



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE CABO DE SANTO AGOSTINHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FÍSICA

PAULO PEREIRA DE ALBUQUERQUE JÚNIOR

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS AHP E ANP
PARA CLASSIFICAÇÃO DE ACUMULADORES DE ENERGIA
ELÉTRICA APLICADOS A RECURSOS ENERGÉTICOS
DISTRIBUÍDOS

CABO DE SANTO AGOSTINHO - PE

2023

PAULO PEREIRA DE ALBUQUERQUE JÚNIOR

Estudo comparativo entre os métodos AHP e ANP para classificação
de acumuladores de energia elétrica aplicados a recursos energéticos
distribuídos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FÍSICA da Unidade Acadêmica de Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em ENGENHARIA FÍSICA.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Roger Ferreira
Moreno Pinheiro da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Marcel Ayres de
Araújo

CABO DE SANTO AGOSTINHO -PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos
pelo(a) autor(a)

J95e

Júnior, Paulo Pereira de Albuquerque

Estudo comparativo entre os métodos AHP e ANP para classificação de acumuladores de energia elétrica aplicados a recursos energéticos distribuídos / Paulo Pereira de Albuquerque Júnior. - 2023.
153 f. : il.

Orientador: Italo Roger Ferreira Moreno Pinheiro da Silva.

Coorientador: Marcel Ayres de Araujo.

Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Física, Cabo de Santo Agostinho, 2023.

1. Geração distribuída. 2. armazenamento. 3. acumulador. 4. energia elétrica. 5. decisão multicritério. I. Silva, Italo Roger Ferreira Moreno Pinheiro da, orient. II. Araujo, Marcel Ayres de, coorient. III. Título

CDD 621

PAULO PEREIRA DE ALBUQUERQUE JÚNIOR

Estudo comparativo entre os métodos AHP e ANP para classificação de acumuladores de energia elétrica aplicados a recursos energéticos distribuídos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FÍSICA da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para a obtenção do título de Mestre em ENGENHARIA FÍSICA.

Data da aprovação: 28/02/2023

Banca examinadora

Prof. Dr. Italo Roger Ferreira Moreno Pinheiro da Silva – PPENGFIS/UFRPE
Orientador

Prof. Dr. Marcel Ayres de Araújo – UACSA/UFRPE
Coorientador

Prof. Dr. Sergio Vladimir Barreiro DeGiorgi – PPENGFIS/UFRPE
Membro Interno

Prof. Dr. Fabiano Salvadori – CEAR/UFPB
Membro Externo

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a DEUS.

Aos meus pais e a todos os que participaram diretamente como os meus orientadores ou indiretamente como professores das disciplinas que participei e também as instituições, organizações sejam elas privadas, públicas ou sem fins lucrativos.

RESUMO

Com o crescimento do uso da energia elétrica em diferentes setores da sociedade a cada ano, ao analisar a situação mundial e brasileira, percebe-se que esse crescimento é acompanhado por diferentes formas da geração de energia, seja centralizada ou distribuída. A geração distribuída (GD) tornou-se uma alternativa para que o sistema elétrico de potência não fique sobrecarregado. Por outro lado, fontes intermitentes de GD (como solar e eólica) possuem restrições quanto à geração de energia elétrica em razão da disponibilidade da energia primária, o que diminui o potencial da geração. Dessa forma, a integração de acumuladores de energia elétrica à GD vem sendo adotada como solução para aumentar esse potencial, por exemplo, armazenando o excedente de energia gerada, em relação à demanda, para fornecê-lo à rede elétrica durante horários de pico de carga ou a cargas próximas ao centro de GD. Nesse contexto, visando definir e classificar as tecnologias de acumuladores mais adequadas para a GD, essa dissertação apresenta uma análise criteriosa das características operacionais e construtivas de acumuladores de energia, em termos de custo de investimento, eficiência, energia específica, entre outros. Além disso, consideraram-se os eixos de aplicação dos acumuladores na GD, que podem ser destacados em: aplicação de curtíssimo e de curto prazo. Para tanto, métodos de hierarquização e de decisão multicritério, como o processo analítico hierárquico (*analytic hierarchy process* – AHP), foram bastante explorados na literatura para a classificação de acumuladores em diversas aplicações. Contudo, a utilização do processo analítico de rede (*analytic network process* – ANP), o qual se trata de uma generalização do AHP e que inclui a interrelação entre os critérios/aspectos sob análise, foi pouco explorado. Portanto, propôs-se a aplicação do ANP na caracterização e classificação das tecnologias de acumuladores no contexto da GD. Como resultado, após o levantamento e definição dos critérios e alternativas, a construção das camadas do ANP e a determinação dos pesos dos critérios, a tecnologia VRB obteve o maior peso global para aplicação de curtíssimo prazo, enquanto a tecnologia Li-Ion obteve o maior peso global para aplicação de curto prazo. Além disso, o resultado obtido pelo ANP foi comparado ao resultado do AHP sob o mesmo cenário analisado.

Palavras-chave: Geração distribuída, armazenamento, acumulador, energia elétrica, decisão multicritério.

ABSTRACT

With the growth in the use of electricity in different sectors of society each year, when analyzing the global and Brazilian situation, this growth is accompanied by different forms of energy generation, whether centralized or distributed. Distributed generation (DG) has become an alternative for the electrical power system not to be overloaded. On the other hand, intermittent sources of DG (such as solar and wind) have restrictions on the generation of electricity due to the availability of primary energy, which reduces the generation potential. In this way, the integration of electric energy accumulators to the DG has been adopted as a solution to increase this potential, for example, storing the surplus of generated energy, in relation to the demand, to supply it to the electric grid during times of peak load or loads close to the center of GD. In this context, aiming to define and classify the most suitable accumulator technologies for DG, this dissertation presents a careful analysis of the operational and constructive characteristics of energy accumulators, in terms of investment cost, efficiency, specific energy, among others. In addition, the application segments of accumulators in DG were considered, which can be highlighted in: very short and short-term application. To this end, hierarchical methods and multicriteria decision making, such as the analytical hierarchy process (AHP), have been extensively explored in the literature for classifying accumulators in various applications. However, the use of the analytical network process (ANP), which is a generalization of the AHP, and which includes the interrelation between the criteria/aspects under analysis, has been little explored. Therefore, the application of the ANP in the characterization and classification of accumulator technologies in the DG context was proposed. As a result, after surveying and defining the criteria and alternatives, building the layers of the ANP and determining the weights of the criteria, the VRB technology obtained the highest global weight for very short-term application, while the Li-Ion technology obtained the highest global weight for short-term application. In addition, the result obtained by the ANP was compared to the result of the AHP under the same analyzed scenario.

Keywords: Distributed generation, storage, accumulator, electricity, multicriteria decision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudança anual na demanda de eletricidade por região, 2019-2025.....	12
Figura 2 - Geração de energia renovável por tecnologia no cenário líquido zero, 2010-2030. 13	
Figura 3 - Diagrama da aplicação do AHP.....	18
Figura 4 - Diagrama de seleção de SAEs proposto em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).....	19
Figura 5 - Diagrama de seleção em duas etapas baseado no AHP proposto em (LIMA et al., 2020).....	20
Figura 6 - A diferença AHP e ANP. (a) AHP. (b) ANP (holarquia). (c) ANP (redes).	23
Figura 7 - Conexões em uma rede.	24
Figura 8 - Configurações da GD com SAE.	28
Figura 9 - Fluxograma do código implementado do método AHP.	43
Figura 10 - Fluxograma para o cálculo do vetor preferência ponderada normalizada.	50
Figura 11 - Fluxograma do código implementado do método ANP.	53
Figura 12 - Configuração do quantitativo dos subcritérios para cada critério.....	55
Figura 14 - Representação dos <i>clusters</i>	56
Figura 14 - Diagrama de seleção proposto para os casos curtíssimo prazo e curto prazo.....	67
Figura 15 - Rede de influência para os casos de curtíssimo prazo e curto prazo.	76
Figura 16 - Simulação de absorção de pico nas aplicações de SAEs.	85
Figura 17 - Participação dos critérios para aplicações de curtíssimo prazo.	86
Figura 18 - Participação dos critérios para aplicações de curto prazo.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala Fundamental de Saaty.....	18
Tabela 2 - Fundamentos sobre o ANP.....	22
Tabela 3 - Passos para aplicação do ANP.	24
Tabela 4 - Hierarquia de controle dos artigos sobre geração de eletricidade.....	26
Tabela 5 - Portfólio Bibliográfico resultante do método PROKNOW-C.....	30
Tabela 6 - Métodos aplicados na seleção dos SAEs.....	38
Tabela 7 - Métodos usados na seleção dos SAEs e seus objetivos.	38
Tabela 8 - Critérios usados nos artigos do portfólio.....	40
Tabela 9 - SAEs obtidos a partir do portfólio.....	41
Tabela 10 - Tecnologias analisadas.	43
Tabela 11 - Critérios, seus respectivos subcritérios e a quantidade de subcritérios.....	44
Tabela 12 – Dados técnicos de diferentes critérios.	45
Tabela 13 - Uma matriz de comparação em pares para os níveis de critérios.....	45
Tabela 14 - Uma matriz de comparação de pares para os subcritérios.....	46
Tabela 15 - Matriz de comparação de pares das tecnologias para SC _{1,1}	46
Tabela 16 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz.	47
Tabela 17 - Vetores de prioridade para as matrizes das tabelas 3, 4 e 5.	48
Tabela 18 - Razão de Consistência e análise de cada matriz.....	48
Tabela 19 - Índices randômicos para n (3-15).....	49
Tabela 20 - Preferência ponderada normalizada.	51
Tabela 21 - Resultados do peso global.	51
Tabela 22 - Comparação dos pesos globais.....	52
Tabela 23 - Exemplo para os clusters para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013)...	54
Tabela 24 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz.	55
Tabela 25 - Supermatriz limite para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) com valores com 12 dígitos.....	58
Tabela 26 - Razão de Consistência e análise de cada matriz comparativa para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) aplicando o ANP.	59
Tabela 27 - Preferência ponderada normalizada para <i>cluster1</i> (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).	60
Tabela 28 - Preferência ponderada normalizada para <i>cluster2</i> (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).	60

Tabela 29 - Comparações dos resultados dos pesos globais dos SAEs para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).	61
Tabela 30 - Aplicações que são reconhecidas pelas concessionárias e seus clientes.	62
Tabela 31 - Aplicações de armazenamento de energia e suas características.	63
Tabela 32 - Especificações da categoria de aplicação.	64
Tabela 33 - Critérios de seleção, definição e unidade.	65
Tabela 34 - Características das tecnologias de armazenamento de energia.	66
Tabela 35 - Comparativo dos critérios para AHP.	67
Tabela 36 - Comparativo das tecnologias em relação a C1 para AHP.	68
Tabela 37 - Comparativo das tecnologias em relação a C2 para AHP.	69
Tabela 38 - Comparativo das tecnologias em relação a C3 para AHP.	70
Tabela 39 - Comparativo das tecnologias em relação a C4 para AHP.	70
Tabela 40 - Comparativo das tecnologias em relação a C5 para AHP.	71
Tabela 41 - Comparativo dos critérios para AHP.	72
Tabela 42 - Comparativo das tecnologias em relação a C1 para AHP.	73
Tabela 43 - Comparativo das tecnologias em relação a C2 para AHP.	73
Tabela 44 - Comparativo das tecnologias em relação a C3 para AHP.	74
Tabela 45 - Comparativo das tecnologias em relação a C4 para AHP.	75
Tabela 46 - Comparativo das tecnologias em relação a C5 para AHP.	75
Tabela 47 - <i>Clusters</i> analisados nessa seção.	77
Tabela 48 - Comparativo dos SAEs para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster1</i> .	77
Tabela 49 - Comparativo dos SAEs em relação a C1 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	77
Tabela 50 - Comparativo dos SAEs em relação a C2 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	77
Tabela 51 - Comparativo dos SAEs em relação a C3 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	78
Tabela 52 - Comparativo dos SAEs em relação a C4 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	78
Tabela 53 - Comparativo dos SAEs em relação a C5 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	78
Tabela 54 - Comparativo dos critérios para ANP, <i>cluster2</i> x <i>cluster1</i> .	78
Tabela 55 - Comparativo dos <i>clusters</i> para ANP.	78
Tabela 56 - <i>Clusters</i> analisados nessa seção.	79
Tabela 57 - Comparativo dos SAEs para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster1</i> .	79
Tabela 58 - Comparativo dos SAEs em relação a C1 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	79
Tabela 59 - Comparativo dos SAEs em relação a C2 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	79
Tabela 60 - Comparativo dos SAEs em relação a C3 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	80
Tabela 61 - Comparativo dos SAEs em relação a C4 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i> .	80

Tabela 62 - Comparativo dos SAEs em relação a C5 para ANP, <i>cluster1</i> x <i>cluster2</i>	80
Tabela 63 - Comparativo dos critérios para ANP, <i>cluster2</i> x <i>cluster1</i>	80
Tabela 64 - Supermatriz limite para curtíssimo prazo.....	81
Tabela 65 - Supermatriz limite para curto prazo.	82
Tabela 66 - Resultados obtidos dos pesos globais dos SAEs com a utilização dos métodos AHP e ANP.	83
Tabela 67 - Comparações dos pesos globais entre os métodos AHP e ANP.	84

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA E MOTIVAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	16
CAPÍTULO 2	17
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO	17
2.1.1 Implementação do método AHP	17
2.1.2 Exemplo de aplicação do AHP.....	19
2.1.3 Benefícios e limitações do AHP.....	21
2.2 PROCESSO ANALÍTICO DE REDE.....	22
2.2.1 Implementação do método ANP	22
2.2.2 Exemplo de aplicação do ANP.....	25
2.3 INTEGRAÇÃO DE SAE COM GD.....	27
2.4 ANÁLISE DE ESTUDOS CORRELATOS SOBRE SAEs.....	28
2.4.1 Método de pesquisa para seleção das referências bibliográficas sobre SAEs....	28
2.4.2 Seleção do portfólio	29
2.4.3 Análise sistêmica.....	31
CAPÍTULO 3	42
METODOLOGIAS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO	42
3.1 MÉTODO AHP	42
3.2 MÉTODO ANP	53
CAPÍTULO 4	62
SELEÇÃO DE ACUMULADORES NA APLICAÇÃO DE CURTÍSSIMO E CURTO PRAZO DA GD	62
4.1 DETALHES DE APLICAÇÃO DE CURTÍSSIMO E CURTO PRAZO DA GD	62
4.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E ESCOLHA DOS SAEs	65
4.3 APLICAÇÃO DO AHP	66
4.3.1 Curtíssimo prazo	67
4.3.2 Curto prazo.....	71
4.4 APLICAÇÃO DO ANP.....	76
4.4.1 Curtíssimo prazo	77

