D_{BESS} , a eficiência de ciclo completo, η , o índice para restaurar a degradação inicial a cada substituição, t_{BESS} , e a energia que será armazenada, E_t^{exc} , são apresentados na equação (50). Por fim, a taxa de desconto anual, a vida útil do projeto e o ano em questão, estão dispostos respectivamente, como r , n e t .

Tendo em vista os dados de pesquisa da IEA (2024), para um BESS considerando uma escala com duração de quatro horas, espera-se que o LCOS diminua em 30% até 2030 devido à queda no preço das células e a melhoria de desempenho e durabilidade. Reduzindo de 360 \$/MWh para 240 \$/MWh, e chegando em 180 \$/MWh em 2050. Entretanto, Lazard (2024), por meio de um relatório realizado, aponta valores de LCOS entre 170 \$/MWh a 296 \$/MWh para o ano de 2024.

Nesse contexto, o descritor do LCOS é importante para possibilitar ao decisor uma análise consistente entre diversos produtos ofertados. Assim, foi definida a escala ordinal do descritor, que é composta por quatro níveis de impacto e está disposta na Tabela 34. O descritor definido para representar o LCOS é quantitativo, discreto e construído.

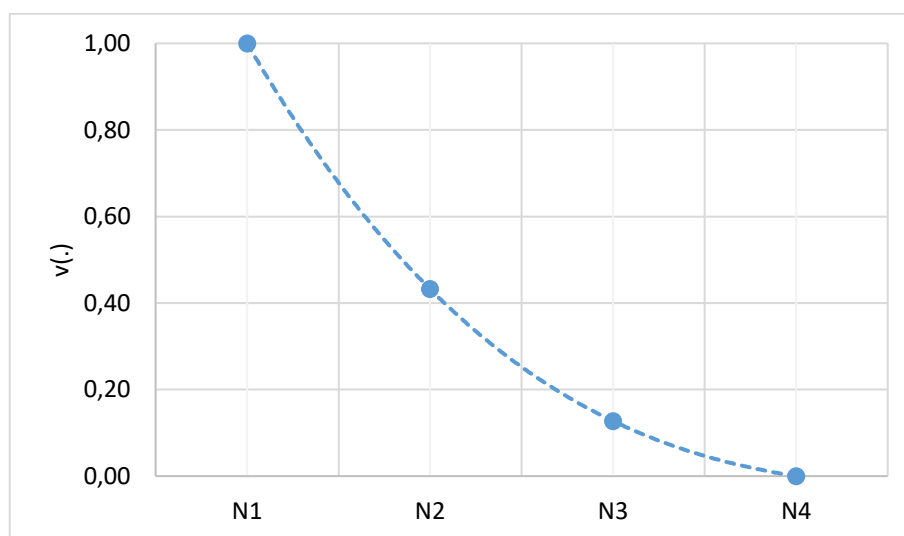
Tabela 34 – Escala ordinal (C 1.1)

Nível	Escala	Unidade
N1	< 170	\$/MWh
N2	[170; 240[	
N3	[240; 296[	
N4	> 296	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 44 apresenta o comportamento econômico do descritor e a equação de tendência (51) o expõe.

Figura 44 – Comportamento econômico (C 1.1)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0141 \cdot x^3 + 0,216 \cdot x^2 - 1,117 \cdot x + 1,915 \quad (51)$$

Descritor C 1.2 Despesas de Capitais: as despesas de capitais (*Capital Expenditure* – CAPEX) é um indicador adotado para medir o valor gasto com a aquisição de bens e serviços. Neste trabalho, o critério estará relacionado ao custo para implantar o sistema de armazenamento por baterias. O Quadro 9 aborda alguns dos principais pontos a serem considerados para a formalização do CAPEX em um projeto de um ativo de BESS com a expansão da subestação.

Quadro 9 – Composição do CAPEX

Item de Análise	Componentes
Sistema de Armazenamento de Energia	- Container; - Banco de baterias; - Sistema de gerenciamento de baterias; - Sistema de supressão de incêndio; - Sistema de gerenciamento térmico.
Equipamentos de Potência e Elétrica	- Sistema de conversão de energia; - Cabos CC e CA; - Eletrônica de potência; - Transformadores; - Disjuntores e <i>Switchgears</i>.
Sistemas de Gerenciamento e Comunicação	- Sistema de gerenciamento de energia (<i>hardware e software</i>); - SCADA.
Obras Civis e Instalações	- Preparação e cercamento do terreno; - Fundações do sistema de armazenamento de energia; - Edificações para O&M; - Acessos e vias internas; - <i>Start-up</i> e comissionamento.
Integração com a Rede	- Equipamentos do <i>bay</i> de conexão; - Ampliação da Subestação e upgrades da rede.
Atividades de Engenharia e Projeto	- Estudos necessários; - Projeto executivo e <i>as built</i> do BESS e da ampliação da subestação; - Equipes de campo e de projeto.

Fonte: Adaptado de NREL (2025) e CRA (2023).

Visto que o BESS é uma tecnologia versátil e que está em desenvolvimento, o valor de despesas de capital irá variar de acordo com as condições específicas do local de implantação, do tipo de tecnologia de bateria escolhido, dos parâmetros de funcionamento, das aplicações a serem desempenhadas, entre outros (IEA, 2024). O Quadro 10 apresenta valores de CAPEX encontrados por meio de pesquisas em estudos desenvolvidos por organizações internacionais.

Quadro 10 – Valores de referência de CAPEX

Valores	Unidade	Referência
[1.040; 1.300]	\$/kW	(IRENA, 2024)
1.906,95	\$/kW	(NREL, 2025)
1.744,00	\$/kW	(EIA, 2024)

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos valores informados, foi desenvolvida a escala ordinal do descritor que possui cinco níveis de impacto e está disposta na Tabela 35. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e construído.

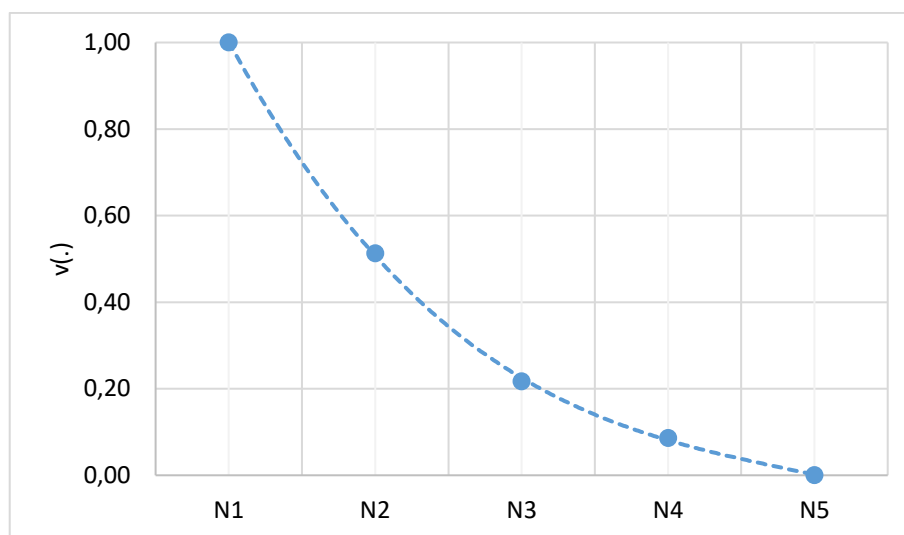
Tabela 35 – Escala ordinal (C 1.2)

Nível	Descrição	Unidade
N1	< 1.040	
N2	[1.040; 1.300[	
N3	[1.300; 1.700]	[\$/kW]
N4	]1.700; 1.900]	
N5	> 1.900	

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor está ilustrado pela Figura 45 e a equação de tendência (52) expõe sua definição.

Figura 45 – Comportamento econômico (C 1.2)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0123 \cdot x^3 + 0,18 \cdot x^2 - 0,948 \cdot x + 1,782 \quad (52)$$

Descritor C 1.3 Despesas Operacionais: as despesas operacionais (*Operation Expenditure* – OPEX) é o indicador que quantifica os gastos para manter o ativo operando por um período determinado. No Quadro 11 são pontuados os principais custos relacionados a operação e manutenção do ativo.

Quadro 11 – Composição do OPEX

Item de Análise	Componentes
Operação	- Operadores locais ou serviços de terceiros; - Custos administrativos e de gestão.
Manutenção	- Manutenção programada e não programada dos equipamentos do sistema de armazenamento e da subestação.

Substituição de Componentes	- Reposição de peças de consumo (sobressalentes).
Eficiência e Garantias	- Perdas de desempenho por degradação das baterias; - Custos de garantias e extensões de garantia dos equipamentos.
Custos Fixos de Operação	- Inserções de novos conjuntos de baterias (Augmentation); - Taxas, pagamentos de propriedade e seguro; - Serviço de segurança do local.

Fonte: Adaptado de NREL (2025) e CRA (2023).

Em casos de sistemas de armazenamento são admitidos também os gastos relacionados a estratégia de *augmentation*, incluindo as obras civis e os equipamentos necessários para que o sistema continue entregando a energia necessária ao longo da sua vida útil. O valor de OPEX da tecnologia pode variar de acordo com o sistema de armazenamento e os métodos adotados para operação e manutenção do sistema. Segundo NREL (2025) estima-se as despesas operacionais em torno de 2,5% do valor de CAPEX. No Quadro 12 estão apresentados os valores de OPEX, em \$/kW-ano, encontrados através de pesquisas.

Quadro 12 – Valores de referência de OPEX

Valores	Unidade	Referências
[26,00; 32,50]	\$/kW-ano	Considerou-se 2,5% dos valores de CAPEX indicados pelo IRENA (2024)
47,67	\$/kW-ano	(NREL, 2025)
40,00	\$/kW-ano	(EIA, 2024)

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 36 contém os cinco níveis de impacto que compõem a escala ordinal criada. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e construído.

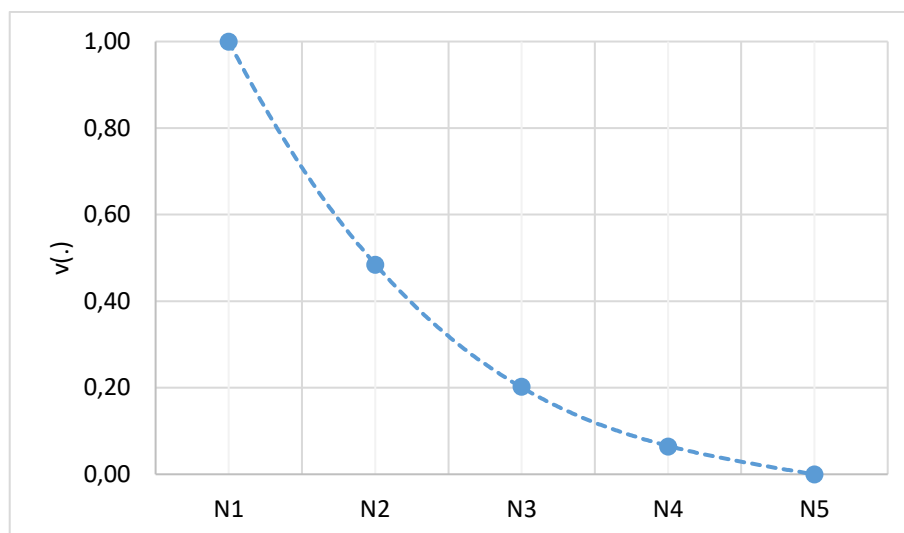
Tabela 36 – Escala ordinal (C 1.3)

Nível	Quantitativo	Unidade
N1	< 26	
N2	[26; 32,50[	
N3	[32,50; 40[	\$/kW-ano
N4	[40; 47,67[	
N5	> 47,87	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 46 apresenta o comportamento econômico do descritor e a equação de tendência (53) o expõe.

Figura 46 – Comportamento econômico (C 1.3)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0134 \cdot x^3 + 0,195 \cdot x^2 - 1,0067 \cdot x + 1,824 \quad (53)$$

Descritor C 1.4 Descomissionamento: mesmo que a etapa de descomissionamento aconteça somente após 15 ou 20 anos da implantação do ativo, é essencial que haja o planejamento para contribuir na minimização de custos e ao destino correto dos resíduos gerados, principalmente as baterias. O uso final do projeto precisa ser considerado para ocorrer o desenvolvimento de um escopo de descomissionamento. Há sistemas em que apenas realiza-se a troca dos módulos de baterias por novos, reutilizando a infraestrutura do projeto. Também existe a possibilidade de substituir todos os equipamentos do BESS, ou então, descomissionar totalmente o projeto. (ESA, 2020)

A área de implantação, o tipo de instalação, o peso dos componentes, os requisitos regulatórios e as alternativas de reciclagem e de descarte são fatores a serem considerados no descomissionamento do ativo (CRA, 2023). Dentro desses custos estão inseridos os valores por desconexão do BESS ao grid, a desmontagem e remoção dos resíduos para reciclagem, a reciclagem e os custos necessários para a restauração do local onde o sistema de armazenamento e a subestação estavam instalados (DOE, 2020).