4.4.2 Curto prazo	79
CAPÍTULO 5	81
RESULTADOS	81
CAPÍTULO 6	87
CONCLUSÃO	87
CAPÍTULO 7	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE	95
APÊNDICE A	95
APÊNDICE B	103
APÊNDICE C	118
APÊNDICE D	124
APÊNDICE E	130
APÊNDICE F	141

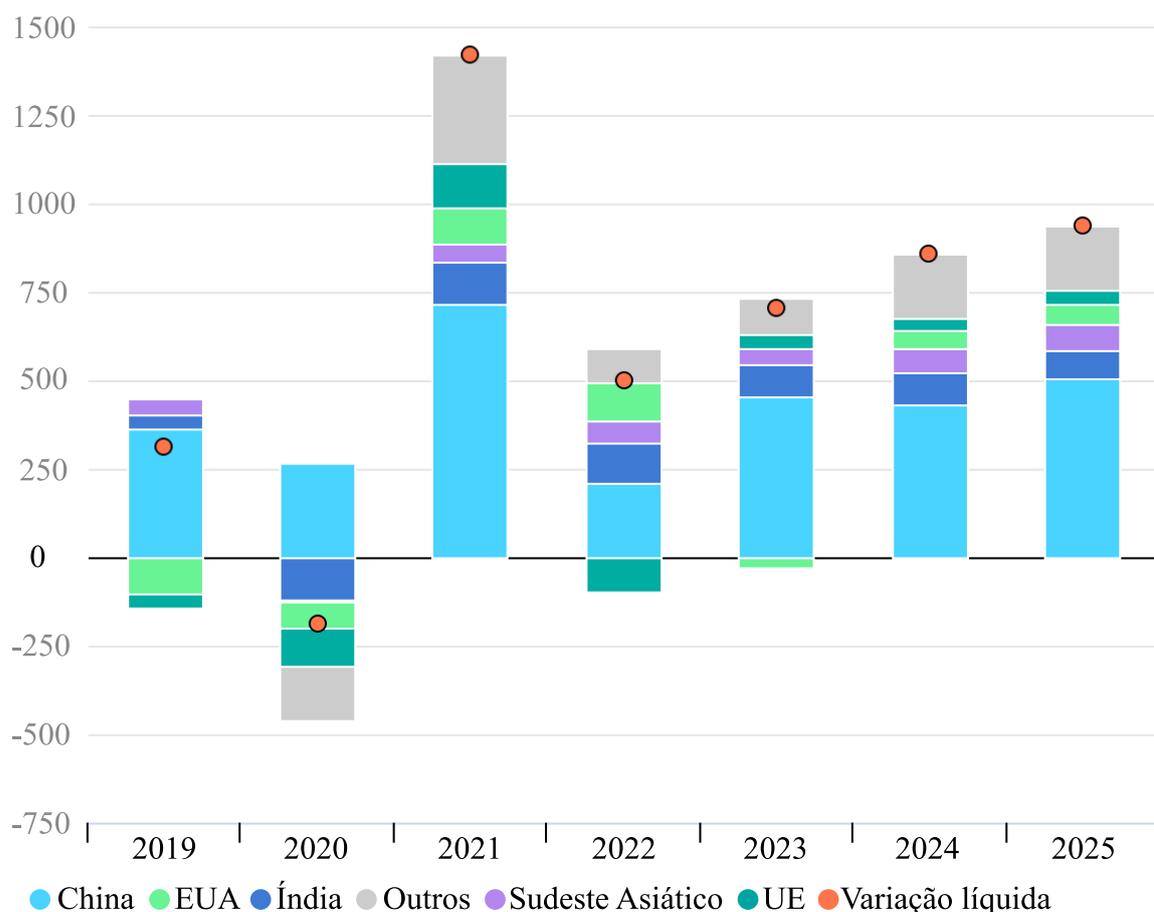
CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 TEMA E MOTIVAÇÃO

A utilização cada vez maior de energia elétrica tanto no setor industrial como também nas próprias residências faz com que seja necessário aumentar concomitante a geração e a disponibilidade de energia elétrica (IEA, 2019). Na Figura 1, mostra-se que a demanda por energia é crescente a cada ano, no ano de 2020 teve uma queda em virtude da COVID-19, como foi observado essa queda no também no Brasil e logo após o período mais crítico da COVID-19, o crescimento em 2021 foi bastante expressivo pela demanda por eletricidade (ENERDATA, 2021).

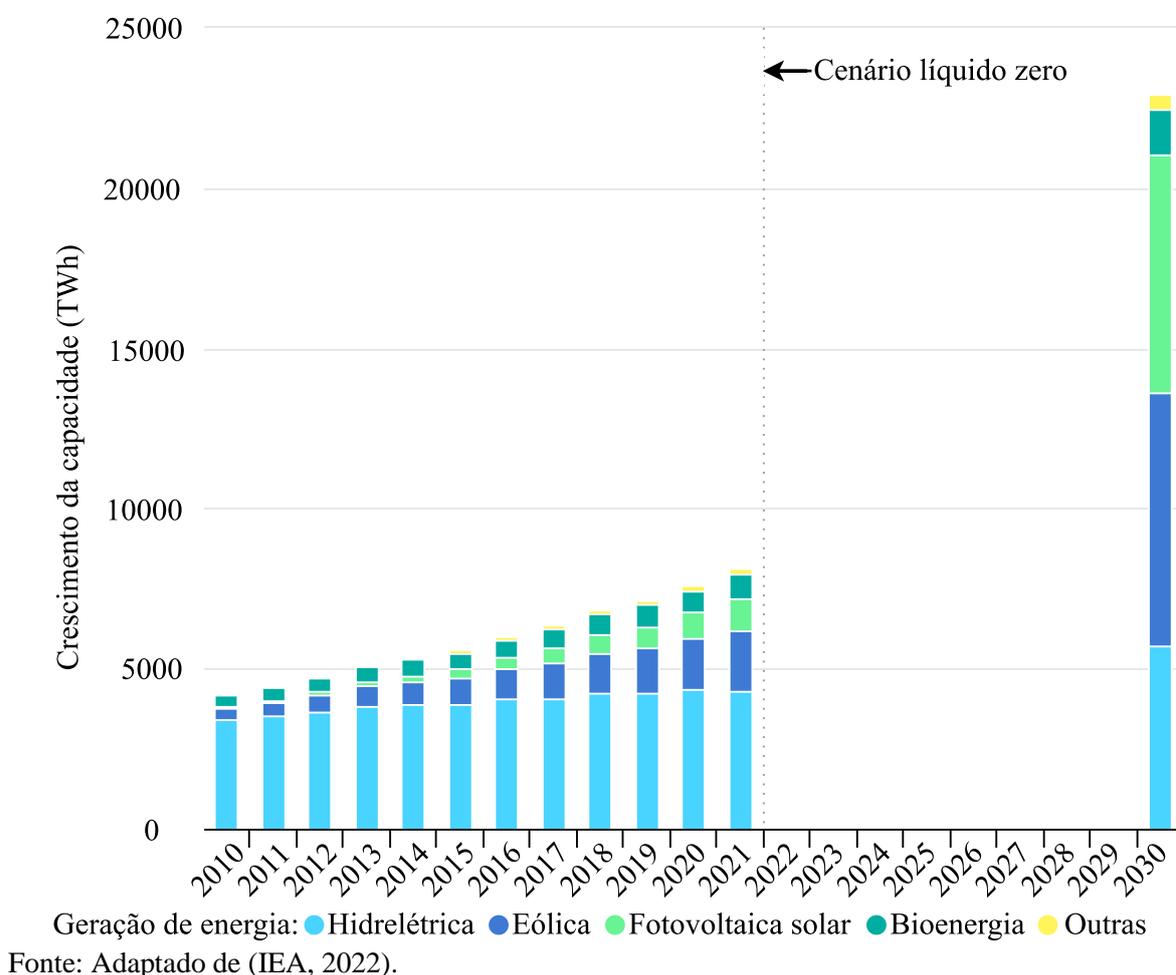
Figura 1 - Mudança anual na demanda de eletricidade por região, 2019-2025.



Fonte: Adaptado de (IEA, 2023).

A geração de eletricidade a partir de fontes não renováveis diante do contexto econômico e ambiental vem sendo desincentivada, em compensação a utilização de fontes renováveis para geração de energia vem crescendo a cada ano. Conforme mostra-se na Figura 2, a geração de energia solar fotovoltaica é a tecnologia que tem obtido o maior crescimento de geração de energia elétrica renovável ao longo dos anos. Mesmo o recorde de 150 GW adicionados em 2021 é apenas cerca de um terço das adições anuais médias durante 2022-2030 nos marcos do Cenário líquido zero. No caso da energia eólica, a média anual de instalações precisa dobrar a verificada em 2021. Nas hidrelétricas e na bioenergia o crescimento precisa ser cerca do dobro da média dos últimos cinco anos (IEA, 2022).

Figura 2 - Geração de energia renovável por tecnologia no cenário líquido zero, 2010-2030.



Neste contexto, a geração de eletricidade segue dois modelos: geração centralizada e geração distribuída (GD). Na geração centralizada, faz-se o uso de usinas com dimensões consideráveis que concentram uma alta potência de geração e distribuem essa energia para uma grande parcela da população. Já o modelo de GD¹ faz o uso de unidades menores em relação à geração centralizada.

No Brasil, a utilização de fontes renováveis para a geração de energia elétrica é bastante expressiva, tendo sido observada uma participação de 82,9% em 2020, segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN). A participação é liderada pela hidrelétrica (56,8 %), seguida de eólica (10,6 %), biomassa (8,2 %) e solar (2,5 %) (EPE, 2021). Mesmo com o crescimento de fontes renováveis no Brasil, a geração por meio de fontes primárias não renováveis no Brasil é dominante (61 %) e o consumo de energia por meio de fontes não renováveis também é dominante (51,6 %) (EPE, 2021).

O uso de fontes renováveis de GD torna-se uma das soluções para aumentar a geração de energia elétrica (MBUNGU et al., 2020), trazendo como pontos positivos benefícios contra: problemas ambientais a partir da mitigação das emissões de gases de efeito estufa associado à geração por usinas termelétricas (CARDOSO JUNIOR et al., 2021); problemas econômicos relacionados aos preços quando as usinas térmicas são utilizadas em tempos de crise hídrica (MENDES; STHIEL; LIMA, 2020); problemas técnicos relacionados a instabilidade do fornecimento de energia, tendo como justificativa a instabilidade dos preços do petróleo e a sua influência no mercado dos hidrocarbonetos como fonte primária de energia (UMBARILA VALENCIA; ALFONSO MORENO; RIVERA RODRÍGUEZ, 2015). Portanto, permite um fornecimento mais seguro de eletricidade e assim melhorando a operação do Sistema Elétrico de Potência (SEP), deixando-o menos sobrecarregado.

Ao considerar o uso de fontes renováveis de GD, percebe-se que elas podem também assumir características dos recursos que dependem da condição climática da região geográfica ao longo dos dias, meses e anos, ocasionando disponibilidade ou não em dado momento da fonte de geração de energia, fazendo com que o planejamento e operação dos sistemas elétricos fiquem mais complexos em decorrência destes fatores (RUGOLO; AZIZ, 2012). Dessa forma, é primordial que os SEPs tenham uma integração com sistemas de armazenamento de energia (SAEs), permitindo que as características do sistema elétrico sejam melhoradas em termo da confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

¹ Denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 kW e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conforme a Resolução 687/2015 da ANEEL.

Com o SAE, o excedente de energia em relação a demanda pode ser armazenado e fornecido à rede elétrica durante as horas de pico de carga ou mesmo ser usado por outras cargas próximas ao centro de GD, por exemplo, postos de carregamento de veículos elétricos. Além disso, a inserção de SAEs a GD permite adiamento de investimentos para expansão dos sistemas de transmissão; favorece a integração de fontes renováveis intermitentes a rede elétrica; energia de reserva; a prestação de serviços ancilares, entre outros pontos positivos (NADEEM et al., 2019).

As tecnologias de SAEs são baseadas em cinco tipos de energia, que são: armazenamento de energia mecânica, química, térmica, elétrica e eletroquímica (IBRAHIM; A ILINCA; PERRON, 2008). Cada tecnologia tem diferentes características tanto na forma de armazenamento quanto na conversão de energia, proporcionando diferentes aplicações, sejam elas em rede conectada ou ilhada. Tamanhos diferentes na forma de armazenar energia; diferentes e elevados ciclos de carga e descarga; tempo de resposta em diversas tecnologias na ordem de milissegundos (ms); taxas de autodescarga baixa em determinados sistemas e alta capacidade de armazenamento de energia e potência por volume são exemplos de fatores que permitem escolher a tecnologia mais adequada para um projeto ou mesmo fazer um estudo para se ter diferentes tecnologias dentro do mesmo projeto, sem comprometer negativamente o rendimento global da aplicação final (NADEEM et al., 2019).

Vale complementar que, diante das diversas características/aspectos que os acumuladores de energia possuem, os critérios de escolha de uma dada tecnologia de armazenamento para uma dada aplicação podem ser avaliados para uma tomada de decisão de forma mais assertiva, levando em consideração características específicas e requisitos. Para ajudar nessa tomada de decisão, um dos métodos mais utilizados é o processo analítico hierárquico (do inglês *analytic hierarchy process* - AHP) (SHARMA, 2018; YASMIN SCHINKE; SOLANA-GONZÁLEZ; ALBERTO VANTI, 2020).

As principais atividades desta dissertação abrangem estudos e revisões sobre metodologias para classificar o tipo de armazenamento de energia mais adequado para GD, e também realizar estudos sobre os sistemas de armazenamento de energia. Acrescenta-se a isso, o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia de tomada de decisão baseada no processo analítico de rede (do inglês *analytic network process* - ANP), o qual se trata de uma generalização do AHP, que inclui, por exemplo, a interrelação entre outras características/aspectos sob análise.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Aplicar uma metodologia analítica por meio do ANP para seleção de tecnologias de acumuladores com base em suas características, observando os requisitos dos eixos de aplicação da GD. Para tanto, propõe-se como objetivos específicos:

1. Analisar o estado da arte de tecnologias de acumuladores aplicadas à GD e definir as tecnologias que são objetos de estudo.
2. Levantar e qualificar as características dos acumuladores incluindo destacando aplicações de curto e curtíssimo prazo da GD com base na literatura para formulação do processo de seleção.
3. Estudar e aplicar os métodos AHP (solução convencional) e ANP (solução proposta) para solução do processo de seleção.
4. Comparar os resultados de análise entre os métodos AHP e ANP no processo de seleção.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico, são apresentados os métodos AHP e ANP, as respectivas finalidades e características. Além disso, são descritos exemplos da literatura de como esses métodos podem ser aplicados no contexto de seleção de acumuladores de energia elétrica para o AHP, bem como na seleção de fontes de geração de eletricidade para o ANP. Destaca-se também a apresentação da revisão bibliográfica sobre os SAEs.

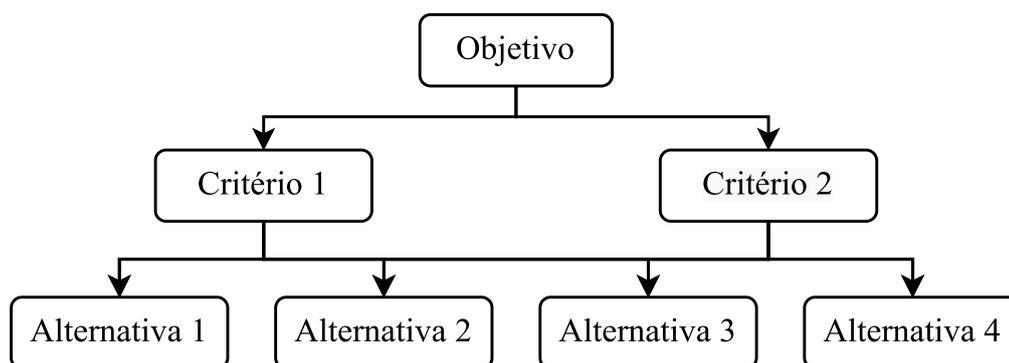
2.1 PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO

2.1.1 Implementação do método AHP

A metodologia AHP faz parte de uma instrumentação com a motivação de ajudar na melhor escolha de um determinado objeto ou serviço. Assim, para que se tenha um melhor sistema de armazenamento de energia de acordo com as características e requisitos específicos da aplicação, é tecnicamente viável o emprego de alguma ferramenta que possa ajudar na escolha mais adequada.

O método AHP é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios e que se baseia em uma análise hierárquica considerando os objetivos de um problema por meio de uma sequência de comparações paritárias de aspectos qualitativos e/ou quantitativos para a tomada de decisão (SAATY, 1990). A estrutura deste método é baseada numa árvore hierárquica conforme se mostra na Figura 3, em que no topo (camada de maior hierarquia) estar o objetivo final da aplicação do método AHP, na parte intermediária, estar os critérios e que pode ter também subcritérios, e na parte inferior, estão as alternativas (camada de menor hierarquia). Para que ocorra a comparação entre diferentes critérios, são atribuídos de forma comparativa graus de importância a cada uma das comparações entre critérios ou subcritérios de acordo com a prioridade relativa entre eles, a partir da análise de uma base de dados pautada em revisões da literatura e de relatórios técnicos realizada pelo usuário.

Figura 3 - Diagrama da aplicação do AHP.



Fonte: Adaptado de (SAATY, 1977).

Para que se possa comparar diferentes características,   recomendado por (SAATY, 1990) que seja adotada uma escala de 1 a 9 conforme apresentado na Tabela 1. Nesta tabela, mostram-se os diferentes graus de importância que podem ser utilizados ao se fazer as compara es paritárias sejam em rela o aos critérios ou subcritérios. Os valores ímpares (3, 5, 7 e 9) são para situa es em que a compara o de um termo em rela o a outro tenha-se superioridade e, conforme o número vai aumentando, a superioridade torna-se mais importante. Os valores pares (2, 4, 6 e 8) são empregados para comparar termos em que uma condi o intermediária seja necessária. Ressalta-se que tanto os valores ímpares como pares têm os seus recíprocos, no qual se considera que ao ser colocado por exemplo o valor 1, então tem-se uma importância de igualdade, pois o inverso de 1 significa que ambos critérios/subcritérios contribuem igualmente para atingir um objetivo.

Tabela 1 - Escala Fundamental de Saaty.

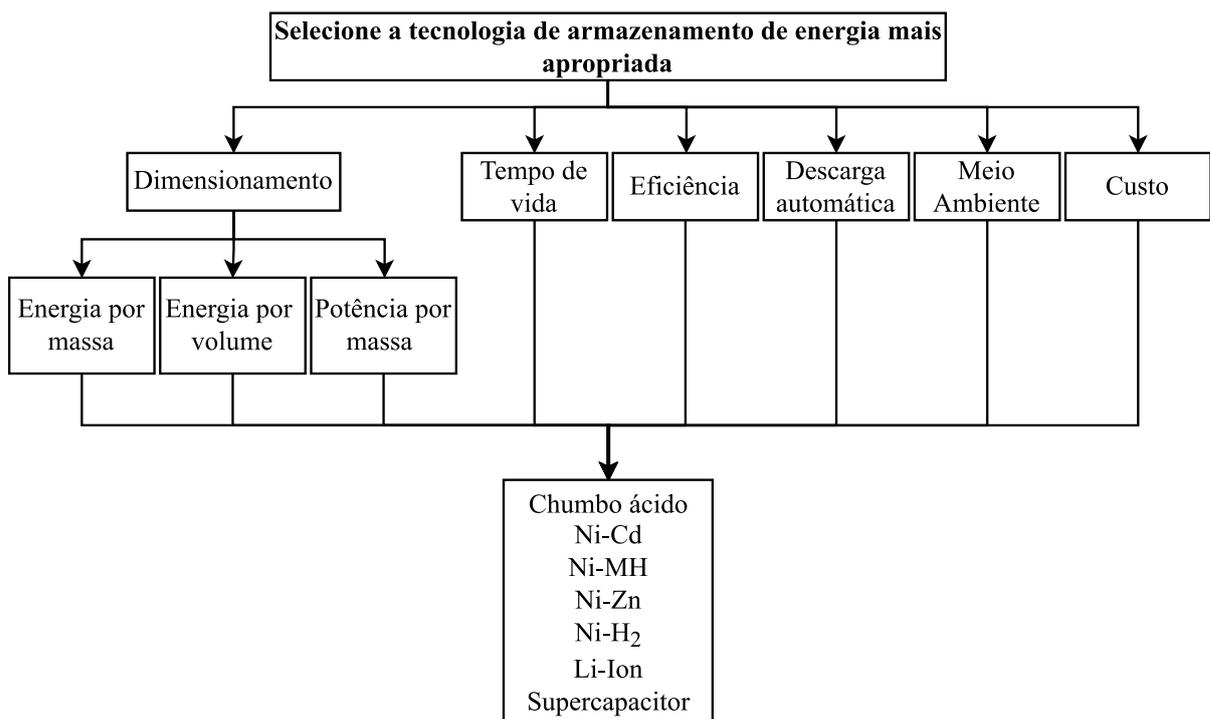
Grau de importância	Defini�o	Explica�o
1	Igual importância	Ambos critérios contribuem igualmente para atingir o objetivo.
3	Importância moderada	A compara�o favorece ligeiramente um critério em rela�o ao outro.
5	Forte importância	A compara�o favorece fortemente um critério em rela�o ao outro.
7	Importância muito forte	A compara�o favorece muito fortemente um critério em rela�o ao outro.
9	Importância absoluta	A compara�o favorece de forma absoluta um critério em rela�o ao outro.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre os níveis de compara�o	Quando se procura uma condi�o intermediária entre dois níveis consecutivos.
Recíprocos	$(1/n)$ em que "n" � o peso atribuído a determinado critério	Ao ser escolhido um dos graus de importância, na matriz de julgamento (A), o valor $(1/n)$ � considerado $(A_{ij} = 1/A_{ji})$.

Fonte: Adaptado de (SAATY, 1990).

2.1.2 Exemplo de aplicação do AHP

Em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013), foram analisadas sete tecnologias de armazenamento para fins de aplicações fotovoltaicas para definir a mais adequada para tal utilização. O modelo da implementação do método adotado pelos autores foi o mesmo descrito por (CHAN, 2004). Com isso, mesmo fazendo o uso de tal ferramenta, a tecnologia que teve um melhor desempenho global não teve um bom desempenho em todos os critérios analisados. Para a aplicação do AHP, cabe, na formulação do problema, definir adequadamente o objetivo final da aplicação do AHP e os critérios/subcritérios com base nas alternativas para que os pesos possam ser atribuídos por meio da pesquisa científica. O esquemático adotado por (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) está representado na Figura 4, separado por critérios, subcritérios e tecnologias disponíveis.

Figura 4 - Diagrama de seleção de SAEs proposto em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

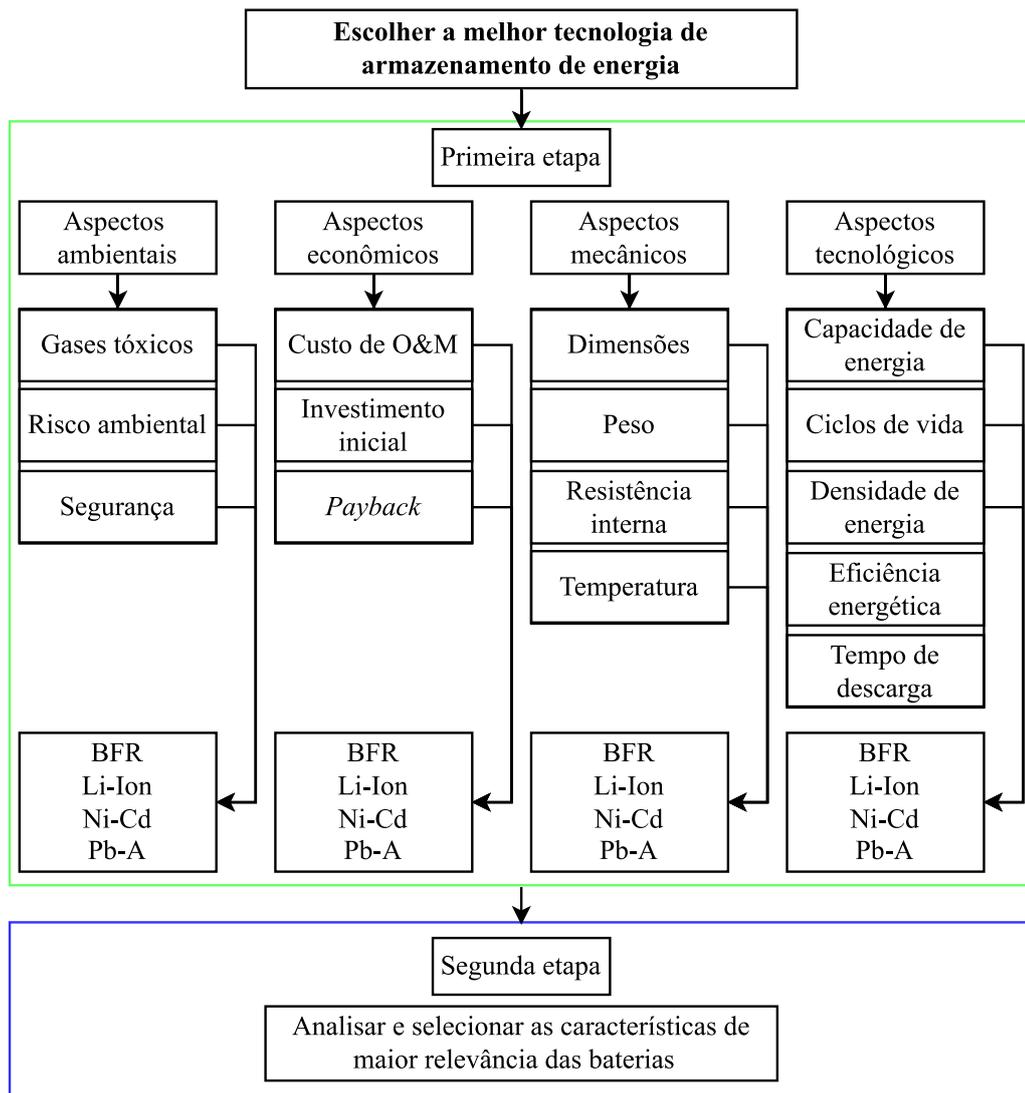


Fonte: Adaptado de (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

(LIMA et al., 2020) utilizaram o método AHP de acordo com (SAATY, 1990) para uma aplicação de sistema de armazenamento de baterias em integração com GD em unidades consumidoras residenciais, comerciais ou industriais de pequeno porte. Foram usados 4 critérios, 15 subcritérios e quatro SAEs: bateria de fluxo redox (BFR), baterias de Li-Ion, Ni-Cd e Pb-A.

Na Figura 5, mostra-se o diagrama de seleção para aplicação do AHP proposto em (LIMA et al., 2020), com destaque para uma análise em duas etapas. Na primeira etapa, emprega-se o AHP considerando todos os critérios e subcritérios e, na segunda, são escolhidas às características mais relevantes para uma nova análise e aplicação do AHP. Desta forma, diminuiu-se a quantidade de características a serem comparadas, permitindo obter resultados baseando-se nos atributos mais bem avaliados pelos autores.

Figura 5 - Diagrama de seleção em duas etapas baseado no AHP proposto em (LIMA et al., 2020).



Fonte: Autor.

2.1.3 Benefícios e limitações do AHP

Segundo (SAATY, 1994), um dos benefícios do AHP é a modelagem completa do processo de tomada de decisão. Permite que as pessoas tornem explícito o que não precisa ser dito. Isso pode levar as pessoas a organizar e harmonizar seus diferentes sentimentos e entendimentos sobre um determinado tema de aplicação. Outro aspecto que pode ser destacado é que o AHP permite que os tomadores de decisão usem julgamentos e observações para analisar pontos fortes e que por meio disso permita sair de uma análise mais geral para uma mais específica, permitindo assim fazer previsões dos resultados mais prováveis.

(GRANDZOL, 2005) afirma que, por reconhecer que participantes podem fazer análises equivocadas em virtude de dados insuficientes sobre o problema, por exemplo, ou fazer julgamentos sem muito embasamento em determinadas comparações, o método AHP envolve comparações redundantes com o intuito de validar as comparações, e afirma que a tolerância de inconsistências não é uma limitação do método, mas um reflexo da realidade. Também, a aplicação do AHP inclui e mede todos os fatores importantes, tanto de forma qualitativa como quantitativamente, sejam eles tangíveis ou intangíveis, permitindo com isso, que o modelo reproduza com mais fidelidade a realidade de cada aplicação.

(GRANDZOL, 2005) cita que uma das limitações do método é a sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis nos quais a aplicação é percebida como uma simplificação excessiva ou como desperdício de tempo dos resultados mais prováveis. Contudo, vale destacar que a metodologia AHP é conduzida de forma radial entre as camadas do processo, partindo do objetivo da seleção até às alternativas, ou seja, as alternativas são influenciadas pelos critérios (ou subcritérios) e esses dependem do objetivo. Dessa forma, assume-se que os critérios não afetam as alternativas e não que há interrelação (relação de interdependência) entre os próprios critérios e entre as próprias alternativas.