Nesse contexto, o descritor avalia o custo para o fornecedor realizar o descomissionamento total do projeto, incluindo o sistema de armazenamento de baterias e o bay de conexão da subestação. O Quadro 13 informa valores de

referência, sem considerar influências de inflação ou taxa de correção, baseados em três projetos que possuem capacidades diferentes, mas velocidades de carregamento iguais.

Quadro 13 – Valores de referência de descomissionamento

Capacidade	Valor Total [\$]	[\$/kWh]	Referência
150 MW/600 MWh	\$ 1.215.643,00	2,026	(SPEARMINT ENERGY; WESTWOOD, 2024)
110 MW/440 MWh	\$ 3.059.234,28	6,953	(SAVION, 2022)
100 MW/400 MWh	\$ 8.790.000,00	5,494	(JUPITER POWER; RENEWANCE, 2025)

Fonte: Elaborado pela autora.

Por meio dos valores apresentados, foi desenvolvida a escala ordinal, com quatro níveis de impacto, apresentada na Tabela 37. O descritor é classificado como quantitativo, discreto e construído.

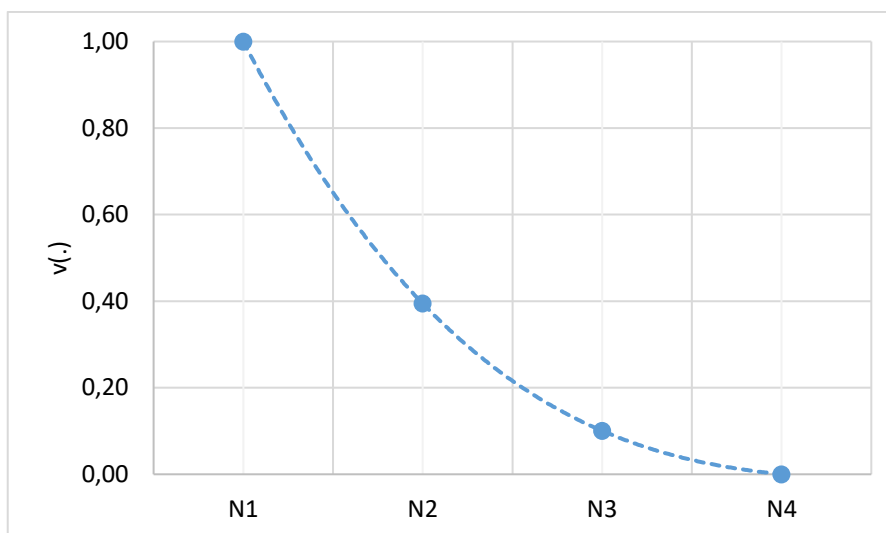
Tabela 37 – Escala ordinal (C 1.4)

Nível	Descrição	Unidade
N1	< 2,0	[\$/kWh]
N2	[2,0; 5,5[	
N3	[5,5; 6,9]	
N4	> 6,9	

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico está ilustrado através da Figura 47 e definido pela equação de tendência (54).

Figura 47 – Comportamento econômico (C 1.4)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = -0,0195 \cdot x^3 + 0,273 \cdot x^2 - 1,287 \cdot x + 2,034 \quad (54)$$

Descritor C 1.5 Payback: apesar dos benefícios da implantação de BESS, fatores como a falta de maturidade da tecnologia no setor elétrico brasileiro, de regulamentações e de incentivos governamentais, geram uma limitação econômica e financeira na implantação dos sistemas. Dessa maneira, o descritor do payback objetiva avaliar o tempo, em anos, para recuperar o valor investido para a contratação do fornecedor considerando todos os serviços e equipamentos ofertados por ele.

Atualmente, há uma expectativa, em mercados mais desenvolvidos, de períodos de retorno de investimento de 4 anos para aplicações que utilizem as baterias de íons de lítio. O payback pode ser calculado seguindo a equação (55). (GAO, 2025)

$$Payback = \frac{C}{S(C) \cdot (R_I - \frac{R_E}{\eta})} \quad (55)$$

Onde:

C é o custo inicial do projeto;

$S(C)$ é a quantidade de energia armazenada e disponibilizada a pelo sistema;

R_I é o preço da energia importada;

R_E é o preço da energia exportada; e

η é a eficiência do BESS.

Nesse contexto, a Tabela 38 expõe a escala ordinal criada, que possui três níveis de impacto, onde N1 representa o melhor cenário e N3 o pior aceitável. O descritor é classificado com quantitativo, discreto e construído.

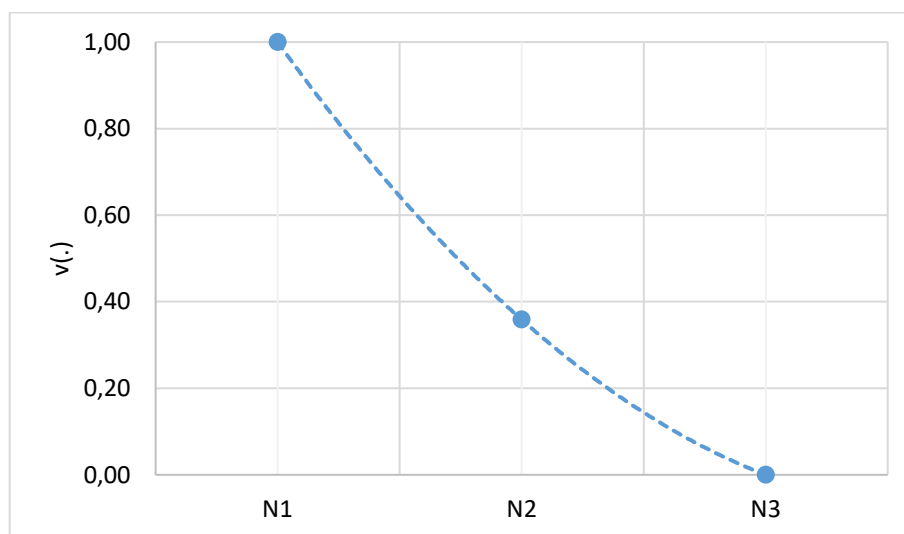
Tabela 38 – Escala ordinal (C 1.5)

Nível	Descrição	Unidade
N1	< 4	[Anos]
N2	[4; 10]	
N3	> 10	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 48 apresenta o comportamento econômico do descritor e a equação (56) o descreve.

Figura 48 – Comportamento econômico (C 1.5)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,0141 \cdot x^2 - 1,065 \cdot x + 1,924 \quad (56)$$

Descritor C 1.6 Due Diligente: a *Due diligence* se refere ao processo que uma empresa conduz para a análise detalhada de informações referentes aos fornecedores que terão um relacionamento ou estarão mantendo relações comerciais com ela (CASTRO; GONÇALVES, 2020). Por meio das verificações são identificados possíveis riscos relacionados ao fornecedor que possam impactar a empresa responsável pelo projeto com questões legais, reputacionais, socioeconômicas,

ambientais e financeiras. Riscos como a incapacidade de viabilização ou impedimento de executar as atividades ou cumprimento de obrigações relacionados ao escopo, instabilidade financeira ou desorganização administrativa, conflitos de interesse, manipulação de resultados, prejuízos à reputação, entre outros (COSTA, 2021).

Tendo em vista as informações e os riscos apresentados na proposta do manual de boas práticas de *due diligence* do Costa (2021), foi desenvolvida a escala ordinal, com três níveis de impacto, que está disposta na Tabela 39. O descritor é classificado como qualitativo, discreto e construído.

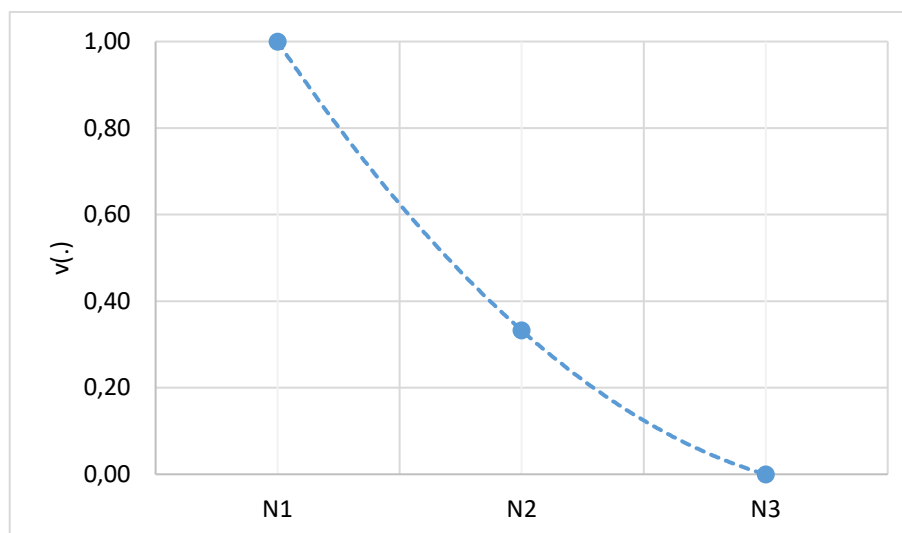
Tabela 39 – Escala ordinal (C 1.6)

Nível	Descrição
N1	Sem dívidas que comprometam o contrato; capacidade financeira comprovada; certidão negativa de falência; comprova titularidade em conta bancária; Índice de liquidez corrente igual ou maior que 1. Comprova inscrição e situação cadastral ativa; alvará de localização e funcionamento; certidão fiscal e tributária vigente. CNPJ e CNAE compatível com o escopo. Não possui no quadro de sócios pessoas expostas politicamente. Não consta em cadastros de inidoneidade. Sem ações judiciais ou condenações por irregularidades.
N2	Com dívidas de baixo valor que não afetam o contrato; Certidão negativa de falência; comprova titularidade em conta bancária; Índice de liquidez entre 0,75 e 0,99. Comprova inscrição e situação cadastral ativa; alvará de localização e funcionamento; certidão fiscal e tributária vigente. CNAE parcialmente compatível com o escopo. Possui pessoas expostas politicamente, mas apresenta justificativa. Não consta em cadastros de inidoneidade. Ações judiciais ou condenações em curso, mas sem condenação.
N3	Tem dívidas que comprometem o contrato; Certidão positiva de falência; comprova titularidade em conta bancária; Índice de liquidez corrente menor que 0,75. Comprova inscrição e situação cadastral ativa; alvará de localização e funcionamento; ausência de certidão fiscal e tributária. CNAE incompatível com o escopo. Possui pessoas expostas politicamente. Consta em cadastros de inidoneidade. Com ações judiciais por irregularidades de atuação do fornecedor.

Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento econômico do descritor está ilustrado por meio da Figura 49 e representado pela equação de tendência (57).

Figura 49 – Comportamento econômico (C 1.6)



Fonte: Elaborado pela autora.

$$v(.) = 0,167 \cdot x^2 - 1,169 \cdot x + 2,002 \quad (57)$$

4.3 Conclusão

Diante do exposto, neste capítulo foi explorado os assuntos acerca de um sistema de apoio à decisão multicriterial. Inicialmente, foi enfatizado as diferenças entre as maneiras de estruturar o problema principal por meio de hierarquias, destacando a Escola Americana e a Escola Francesa amplamente utilizadas.

Na sequência, apresentou-se as técnicas adotadas para o desenvolvimento deste trabalho, AHP e MAUT. A técnica AHP permite que o problema global seja estruturado, que exista a coerência lógica, a flexibilidade em relação à adição de cenários e a possibilidade de realizar análises de sensibilidade nos diferentes níveis da hierarquia. Além disso, o resultado da avaliação de cada cenário é expresso como um valor adimensional, facilitando a comparação dos escores de desempenho entre os cenários.

O MAUT, por sua vez, oferece flexibilidade ao usuário além de agregar incerteza na decisão, permitindo a avaliação robusta das alternativas através de uma análise de sensibilidade sobre os *trade-offs* dos descritores. Esta técnica baseia-se no conhecimento que o usuário tem das alternativas, comparando-as umas com as outras em cada descritor da decisão. Além disso, é pressuposto que o usuário seja

consistente e coerente na avaliação de uma alternativa para outra. (KIKER *et al.*, 2005)

Posteriormente, foi apresentando o modelo proposto desenvolvido, abordando a importância dos pontos de vista fundamentais e elementares, assim como a descrição, a escala e o comportamento econômico dos descritores escolhidos. A seguir, será realizado a implementação do modelo multicritério para a verificação do comportamento das alternativas.

5 IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo são abordados aspectos relacionados a implementação das técnicas no modelo. Dessa maneira, além de apresentar como foram realizados os cálculos para obter os *trade-offs* e o desempenho econômico, será implementado uma situação hipotética para observar os resultados obtidos com o modelo desenvolvido.