2.2 PROCESSO ANALÍTICO DE REDE

2.2.1 Implementação do método ANP

O ANP é uma metodologia de aspecto geral em comparação ao seu caso específico AHP, pois o AHP segue uma estrutura de hierarquia de dependência dos elementos da camada do nível superior e inferior. Por outro lado, no ANP, a estrutura de conexões segue em formato de rede, abrangendo mais conexões sem dependências dos elementos do nível superior e inferior, sendo assim uma técnica útil com capacidade de representar uma variedade de concorrentes de acordo com suas interações, e também a capacidade de influenciar na tomada de decisão, sendo que influência é um conceito primordial no ANP (SAATY, 1999).

Segundo (SAATY, 1999; 2004), o ANP pode ser dividido em duas partes. A primeira compreende uma hierarquia de controle ou rede de critérios e subcritérios que controlam as interações. A segunda é uma rede de influências entre elementos e *clusters* (agrupamento ou conjunto de elementos), em que essa rede pode variar para cada critério. Nessa parte é gerado uma supermatriz de influência limitante para cada critério de controle.

Segundo (SAATY, 1999), o ANP é usado frequentemente para solucionar um problema por meio de uma hierarquia de controle ou sistematização de controle de benefícios, custos, oportunidades e riscos, cada um representado no sistema de controle. Os resultados sintetizados dos quatro sistemas de controle são combinados para determinar o melhor resultado. Na Tabela 2, descrevem-se princípios fundamentais sobre o método ANP conforme (SAATY, 1999).

Tabela 2 - Fundamentos sobre o ANP.

O ANP é construído sobre o AHP.

Ao permitir a dependência, o ANP é mais abrangente do que o AHP.

O ANP trata da dependência dentro de um conjunto de elementos (dependência interna) e entre diferentes conjuntos de elementos (dependência externa).

A estrutura de rede mais tênue da ANP possibilita a representação de qualquer problema de decisão sem preocupação com o que vem primeiro e o que vem depois como em uma hierarquia.

O ANP é uma estrutura não linear que trata de fontes, ciclos e sumidouros. Uma hierarquia é linear, com um objetivo no nível superior e as alternativas no nível inferior.

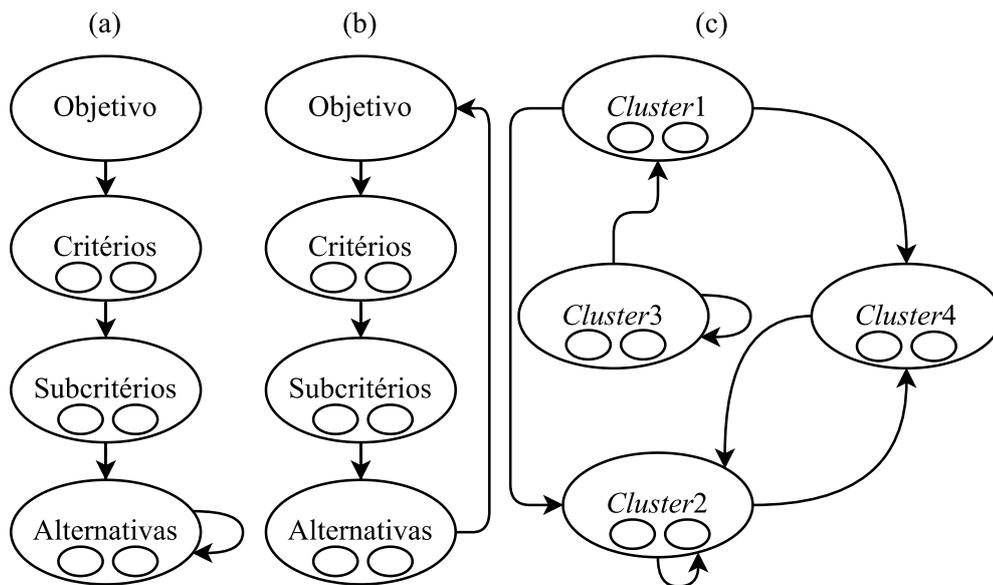
O ANP prioriza não apenas elementos, mas também grupos de elementos, como muitas vezes é necessário no mundo real.

O ANP pode utilizar a ideia de rede de controle para lidar com diferentes critérios, eventualmente levando à análise de benefícios, oportunidades, custos e riscos. Ao contar com elementos de controle, o ANP é paralelo ao que o cérebro humano faz ao combinar diferentes dados sensoriais (e.g., tálamo).

Fonte: Autor.

Na Figura 6, mostram-se às diferenças entre AHP e ANP a partir das estruturas. Na Figura 6(a), observa-se uma estrutura de hierarquia do AHP com os diferentes níveis e elementos (representados por elipses menores) sobre uma perspectiva de rede, um *loop* indica que cada elemento depende apenas de si mesmo. Na Figura 6(b), nota-se uma estrutura complexa do ANP com realimentação das alternativas ao objetivo. Na Figura 6(c), apresenta-se uma estrutura do ANP em redes, o *loop* indica dependência interna dos elementos nesse componente em relação a uma propriedade comum. No ANP cada componente pode influenciar e ser influenciado, sendo que pode ter dois tipos de influências, uma externa (entre *clusters*) e outra interna (entre elementos do *cluster*). No ANP, as comparações paritárias seguem também à escala fundamental de Saaty, como foi detalhada na Tabela 1, sendo os níveis das comparações diferente em comparação ao AHP, pois pode existir qualquer comparação a partir da relação de influência.

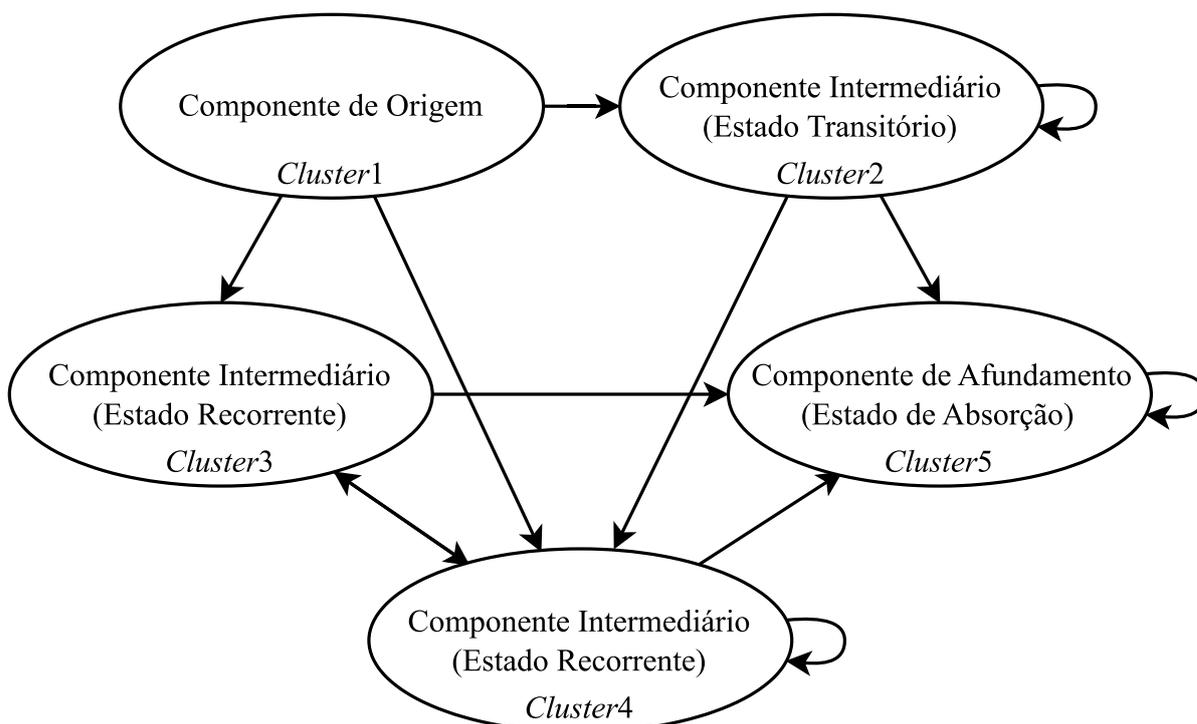
Figura 6 - A diferença AHP e ANP. (a) AHP. (b) ANP (holarquia). (c) ANP (redes).



Fonte: Autor.

Na Figura 7, apresentam-se os detalhes da conexões de rede. Observa-se que no componente de origem (*Cluster1*) nenhuma seta alimenta esse componente (ou seja, esse componente só influencia), no componente de afundamento (*Cluster5*) nenhuma seta sai desse componente (ou seja, só recebe influência), enquanto nos componentes intermediários (*Cluster2*, *Cluster3* e *Cluster4*) as setas alimenta e saem desses componentes. Além disso, destacam-se os *loops* no *Cluster2*, *Cluster4* e *Cluster5* que realimentam o próprio componente. Cada vetor de prioridade é derivado e introduzido na posição apropriada como um vetor de coluna em uma supermatriz (SAATY, 2004).

Figura 7 - Conexões em uma rede.



Fonte: Adaptado de (SAATY, 2004).

Na Tabela 3, descrevem-se os passos para a aplicação do ANP, conforme estabelecido em (HERNANDEZ; MARINS; DURAN, 2016; ROSA; OLIVEIRA; BELDERRAIN, 2008; SAATY, 1999).

Tabela 3 - Passos para aplicação do ANP.

Passos	Definição
Estruturação do problema.	Define-se o objetivo do processo decisório. Determinar critérios de controle ou não, determinar os <i>clusters</i> do sistema e seus elementos.
A construção da rede.	Determina-se como deve ser seguido à análise de cada <i>cluster</i> ou elemento, sendo influenciado por outros <i>clusters</i> e elementos, ou influenciando outros <i>clusters</i> e elementos em relação à um critério de controle, caso exista.
Construção da supermatriz sem pesos (comparação par a par dos elementos).	Realizam-se comparações pareadas nos elementos (aplica-se os graus de importância, conforme apresentados na Tabela 1) dentro dos próprios <i>clusters</i> de acordo com sua influência em cada elemento em outro <i>cluster</i> ao qual estão conectados (ou elementos em seu próprio <i>cluster</i>). Atribue-se zero quando não houver influência. Para isso, define-se que um grupo <i>clusters</i> de uma rede é dado por C_h ($h = 1, \dots, m$), e o número de elementos em cada <i>cluster</i> é dado por n_h , tal que os elementos são: $e_{h_1}, e_{h_2}, e_{h_3}, \dots, e_{h_n}$. As influências de um determinado grupo de elementos em relação a qualquer outro elemento são representadas por vetores de prioridades. Esses vetores são organizados na supermatriz sem pesos em colunas. Cada elemento fornece um vetor de prioridades que se situa na coluna deste elemento e nas linhas de seus influenciados separados por <i>clusters</i> .

Cada par de grupos de clusters forma uma matriz com vetores de prioridades nas colunas, conforme à matriz modelo W_{ij} abaixo:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i_1j_1} & \cdots & w_{i_1j_{n_1}} \\ \vdots & & \vdots \\ w_{i_{n_i}j_1} & \cdots & w_{i_{n_i}j_{n_j}} \end{bmatrix}$$

Todos os vetores prioridade dessas matrizes são normalizados pela soma da coluna, seguindo o mesmo princípio do método AHP.

Cada matriz do tipo W_{ij} é colocada na supermatriz sem pesos, conforme o modelo abaixo:

$$\begin{array}{c} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{array} \begin{array}{c} e_{11} \quad \cdots \quad e_{1n_1} \\ e_{21} \quad \cdots \quad e_{2n_2} \\ \vdots \\ e_{m1} \quad \cdots \quad e_{mn_m} \end{array} \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \cdots & W_{mm} \end{bmatrix}$$

Comparação par a par dos *clusters* (matriz de pesos).

Realizam-se comparações pareadas nos *clusters* conforme eles influenciam cada *cluster* e naqueles que ele influencia. Atribui-se um zero quando não houver influência.

Construção da supermatriz ponderada.

Multiplica-se cada element normalizado da matriz de pesos por cada bloco da supermatriz sem pesos.

Supermatriz Final (resultado final com as prioridades de alternativas e critérios).

Nessa supermatriz às linhas apresentam valores iguais que representam os vetores prioridade dos elementos de cada grupo. Portanto, elevam-se sucessivas potências k da supermatriz ponderada até sua convergência, tal que $\lim_{k \rightarrow \infty} (\text{Supermatriz ponderada})^k = \text{Supermatriz limite}$.

Fonte: Autor.

2.2.2 Exemplo de aplicação do ANP

(ERDOGMUS; ARAS; KOC, 2006) aplicaram o método ANP para seleção do melhor combustível alternativo para uso em aquecimento residencial. Os autores argumentaram que a escolha do ANP em relação aos outros métodos foi pelo fato de ser intuitivo e menos robusto em relação ao AHP (tem uma possibilidade maior de se moldar com a complexidade do problema avaliado).

(KÖNE; BÜKE, 2007) utilizaram o método ANP para determinar a melhor combinação de combustíveis alternativos para geração de eletricidade de acordo com os critérios de sustentabilidade. Como resultados, os autores fornecem um modelo que pode ser usado nas tomadas das decisões sobre políticas energéticas.

(ATMACA; BASAR, 2012) avaliaram usinas de energia usando ANP de acordo com critérios de controle (tecnologia e sustentabilidade, adequação econômica, qualidade de vida e impactos socioeconômicos) com o objetivo de determinar qual a melhor usina dentre as selecionadas para aplicar o ANP.

Na Tabela 4, mostram-se exemplos da hierarquia de controle para aplicações em geração de eletricidade. Observa-se que em (ERDOGMUS; ARAS; KOC, 2006) e (ATMACA; BASAR, 2012) são usados critérios estratégicos (submetas que os avaliadores pretendem realizar) fora dos critérios de controle (benefícios, oportunidades, custos e riscos), já em (KÖNE; BÜKE, 2007) tanto critérios de controle como critérios estratégicos são agrupados na hierarquia de controle.

Tabela 4 - Hierarquia de controle dos artigos sobre geração de eletricidade.

Citação	Hierarquia de controle
(ERDOGMUS; ARAS; KOC, 2006)	<pre> graph TD A[O melhor combustível] --> B[Insumos para economia nacional] A --> C[Insumos para o meio ambiente] A --> D[Aquecimento produtivo] A --> E[Avaliação dos recursos domésticos] B --- F[Benefícios] C --- F D --- F E --- F F --- G[Oportunidades] G --- H[Custos] H --- I[Riscos] </pre>
(KÖNE; BÜKE, 2007)	<pre> graph TD A[O melhor arranjo de combustíveis] --> B[Sub-rede de benefícios] A --> C[Sub-rede de oportunidades] A --> D[Sub-rede de custos] A --> E[Sub-rede de riscos] </pre>
(ATMACA; BASAR, 2012)	<pre> graph TD A[Avaliação Multicritério de Usinas Elétricas Utilizando ANP] --> B[Tecnologia e Sustentabilidade] A --> C[Econômico] A --> D[Qualidade de Vida] A --> E[Aspectos Socioeconômicos] B --- F[Benefícios] C --- F D --- F E --- F F --- G[Oportunidades] G --- H[Custos] H --- I[Riscos] </pre>

Fonte: Autor.

2.3 INTEGRAÇÃO DE SAE COM GD

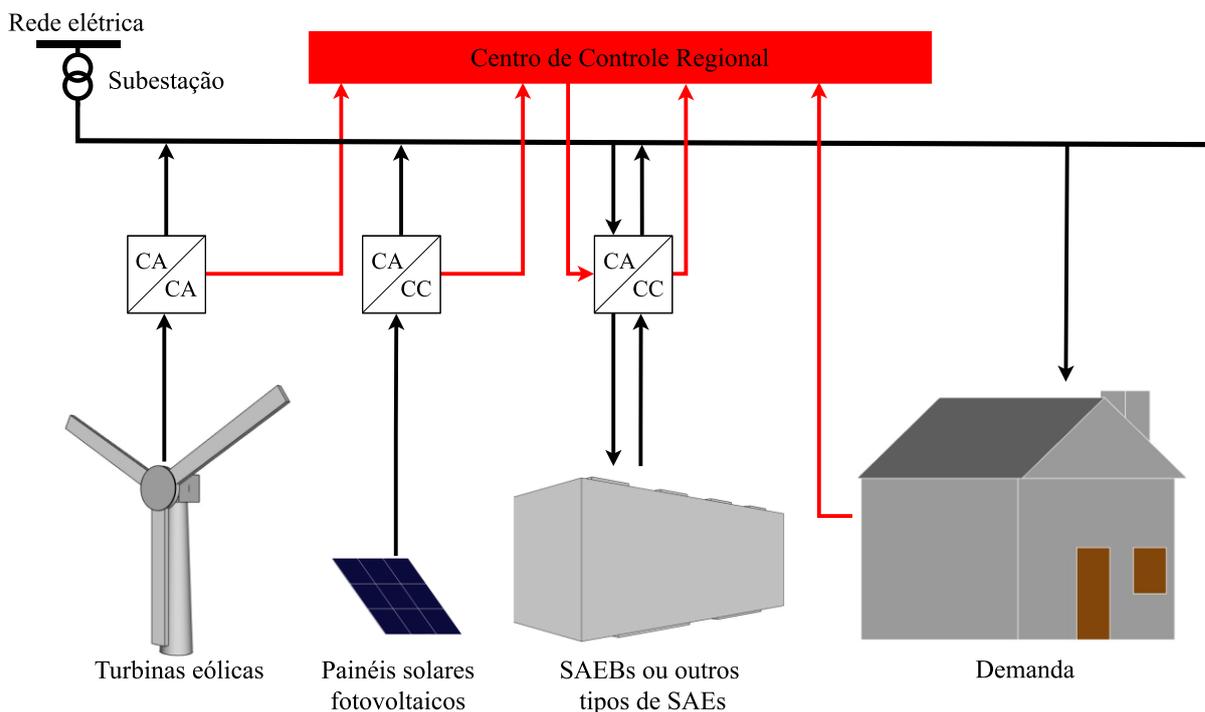
A Geração Distribuída pode ter aplicações tanto em relação aos usuários finais como distribuições regionais. Segundo (YANG et al., 2018), conforme o uso de GD solar vai aumentando e conseqüentemente sua dependência, flutuações podem surgir em decorrência das condições meteorológicas, e que podem comprometer à rede de distribuição, ocasionando problemas de oscilação e qualidade de energia.

Diante disso, (YANG et al., 2018) afirma que os SAEs por baterias (SAEBs) são os sistemas ideais para lidar com esses efeitos provocados a partir da introdução dos recursos energéticos distribuídos, pois têm características como tempo de resposta rápida; capacidade energética de absorver e liberar energia a longo prazo, permitindo reduzir os custos de eletricidade para consumidores.

(DO NASCIMENTO; RÜTHER, 2020) analisaram o impacto do uso da geração fotovoltaica em conjunto com um SAE, tendo como ponto principal analisado, o indicador econômico, pois o estudo tinha como objetivo examinar a viabilidade do SAE em tempo de uso, permitindo ponderar que são necessários reduções dos custos e incentivos fiscais para estimular à adoção de sistemas de armazenamento de energia associada a GD solar fotovoltaica.

Na Figura 8, mostra-se o conjunto mais usado para a integração da GD com SAE, o fluxo de energia é representado nas setas de cor preta e o fluxo de informações sobre às tecnologias de geração de energia, armazenamento de energia e sobre a demanda, nas setas de cor vermelha. A tecnologia de SAE mais utilizada em aplicações reais são às baterias, em virtude da maturidade dessa tecnologia. (NADEEM et al., 2019) comparou os diversos tipos de armazenamento e separou-os em categoria de desenvolvimento da maturidade tecnológica, e os SAEBs é o tipo de tecnologia que mais se destaca em comparação às outras tecnologias de armazenamento de energia, pois muitas das tecnologias de baterias já estão com tecnologias maduras ou estão disponíveis comercialmente.

Figura 8 - Configurações da GD com SAE.



Fonte: Autor.

2.4 ANÁLISE DE ESTUDOS CORRELATOS SOBRE SAEs

2.4.1 Método de pesquisa para seleção das referências bibliográficas sobre SAEs

Para permitir um levantamento bibliográfico organizado, sendo necessário para abranger estudos relevantes sobre os SAEs, foi utilizado como método de revisão de literatura o PROKNOW-C, *knowledge development process-constructivist* (ENSSLIN et al., 2010). O método orienta como o usuário deve formar um portfólio bibliográfico, com base na área de interesse (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012). Sendo composto por três etapas principais: seleção do portfólio de artigos, análise bibliométrica, e análise sistêmica (ENSSLIN et al., 2010). Para o trabalho foram utilizadas somente duas etapas: seleção do portfólio e análise sistêmica, pois como se trata de um levantamento de estudos correlatados e não um trabalho de análise bibliográfica, pode-se utilizar somente essas duas etapas do método PROKNOW-C.

2.4.2 Seleção do portfólio

As bases de pesquisas foram pesquisadas de acordo com à área de pesquisa da engenharia elétrica, para a seleção das bases de dados foi considerado o Portal de Periódicos CAPES. Foram encontradas 112 resultados de referências de pesquisa e dessas, foram selecionadas duas bases (Scopus e Web of Science). O eixo de pesquisa selecionado foi aplicações finais para soluções energéticas e industriais, pois como devem ser selecionadas tecnologias de armazenamento energético, então o foco principal se concentra em ferramentas maduras ou que já estão disponíveis comercialmente. Na sequência foram definidas as palavras-chave para o eixo de pesquisa escolhido, o conjunto de palavras-chave foram agrupadas da seguinte forma:

[((power* OR energ*) AND (stor*) AND (grid OR system)) AND ((generat* OR produc* OR electric* OR distribut* OR system) AND (accumulat* OR stor*) AND (decision OR making) AND criteri*)]

O * é um caractere utilizado para permitir que a busca selecione qualquer palavra com base no radical da palavra-chave. Assim, foram considerados para às buscas títulos e tópicos sobre os artigos. Ao utilizar às palavras-chave com base nos operadores booleanos, foram encontrados 143 resultados, mas depois de serem tiradas às repetições, restaram 98 referências, sendo a pesquisa feita no mês de março de 2022, para as seguintes bases, Scopus 68 resultados e Web of Science 75 resultados. O gerenciador bibliográfico usado foi o Zotero, permitindo a seleção e separação dos artigos das bases e verificando automaticamente os artigos publicados nas buscas realizadas. Depois, passou-se a leitura dos títulos dos 98 artigos, a fim de verificar se estavam ou não alinhados ao tema sistemas de armazenamento de energia. Assim, outras 40 publicações foram consideradas não alinhadas, resultando em um banco de 58 artigos com títulos alinhados à pesquisa.

Após isso, foi realizada a verificação dos artigos disponíveis na íntegra. Parte dos artigos é de acesso livre como da MDPI, os quais foram integrados para a leitura. Outra parte são artigos com acesso restrito, utilizou-se então o portal de periódicos da CAPES para o acesso. 21 publicações foram obtidas na íntegra. A partir de uma busca por trabalhos relacionados, foram obtidos sete resultados, porém cinco já estavam no portfólio, foi acrescentado um artigo (que tinha relação com o tema de pesquisa) no portfólio, totalizando 22 artigos. Após a leitura integral destas publicações, seis artigos não atendiam às especificidades da pesquisa, enquanto 16 publicações foram consideradas para à formação do portfólio bibliográfico, conforme apresentado em ordem alfabética na Tabela 5.

Tabela 5 - Portfólio Bibliográfico resultante do método PROKNOW-C.

Título	Autor	Ano	Ordem
“A multi-objective optimization approach for selection of energy storage systems”.	Li et al.	2018	1°
“A novel multicriteria sustainability investigation of energy storage systems”.	Acar; Beskese e Temur	2019	2°
“A review of energy storage technologies application potentials in renewable energy sources grid integration”.	Behabtu et al.	2020	3°
“A review of multi-criteria decision making approaches for evaluating energy storage systems for grid applications”.	Baumann et al.	2019	4°
“Analysis of Stand-Alone Photovoltaic — Marine Current Hybrid System and the Influence on Daily and Seasonal Energy Storage”.	Olmedo-González et al.	2022	5°
“Analytic Hierarchy Process Algorithm Applied to Battery Energy Storage System Selection for Grid Applications”.	Oening et al.	2021	6°
“Assessment of Potential Barriers to the Implementation of an Innovative AB-FB Energy Storage System under a Sustainable Perspective”.	Blecua de Pedro e Diaz Ramirez	2021	7°
“Comprehensive assessment for battery energy storage systems based on fuzzy-MCDM considering risk preferences”.	Zhao; Guo e Zhao	2019	8°
“Comprehensive performance assessment on various battery energy storage systems”.	Zhao; Guo e Zhao	2018	9°
“Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide”.	Eyer e Corey	2010	10°
“Evaluation of grid energy storage system based on AHP-PROMETHEE-GAIA”.	Wei et al.	2016	11°
“Optimal planning of energy storage technologies considering thirteen demand scenarios from the perspective of electricity Grid: A Three-Stage framework”.	Wu et al.	2021	12°
“Optimal sizing and placement of energy storage system in power grids: A state-of-the-art one-stop handbook”.	Yang et al.	2020	13°
“Portfolio planning of renewable energy with energy storage technologies for different applications from electricity grid”.	Wu et al.	2021	14°
“Sustainability index approach as a selection criteria for energy storage system of an intermittent renewable energy source”.	Raza; Janajreh e Ghenai	2014	15°
“Sustainable use of spilled turbinable energy in Ecuador: Three different energy storage systems”.	Posso Rivera et al.	2022	16°

Fonte: Autor.

2.4.3 Análise sistêmica

Segundo (LINHARES et al., 2019), a terceira etapa do PROKNOW-C tem como objetivo, verificar o conteúdo dos artigos de um portfólio bibliográfico a partir de uma perspectiva metodológica. Lentes ou perspectivas teóricas são projetadas para definir e orientar os pesquisadores em suas pesquisas, buscando moldar o tipo de problema ou forma de coleta de dados. Portanto, a lente normaliza a busca do pesquisador para que ele possa observar os mesmos aspectos em todo o portfólio, permitindo estudos comparativos relevantes. Em relação à primeira lente aplicada, foi analisada somente a metodologia aplicada em cada artigo do portfólio. Quanta à metodologia aplicada, dos 16 artigos do portfólio, um foi classificado como manual e dois como revisões, dos 13 restantes, em oito artigos foram aplicados o método AHP, justificando a utilização bastante expressiva desse método para uso na seleção de SAEs.

Na segunda lente aplicada nesta análise sistêmica, verificou-se de que modo os dados foram coletados, ao utilizar métodos comparativos, os autores muitas vezes para poderem confirmar a aplicação dos pesos ou justificar sobre pesos dos critérios dos SAEs, utilizam-se da coleta de dados, além de fichas técnicas e manuais, opiniões de pessoas envolvidas em informações sobre dados de investimento ou técnicos, sejam de origem acadêmica ou empresas privadas, e no portfólio construído, esses dados foram coletados por meio de formulários direcionados aos investidores, pesquisadores e técnicos de laboratórios.

A terceira lente está relacionada em observar se às definições sobre metodologias aplicadas para seleção dos SAEs convergem com a afiliação teórica adotada, e quais ferramentas foram utilizadas além do método AHP. A partir das leituras feitas, e conseqüentemente a finalização do portfólio, os resultados demonstram a eficácia do método ProKnow-C para a montagem de um portfólio bibliográfico de acordo com a área de estudo escolhida.

(LI et al., 2018) realizou a seleção de SAEs para sistemas de energia centralizados e distribuídos, aplicando uma programação inteira mista multiobjetivo (do inglês *multi-objective mixed integer programming* – MOMIP) — (critérios + restrições técnicas — os autores afirmam que tecnologias com melhor desempenho técnico são as preferidas), utilizando e avaliando os critérios, ambiental, econômico e técnico por meio da base de dados criada dos subcritérios correspondentes. Com base no princípio em que se baseia a metodologia, não é possível melhorar um objetivo sem piorar outro (Pareto ótimo), sendo assim, a escolha do SAE não se resume a uma única solução ideal e sim em um

conjunto de soluções eficientes, ou seja, o resultado são SAEs que atendam às diversas características das aplicações finais. VRB (Vanadium Redox Battery) e ZnBr (Zinc Bromine Battery) foram as melhores tecnologias para sistema distribuído de armazenamento de energia.

(ACAR; BESKESE; TEMUR, 2019) aplicaram uma metodologia para uma aplicação residencial, chamada de metodologia híbrida de tomada de decisão multicritério difusa hesitante (do inglês *multicriteria decision-making* – MCDM), com dois métodos, processo de hierarquia analítica difusa hesitante (do inglês *hesitant fuzzy analytic hierarchy process* – HFAHP), aplicado para eliminar a hesitação observada dos especialistas durante o processo de comparação de pares; e técnica *fuzzy* hesitante para preferência de ordem por similaridade com o método de solução ideal (do inglês *hesitant fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solution* – HFTOPSIS), que recebe os pesos calculados e define o sistema de armazenamento de energia mais sustentável para a aplicação. Foram analisados quatro critérios (ambiental, econômico, social e técnico). A tecnologia das células de hidrogênio teve o melhor destaque, pois o estudo se concentrava na sustentabilidade das tecnologias analisadas, a ordem em relação aos quatro primeiros colocados foi, células de hidrogênio > hidrelétricas bombeadas > baterias de fluxo > baterias convencionais. O desempenho técnico teve o maior impacto, o desempenho social teve o menor impacto, e em relação ao subcritério de desempenho de sustentabilidade, as emissões de poluentes têm importância grande como peso de critério.