Para a implementação do modelo multicriterial, será considerado um cenário fictício onde o sistema de armazenamento de energia por baterias será associado a uma usina eolielétrica, localizada no nordeste do Brasil. O desenvolvedor do projeto, empresa que contratará o serviço, necessita de um BESS de 100 MW/400 MWh, com o intuito principal de realizar aplicações como arbitragem e reserva de capacidade. Será utilizada a modalidade de contrato EPC *Turnkey* e espera-se que o fornecedor também considere a adequação do terreno, a construção do *bay* do BESS e, a compatibilização com a subestação e o ativo existente. As principais premissas do projeto estão localizadas no Quadro 14.

Quadro 14 – Premissas do projeto

Potência [MW]	100
Capacidade útil [MWh]	400
Conexão à rede	Bay em subestação elevadora
Tensão subestação [kV]	34,5/230
Ciclos por dia	1
Vida útil do sistema [anos]	20
Temperatura média anual [°C]	26 a 30
Umidade [%]	50
Altitude [m]	760

Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de seleção está em transição para a fase de análise das propostas e conta com quatro fornecedores participantes, que serão chamados de Fornecedor 1, Fornecedor 2, Fornecedor 3 e Fornecedor 4. O Fornecedor 1 apesar de apresentar uma menor quantidade de ciclos e um maior tempo de respostas a falhas do PCS, destaca-se pela menor degradação no término de vida útil, maior capacidade das células de bateria, atendimento a todo escopo de obra, projeto e comissionamento, menor tempo para entrega de equipamentos, menor tempo de *payback* e valor de descomissionamento.

O segundo fornecedor, por sua vez, distingue-se pela maior quantidade de ciclos e eficiências dos equipamentos, atendimento ao escopo de compatibilidade com o sistema, além de ofertar um transformador do tipo seco com isolamento por resina epóxi. Mesmo que tenha o menor nível de experiência, possui um bom índice de capacidade produtiva disponível e o maior tempo de garantia das baterias. No âmbito financeiro econômico, possui o menor LCOS, CAPEX e OPEX.

Em seguida, o Fornecedor 3 se destacou ao oferecer um sistema com a maior profundidade de descarga, a segunda maior capacidade da célula, um PCS que atende a todas as normas e um EMS que prevê todo o escopo de funcionalidades. Com relação aos requisitos comerciais, o fornecedor possui aderência ao nível N1 nos descritores de histórico de atuação e reputação e do serviço de suporte pós-venda, além do atendimento total ao escopo de teste de aceitação em fábrica e ao comissionamento. Para os requisitos econômico-financeiros, representa o segundo menor LCOS, CAPEX e OPEX.

Por fim, o Fornecedor 4 evidencia a aceitação da maior variação de temperatura de operação pelo banco de baterias e ao atendimento do escopo de sistema de segurança cibernética. O transformador é aderente a todos os itens de compatibilidade com o sistema. Do ponto de vista da área comercial, apesar de possui menor capacidade produtiva, o fornecedor tem o maior nível de experiência e a melhor aderência ao escopo de sistema de gestão da qualidade e busca por inovação. Ademais, possui os maiores valores de CAPEX e descomissionamento.

O Quadro 15, exibe a matriz de consequências que reúne as informações dos fornecedores para cada descritor. Nos descritores quantitativos, estão os valores apresentados pelos fornecedores, enquanto nos qualitativos está inserido o nível de impacto em que o escopo ou o componente do fornecedor se encaixa.

Quadro 15 – Matriz de consequências

Descritores			Fornecedores			
			F 1	F 2	F 3	F 4
A 1.1	Profundidade de Descarga	[%]	97	98	100	90
A 1.2	Degradação no Término de Vida Útil	[%]	27,88	40,20	35,90	40,00
A 1.3	Capacidade da Célula de Bateria	[Ah]	320,00	306,00	314,00	180,00
A 1.4	Ciclo de Vida das Baterias	[ciclos]	6.000	10.000	7.300	8.030
A 1.5	Variação da Temperatura de Operação	[Δ°C]	45	55	65	65
A 2.1	Tecnologia Apresentada	[adm]	N1	N3	N2	N2

A 2.2	Aplicação do Sistema	[adm]	N1	N2	N1	N3
A 2.3	Eficiência do Equipamento	[%]	94,00	99,00	98,50	97,00
A 2.4	Tempo de Respostas a Falhas	[ms]	500	50	50	200
A 2.5	Atendimento as Normas	[adm]	N1	N3	N1	N2
A 3.1	Funcionalidades	[adm]	N2	N3	N1	N1
A 3.2	Arquitetura	[adm]	N2	N1	N2	N3
A 3.3	Sistema de Segurança Cibernética	[adm]	N1	N2	N3	N1
A 4.1	Compatibilidade com o Sistema	[adm]	N2	N1	N2	N1
A 4.2	Tipo de Isolamento	[adm]	N1	N1	N3	N2
A 4.3	Rendimento	[%]	96,00	99,00	98,50	98,50
A 4.4	Fator K	[adm]	2	1	4	1
A 5.1	Tipo de Sistema de Refrigeração	[adm]	N1	N1	N1	N1
A 5.2	Eficiência no Ciclo Completo	[%]	92	60	78	80
A 5.3	Informações Técnicas Disponibilizadas	[adm]	N2	N1	N3	N4
B 1.1	Nível de Experiência	[MW]	40	20	80	200
B 1.2	Histórico de Atuação e Reputação	[adm]	N2	N3	N1	N1
B 1.3	Serviço de Suporte Pós-venda	[adm]	N2	N2	N1	N3
B 1.4	Sistema de Gestão da Qualidade	[adm]	N1	N2	N3	N1
B 1.5	Capacidade Produtiva	[%]	60	95	35	18
B 1.6	Busca por Inovação	[adm]	N2	N3	N1	N1
B 2.1	Escopo de Obra	[adm]	N1	N3	N2	N2
B 2.2	Escopo do Projeto	[adm]	N1	N4	N3	N2
B 2.3	Tipo de Entrega	[adm]	N1	N2	N1	N3
B 2.4	Cronograma de entrega	[meses]	6	12	15	12
B 2.5	Testes de Aceitação em Fábrica – BESS	[adm]	N2	N2	N1	N3
B 2.6	Comissionamento	[adm]	N1	N3	N1	N2
B 2.7	Garantia das Baterias	[anos]	2	15	2	5
C 1.1	LCOS	[\$/MWh]	300	160	200	280
C 1.2	CAPEX	[\$/kW]	1.810,00	1.050,00	1.700,00	2.500,00
C 1.3	OPEX	[\$/kW-ano]	50	24	35	42
C 1.4	Descomissionamento	[\$/kWh]	1,5	3	5,5	7
C 1.5	Payback	[anos]	4	6	10	6
C 1.6	Due diligence	[adm]	N1	N2	N2	N3

Fonte: Elaborado pela autora.

Primeiramente, será exposta a implementação dos cálculos de *trade-offs* dos PVFs, PVEs e descritores, além dos valores econômicos referentes as escalas dos descritores. As informações levantadas e apresentadas no Quadro 15, servirão de base para efetuar o cálculo do desempenho econômico de cada fornecedor, no tópico 5.2, considerando uma análise de portfólio.

5.1 Trade-offs

Conforme informado no tópico 4.1, para determinar o *trade-off* dos PVFs, PVEs e descritores foi adotada a metodologia AHP, disposta no tópico 4.1.1, onde por meio da matriz de concordância determina-se a importância relativa entre os pontos que estão sendo analisados. O autovetor da matriz será calculado conforme a equação (5) e o *trade-off* será o resultado, em porcentagem, da normalização proporcional desse autovetor. O coeficiente de racionalidade (CR), por sua vez, será obtido pela razão do índice de consistência (IC) pelo índice de inconsistência randômico (IR). Nesse contexto, a matriz de concordância disponibilizada na Tabela 40, dispõe a comparação entre os pontos de vista fundamentais do modelo, nomeados de técnico, comercial e econômico-financeiro.

Tabela 40 – Matriz de concordância (PVFs)

	Técnico	Comercial	Econômico-Financeiro
Técnico	1	1	5
Comercial	1	1	3
Econômico-Financeiro	1/5	1/3	1

Fonte: Elaborado pela autora.

A matriz de concordância evidencia que o decisor atribui aos PVFs técnico e comercial a mesma importância relativa, mas ao compará-los separadamente com o PVF econômico-financeiro possuem importâncias relativas diferentes. A seguir encontram-se os cálculos realizados para determinar os elementos do autovetor.

$$\gamma_1 = \sqrt[3]{p_{11} \cdot p_{12} \cdot p_{13}} = \sqrt[3]{1 \cdot 1 \cdot 5} = 1,710$$

$$\gamma_2 = \sqrt[3]{p_{21} \cdot p_{22} \cdot p_{23}} = \sqrt[3]{1 \cdot 1 \cdot 3} = 1,442$$

$$\gamma_3 = \sqrt[3]{p_{31} \cdot p_{32} \cdot p_{33}} = \sqrt[3]{\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1} = 0,405$$

Em seguida, é realizado a normalização proporcional dos elementos do autovetor.

$$w_1 = \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3} \right) = \left(\frac{1,710}{1,710 + 1,442 + 0,405} \right) \cdot 100 = 48,1\%$$

$$w_2 = \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3} \right) = \left(\frac{1,442}{1,710 + 1,442 + 0,405} \right) \cdot 100 = 40,5\%$$

$$w_3 = \left(\frac{\gamma_3}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3} \right) = \left(\frac{0,405}{1,710 + 1,442 + 0,405} \right) \cdot 100 = 11,4\%$$

Por fim, os valores encontrados em formato percentual representam os *trade-offs* dos PVFs. Para adquirir o coeficiente de racionalidade e verificar a consistência dos julgamentos, primeiro foi calculado o maior autovalor da matriz de concordância, λ_{max} , conforme mostrado abaixo.

$$\lambda_{max} = (0,481 \cdot 2,200) + (0,405 \cdot 2,333) + (0,114 \cdot 9) = 3,0291$$

Após o cálculo de λ_{max} , aplica-se a equação (6) e por último, efetua-se a razão entre IC e IR, conforme já mencionado anteriormente.

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - d)}{(d - 1)} = \frac{(3,0291 - 3)}{(3 - 1)} = 0,0145$$

$$CR = \frac{IC}{IR} \cdot 100 = \frac{0,0145}{0,58} \cdot 100 = 2,51\%$$

Dessa maneira, é observado que o maior valor de *trade-off*, ou seja a maior preferência do decisor, foi em relação ao PVF técnico, com 48,06%, seguido dos PVFs comercial e econômico-financeiro, com respectivamente 40,54% e 11,40%. O coeficiente de racionalidade atingido de 2,51%, mantendo-se dentro do limite de 10%.

A partir desse momento foram calculados os *trade-offs* dos PVEs e os cálculos realizados foram os mesmos ilustrados acima. Os resultados encontrados estão dispostos na Tabela 41 e Tabela 42. A

Tabela 41 é composta pelos julgamentos referentes aos PVEs que fazem parte do PVF técnico, pelo autovetor, sua norma, os *trade-offs* e o coeficiente de racionalidade.

Tabela 41 – Matriz de concordância e resultados (PVEs do PVF Técnico)

	Banco de Baterias	PCS	EMS	Trafo BT/MT	Conjunto Geral	Autovetor	Norma	Trade-off
Banco de Baterias	1	5	3	5	1/3	1,904	0,255	25,50%
PCS	1/5	1	1/5	1	1/7	0,356	0,048	4,77%
EMS	1/3	5	1	5	1/5	1,108	0,148	14,83%
Trafo BT/MT	1/5	1	1/5	1	1/7	0,356	0,048	4,77%

Conjunto Geral	3	7	5	7	1	3,743	0,501	50,14%
CR	7,25%							

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse caso, nota-se que o PVE com a maior preferência do decisor é o conjunto geral, representando 50,14%, seguido dos PVEs, banco de baterias, EMS, PCS e transformador BT/MT, com 25,50%, 14,83%, 4,77%, 4,77%, respectivamente. O coeficiente de racionalidade calculado foi de 7,25%, satisfazendo o limite de 10%. Para os pontos de vista elementares do PVF comercial, chamados de fornecedor e contrato, foi considerado que ambos teriam a mesma importância, conforme elucidado na Tabela 42.

Tabela 42 – Matriz de concordância e resultados (PVEs do PVF Comercial)

	Fornecedor	Contrato	Autovetor	Norma	Trade-off
Fornecedor	1	1	1,00	0,500	50,00%
Contrato	1	1	1,00	0,500	50,00%
CR	-				

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse caso, o *trade-off* resultou em 50% para cada PVE. Como a matriz de concordância tem ordem 2, o índice randômico é zero, assim não é possível calcular o coeficiente de racionalidade. Também foram calculados os *trade-offs* referentes a cada critério, seguindo os passos já demonstrados nesse tópico. As tabelas que apresentam a matriz de concordância e os resultados de *trade-off* e CR podem ser encontradas por meio do Apêndice A.

Destaca-se que nenhuma das análises ocasionaram valores de CR superiores ao limite de 10%, garantindo a consistência dos julgamentos. Com relação aos *trade-offs* dos descritores que foram calculados, os que possuem maiores influências dentro do PVF técnico são, profundidade de descarga, aplicação do sistema e eficiência do equipamento, funcionalidades, compatibilidade com o sistema e eficiência no ciclo completo. Já os descritores, histórico de atuação e reputação, serviço de suporte pós-venda e, garantia das baterias foram aqueles com maior importância referente ao PVF comercial. Por fim, no PVF econômico-financeiro evidenciam-se os descritores LCOS e *payback*.

No Quadro 16 está um resumo dos *trade-offs* encontrados neste tópico. Vale ressaltar que foi adicionado o valor de *trade-off* final, que representa a

contribuição daquele critério no modelo inteiro, assim, são multiplicados os valores de *trade-off* do descritor com os do seu respectivo PVE, caso exista, e PFV.

Quadro 16 – Resumo dos *trade-offs*

PVF	Trade-off	PVE	Trade-off	Descritor	Trade-off	Trade-off final
Técnico	48,06%	Banco de Baterias	25,50%	Profundidade de Descarga	51,00%	6,25%
				Degradação no Término de Vida Útil	26,38%	3,23%
				Capacidade da Célula de Bateria	3,29%	0,40%
				Ciclo de Vida das Baterias	12,96%	1,59%
				Variação da Temperatura de Operação	6,36%	0,78%
		PCS	4,77%	Tecnologia Apresentada	14,16%	0,32%
				Aplicação do Sistema	34,10%	0,78%
				Eficiência do Equipamento	34,10%	0,78%
				Tempo de Respostas a Falhas	12,78%	0,29%
				Atendimento as Normas	4,87%	0,11%
		EMS	14,83%	Funcionalidades	63,70%	4,54%
				Arquitetura	25,83%	1,84%
				Sistema de Segurança Cibernética	10,47%	0,75%
		Trafo BT/MT	4,77%	Compatibilidade com o Sistema	56,38%	1,29%
				Tipo de Isolamento	5,50%	0,13%
				Rendimento	26,34%	0,60%
				Fator K	11,78%	0,27%
		Conjunto Geral	50,14%	Tipo de Sistema de Refrigeração	25,83%	6,22%
				Eficiência no Ciclo Completo	63,70%	15,35%
				Informações Técnicas Disponibilizadas	10,47%	2,52%
Comercial	40,54%	Fornecedor	50,00%	Nível de Experiência	16,45%	3,33%
				Histórico de Atuação e Reputação	34,21%	6,93%
				Serviço de Suporte Pós-Venda	34,21%	6,93%
				Sistema de Gestão da Qualidade	8,35%	1,69%
				Capacidade Produtiva	4,37%	0,88%
				Busca por Inovação	2,42%	0,49%
		Contrato	50,00%	Escopo de Obra	10,78%	2,18%
				Escopo do Projeto	10,78%	2,18%
				Tipo de Entrega	4,36%	0,88%
				Cronograma de Entrega	23,11%	4,68%
				Testes de Aceitação em Fábrica - BESS	4,36%	0,88%
				Comissionamento	4,36%	0,88%
				Garantia das Baterias	42,27%	8,57%

Econômico-Financeiro	11,40%	-	-	LCOS	32,06%	3,65%
				CAPEX	13,38%	1,53%
				OPEX	13,38%	1,53%
				Descomissionamento	5,99%	0,68%
				Payback	32,06%	3,65%
				Due Diligence	3,13%	0,36%

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise dos valores de *trade-off* final é importante para que haja a percepção que nem sempre o descritor que tem o maior valor de *trade-off* dentro do seu PVE ou PVF será o que terá maior valor, e conseqüentemente, maior impacto no modelo todo. Um exemplo desse comportamento é em relação aos critérios funcionalidades e eficiência no ciclo completo, dentro dos seus PVEs representam igualmente 63,70%, mas quando comparado globalmente possuem, respectivamente, um *trade-off* de 4,54% e 15,35%. Por fim, os cinco descritores que mais geram impacto no modelo em aspectos globais são, eficiência no ciclo completo, garantia das baterias, histórico de atuação e reputação, serviço de suporte pós-venda e profundidade de descarga.

5.2 Desempenho econômico

Inicialmente, foi obtido por meio das escalas dos descritores o comportamento econômico referente a cada descritor, aplicando os métodos apresentados nos tópicos 4.1.1 e 4.1.2. Para os descritores classificados como quantitativos, com escala contínua, foi aplicado o método MAUT e, os qualitativos e quantitativos com níveis de impacto discretos o AHP. Assim, foi empregado a técnica referente ao descritor e encontrado os valores de desempenho econômico que representam a escala. Em seguida, gerou-se o gráfico que ilustra o comportamento econômico do descritor e através desse gráfico foi obtido as equações de tendência que definem esse comportamento.

Para exemplificar a implementação da metodologia, serão utilizados os descritores A 1.1 e B 2.2. O descritor A 1.1 representa a profundidade de descarga das baterias, sua escala ordinal está apresentada pela Tabela 1 e é classificado como quantitativo e contínuo, por isso utilizou-se o método MAUT. Sabendo que a escala é

do tipo crescente, foi aplicado a equação (10) em cada valor que compõe a escala, conforme evidenciado abaixo.

$$k_{100} = \frac{\gamma_i(a_n) - \min \gamma_i(a_n)}{\max \gamma_i(a_n) - \min \gamma_i(a_n)} = \frac{100 - 80}{100 - 80} = 1$$

$$k_{90} = \frac{90 - 80}{100 - 80} = 0,5$$

$$k_{80} = \frac{80 - 80}{100 - 80} = 0$$

Posteriormente, o desempenho econômico é obtido a partir da equação (9). Nesta equação o decisor pode atribuir o seu comportamento relacionado naquele descritor, neste caso, foi adotado um comportamento avesso, representado pelo $\alpha = -1$. Abaixo, estão os valores calculados de valor econômico.

$$v_{100} = \frac{e^{\alpha k} - 1}{e^{\alpha} - 1} = \frac{e^{-1 \cdot 1} - 1}{e^{-1} - 1} = 1$$

$$v_{90} = \frac{e^{-1 \cdot 0,5} - 1}{e^{-1} - 1} = 0,622$$

$$v_{80} = \frac{e^{-1 \cdot 0} - 1}{e^{-1} - 1} = 0$$

A partir desses valores foi gerado o gráfico de dispersão com a curva que representa esse descritor, disposto na Figura 11, e por meio de uma reta de tendência, foi obtido a equação (13), que representa o comportamento econômico dele. Para os critérios qualitativos, aplicou-se o método AHP, então, utilizando o descritor B 2.2 como exemplo, foi construída a matriz de concordância com os julgamentos relativos aos níveis de impacto da escala, conforme evidencia a Tabela 43

Tabela 43 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.2

B 2.2	N1	N2	N3	N4
N1	1	3	5	9
N2	1/3	1	3	5
N3	1/5	1/3	1	3
N4	1/9	1/5	1/3	1

Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, foi calculado os elementos do autovetor, conforme equação (5).

$$\gamma_{N1} = \sqrt[4]{p_{11} \cdot p_{12} \cdot p_{13} \cdot p_{14}} = \sqrt[4]{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 9} = 3,409$$

$$\gamma_{N2} = \sqrt[4]{p_{21} \cdot p_{22} \cdot p_{23} \cdot p_{24}} = \sqrt[4]{\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5} = 1,495$$

$$\gamma_{N3} = \sqrt[4]{p_{31} \cdot p_{32} \cdot p_{33} \cdot p_{34}} = \sqrt[4]{\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3} = 0,669$$

$$\gamma_{N4} = \sqrt[4]{p_{41} \cdot p_{42} \cdot p_{43} \cdot p_{44}} = \sqrt[4]{\frac{1}{9} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1} = 0,293$$

No caso dos descritores, o maior autovetor da matriz terá duas utilidades, a primeira para o cálculo da função de valor e a segunda para o cálculo do coeficiente de racionalidade. Para a função de valor foi utilizado a equação (8), conforme mostra a seguir.

$$v_i(N1) = \frac{\gamma_i - \min \gamma_i}{\max \gamma_i - \min \gamma_i} = \frac{3,409 - 0,293}{3,409 - 0,293} = 1$$

$$v_i(N2) = \frac{1,495 - 0,293}{3,409 - 0,293} = 0,386$$

$$v_i(N3) = \frac{0,669 - 0,293}{3,409 - 0,293} = 0,120$$

$$v_i(N4) = \frac{0,293 - 0,293}{3,409 - 0,293} = 0,000$$

A partir desses valores encontrados foi gerado o gráfico que ilustra o comportamento econômico do descritor, disposto na Figura 38, e obtido por meio de uma linha de tendência a equação (42) que o define. Para o cálculo do coeficiente de racionalidade seguiu o mesmo passo a passo inserido no tópico 5.1. No Apêndice B está disposto todas as matrizes de concordâncias, assim como os valores referentes ao autovetor e autovalor, sua norma, função de valor e o coeficiente de racionalidade de cada descritor onde foi aplicado o método AHP. As figuras que ilustram o comportamento econômico dos descritores e as equações de tendência que os define podem ser encontradas no tópico 4.2.

As informações apresentadas até o momento, como a matriz de consequência representada pelo Quadro 15, os *trade-offs* e os comportamentos

econômicos dos descritores criados, servirão de base para entender qual é o desempenho econômico de cada Fornecedor. Dessa forma, o Quadro 17 expõe a matriz intermediária, com os valores de k , referentes aos critérios quantitativos contínuos que utilizam o método MAUT. Esses valores foram calculados conforme as equações (10) e (11) e considerando um caso de portfólio, ou seja, os valores de referência ancorados na equação de k serão os máximos e os mínimos dentro das alternativas existentes.

Quadro 17 – Matriz intermediária – k

Descritores		Característica	Fornecedores			
			F 1	F 2	F 3	F 4
A 1.1	[%]	Crescente	0,700	0,800	1,000	0,000
A 1.3	[Ah]	Crescente	1,000	0,900	0,957	0,000
A 1.5	[Δ°C]	Crescente	0,000	0,500	1,000	1,000
A 4.4	[adm]	Crescente	0,333	0,000	1,000	0,000
B 2.4	[meses]	Decrescente	1,000	0,333	0,000	0,333

Fonte: Elaborado pela autora.

Posteriormente a definição do k , foi desenvolvida a matriz de decisão, Quadro 18, composta pelo desempenho econômico de cada fornecedor referente a cada descritor. Para os descritores quantitativos contínuos foi utilizado a equação (9) considerando o comportamento e o valor de α exposto na matriz de decisão. Entretanto, para os descritores qualitativos e quantitativos discretos, foi aderido o valor calculado anteriormente correspondente ao nível de impacto ao qual o fornecedor se encaixava.

Quadro 18 – Matriz de decisão – $v(.)$

Descritores	Comportamento	Fornecedores			
		F 1	F 2	F 3	F 4
A 1.1	Avesso (1)	0,375	0,525	1,000	0,000
A 1.2	-	1,000	0,100	0,395	0,100
A 1.3	Propenso (2)	1,000	0,790	0,905	0,000
A 1.4	-	0,000	1,000	0,123	0,410
A 1.5	Propenso (1)	0,000	0,378	1,000	1,000
A 2.1	-	1,000	0,000	0,288	0,288
A 2.2	-	1,000	0,288	1,000	0,000
A 2.3	-	0,000	1,000	1,000	0,359
A 2.4	-	0,000	1,000	1,000	0,266
A 2.5	-	1,000	0,000	1,000	0,288
A 3.1	-	0,359	0,000	1,000	1,000

A 3.2	-	0,266	1,000	0,266	0,000
A 3.3	-	1,000	0,333	0,000	1,000
A 4.1	-	0,333	1,000	0,333	1,000
A 4.2	-	1,000	1,000	0,000	0,359
A 4.3	-	0,000	1,000	1,000	1,000
A 4.4	Propenso (1)	0,230	0,000	1,000	0,000
A 5.1	-	1,000	1,000	1,000	1,000
A 5.2	-	1,000	0,000	0,109	0,464
A 5.3	-	0,410	1,000	0,123	0,000
B 1.1	-	0,123	0,000	0,410	1,000
B 1.2	-	0,266	0,000	1,000	1,000
B 1.3	-	0,288	0,288	1,000	0,000
B 1.4	-	1,000	0,359	0,000	1,000
B 1.5	-	0,395	1,000	0,100	0,000
B 1.6	-	0,288	0,000	1,000	1,000
B 2.1	-	1,000	0,000	0,359	0,359
B 2.2	-	1,000	0,000	0,120	0,386
B 2.3	-	1,000	0,288	1,000	0,000
B 2.4	Avesso (-1)	1,000	0,448	0,000	0,448
B 2.5	-	0,359	0,359	1,000	0,000
B 2.6	-	1,000	0,000	1,000	0,359
B 2.7	-	0,000	0,410	0,000	0,123
C 1.1	-	0,000	1,000	0,432	0,127
C 1.2	-	0,086	0,513	0,217	0,000
C 1.3	-	0,000	1,000	0,484	0,064
C 1.4	-	1,000	0,395	0,100	0,000
C 1.5	-	0,359	0,359	0,359	0,359
C 1.6	-	1,000	0,333	0,333	0,000

Fonte: Elaborado pela autora.