(BEHABTU et al., 2020) realizou comparativo entre SAEs, utilizando critérios ambiental, econômico e técnico. Foram selecionados os cinco tipos de tecnologias de armazenamento de energia. Em relação às tecnologias frequentemente usadas em GD como Li-Ion (bateria de íon de lítio), Ni-Cd (bateria de níquel-cádmio), Pb-A (bateria de chumbo-ácido) e VRFB (bateria de fluxo redox de vanádio), elas se destacam mais para aplicações onde envolve o gerenciamento de energia, como integração renovável e armazenamento sazonal de segurança energética (i.e., quando são necessárias paradas de manutenção e que essas paradas comprometam o fornecimento de energia elétrica). Os outros tipos de SAEs podem ser utilizados para aplicações onde envolve o melhoramento da qualidade de energia ou *bridging power* (quando diferentes tipos de SAEs são integrados num mesmo sistema). Algumas das aplicações para *bridging power* podem ser para proteção de interconexão e controle de carga (KEY; BANERJEE, 2002).

(BAUMANN et al., 2019) realizou uma revisão por meio de métodos de tomada de decisão multi-atributo (do inglês *multi-attribute decision making* – MADM), foram selecionados para revisão em virtude de serem aplicados em problemas em que às alternativas para às escolhas já são conhecidas. Os critérios adotados foram ambiental, econômico, social e técnico. Em estudos analisados, os resultados demonstraram que o critério econômico é o predominante nas tomadas das decisões. Os autores constataram o critério técnico como o mais importante nas tomadas das decisões, em ordem decrescente de peso fica da seguinte forma, critério técnico > critério econômico > critério ambiental > critério social. Em relação ao critério social, a baixa classificação é justificada em decorrência na falta de definição de critérios para avaliar às opiniões sociais e na imprecisão obtida nos resultados.

(OLMEDO-GONZÁLEZ et al., 2022) analisou um sistema híbrido de geração de energia (fotovoltaico-corrente marinha) e armazenamento de energia (armazenamento eletroquímico + armazenamento químico). Para a seleção de armazenamento de energia, foi aplicado o MADM, no qual foram considerados o método AHP e o método chamado de técnica para desempenho de performances por semelhança com à solução ideal (do inglês *technique for order preference by similarity to ideal solution* – TOPSIS). Foram selecionadas quatro tipos de tecnologias de armazenamento de energia (elétrica, eletroquímica, mecânica e química) e dois critérios (econômico e técnico). O grau de hibridação em relação aos armazenamentos de energia afeta o número de ciclos diários de carga-descarga do sistema projetado. Aplicando o método TOPSIS, foi constatado que para sistemas elétricos autônomos, o armazenamento eletroquímico é importante em decorrência do tempo de resposta de minutos e dias ser mais importante do que tecnologias com tempo de resposta rápido. Para o déficit e superávit sazonal, o armazenamento na forma de hidrogênio é o ideal.

(OENING et al., 2021) realizou um comparativo de SAEs para uma aplicação real de SAEs para redução de custos usando o método AHP. Tendo como primeiro objetivo, descobrir a melhor tecnologia de bateria para cada aplicação final; o segundo objetivo foi avaliar dois SAEs para integração em uma execução real de 1,36 MW. Os critérios adotados foram ambiental, financeiro, regulatório e técnico. As tecnologias que foram escolhidas para serem classificadas por meio do método, foram coletadas com base em um banco de dados que fornece os tipos de tecnologias aplicadas nos diversos projetos em escala global. A partir dos dados coletados, foram selecionados quatro SAEs para ser aplicado o AHP. Como resultados, os autores classificaram duas tecnologias para usar no sistema, bateria de fluxo e bateria de Li-Ion, os critérios ficaram classificados em ordem de importância decrescente da seguinte forma, técnico > ambiental = financeiro > regulatório. Os

resultados simulados da integração com às baterias foram positivos, principalmente para absorver o pico máximo da demanda, sendo só obtido dados simulados antes do uso real da hibridação dos SAEs.

(BLECUA-DE-PEDRO; DIAZ-RAMIREZ, 2021) efetuaram uma análise sobre barreiras de implementação que à tecnologia de bateria de fluxo de ácido-base (do inglês Acid–Base Flow Battery – AB-FB) pode enfrentar mediante uma perspectiva sustentável. Por ser adequada ao cenário de suporte à energia renovável, os autores realizaram por meio do método AHP, estudos sobre fatores que são desafios para o uso dessa tecnologia. Foram usados três critérios gerais, ambiental, econômico e social, sendo todos eles focados na sustentabilidade do SAE. Os critérios gerais foram divididos em cinco critérios: ambiental, econômico, manutenção, político (regulamentação) e técnico. Em conjunto com a consulta de vários especialistas, o critério mais significativo na análise feita foi o econômico. Pela ordem decrescente de importância dos critérios (econômico > técnico > ambiental > manutenção > regulamentação). Com esses resultados, os autores fornecem dados sobre quais características desse SAE são necessárias superá-las para torná-la mais acessível e sustentável.

(ZHAO; GUO; ZHAO, 2019) realizaram comparações entre cinco SAEs de baterias para escolher o sistema ideal. Para a metodologia, vários métodos foram selecionados, dentro da classificação MCDM, foram agrupados métodos para formar o método Fuzzy-MCDM, que são, (1) modelo Fuzzy-Delphi, utilizado para selecionar subcritérios críticos (utilizaram os julgamentos de especialistas para encontrar os indicadores sobre os SAEs); (2) melhor-pior método (do inglês *best-worst method* – BWM), aplicado para calcular os pesos dos subcritérios; e (3) teoria da perspectiva cumulativa difusa (do inglês *fuzzy-cumulative prospect theory* – fuzzy-CPT), adotado para preferir o SAE escolhido. Foram utilizados cinco critérios (ambiental, econômico, desempenho, social e técnico). Mediante a aplicação do BWM, os especialistas classificaram o critério ambiental e técnico como os mais importantes, em decorrência da necessidade do uso de energia renovável e pelo esgotamento de recursos não renováveis. Em relação aos SAEs, os resultados obtidos em ordem de peso decrescente de importância ficaram assim, bateria de Li-Ion > bateria NaS > bateria NiMH > bateria VRF > bateria de Pb-A. Como primeira em prioridade, a bateria de Li-Ion teve o melhor desempenho para aplicações em micro-redes e projetos de demonstração com SAEs.

(ZHAO; GUO; ZHAO, 2018) examinaram SAEs de bateria a partir do desempenho abrangente de diversos métodos, com o objetivo de encontrar a tecnologia adequada para à integração com energia eólica-fotovoltaica. Para que ocorresse a análise do desempenho, foram utilizados métodos dentro do MCDM, o método Fuzzy-Delphi, aplicado

para o sistema abrangente de indicadores de avaliação; o método de peso de entropia (do inglês *entropy weight method* – EWM) em conjunto com o BWM para calcular pesos de todos os subcritérios; e o modelo baseado em solução de compromisso e otimização multicritério (do bósnio *vlsekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje* – VIKOR), sendo usado para escolher o SAE de bateria ideal. A análise foi aplicada a cinco tecnologias de baterias (Pb-A, Li-Ion, NaS, NiMH e VRF). As perspectivas adotadas (AHP-critérios) foram econômica, sociabilidade e tecnológica. Por meio da aplicação dos métodos, a classificação das tecnologias ficou, bateria (Li-Ion > NaS > VRF > Pb-A > NiMH). Com isso, os autores constataram que a bateria Li-Ion é a ideal para a integração em projetos de geração de energia eólica-fotovoltaica, e que o desempenho obtido da bateria de NaS foi próximo ao da bateria VRF.

(WEI et al., 2016) realizou uma avaliação em diferentes SAEs — SAEB: Pb-A; SAE elétrico (SAEE): SCES (Super Capacitor Energy Storage) e SMES (Super Magnetic Energy Storage); SAE mecânico (SAEM): CAES (Compressed Air Energy Storage), FES (Flywheel Energy Storage) e PHS (Potential Hydro Storage). Para que fossem avaliados sobre diferentes critérios. Foram usados três métodos, o AHP (usado para obtenção dos pesos da avaliação); Métodos de Organização de Classificação de Preferências para Avaliações de Enriquecimento (do inglês *preference ranking organization methods for enrichment evaluations* – PROMETHEE), usado para classificar todas as formas de armazenamento de energia; e análise geométrica para assistência interativa (do inglês *geometrical analysis for interactive assistance* – GAIA), usado para calcular a sensibilidade dos resultados dos critérios de julgamento). Sendo adotado os aspectos ou critérios ambiental, econômico e técnico. Os resultados em ordem decrescente ficaram da seguinte forma, SCES > SMES > PHS > FES > CAES > Pb-A. O SCES tem maior destaque quando os pesos em relação a(o) ambiente, tempo de resposta, vida útil aumentam. Quando o peso do custo se torna mais relevante, o SAEs Pb-A e CAES ficam em destaque, devido aos custos das tecnologias serem menores em relação às outras tecnologias, já em relação quando o peso da maturidade é destaque, FES, Pb-A e CAES se tornam tecnologias com ótimos indicadores de aplicação.

(WU et al., 2021a) fez um planejamento ótimo para às tecnologias de armazenamento de energia analisando cenários possíveis de implementação dos SAEs, usando três modelos, número difuso de intervalo (do inglês *interval fuzzy number* – IVFN), intervalo de número *fuzzy* (do inglês *interval institute fuzzy number* – IVIFN), e PROMETHEE-II. Foram usados os critérios (ambiental, econômico, social e técnico). Custo capital — SAE químico (SAEQ) geralmente tem melhor custo por kW e custo por kWh por

ciclo; SAEB é superior em custo por kWh; e os SAEM e SAE térmico (SAET) ficam entre os SAEs citados anteriormente; eficiência, duração de armazenamento adequada, tempo de resposta\tempo de descarga — os SAEQ e SAEE comumente têm maior eficiência, mas tempo de resposta menores; e os SAEM e SAET frequentemente têm maior tempo de descarga e tempo de resposta; densidade de energia, vida útil, taxa de potência — SAEQ e SAEB em geral têm menor potência e densidade de energia; densidade de potência, auto-descarga, duração de armazenamento adequada — SAEM e SAEQ possuem capacidade de armazenamento adequados e SAEBs tem alta densidade de potência.

(YANG et al., 2020) realizou estudos sobre métodos para dimensionamento e posicionamento de SAEs sobre diferentes aplicações dos sistemas elétricos (geração, transmissão, distribuição e micro-rede fora da rede), analisando características econômicas (o valor do tempo ao custo) e técnicas (confiabilidade) dos SAEs. Para DG e lado dos usuários finais, os SAEs são sistemas essenciais, considerando SAEs de alta capacidade, mas de resposta lenta, podem ser aplicados para redução de pico, enquanto SAEs de baixa capacidade, mas de resposta rápida, podem ser aplicados para melhorar a qualidade de energia. Etapas foram criadas para que o dimensionamento e posicionamento dos SAEs atendessem às características de aplicação, sendo a primeira etapa para identificar o objetivo do sistema elétrico (geração, transmissão, etc), a segunda etapa para identificar os critérios dos SAEs pré-selecionados e a terceira etapa é para resolver os problemas em relação ao dimensionamento e posicionamento do SAE através do(s) método(s) escolhido(s).

(WU et al., 2021b) realizaram estudos de comparação entre SAEs para geração, transmissão e aplicação terminal, utilizando métodos do MCDM, como AHP e EWM, ambos para cálculos dos pesos dos critérios; IVFN (descrever o valor dos critérios de comparação); e PROMETHEE-II (utilizado para fazer uma melhor análise da subjetividade dos tomadores de decisão em relação à função de prioridade, e também para definir parâmetros sem a necessidade dos dados dos métodos utilizados, fazendo com que não haja interferência nos resultados em decorrência dessa hibridação). Foram usados os critérios (ambiental, econômico, social e técnico). Os autores argumentam que não existe um certo SAE que tenha um bom desempenho em todos os aspectos, com isso, é necessário selecionar o que mais estar de acordo com a necessidade de desenvolvimento da sociedade. Para aplicação terminal, as três primeiras tecnologias como CAES e HFC (célula de combustível de hidrogênio) e bateria de Ni-Cd, tiveram melhor análise para o cenários de preço de tempo de uso, gerenciamento de custos de capacidade, melhoria da qualidade de energia e melhoria na confiabilidade da rede elétrica.

(RAZA; JANAJREH; GHENAI, 2014) fizeram uma seleção de SAE para geração eólica por meio de uma abordagem sustentável dos SAEs utilizando um método de índice de sustentabilidade. O índice de sustentabilidade é uma técnica de análise multicritério, sendo aplicada para comparar diferentes tecnologias de SAEs do ponto de vista sustentável, principalmente para quantificar os parâmetros qualitativos (e.g., confiabilidade e impacto ambiental) dos SAEs e com isso permitir que sejam comparados com parâmetros quantitativos (e.g., custo e eficiência dos SAEs). Foram consideradas três tecnologias de SAEs (bateria de Pb-A; bateria de polímero de lítio; e célula de combustível de hidrogênio). Sendo estas tecnologias comparadas dentro de três critérios (ambiental, econômico e técnico). Como resultado, SAE baseado em hidrogênio é o mais adequado para longo prazo de investimento, pois como à análise segue à fundamentação de quanto maior o índice da sustentabilidade, melhor seria a tecnologia. Polímero de lítio (LiPo) e chumbo-ácido ficaram em segunda e terceira posição respectivamente, considerando os valores de pesos dos índices ponderados.

(POSSO RIVERA et al., 2022) realizou um estudo de caso real para encontrar um SAE e colocá-lo próximo aos centros de consumo para fornecer energia à rede elétrica nos horários de maior demanda, considerando três tecnologias de SAEs que foram selecionadas com base nas características do local de implementação, com isso, tecnologias que dependem muito da geografia do local não puderam ser selecionadas, sendo às selecionadas, bateria de Li-Ion e VRFB, e uma de SAEQ (hidrogênio). Foi aplicado o método AHP para a seleção do SAE. Três critérios foram usados, critério ambiental, econômico e técnico. Para a análise ambiental, a VRFB é considerada a melhor alternativa, considerando os indicadores ambientais (LCA e CF), para o caso estudado; para a análise econômica, o SAEB de Li-Ion atende qualquer indicador econômico (LCOE, LCC, LCOS), para o estudo do caso, sendo a melhor alternativa para substituir à geração termoelétrica equatoriana; e em relação à análise técnica, considerando a eficiência, tecnologias de armazenamento ficaram na ordem decrescente de pesos assim, 85 % para bateria de Li-Ion > 60 % para VRFB > 29 % para SAEQ de hidrogênio.

A partir das leituras dos artigos, fica evidente que o método AHP em comparação com outros métodos é o mais usado na seleção dos SAEs, como mostrado na Tabela 6, em muitos trabalhos os autores utilizam mais de um método, seja para tornar eficiente a seleção dos SAEs ou também para comprovar a opinião da análise feita pelos autores e por pessoas consultadas, principalmente por envolver a subjetividade nos pesos dos critérios utilizados.