Por último, foi obtido o desempenho econômico global dos fornecedores através da equação (1), em que a contribuição de cada critério é independente dos demais e que relaciona os valores de *trade-offs* finais com o desempenho econômico obtido em cada critério. O Quadro 19 mostra os valores de desempenho global alcançados.

Quadro 19 – Desempenho dos fornecedores

Valor Econômico Global			
F 1	F 2	F 3	F 4
0,5335	0,3730	0,4913	0,4223

Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, observa-se que o Fornecedor 1 obteve o maior valor econômico global entre os participantes do processo de seleção, destacando-se em

8,6% a mais que o Fornecedor 3, 26,3% que o Fornecedor 4 e 43,0% que o Fornecedor 2.

5.3 Análise dos resultados

Para a verificação dos resultados será realizado uma análise de sensibilidade sobre a solução encontrada, tendo o intuito de entender qual é o descritor que possui o maior impacto na avaliação e como ele pode influenciar para que a segunda melhor alternativa se torne a primeira, avaliando sua robustez e estabilidade. Essa análise é importante visto a incerteza associada aos julgamentos realizados pelos tomadores de decisão ao construir as matrizes de concordâncias para o cálculo dos *trade-offs*. Nesse contexto, será variado em pontos percentuais o *trade-off* do descritor que possui o maior impacto e, vale ressaltar que este critério, não necessariamente está relacionado ao maior valor de *trade-off*.

Para o desenvolvimento da análise de sensibilidade, inicia-se identificando qual é o descritor de maior impacto, que consequentemente, fará o Fornecedor 3 ter o maior valor global de desempenho econômico quando comparado ao Fornecedor 1. Este descritor pode ser obtido pela equação (58), ao multiplicar o *trade-off* final atual da solução pela diferença entre as duas primeiras alternativas, F 3 e F4. Esse cálculo é realizado para todos os descritores.

$$g = (v_i(a_{n-1}) - v_i(a^*)) \cdot w_i \quad (58)$$

Onde:

$v_i(a_{n-1})$ é o desempenho econômico do fornecedor que ficou em segundo lugar no descritor i ;

$v_i(a^*)$ é o desempenho econômico do fornecedor com melhor desempenho no descritor i ; e

w_i é o *trade-off* do descritor i .

O Quadro 20 dispõe as contribuições calculadas referente a cada um dos descritores, mas em termos de percentuais de impacto. O descritor de maior impacto será o que possui a maior porcentagem positiva de contribuição, tendo em vista que

os descritores com porcentagens negativas indicam que o desempenho econômico do Fornecedor 3 foi menor que o do Fornecedor 4.

Quadro 20 – Descritor de maior impacto

Descritores	1º	2º	% impacto
	F 4	F 3	
A 1.1	0,375	1,000	3,90%
A 1.2	1,000	0,395	-1,96%
A 1.3	1,000	0,905	-0,04%
A 1.4	0,000	0,123	0,20%
A 1.5	0,000	1,000	0,78%
A 2.1	1,000	0,288	-0,23%
A 2.2	1,000	1,000	0,00%
A 2.3	0,000	1,000	0,78%
A 2.4	0,000	1,000	0,29%
A 2.5	1,000	1,000	0,00%
A 3.1	0,359	1,000	2,91%
A 3.2	0,266	0,266	0,00%
A 3.3	1,000	0,000	-0,75%
A 4.1	0,333	0,333	0,00%
A 4.2	1,000	0,000	-0,13%
A 4.3	0,000	1,000	0,60%
A 4.4	0,230	1,000	0,21%
A 5.1	1,000	1,000	0,00%
A 5.2	1,000	0,109	-13,68%
A 5.3	0,410	0,123	-0,72%
B 1.1	0,123	0,410	0,96%
B 1.2	0,266	1,000	5,09%
B 1.3	0,288	1,000	4,93%
B 1.4	1,000	0,000	-1,69%
B 1.5	0,395	0,100	-0,26%
B 1.6	0,288	1,000	0,35%
B 2.1	1,000	0,359	-1,40%
B 2.2	1,000	0,120	-1,92%
B 2.3	1,000	1,000	0,00%
B 2.4	1,000	0,000	-4,68%
B 2.5	0,359	1,000	0,57%
B 2.6	1,000	1,000	0,00%
B 2.7	0,000	0,000	0,00%
C 1.1	0,000	0,432	1,58%
C 1.2	0,086	0,217	0,20%
C 1.3	0,000	0,484	0,74%
C 1.4	1,000	0,100	-0,61%
C 1.5	0,359	0,359	0,00%
C 1.6	1,000	0,333	-0,24%

Fonte: Elaborado pela autora.

Por meio do Quadro 20, percebe-se que o descritor de maior impacto foi o B 1.2, com 5,09% e que se refere ao histórico de atuação e reputação. Posteriormente a identificação do critério B 1.2, são calculados os novos *trade-offs* que resultam no maior valor de desempenho econômico global do Fornecedor 3 perante aos demais fornecedores. Assim, é aplicada a equação (59) no descritor de maior impacto, com o intuito de descobrir a taxa de variação necessária que reflita o comportamento esperado. Como forma de equalização, a equação (60) será atribuída aos restantes dos critérios, visto a necessidade de satisfazer a restrição de que a soma de todos os *trade-offs* precisa ser 100%.

$$w_i^{novo} = w_i \cdot (1 + tx) \quad (59)$$

$$w_j^{novo} = \frac{w_j \cdot (1 + w_i^{novo})}{(1 + w_i)} \quad (60)$$

Em que:

w_i^{novo} é o novo *trade-off* do descritor de maior impacto;

w_i é o *trade-off* atual do descritor de maior impacto;

tx é a taxa de variação que será aplicada no descritor de maior impacto;

w_j^{novo} é o novo *trade-off* dos demais descritores; e

w_j é o *trade-off* atual dos demais descritores.

O resultado desse processo está exposto no Quadro 21 e, indica um aumento de 128% no *trade-off* final do descritor de maior impacto para que o Fornecedor 3 passe a ser a melhor opção. Concluindo que o Fornecedor 1 é robusto até a variação de 128% do descritor histórico de atuação e reputação.

Quadro 21 – Resultado da análise

Critério de Maior Impacto	B 1.2
	Histórico de Atuação e Reputação
Taxa de Variação	128%
Critérios	Novos <i>Trade-offs</i>
A 1.1	5,65%
A 1.2	2,92%
A 1.3	0,36%

A 1.4	1,44%
A 1.5	0,71%
A 2.1	0,29%
A 2.2	0,71%
A 2.3	0,71%
A 2.4	0,26%
A 2.5	0,10%
A 3.1	4,11%
A 3.2	1,67%
A 3.3	0,68%
A 4.1	1,17%
A 4.2	0,11%
A 4.3	0,55%
A 4.4	0,24%
A 5.1	5,63%
A 5.2	13,89%
A 5.3	2,28%
B 1.1	3,02%
B 1.2	15,81%
B 1.3	6,27%
B 1.4	1,53%
B 1.5	0,80%
B 1.6	0,44%
B 2.1	1,98%
B 2.2	1,98%
B 2.3	0,80%
B 2.4	4,24%
B 2.5	0,80%
B 2.6	0,80%
B 2.7	7,75%
C 1.1	3,31%
C 1.2	1,38%
C 1.3	1,38%
C 1.4	0,62%
C 1.5	3,31%
C 1.6	0,32%

Fonte: Elaborado pela autora.

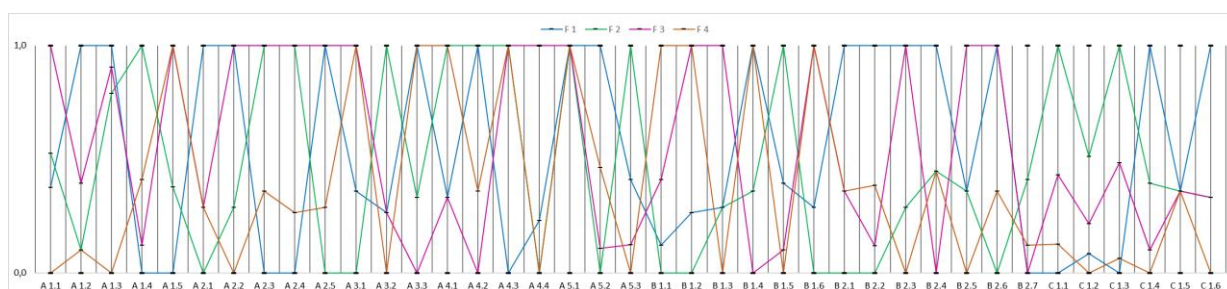
Com os novos *trade-offs* dos descritores, dispostos no Quadro 21, calcula-se novamente o valor econômico global das alternativas, confirmando que, após as modificações, o Fornecedor 3 obteria o melhor desempenho e poderia ser classificado como melhor opção do processo de seleção, destacando-se em 6,3% a mais que o Fornecedor 1, 13,1% que o Fornecedor 4 e 60% que o Fornecedor 2, conforme Quadro 22.

Quadro 22 – Novo desempenho econômico global

Valor Econômico Global Novo			
F 1	F 2	F 3	F 4
0,5080	0,3375	0,5398	0,4774

Fonte: Elaborado pela autora.

O perfil de impacto dos fornecedores está ilustrado pela Figura 50 e foram utilizados os dados iniciais de desempenho econômico de cada. O intuito é analisar e comparar visualmente o comportamento dos fornecedores em cada critério.

Figura 50 – Perfil de impacto dos fornecedores

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se uma divergência de comportamento entre os fornecedores, que pode ter sido ocasionado pelo fato de os dados serem, em sua grande maioria, fictícios e representarem possíveis comportamentos encontrados no mercado. Entretanto, é perceptível que os fornecedores 1 e 3, destacados em azul e rosa, respectivamente, obtiveram uma maior quantidade de descritores com os melhores desempenhos. O fornecedor 1 ganha destaque pelo seu desempenho em descritores onde o *trade-off* teria uma importância maior.

5.4 Conclusão

Neste capítulo foi demonstrado a implementação das técnicas a partir de uma situação hipotética com quatro possíveis fornecedores, assim como os comportamentos econômicos perante ao modelo construído. Inicialmente com o cálculo dos *trade-offs*, foi possível analisar as preferências do tomador de decisão e notar que não necessariamente o *trade-off* com o maior valor em porcentagem será o que terá maior impacto na decisão. Destaca-se, o PVF técnico e os descritores – eficiência no ciclo completo, garantia das baterias, histórico de atuação e reputação,

serviço de suporte pós-venda e profundidade de descarga – que obtiveram as maiores importâncias relativas dentro do seu nível hierárquico e dentro da avaliação global, respectivamente.

Em seguida, foram observados os desempenhos econômicos dos fornecedores tanto local (em cada descritor) quanto global (em cada fornecedor), evidenciando que o fornecedor 1 obteve o melhor resultado. Vale ressaltar que os dados são, em sua grande maioria, fictícios e que o objetivo desse modelo multicriterial é classificar o fornecedor que possui a melhor solução dentro dos descritores elencados e englobando a preferências do decisor.

Por fim, por meio da análise de sensibilidade foi possível compreender o impacto das mudanças dos *trade-offs* finais nos valores econômicos globais. Neste caso, a diferença entre os dois fornecedores melhores colocados inicialmente era de cerca de 8,6%, ocasionando na necessidade da variação do *trade-off* do descritor de maior impacto, B 1.2, em 128%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O BESS se caracteriza como uma tecnologia versátil que pode ser aplicada em toda a cadeia energética. No Brasil, sistemas de grande escala poderão ser associados a usinas já existentes, como forma de melhoria do desempenho energético dos ativos, devido aos problemas relacionados às características de intermitência de fontes como eólioelétrica e solar fotovoltaica. Dessa forma, ocasionando melhorias como, a diminuição da geração frustrada de energia elétrica decorrente dos cortes impostos pelo ONS, auxílio da regulação de frequência e tensão da rede à qual está associado e a oferta de melhores condições para comercialização de energia. Destaca-se a possibilidade de ocorrer, ainda em 2025, o leilão de reserva de capacidade com sistemas de armazenamento de energia elétrica.