Tabela 6 - Métodos aplicados na seleção dos SAEs.

Métodos	Frequência de aplicação (portfólio)	Tabela 5 - Ordem
AHP	8	4°, 5°, 6°, 7°, 9°, 11°, 14° e 16°
BWM	2	8° e 9°
EWM	2	9° e 14°
Fuzzy-CPT	1	8°
Fuzzy-Delphi	2	8° e 9°
GAIA	1	11°
HFAHP	1	2°
HFTOPSIS	1	2°
IVFN	2	12° e 14°
IVIFN	1	12°
MOMIP	1	1°
PROMETHEE	1	11°
PROMETHEE-II	2	12° e 14°
SUSTAINABILITY INDEX	1	15°
TOPSIS	1	5°
VIKOR	1	9°

Fonte: Autor.

Na Tabela 7, mostram-se os métodos usados na seleção dos SAEs e o objetivo do uso de cada método, estão organizados de acordo com cada artigo aplicado.

Tabela 7 - Métodos usados na seleção dos SAEs e seus objetivos.

Métodos/Modelos	Objetivos	Tabela 5 – Ordem
MOMIP	Fazer o comparativo através dos objetivos (critérios) e das restrições escolhidas.	1°
HFAHP	Aplicado para eliminar a hesitação observada dos especialistas durante o processo de comparação de pares.	2°
HFTOPSIS	Recebe os pesos calculados e define o sistema de armazenamento de energia mais sustentável para a aplicação.	
AHP	Cálculo dos pesos dos critérios e/ou subcritérios.	3°, 4°, 6°, 7° e 16°
AHP TOPSIS	Cálculo dos pesos dos critérios. Validar a tecnologia mais adequada para o sistema de armazenamento de energia.	5°
Fuzzy-Delphi BWM Fuzzy-CPT	Utilizado para selecionar subcritérios críticos. Aplicado para calcular os pesos dos subcritérios.	8°

	Adotado para preferir o SAE escolhido.	
Fuzzy-Delphi BWM e EWM VIKOR	Para o sistema abrangente de indicadores de avaliação. Para calcular pesos de todos os subcritérios. Sendo usado para escolher o SAE de bateria ideal.	9°
AHP	Usado para obtenção dos pesos da avaliação.	
GAIA	Usado para calcular a sensibilidade dos resultados dos critérios de julgamento.	11°
PROMETHEE	Usado para classificar todas as formas de armazenamento de energia.	
IVFN	Aplicado para transformar informações difusas em informações computáveis.	
IVIFN	Descrever o valor dos critérios de comparação.	12°
PROMETHEE-II	Planejamento ótimo científico e abrangente sob cada cenário de demanda de aplicação analisada.	
AHP e EWM	Cálculo dos pesos dos critérios. Aplicado para transformar informações difusas em informações computáveis.	
IVFN	Utilizado para fazer uma melhor análise da subjetividade dos tomadores de decisão em relação à função de prioridade, e também para definir parâmetros sem a necessidade dos dados dos métodos utilizados.	14°
PROMETHEE-II		
SUSTAINABILITY INDEX	Técnica aplicada para comparar diferentes tecnologias de SAEs do ponto de vista sustentável.	15°

Fonte: Autor.

Na Tabela 8, mostram-se os critérios mais usados na seleção dos SAEs, sendo os critérios com maior destaque, critério ambiental, critério econômico, critério social e critério técnico. Os critérios com às menores aplicações de uso foram manutenção e regulatório, para o regulatório, (OENING et al., 2021) relata que no Brasil não possui uma legislação específica estabelecida para os SAEs. (BLECUA-DE-PEDRO; DIAZ-RAMIREZ, 2021) apresentam um estudo de barreiras para implementação de um SAEB e, portanto, ainda não possui um legislação aprofundada para esse tipo de tecnologia. Os critérios foram divididos de acordo com a metodologia AHP, pois alguns autores não fazem distinção entre critérios e subcritérios.

Tabela 8 - Critérios usados nos artigos do portfólio.

Critérios							Tabela 5 - Ordem
Ambiental	Desempenho	Econômico	Manutenção	Regulatório	Social	Técnico	
X		X				X	1°
X		X			X	X	2°
X		X				X	3°
X		X			X	X	4°
		X				X	5°
X		X		X		X	6°
X		X	X	X		X	7°
X	X	X			X	X	8°
		X			X	X	9°
X		X				X	11°
X		X			X	X	12°
		X				X	13°
X		X			X	X	14°
X		X				X	15°
X		X				X	16°

Fonte: Autor.

Na Tabela 9, mostram-se os SAEs obtidos para GD a partir dos resultados dos artigos selecionados, os SAEs estão divididos em cada uma das categorias, sendo o tipo SAET não obtido nos resultados para GD. Para SAEB foram encontradas tecnologias que requerem altas temperaturas de funcionamento, baterias convencionais e baterias de fluxo; para SAEE foram encontradas duas tecnologias; para SAEM foram encontradas três tecnologias; e para SAEQ foi encontrado uma tecnologia.

Em relação aos destaques das tecnologias mais usadas dentro da GD, para os SAEBS; baterias de Li-Ion, Pb-A, e VRB (VRFB) tiveram uma maior frequência de uso; e para o SAEQ, HFC (células de armazenamento de hidrogênio) foi o SAE de maior destaque.

Tabela 9 - SAEs obtidos a partir do portfólio.

SAEs										Tabela 5 - Ordem			
SAEB					SAEE		SAEM				SAEQ		
Baterias de altas temperaturas	Baterias convencionais				Baterias de fluxo								
					VRB	ZnBr					1°		
NiCl ₂	NaS	Li-Ion	Ni-Cd	Pb-A	VRB	ZnBr			PHS	HFC	2°		
		Li-Ion	Ni-Cd	Pb-A	VRB						3°		
		Li-Ion		Pb-A						HFC	5°		
		Li-Ion			AF-FB	VRB	ZnBr				6°		
	NaS	Li-Ion	NiMH	Pb-A	VRB						7°		
	NaS	Li-Ion	NiMH	Pb-A	VRB						8°		
				Pb-A				SCES	SMES	CAES	FES	PHS	9°
													12°
			Ni-Cd						CAES			HFC	13°
				Pb-A								HFC	14°
			LiPo	Pb-A								HFC	15°
		Li-Ion			VRB							HFC	16°

Fonte: Autor.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIAS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

No tópico 3.1, demonstra-se a utilização do método AHP em um estudo de caso de tecnologias de armazenamento (baterias e supercapacitores) para aplicação em sistemas de conversão fotovoltaica, conforme proposto em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013). Vale salientar que o método AHP permite determinar as prioridades de diferentes alternativas de decisão (i.e., critérios de importância) por meio de comparações de pares de elementos de decisão com relação a um critério comum (PIANTANAKULCHAI, 2003). Neste caso, é descrito o funcionamento do processo de hierarquização do método AHP por meio de uma rotina abrangente, implementada no *software* MATLAB™, capaz de avaliar diversas tecnologias de armazenamento considerando os critérios e subcritérios de importância avaliados pelos autores.

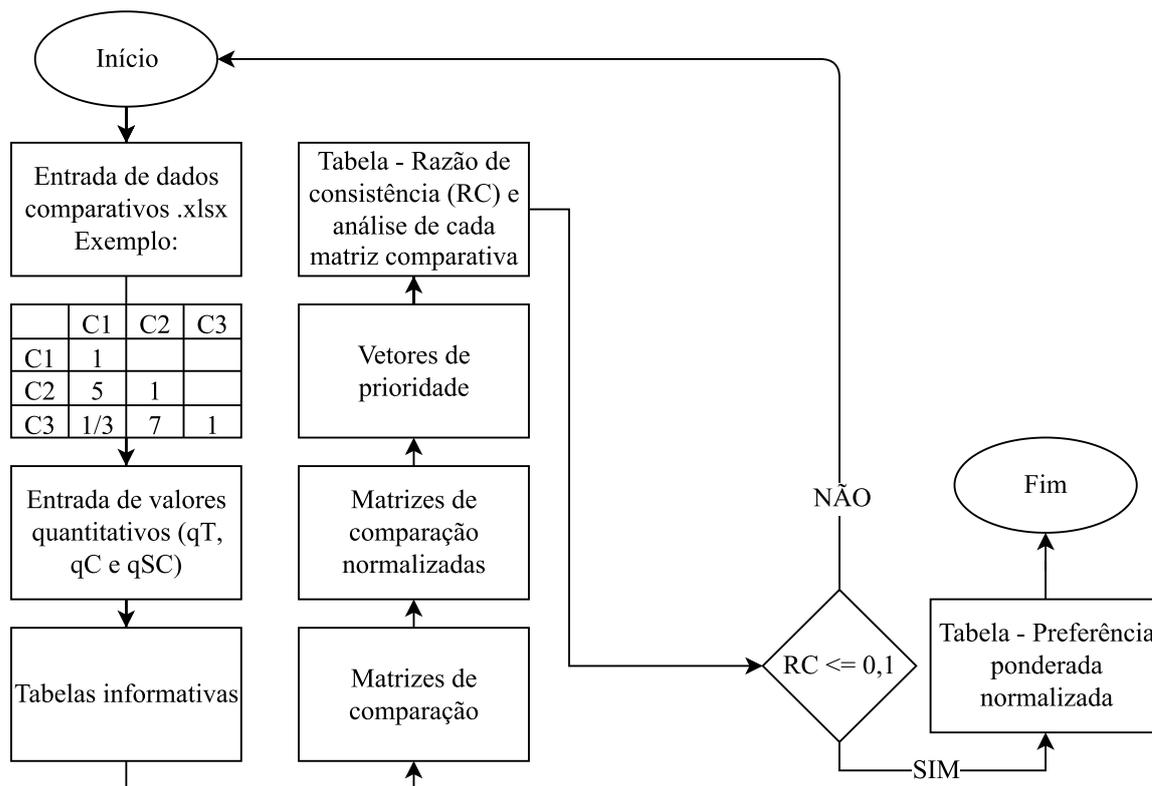
No tópico 3.2, demonstra-se a utilização do método ANP em um estudo de caso, considerando o que foi abordado em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013). Neste caso, é descrito o funcionamento do método ANP por meio de uma rotina abrangente, implementada no MATLAB™, capaz de avaliar diversas tecnologias de armazenamento, considerando às relações entre os *clusters* e seus elementos.

3.1 MÉTODO AHP

Na Figura 9, ilustra-se o fluxograma da rotina de utilização do método AHP, por meio da qual observa-se que a rotina se inicia com a inserção dos dados de comparação em formato .xlsx. Seguidamente, é incluído o número de tecnologias (qT) de armazenamento de energia a serem analisadas, o número de critérios (qC) de importância que caracterizam às tecnologias de armazenamento, bem como o quantitativo de subcritérios (qSC) associados aos critérios. Todos os valores quantitativos podem assumir valores entre 3 e 15, esses limites estabelecidos estão relacionados aos estudos com base em (SAATY, 1990).

Os passo a passo seguintes, baseado no exposto em (CHAN, 2004), descrevem como esta metodologia pode ser aplicada com o objetivo de selecionar às tecnologias de armazenamento de energia.

Figura 9 - Fluxograma do código implementado do método AHP.



Fonte: Autor.

O código foi implementado com base nos dados apresentados em (AMMAR et al., 2013) no intuito de se obter maior compreensão do método AHP. O resultado da rotina implementada encontra-se no APÊNDICE A. Uma vez definido o quantitativo de tecnologias (qT), critérios (qC) e respectivos subcritérios (qSC), a rotina gera as tabelas correspondentes para verificação dos dados inseridos, conforme apresentado no fluxograma da Figura 9. São geradas as matrizes de comparação, matrizes de comparação normalizadas, vetores de prioridade e tabela que mostra a razão de consistência (RC) e análise de cada matriz, para serem verificada(o)s posteriormente.

Na Tabela 10, pode-se ver as denominações para as tecnologias analisadas e os respectivos tipos de armazenamento de energia que foram usados no estudo, é nessa parte que inicia a entrada de dados para a geração dos resultados do método AHP.

Tabela 10 - Tecnologias analisadas.

Tecnologia (T)	Tecnologias de armazenamento de energia
T1	Bateria de chumbo
T2	Níquel-Cádmio (Ni-Cd)
T3	Níquel-Metal-Hidreto (Ni-MH)
T4	Níquel-Zinco (Ni-Zn)

T5	Níquel-hidrogênio (Ni-H ₂)
T6	Íon-lítio (Li-Ion)
T7	Supercapacitor

Fonte: Elaborada pelo autor com base em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Na Tabela 11, apresenta-se cada critério, assim como também os subcritérios e sua quantidade para cada critério, para essa parte do algoritmo é necessário somente saber a quantidade para cada critério adotado na análise feita, esses valores são preenchidos de forma sequencial (processo das multiplicações das matrizes e a ordem que elas devem ser mostradas).

Tabela 11 - Critérios, seus respectivos subcritérios e a quantidade de subcritérios.

Critérios	Subcritérios para cada critério	Quantidade
Dimensionamento (C1)	Energia específica (SC _{1,1}) Densidade de energia (SC _{1,2}) Potência específica (SC _{1,3})	3 x SC
Vida útil (C2)	--	--
Eficiência (C3)	--	--
Taxa de auto-descarga (C4)	--	--
Meio ambiente (C5)	--	--
Custo por kWh (C6)	--	--

Fonte: Autor.

Nas matrizes de comparação estão as matrizes de comparação entre os próprios critérios ($C_i \times C_i$), onde o índice i pode assumir valores entre 3 e 15; matrizes de comparação entre os próprios subcritérios ($SC_{j,k} \times SC_{j,k}$). Para os subcritérios é necessário que se tenha uma classificação para cada um, pois como em uma comparação pode-se ter n critérios, então existem diversos subcritérios para cada critérios ou nenhum subcritério. A partir disso, o índice j representa um determinado critério e o índice k representa um determinado subcritério em relação ao critério, tanto o índice j como o k podem assumir valores entre 3 e 15, e para caso o critério não tenha nenhum subcritério, o usuário pode definir como zero na rotina.

Também existem as matrizes de comparação para as tecnologias avaliadas. Neste caso, as comparações são do tipo $T_p \times T_p$, sendo o índice p dado por $p \geq 4$ (ao considerar o número mínimo de critérios ($qC = 3$), subcritérios ($qSC = 0$) e tecnologias de armazenamento de energia ($qT = 3$)), ou seja, uma matriz de comparação para os critérios e três matrizes de comparação para as tecnologias de armazenamento de energia. Portanto, as tecnologias são comparadas entre si em relação aos critérios e/ou subcritérios.

Na Tabela 12, mostram-se os diferentes parâmetros utilizados por (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) para a construção das matrizes de comparação, na qual são apresentados os critérios e subcritérios.

Tabela 12 – Dados técnicos de diferentes critérios.