Para garantir o sucesso da implantação de um BESS, empresas enfrentam desafios como a falta de regulação, carência de normas técnicas, preço alto das baterias, ausência de mão de obra qualificada e entre outros. Em consequência, o estabelecimento de um processo de seleção de fornecedores estruturado, que utiliza um modelo multicriterial, traz robustez e assertividade na escolha de um fornecedor. Além de conhecer a tecnologia que será empregada, existe a necessidade da adoção de um modelo de contrato que dará suporte na fase de escolha e durante a implantação do ativo. Ao adotar um contrato EPC *Turnkey*, maiores responsabilidades são alocadas ao fornecedor, visto que ele possui maiores condições de mitigar e gerenciar os riscos existentes.

Como forma de agregar não somente os custos da aquisição do BESS, mas também os aspectos importantes sobre a tecnologia e o contrato, foi desenvolvido um modelo multicriterial, baseado na escola francesa e com três níveis de hierarquia. Também foram adotadas as técnicas de AHP e MAUT para incorporar os comportamentos do decisor frente aos descritores quantitativos e qualitativos escolhidos. A não inclusão desses pontos na análise durante a fase de seleção de fornecedores, podem ocasionar problemas com o fornecedor escolhido durante a fase de construção e operação do ativo. Incluindo erros em instalações, falta de compatibilidade dos equipamentos com o sistema existente, sistemas com baixo desempenho, problemas de acionamento de garantia ou que poderiam ter sido

evitados com melhores processos durante o FAT. Esses comportamentos acarretam em gastos não planejados e podem afetar a segurança das pessoas.

Com a implementação do modelo desenvolvido, pode-se observar o desempenho econômico de quatro fornecedores em um cenário fictício. Apesar da divergência de comportamento dos fornecedores, analisada na Figura 50, os dois melhores fornecedores F1 e F3, obtiveram melhores desempenhos em uma maior quantidade de descritores. O fornecedor 1 ganha destaque pelo seu melhor desempenho em descritores onde o *trade-off* tem uma importância maior para o decisor, e sendo uma escolha robusta até a variação de 128% do descritor histórico de atuação e reputação.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se a adição de PVFs que tenham como objetivo incluir descritores relacionados à segurança, aos impactos socioambientais decorrentes das implementações de BESS e aos objetivos da empresa solicitante. Dessa maneira, agregando maior robustez ao modelo por serem tópicos que normalmente são considerados durante a seleção de fornecedores.

Descritores que podem ser incluídos são: métodos para supressão de incêndio, componente de detecção de incêndio, histórico de acidentes, plano de respostas a emergências, gestão de resíduos, descarte das baterias no final da vida útil, sistema de gestão ambiental, geração de empregos, qualificação de mão de obra local, diversidade e inclusão, salário digno, entre outros. A implementação do modelo e análise de sensibilidade em casos reais e, que transmitam as preferências de um grupo de decisores que seja especialista nas áreas que compõem o modelo, acrescentará maior assertividade na tomada de decisão. Apesar do modelo ser voltado ao escopo presente em contratos EPC *Turnkey*, recomenda-se a implementação do modelo abordando aspectos de outros tipos de contratos. Por fim, aderir ao uso de *softwares*, como o ELECTRE, MACBETH e PROMETHEE, que realizem os cálculos de desempenho dos fornecedores, poderá trazer maior agilidade para a análise de diversos cenários.

REFERÊNCIAS

ABDELRAHMAN, M.; ZAYED, T.; ELYAMANY, A.. Best-Value Model Based on Project Specific Characteristics. **Journal Of Construction Engineering And Management**, v. 134, n. 3, p. 179-188, mar. 2008.

ABNT. **ABNT NBR IEC 62933-2-1 Sistema de armazenamento de energia (EESS) – Parte 2-1: Parâmetros da unidade e métodos de ensaio – Especificação geral**. Rio de Janeiro: 2023. 45 p.

ABNT. **ABNT NBR ISO 9001: Sistemas de gestão de qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 44 p.

ADIDA, E.; PERAKIS, G.. The effect of supplier capacity on the supply chain profit. **Annals Of Operations Research**, v. 223, n. 1, p. 1-52, 1 maio 2014.

AHMED, Mushfiqul; NAHID-AL-MASOOD, Nahid Al; DEEBA, Shohana Rahman. Impact of Integrating Battery Energy Storage System on Harmonic Distortion in an Industrial Microgrid. **2020 International Conference On Smart Grids And Energy Systems (Sges)**, p. 712-717, nov. 2020.

ALMEIDA, A. T.. Multicriteria decision model for outsourcing contracts selection based on utility function and ELECTRE method. **Computers & Operations Research**, Recife, v. 34, p. 3569-3574, dez. 2007.

AMERICAN CLEAN POWER. **Clean Power Annual Market Report 2023: ACP**, 2024. 44 p. Disponível em: <https://cleanpower.org/resources/clean-power-annual-market-report-2023/#download-report-2023>. Acesso em: 10 jan. 2025.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION. **ATS2017: Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems**. 2017. 262 p.

ANEEL. **Regulamentação para o Armazenamento de Energia Elétrica, incluindo Usinas Hidrelétricas Reversíveis**: relatório de análise de impacto regulatório nº 1/2023-sgm-sce-std-ste/aneel. Brasília: Aneel, 2023. 109 p. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/air2023001sgm.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ANEEL. **Relatório de Resultados da Chamada de P&D Estratégico ANEEL N.º 21**: arranjos técnicos e comerciais para a inserção de sistemas de armazenamento de energia no setor elétrico brasileiro. Brasília: ANEEL, 2024. 55 p. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/242638>. Acesso em: 10 jan. 2025.

ANGENENDF, Georg. **Guide to Factory Acceptance Tests (FAT) for BESS**. Disponível em: <https://www.accure.net/blogs/factory-acceptance-test-bess>. Acesso em: 23 abr. 2025.

ARANHA, B. G.. **Gerenciamento de projetos de subestações de alta tensão em parques eólicos: Estudo de caso**. 2022. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de

Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2022.

ASSMANN, K. A.. **Testes e ensaios elétricos em subestações de média tensão**. 2022. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

BANA e COSTA, C. A.. **Processo de apoio à decisão: actores e acções; estrutura e avaliação**. 1993. 34 p.

BARRERA, F.; SEGURA, M.; MAROTO, C.. Sustainable Technology Supplier Selection in the Banking Sector. **Mathematics**, v. 10, n. 11, p. 1919, 3 jun. 2022.

BASCIANO, F.. **What is a transformer K-factor rating?** non-linear transformer loads proliferate. ABB, 2025. 4 p.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis**. Boston: Springer US, 2002.

BLAKENEY, M.. **Legal aspects of the transfer of technology to developing countries**. Oxford: Esc Publishing, 1989. 200 p.

BORCHARDT, M.; SELLITTO, M. A.; PEREIRA, G. M.. Serviços de pós-venda para produtos fabricados em base tecnológica. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 2, 16 jul. 2008.

BOON, J. A.; GOFFIN, R.. **Les contrats ‘clé en main’**. 2. ed. Paris: Masson, 1987.

BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T.; PIRLOT, M.; PERNY, P.; TSOUKIÀS, A.; VINCKE, P.. **Evaluation and Decision Models: a critical perspective**. Boston: Springer US, 2000.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 1.030, de 26 de julho de 2022. Consolida atos regulatórios relativos à Resposta da Demanda; à prestação de serviços ancilares e adequação de instalações de centrais geradoras; procedimentos e critérios para apuração e pagamento de constrained-off de usinas eólicas; e para os participantes do Mecanismo de Realocação de Energia; e ao Excedente Financeiro e das Exposições Financeiras na CCEE. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 26 jul. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria GM/MME nº 812, de 26 de setembro de 2024. Diretrizes para a realização do Leilão para Contratação de Potência Elétrica, a partir de novos sistemas de armazenamento que acrescentem potência elétrica ao Sistema Interligado Nacional – SIN. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 188, p. 84, 27 set. 2024.

BU, Battery University. **BU-101: When Was the Battery Invented?** 2022. Disponível em: <https://batteryuniversity.com/article/bu-101-when-was-the-battery-invented>. Acesso em: 08 jan. 2025.

CAKAR, T.; ÇAVUŞ, B. Supplier selection process in dairy industry using fuzzy TOPSIS method. **Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications**, v. 4, n. 1, p. 82–98, 15 abr. 2021.

CARMO, L. U.. **Contratos de construção de grandes obras**. 2012. 279 f. Tese (Doutorado) - Curso de Direito, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CASTRO, R. P. A. C.; GONÇALVES, F. S. P.; **Compliance e Gestão de Riscos nas Empresas Estatais**, 3. ed. Belo Horizonte, MG: Fórum, 2020.

CATL. **Relatório Anual 2023**. Recife: Catl, 2024. 231 p. Disponível em: https://www.catl.com/uploads/1/file/public/202403/20240321205248_hda9h48qci.pdf. Acesso em: 19 abr. 2025.

CEA, Clean Energy Associates. **BESS Quality Risks**: a summary of the most common battery energy storage system manufacturing defects. 2024. 15 p. Disponível em: <https://info.cea3.com/hubfs/CEA%20BESS%20Quality%20Risks%20Report.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2025.

CEA, Clean Energy Associates. **Best of the BESS Suppliers**. 2024b. Disponível em: <https://www.cea3.com/cea-blog/best-of-the-bess-suppliers>. Acesso em: 31 mar. 2025.

CHAI, N.; CHEN, Z.; ZHOU, W.; LODEWIJKS, G.. Sustainable battery supplier selection of battery swapping station using an interval type-2 fuzzy method based on the cumulative prospect theory. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 495, p. 145007, mar. 2025.

COSTA, C. M.. **A aplicação do processo de due diligence no cadastro de fornecedores: uma proposta de manual de boas práticas**. 2021. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2021.

CRA. **Unlocking the Potential: Navigating Key Considerations in Battery Energy Storage System for Business Cases**. Charles River Associates, 2023. 23 p.

CLARK, Waylon; BORNEO, Dan. **BESS Project Commissioning**. Washington: Sandia National Laboratories, 2021. 13 slides, color.

CNESA, CHINA ENERGY STORAGE ALLIANCE. **Energy Storage Industry White Paper 2024**: summary version: 2024. 36 p. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/55826ab6e4b0a6d2b0f53e3d/t/674eb21e2833fb239c662f62/1733210672675/CNESA+Energy+Storage+Industry+WhitePaper+2024%28Summary+Version%29.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

DEUS, A. R. S.. **O Contrato de EPC**: engineering, procurement and construction. São Paulo: Almedina, 2019. 2019 p. ISBN 9786556278926.

DISSANAYAKE, D. M. N.. **Fuzzy multi-attribute analysis (FMAA) model for Engineering-Procurement-Construction (EPC) contractor selection**. 2017. 229 f.

Tese (Doutorado) - Curso de Civil Engineering, Queensland University Of Technology, 2017.

DNV. **McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations**. 2020. 78 p. Disponível em: <https://www.aps.com/-/media/APS/APSCOM-PDFs/About/Our-Company/Newsroom/McMickenFinalTechnicalReport.ashx?la=en&hash=50335FB5098D9858BFD276C40FA54FCE>. Acesso em: 26 jan. 2025.

DONALDSON, T.; PRESTON, L. E.. The Stakeholder Theory of the Corporation: concepts, evidence, and implications. **The Academy Of Management Review**, v. 20, n. 1, p. 65-91, jan. 1995.

DONATO, Raphael. **A influência dos riscos nos contratos de EPC Turnkey**. 2015. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

EATON. **XStorage Container C20 BESS**. Disponível em: <https://www.eaton.com/sg/en-us/catalog/energy-storage/xstorage-container-c20-bess.html>. Acesso em: 17 jan. 2025.

EIA. **Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook**. Washington: U.S. Energy Information Administration, 2023. 14 p.

EIA. **Capital Cost and Performance Characteristics for Utility-Scale Electric Power Generating Technologies**. Washington: U.S. Energy Information Administration, 2024. 183 p.

EMBER. **European Electricity Review 2024**. Reino Unido: Ember, 2024. 95 p. Disponível em: <https://ember-energy.org/app/uploads/2024/10/European-Electricity-Review-2024.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

ENEL. **Engajamento comunitário: um aspecto-chave na aquisição de energia renovável**. 2021. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/historias/articles/2021/06/criar-beneficios-comunidades-locais>. 18

ENGIE. **Projeto “Um investimento, múltiplas funções: Sistema de Armazenamento de Energia” PD-00403-0042/2016**. 2024. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=HmVagC63_rs. Acesso em: 23 fev. 2025.

EPE. **Balanço Energético Nacional: ano base 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. 275 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2024.

EPE. **Balanço Energético Nacional: ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. 275 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2024.

EPE. **Sistemas de Armazenamento em Baterias**: aplicações e questões relevantes para o planejamento. Brasília: EPE, 2019. 36 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf. Acesso em: 29 jan. 2025.

ESPÍNDOLA, M.. **UFMG inaugura sistemas de armazenamento de energia em baterias**: equipamentos foram instalados no campus Pampulha mediante convênio com a Cemig. 2023. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/ufmg-inaugura-sistemas-de-armazenamento-de-energia-em-baterias>. Acesso em: 23 fev. 2025.

EVESCO. **Battery Energy Storage System Components**. Disponível em: <https://www.power-sonic.com/blog/battery-energy-storage-system-components/>. Acesso em: 21 jan. 2025.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHROGOTT, M.. **Multiple Criteria Decision Analysis**: state of the art surveys. New York: Springer New York, 2005. (International Series in Operations Research & Management Science).

FIGUEIREDO, C. E. J. F.; PEDROSA, M. F.; FONSECA, I. E.. Implementação e Demonstração de Ataques Cibernéticos em Sistemas SCADA. **XXXVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais**, Florianópolis, nov. 2020.

FINOCCHIO, M. A. F.. **Determinação da temperatura de enrolamentos de transformadores a seco e de suas perdas totais baseado em redes neurais artificiais**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

FINOCCHIO, M. A. F.; FERREIRA, J. G.; FIGUEIREDO, O. A.; MENDONÇA, M.. Comparação entre transformadores a óleo e a seco. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: 2016.

FRACTAL. **Fractal EMS: Turnkey Energy Storage and Solar Controls**. Austin: 2025. 37 p.

FSET Consultoria em Energia. **O que é curtailment e por que esse é o novo pesadelo do setor elétrico?** 2024. Disponível em: <https://eixos.com.br/politica/o-que-e-curtailment-e-por-que-esse-e-o-novo-pesadelo-do-setor-eletrico/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

GAO, X.; DONG, H.; SU, C.; DAI, Y.; LIU, Y.; PARKIN, I. P.; CARMALT, C. J.; HE, G.. Payback trade-offs from the electrolyte design between energy efficiency and lifespan in zinc-ion batteries. **Energy & Environmental Science**, v. 18, n. 1, p. 13-18, 2025.

GHODSYPOUR, S.H.; O'BRIEN, C.. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. **International Journal Of Production Economics**, v. 56-57, p. 199-212, set. 1998.

GIZ; MME. **Projeto DKTi Armazenamento / E2Brasil**: apresentação dos resultados. Florianópolis, 2022. 16 p. Disponível em: https://cooperacaobrasil-alemanha.com/wp-content/uploads/2022/12/E2-Analise_armazenamento.pdf. Acesso em: 30 dez. 2024.

GHOSH, S.; ALI, M. H.; DASGUPTA, D.. Effects of Cyber-Attacks on the Energy Storage in a Hybrid Power System. **2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (Pesgm)**, [S.L.], p. 1-5, ago. 2018.

GÓMEZ, L. A.; COELHO, C. C. S. R.; DUCLOS FILHO, E. O.; XAVIER, S. M. T.. **Contratos EPC Turnkey**. Florianópolis: Visual Books, 2006. 112 p.

HENRIQUES JUNIOR, M. F.; PINTO, R. G. D.; OLIVEIRA, C. C. N.; AZEVEDO, J. T. O.; ROSAS, P. A. C.. **Sistemas de Armazenamento de Energia – Tecnologia, Regulação e Políticas Públicas**. Rio de Janeiro: INT, 2017. 132 p.

HLAL, M. I.; RAMACHANDARAMURTHY, V. K.; SARHAN, A.; POURYEKTA, A.; SUBRAMANIAM, U.. Optimum battery depth of discharge for off-grid solar PV/battery system. **Journal Of Energy Storage**, v. 26, p. 100999, dez. 2019.

HU, X.; ZOU, C.; ZHANG, C.; LI, Y.. Technological Developments in Batteries: a survey of principal roles, types, and management needs. **IEEE Power And Energy Magazine**, v. 15, n. 5, p. 20-31, set. 2017.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. **Science Of The Total Environment**, v. 409, n. 19, p. 3578-3594, set. 2011.

HUGHES, T. P.. **Networks of Power**: electrification in western society, 1880 - 1930. 2. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1983. 492 p.

IBM. **X-Force Threat Intelligence Index 2024**. Ibm Corporation, 2024. 65 p. Disponível em: <https://newsletter.radensa.ru/wp-content/uploads/2024/03/IBM-XForce-Threat-Intelligence-Index-2024.pdf>. Acesso em: 08 maio 2025.

IEA. **Batteries and Secure Energy Transitions**. Paris: IEA, 2024. 159 p. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>. Acesso em: 29 dez. 2024.

IEA. **Energy Statistics Data Browser**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 26 dez. 2024.

IRENA. **Renewable power generation costs in 2023**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2024. 211 p.

ISRAEL, E. C. M.. **A decision support model to perform sustainable choices concerning the selection of material suppliers in the solar energy industry**. 2024. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Management And Industrial Strategy, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa, 2024.

JANNUZI, G. D. M.; SWISHER, J.; REDLINGER, R. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: Oferta, demanda e suas interfaces**. 2. ed. Campinas: IEL Brasil, 2018.

JUPITER POWER; RENEWANCE. **Voyager Energy Storage Decommissioning Plan**. 2025. 31 p.

KEENEY, R. L.. The art of assessing multiattribute utility functions. **Organizational Behavior And Human Performance**, v. 19, n. 2, p. 267-310, ago. 1977.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H.. **Decisions with Multiple Objectives**: preferences and value trade-offs. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

KHAN, S. A.; HUSSAIN, I.; THAKUR, A. K.; YU, S.; LAU, K. T.; HE, S.; DONG, K.; CHEN, J.; XIANGRONG, L.; AHMAD, M.; ZHAO, J.. Advancements in battery thermal management system for fast charging/discharging applications. **Energy Storage Materials**, v. 65, p. 103144, fev. 2024.

KIKER, G. A.; BRIDGES, T. S.; VARGHESE, A.; SEAGER, T. P.; LINKOV, I.. Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 1, n. 2, p. 95-108, 1 abr. 2005.

LAZARD. **LCOE LEVELIZED COST OF ENERGY+**. Brasília: Lazard, 2024. 48 p. Disponível em: https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoeplus-june-2024-_vf.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

LEAL, E. S.. **Avaliação Da Operação De Um Sistema De Armazenamento De Energia Com Baterias De Chumbo**. 2024. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024.

LEITE, L. H. M.; TEIXEIRA, L. G.; BOAVENTURA, W. C.; CARDOSO, E. N.; MAIA, A. S.; RAMOS, F. O.; CAMPOS, G. E. M.; RAMOS, D. C.; ALVES, D. D. S.; PASSOS, A. V. A. G.. Impactos de um Sistema de Armazenamento de Energia de 1 MW na Rede de Distribuição de 13,8 kV: desafios técnicos, econômicos e regulatórios. **XXV SNPTEE**, Belo Horizonte, 2019.

LIMA, D. F.; ROLIM, L. A. G.; ARIOLI, V. T.; SILVA, C. C. V. de F. A. da. Aprimorando a segurança em sistemas de armazenamento de energia com baterias: análise de acidentes e medidas de mitigação. **Anais do 9º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída (CBGD 2024)**, Belo Horizonte, 30 out. 2024.

LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R.. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 1, p. 17-34, mar. 2015.

LUO, X.; WANG, J.; DOONER, M.; CLARKE, J.. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. **Applied Energy**, v. 137, p. 511-536, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>. Acesso em: 14 jan. 2025.

MCTI. **Fator médio - Inventários corporativos**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 28 nov. 2024.

MESQUITA, M. A. B.. **Contratos Chave na Mão (Turnkey) e EPC (Engineering, Procurement and Construction): Primeira Aproximação – Conteúdo e Qualificações. (Coleção Direito da Construção - IBDiC)**. São Paulo: Almedina, 2019. 198 p. ISBN 9786556278872.

MIN, H.. International Supplier Selection. **International Journal Of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 24, n. 5, p. 24-33, 1 jun. 1994.

MME. **Geração de energia elétrica tem a menor emissão de CO2 dos últimos onze anos**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/geracao-de-energia-eletrica-tem-a-menor-emissao-de-co2-dos-ultimos-onze-anos>. Acesso em: 28 dez. 2024.

MOURA. **Sistema de Armazenamento de Energia**. 2022. Disponível em: https://dicas.ivanfm.com/equipamentos/baterias/CATALOGO_MOURA_BEES.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025.

MURDOCH, J.; HUGHES, W.. **Construction Contracts: Law and Management**. 3. ed. London: Spon Press, 2000. 416 p.

NEVES, Lincoln Wolf de Almeida. **Integração do processo de compra estratégica com as ferramentas de compra eletrônica**. 2003. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

NOBEL PRIZE. **Popular information: The Nobel Prize in Chemistry 2019**. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/popular-information/>. Acesso em: 08 jan. 2025.

NREL. **Annual Technology Baseline**. 2025. Disponível em: https://atb.nrel.gov/electricity/2024/utility-scale_battery_storage. Acesso em: 14 maio 2025.

ONS. **Relatório de Análise de Perturbação - RAP: análise da perturbação do dia 15/08/2023 às 08h30min envolvendo o sin**. Rio de Janeiro, 2023. 504 p. Disponível em: <https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/RAP%202023>.

08.15%2008h030min%20vers%C3%A3o%20final.pdf#search=rap. Acesso em: 29 dez. 2024.

ORR PROTECTION. **Seven fire protection solutions in BESS installations.**

Disponível em: <https://www.orrprotection.com/applications/power-generation-overview/battery-energy-storage-systems>. Acesso em: 25 jan. 2025.

PETROBRAS; ANEEL. **Armazenamento e fontes renováveis: avanços científicos, competitividade e transição energética.** 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Z5QNbSxdDdY>. Acesso em: 23 fev. 2025.

POLLARD, Matt; DONG, Xuyang. China's Massive Investment into Cleantech R&D and Manufacturing is Catalysing the Global Energy Transition. **Climate Energy Finance**, 9 p. 07 jun. 2024.

PRAJOGO, Daniel I.. The strategic fit between innovation strategies and business environment in delivering business performance. **International Journal Of Production Economics**, v. 171, p. 241-249, jan. 2016.

RIBOLDI, V. B.; RICCIARDI, T. R.; BLOCK, P. A. B.; RISSI, G. F.; JI, T.; CHAI, J.. Challenges and Experiences on the Installation of a Battery Energy Storage System in a Low Voltage Network. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, 26., 2021, Online. **Anais. CIRED**, 2022.

ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide à la décision.** Economica, Paris, 1985.

ROY, B.. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding.** Boston: Springer Us, 1996.

ROY, B.; VINCKE, P.. Multicriteria analysis: survey and new directions. **European Journal of Operational Research**, v. 8, n. 3, p. 207-218, nov. 1981.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.** New York; London: McGraw-Hill International Book Co, 1980.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** **International Journal Of Services Sciences**, p. 83, 2008. Inderscience Publishers.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G.. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process.** 2. ed. New York: Springer, 2012. 343 p.

SABIHUDDIN, S.; KIPRAKIS, A.; MUELLER, M.. A Numerical and Graphical Review of Energy Storage Technologies. **Energies**, v. 8, n. 1, p. 172-216, 29 dez. 2014.

SALAS, C. S. S.; SILVA, K. A.; ANDRADE, J.; NASCIMENTO, H. H. S.; GONCALVES, A. M. M.; NASCIMENTO, J. R. C.. Avaliação Econômica de tecnologias de baterias para sistemas fotovoltaicos isolados de energia elétrica. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Vitória. **Anais. SENDI**, 2023.

SANTOS, R. B.. **Projeto PD-2866-0460/2016 - Sistema Híbrido Integrado com Armazenamento de Energia para Áreas Isoladas**. Copel, 2024. 16 slides.

SAVION. **Appendix I: Decommissioning Protocols Plan**. New York: 2022. 33 p.

SCHMIDT, A. M. A.. **Processo de Apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e MACBETH**. 1995. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

SILVA, P. L. T. **Sistema de Armazenamento de Energia Utilizando Bateria com Aplicação para Suavização de Potência**. 2018. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia de Geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

SISCOMEX. **Incoterms 2020 - Tabela-resumo**. Disponível em: <https://www.gov.br/siscomex/pt-br/servicos/aprendendo-a-exportar/7-negociacao-com-o-importador/tabela-resumo-incoterms-2020>. Acesso em: 17 abr. 2025.

SOARES, L. T.. **Identificação de elementos de uma matriz de risco aplicada a contratos de obras públicas de infraestrutura: uma aplicação em empreendimentos de geração de energia do tipo engineering, procurement and construction - EPC Turnkey**. 2023. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

SOLARPOWER EUROPE. **European Market Outlook for Battery Storage 2024-2028**. 2024. 60 p. Disponível em: https://api.solarpowereurope.org/uploads/1424_SPE_BEES_report_12_mr_84bdb6c5ae.pdf. Acesso em: 11 jan. 2025.

SPEARMINT ENERGY; WESTWOOD. **Decommissioning Plan: Midwater Battery Energy Storage System Project**. 2024. 18 p.

UMANS, Stephen D.. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7. ed. Porto Alegre: Amg, 2014. 724 p.

UNITED NATIONS. **Conferences | Environment and sustainable development**. Disponível em: <https://www.un.org/en/conferences/environment>. Acesso em: 13 nov. 2024.

WARNER, J. T.. **Lithium-Ion Battery Chemistries: a primer**. Elsevier, 2019. 353 p.

UNFCCC. **Kyoto Protocol**. Disponível em: https://unfccc.int/kyoto_protocol. Acesso em: 13 nov. 2024.

WEG. **BESS - Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias**. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Armazenamento-de-Energia-em-Baterias/Escala-de-utilidades-%28Utility-Scale%29/Armazenamento-de-Energia---Escala-de-Utilidades-%28Utility-Scale%29/p/MKT_WDC_BRAZIL_PRODUCT_SISTEMA_ESSW_UTILITY_SCALE. Acesso em: 17 jan. 2025.

WEN-JIE, H.; XIAO-FENG, J.. The Construction and Implementation of Assessment Indicator System of Suppliers Based on Fuzzy Integral. **2006 International Conference On Management Science And Engineering**, p. 618-622, out. 2006.

YOUNG, S.; HAMILL, J.; WHEELER, Colin; DAVIES, J. R.. **International market entry and development**: strategies and management. Hemel Hempsted: Harvester Wheatsheaf, 1989. 305 p.

ZANCHIM, Kleber Luiz. **Contratos de Parceria Público-Privada (PPP): Risco e Incerteza**. São Paulo: Quartier Latin, 2012. 238 p.

ZAMBONI, L.; CASTRO, B.. Modelos de Negócio em Armazenamento de Energia. **Canal Energia**, jul. 2023.

ZHAO, G.; WANG, X.; NEGNEVITSKY, M.; LI, C.. An up-to-date review on the design improvement and optimization of the liquid-cooling battery thermal management system for electric vehicles. **Applied Thermal Engineering**, v. 219, jan. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A – *Trade-off* dos critérios

Tabela 44 – Matriz de concordância e resultados (A 1)

A 1	A 1.1	A 1.2	A 1.3	A 1.4	A 1.5	Autovetor	Norma	Trade-off
A 1.1	1	3	9	5	7	3,936	0,510	51,00%
A 1.2	1/3	1	7	3	5	2,036	0,264	26,38%
A 1.3	1/9	1/7	1	1/5	1/3	0,254	0,033	3,29%
A 1.4	1/5	1/3	5	1	3	1,000	0,130	12,96%
A 1.5	1/7	1/5	3	1/3	1	0,491	0,064	6,36%
CR	5,42%							

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 45 – Matriz de concordância e resultados (A 2)

A 2	A 2.1	A 2.2	A 2.3	A 2.4	A 2.5	Autovetor	Norma	Trade-off
A 2.1	1	1/3	1/3	1	5	0,889	0,142	14,16%
A 2.2	3	1	1	3	5	2,141	0,341	34,10%
A 2.3	3	1	1	3	5	2,141	0,341	34,10%
A 2.4	1	1/3	0	1	3	0,803	0,128	12,78%
A 2.5	1/5	1/5	0	1/3	1	0,306	0,049	4,87%
CR	2,36%							

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 46 – Matriz de concordância e resultados (A 3)

A 3	A 3.1	A 3.2	A 3.3	Autovetor	Norma	Trade-off
A 3.1	1	3	5	2,466	0,637	63,70%
A 3.2	1/3	1	3	1,000	0,258	25,83%
A 3.3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	10,47%
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 47 – Matriz de concordância e resultados (A 4)

A 4	A 4.1	A 4.2	A 4.3	A 4.4	Autovetor	Norma	Trade-off
A 4.1	1	7	3	5	3,201	0,564	56,38%
A 4.2	1/7	1	1/5	1/3	0,312	0,055	5,50%
A 4.3	1/3	5	1	3	1,495	0,263	26,34%
A 4.4	1/5	3	1/3	1	0,669	0,118	11,78%
CR	4,40%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 48 – Matriz de concordância e resultados (A 5)

A 5	A 5.1	A 5.2	A 5.3	Autovetor	Norma	Trade-off
A 5.1	1	1/3	3	1,000	0,258	25,83%
A 5.2	3	1	5	2,466	0,637	63,70%
A 5.3	1/3	1/5	1	0,405	0,105	10,47%
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 49 – Matriz de concordância e resultados (B 1)

B 1	B 1.1	B 1.2	B 1.3	B 1.4	B 1.5	B 1.6	Autovetor	Norma	Trade-off
B 1.1	1	1/3	1/3	3	5	7	1,506	0,164	16,45%
B 1.2	3	1	1	5	7	9	3,133	0,342	34,21%
B 1.3	3	1	1	5	7	9	3,133	0,342	34,21%
B 1.4	1/3	1/5	1/5	1	3	5	0,765	0,084	8,35%
B 1.5	1/5	1/7	1/7	1/3	1	3	0,400	0,044	4,37%
B 1.6	1/7	1/9	1/9	1/5	1/3	1	0,221	0,024	2,42%
CR	3,61%								

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 50 – Matriz de concordância e resultados (B 2)

B 2	B 2.1	B 2.2	B 2.3	B 2.4	B 2.5	B 2.6	B 2.7	Autovetor	Norma	Trade-off
B 2.1	1	1	3	1/3	3	3	1/5	1,088	0,108	10,78%
B 2.2	1	1	3	1/3	3	3	1/5	1,088	0,108	10,78%
B 2.3	1/3	1/3	1	1/5	1	1	1/7	0,440	0,044	4,36%
B 2.4	3	3	5	1	5	5	1/3	2,332	0,231	23,11%
B 2.5	1/3	1/3	1	1/5	1	1	1/7	0,440	0,044	4,36%
B 2.6	1/3	1/3	1	1/5	1	1	1/7	0,440	0,044	4,36%
B 2.7	5	5	7	3	7	7	1	4,266	0,423	42,27%
CR	3,11%									

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 51 – Matriz de concordância e resultados (C 1)

C 1	C 1.1	C 1.2	C 1.3	C 1.4	C 1.5	C 1.6	Autovetor	Norma	Trade-off
C 1.1	1	3	3	5	1	7	2,608	0,321	32,06%
C 1.2	1/3	1	1	3	1/3	5	1,089	0,134	13,38%
C 1.3	1/3	1	1	3	1/3	5	1,089	0,134	13,38%
C 1.4	1/5	1/3	1/3	1	1/5	3	0,487	0,060	5,99%
C 1.5	1	3	3	5	1	7	2,608	0,321	32,06%
C 1.6	1/7	1/5	1/5	1/3	1/7	1	0,255	0,031	3,13%
CR	2,05%								

Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE B – Matriz de concordância dos critérios

Tabela 52 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 1.2

A 1.2	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	9	3,708	0,596	1,000
N2	1/3	1	3	7	1,627	0,262	0,395
N3	1/7	1/3	1	3	0,615	0,099	0,100
N4	1/9	1/7	1/3	1	0,270	0,043	0,000
CR	3,89%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 53 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 1.4

A 1.4	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	7	3,201	0,564	1,000
N2	1/3	1	3	5	1,495	0,263	0,410
N3	1/5	1/3	1	3	0,669	0,118	0,123
N4	1/7	1/5	1/3	1	0,312	0,055	0,000
CR	4,40%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 54 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.1

A 2.1	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	2,466	0,637	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,258	0,288
N3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	0,000
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 55 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.2

A 2.2	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	2,466	0,637	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,258	0,288
N3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	0,000
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 56 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.3

A 2.3	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 57 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.4

A 2.4	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,669	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,243	0,266
N3	1/7	1/3	1	0,362	0,088	0,000
CR	0,61%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 58 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 2.5

A 2.5	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	2,466	0,637	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,258	0,288
N3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	0,000
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 59 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 3.1

A 3.1	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 60 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 3.2

A 3.2	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,669	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,243	0,266
N3	1/7	1/3	1	0,362	0,088	0,000
CR	0,61%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 61 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 3.3

A 3.3	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	9	3,000	0,672	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,265	0,333
N3	1/9	1/5	1	0,281	0,063	0,000
CR	2,51%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 62 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 4.1

A 4.1	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	9	3,000	0,672	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,265	0,333
N3	1/9	1/5	1	0,281	0,063	0,000
CR	2,51%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 63 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 4.2

A 4.2	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 64 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 4.3

A 4.3	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	2,466	0,637	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,258	0,288
N3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	0,000
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 65 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 5.1

A 5.1	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,669	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,243	0,266
N3	1/7	1/3	1	0,362	0,088	0,000
CR	0,61%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 66 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 5.2

A 5.2	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	9	3,708	0,579	1,000
N2	1/3	1	5	7	1,848	0,288	0,464
N3	1/7	1/5	1	5	0,615	0,096	0,109
N4	1/9	1/7	1/5	1	0,237	0,037	0,000
CR	9,34%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 67 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de A 5.3

A 5.3	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	7	3,201	0,564	1,000
N2	1/3	1	3	5	1,495	0,263	0,410
N3	1/5	1/3	1	3	0,669	0,118	0,123
N4	1/7	1/5	1/3	1	0,312	0,055	0,000
CR	4,40%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 68 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.1

B 1.1	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	7	3,201	0,564	1,000
N2	1/3	1	3	5	1,495	0,263	0,410
N3	1/5	1/3	1	3	0,669	0,118	0,123
N4	1/7	1/5	1/3	1	0,312	0,055	0,000
CR	4,40%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 69 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.2

B 1.2	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,669	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,243	0,266
N3	1/7	1/3	1	0,362	0,088	0,000
CR	0,61%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 70 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.3

B 1.3	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	2,466	0,637	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,258	0,288
N3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	0,000
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 71 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.4

B 1.4	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 72 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.5

B 1.5	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	9	3,708	0,596	1,000
N2	1/3	1	3	7	1,627	0,262	0,395
N3	1/7	1/3	1	3	0,615	0,099	0,100
N4	1/9	1/7	1/3	1	0,270	0,043	0,000
CR	3,89%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 73 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 1.6

B 1.6	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	2,466	0,637	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,258	0,288
N3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	0,000
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 74 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.1

B 2.1	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 75 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.3

B 2.3	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	2,466	0,637	1,000
N2	1/3	1	3	1,000	0,258	0,288
N3	1/5	1/3	1	0,405	0,105	0,000
CR	3,32%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 76 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.5

B 2.5	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 77 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.6

B 2.6	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 78 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de B 2.7

B 2.7	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	7	3,201	0,564	1,000
N2	1/3	1	3	5	1,495	0,263	0,410
N3	1/5	1/3	1	3	0,669	0,118	0,123
N4	1/7	1/5	1/3	1	0,312	0,055	0,000
CR	4,40%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 79 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.1

C 1.1	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	9	3,409	0,571	1,000
N2	1/3	1	3	7	1,627	0,272	0,432
N3	1/5	1/3	1	3	0,669	0,112	0,127
N4	1/9	1/7	1/3	1	0,270	0,045	0,000
CR	3,89%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 80 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.2

C 1.2	N1	N2	N3	N4	N5	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	7	7	3,743	0,495	1,000
N2	1/3	1	3	5	7	2,036	0,269	0,513
N3	1/5	1/3	1	3	5	1,000	0,132	0,217
N4	1/7	1/5	1/3	1	5	0,544	0,072	0,086
N5	1/7	1/7	1/5	1/5	1	0,241	0,032	0,000
CR	8,51%							

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 81 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.3

C 1.3	N1	N2	N3	N4	N5	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	5	7	9	3,936	0,510	1,000
N2	1/3	1	3	5	7	2,036	0,264	0,484
N3	1/5	1/3	1	3	5	1,000	0,130	0,203
N4	1/7	1/5	1/3	1	3	0,491	0,064	0,064
N5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,254	0,033	0,000
CR	5,42%							

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 82 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.4

C 1.4	N1	N2	N3	N4	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	9	3,708	0,596	1,000
N2	1/3	1	3	7	1,627	0,262	0,395
N3	1/7	1/3	1	3	0,615	0,099	0,100
N4	1/9	1/7	1/3	1	0,270	0,043	0,000
CR	3,89%						

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 83 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.5

C 1.5	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	7	2,759	0,649	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,279	0,359
N3	1/7	1/5	1	0,306	0,072	0,000
CR	5,59%					

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 84 – Matriz de concordância – Níveis de impacto de C 1.6

C 1.6	N1	N2	N3	Autovetor	Norma	v(.)
N1	1	3	9	3,000	0,672	1,000
N2	1/3	1	5	1,186	0,265	0,333
N3	1/9	1/5	1	0,281	0,063	0,000
CR	2,51%					

Fonte: Elaborado pela autora.