Critérios SAEs	C1		C2		C3	C4	C5	C6
	SC _{1,1} (Wh/kg)	SC _{1,2} (Wh/l)	SC _{1,3} (W/kg)	(Número de ciclos)	Eficiência	Descarga automática	Meio ambiente	Custo por kWh
Bateria de chumbo	30-50	75-120	80-150	500-1200	70 a 80 %	5%	Poluente	50-200 €/kWh
Ni-Cd	45-80	80-150	500-1000	1500-2000	70 a 90 %	10 a 20 %	Composto prejudicial	390 €/kWh
Ni-MH	60-120	175-300	1500	500-1000	66 %	30 %	Menos poluente	580 €/kWh
Ni-Zn	80-160	120-170	700-1200	200-1000	Moderado	20 %	Sem efeito ambiental	300 €/kWh
Ni-H ₂	75	60-90	220	≥ 20000	85%	Alto	Menos poluente	Muito caro
Li-Ion	100-200	200-400	500-2000	800-3000	90 a 100 %	5 a 10 %	Sem efeito ambiental	700-1000 €/kWh
Supercapacitor	0,5-10	10-30	1000-5000	10000 a 500000	80 a 100 %	50 %	Não poluente	16k €/kWh

Fonte: Adaptado de (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Na Tabela 13, apresenta-se a matriz de comparação em relação aos critérios utilizados, essa matriz mostra somente às comparações entre os próprios critérios, os valores foram preenchidos com base na análise dos dados da Tabela 12 aplicando os graus de importância apresentados na Tabela 1.

Tabela 13 - Uma matriz de comparação em pares para os níveis de critérios.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1/7	1/3	1/5	1/2	2
C2	7	1	3	2	5	9
C3	3	1/3	1	1/2	2	5
C4	5	1/2	2	1	3	7

C5	2	1/5	1/2	1/3	1	3
C6	1/2	1/9	1/5	1/7	1/3	1

Fonte: (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Na Tabela 14, exibe-se a matriz de comparação em relação aos subcritérios do critério 1.

Tabela 14 - Uma matriz de comparação de pares para os subcritérios.

	SC_{1,1}	SC_{1,2}	SC_{1,3}
SC_{1,1}	1	5	3
SC_{1,2}	1/5	1	1/3
SC_{1,3}	1/3	3	1

Fonte: (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Na Tabela 15, apresenta-se a matriz de comparação das tecnologias analisadas em relação ao subcritério **SC_{1,1}**, caso o critério tenha subcritério(s), ele não participa dessa parte e sim seu(s) subcritério(s).

Tabela 15 - Matriz de comparação de pares das tecnologias para **SC_{1,1}**.

SC_{1,1}	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	1/3	1/5	1/6	1/2	1/7	2
T2	3	1	1/2	1/3	2	1/5	5
T3	5	2	1	1/2	3	1/3	6
T4	6	3	2	1	5	1/2	7
T5	2	1/2	1/3	1/5	1	1/6	3
T6	7	5	3	2	6	1	9
T7	1/2	1/5	1/6	1/7	1/3	1/9	1

Fonte: Adaptado de (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Na Tabela 16, mostra-se cada matriz comparativa participante no processo do método de acordo com a entrada de dados; tipos de comparações; as comparações de cada matriz, onde C_s (Critérios) e SC_q (Subcritérios), sendo o índice q correspondente ao seu critério; as matrizes normativas e os vetores de prioridade.

Para encontrar o número de matrizes no método AHP dado por Q_{AHP} , sejam comparativas, normalizadas e também o número de vetores de prioridade, é usado (1), sendo utilizado qC ; o número total de subcritérios $qTSC$ somado com um.

$$Q_{AHP} = qC + qTSC + 1 \quad (1)$$

Tabela 16 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz.

Matriz (C)	Comparações	Sobre	Matriz (N)	Vetor (P)
Matriz 1	C x C	Cs	Matriz 1	Vetor 1
Matriz 2	SC x SC	SCs	Matriz 2	Vetor 2
Matriz 3	T x T	SC _{1,1}	Matriz 3	Vetor 3
Matriz 4	T x T	SC _{1,2}	Matriz 4	Vetor 4
Matriz 5	T x T	SC _{1,3}	Matriz 5	Vetor 5
Matriz 6	T x T	C2	Matriz 6	Vetor 6
Matriz 7	T x T	C3	Matriz 7	Vetor 7
Matriz 8	T x T	C4	Matriz 8	Vetor 8
Matriz 9	T x T	C5	Matriz 9	Vetor 9
Matriz 10	T x T	C6	Matriz 10	Vetor 10

Fonte: Autor.

Em (2) mostra-se como se dá o processo de colocação dos valores de grau de importância na matriz $A_{n \times n}$ não normalizada, na cor azul são os locais abaixo da diagonal principal e na cor verde tem os locais acima da diagonal principal, $a_{i,1}$ e $1/a_{1,j}$ são representações dos valores para demonstrar a reciprocidade de cada quantidade, sendo que tanto acima como abaixo da diagonal podem ter do tipo a como $1/a$. Somente abaixo da própria diagonal principal na rotina implementada que os graus de importância podem ser colocados, pois isso permite otimizar a quantidade de valores inseridos, reduzindo assim o tempo para preencher cada matriz de comparação.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \frac{1}{a_{1,j}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i,1} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

A normalização das matrizes implementadas no código seguiu o modelo adaptado proposto por (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013), em que o valor para cada posição da matriz é dado pela divisão de cada componente da matriz não normalizada pelo somatório de cada coluna da matriz não normalizada, como mostrado em (3).

$$[A]^N = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{i,1}} & \cdots & \frac{a_{1,n}}{\sum_{i=1}^n a_{i,n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n,1}}{\sum_{i=1}^n a_{i,1}} & \cdots & \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{i,n}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Os vetores de prioridade, conforme alguns são apresentados para algumas tabelas, na Tabela 17, foram obtidos considerando todas as matrizes normalizadas já preenchidas, com isso, baseou-se no somatório das linhas de cada matriz dividido pelo tamanho de cada uma, conforme em (4) e (5), com base em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Tabela 17 - Vetores de prioridade para as matrizes das tabelas 3, 4 e 5.

Vetores de prioridade		
VetorP ₁ - Tabela 13	VetorP ₂ - Tabela 14	VetorP ₃ - Tabela 15
0,0547	0,6333	0,0402
0,4128	0,1062	0,0996
0,1540	0,2605	0,1586
0,2542		0,2426
0,0903		0,0615
0,0339		0,3707
		0,0268

Fonte: Autor.

$$VetorP_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i^j \quad (4)$$

$$\text{em que } P_i^j = \left[\frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{i,j}} \right] \times \begin{bmatrix} a_{i,j} \\ \vdots \\ a_{n,j} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Para que todos os resultados sejam confiáveis é necessário que cada matriz tenha uma razão de consistência menor ou igual a 0,1 (CHAN, 2004). Portanto, caso se tenha pelo menos uma matriz com valor superior a esse limite, automaticamente tem-se que rever os valores inseridos dos graus de importância e refazer todos os passos novamente, caso contrário, aparece uma tabela que mostra a preferência ponderada normalizada para cada tecnologia (posição para cada tecnologia).

Na Tabela 18, mostra-se a razão de consistência (RC), a verificação de cada matriz em relação ao RC e a matriz correspondente, tabela consultiva para verificar se teve erros de consistência das matrizes de comparação.

Tabela 18 - Razão de Consistência e análise de cada matriz.

Razão de consistência (RC)	Consistente 0,1 <= RC > 0,1 Inconsistente	Matriz
0,0094	Consistente	1
0,0332	Consistente	2

0,0224	Consistente	3
0,0199	Consistente	4
0,0182	Consistente	5
0,0182	Consistente	6
0,0717	Consistente	7
0,0538	Consistente	8
0,0717	Consistente	9
0,0731	Consistente	10

Fonte: Autor.

No cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$ (maior autovalor da matriz), $\lambda_{\text{máx}}$ é usado para calcular a razão de consistência (RC) de cada matriz comparada conforme (6), foi usada a função eig() do *software* MATLAB™, em que n = tamanho da matriz e IR = índice randômico.

$$RC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \cdot IR \quad (6)$$

Na Tabela 19, mostra-se os índices randômicos adotados no estudo, com isso, toda matriz considerada tem tamanho mínimo de 3 e tamanho máximo de 15. Esses índices são gerados para cada tamanho de uma matriz quadrada, (SAATY, 1980) comparou o IC (índice de consistência – numerador de (6)) estimado com o mesmo índice derivado de uma matriz quadrada gerada aleatoriamente, denominado índice de consistência aleatória (do inglês *random consistency index* – RCI) que pode ser chamado também de índice randômico. Esse intervalo foi escolhido em decorrência do tamanho mínimo que a matriz a ser comparada deve ter para que quando fosse colocado o índice gerado para o tamanho dela não ocorra problema, pois para uma matriz com n menor do que 3, o $IR = 0$ e com isso, sempre vai dar erro ao calcular RC, pois independente dos valores inseridos do grau de importância, o RC sempre vai dar um valor infinito ou indeterminado. O tamanho máximo de cada matriz (15) foi escolhido se baseando nesta tabela para o valor máximo de n , caso seja necessário avaliar mais de 15 tecnologias de armazenamento de energia, deve-se considerar uma tabela com intervalo maior e modificar o algoritmo implementado.

Tabela 19 - Índices randômicos para n (3-15).

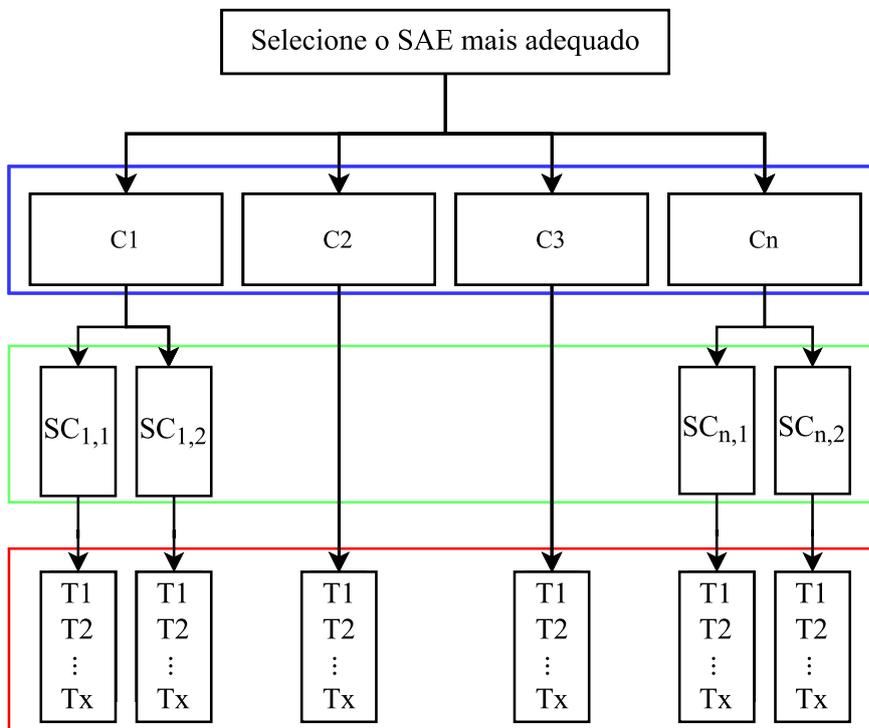
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Adaptado de (SAATY, 1980).

Na Figura 10, por meio do fluxograma, apresenta-se como o vetor preferência ponderada normalizada é obtido. Circulado na cor azul, ilustra-se o conjunto de

vetores referente aos critérios, na cor verde, os vetores dos subcritérios e na cor vermelha, são em relação às tecnologias de armazenamento de energia selecionadas.

Figura 10 - Fluxograma para o cálculo do vetor preferência ponderada normalizada.



Fonte: Autor.

Com isso, para ser obtido o peso (P) para T1, por exemplo, faz-se o seguinte, conforme apresentado em (7):

$$P = C1 \cdot SC_{1,1} \cdot T1 + C1 \cdot SC_{1,2} \cdot T1 + C2 \cdot T1 + C3 \cdot T1 + \dots + Cn \cdot SC_{n,1} \cdot T1 + Cn \cdot SC_{n,2} \cdot T1 \quad (7)$$

Assim é obtida a posição para cada sistema de armazenamento de energia, obtendo assim, o armazenamento de energia mais adequado com base nos dados inseridos corretamente.

Na Tabela 20, verifica-se a preferência ponderada normalizada (peso global) para cada tipo de tecnologia de armazenamento de energia escolhido. A posição está relacionada com a tecnologia mais expressiva em termos de peso (valor resultante das multiplicações dos vetores de prioridade). Sendo assim, o sistema mais adequado para a aplicação é o que tem o maior valor dentro do vetor preferência ponderada normalizada.

Na Tabela 21, apresenta-se a preferência ponderada normalizada, alguns valores estão um pouco diferentes em decorrência de aproximações e da forma como foi calculado cada peso em relação a tecnologia analisada, mesmo com isso, são confirmados os

resultados do artigo e com mais detalhes para se chegar a classificação de cada tecnologia de armazenamento usando o método AHP por meio de um algoritmo implementado.

Tabela 20 - Preferência ponderada normalizada.

Tecnologia de bateria	Peso global	Classificação
Bateria de chumbo	0,130	4°
Níquel-Cádmio (Ni-Cd)	0,120	5°
Níquel-Metal-Hidreto (Ni-MH)	0,059	7°
Níquel-Zinco (Ni-Zn)	0,065	6°
Níquel-hidrogênio (Ni-H ₂)	0,135	3°
Íon-lítio (Li-Ion)	0,247	1°
Supercapacitor	0,241	2°

Fonte: Adaptado de (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Tabela 21 - Resultados do peso global.

Tecnologia (T)	Peso global	Classificação
T1	0,1306	4°
T2	0,1211	5°
T3	0,0575	7°
T4	0,0645	6°
T5	0,1381	3°
T6	0,2461	1°
T7	0,2421	2°

Fonte: Autor.

Na Tabela 22, mostra-se a comparação entre o peso calculado pelo autor e a referência utilizada, conforme calculado por meio de (8), sendo a referência utilizada como a base de comparação, e com isso recebendo o valor de 1 para se obter a diferença entre a razão dos valores obtidos a partir da implementação construída e os citados por (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013). Esses valores em porcentagem mostram as alterações ocorridas nos resultados em comparação ao caso estudado, mas que confirmam os dados obtidos pelos autores. O programa utilizado ou mesmo o código da implementação, a quantidade de casas decimais a ser considerada de uma certa forma interferiram para que ocorressem essas pequenas mudanças.

$$\left[\frac{\text{Peso global (Autor)}}{\text{Peso global (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013)}} - 1 \right] \times 100 \quad (8)$$

Tabela 22 - Comparação dos pesos globais.

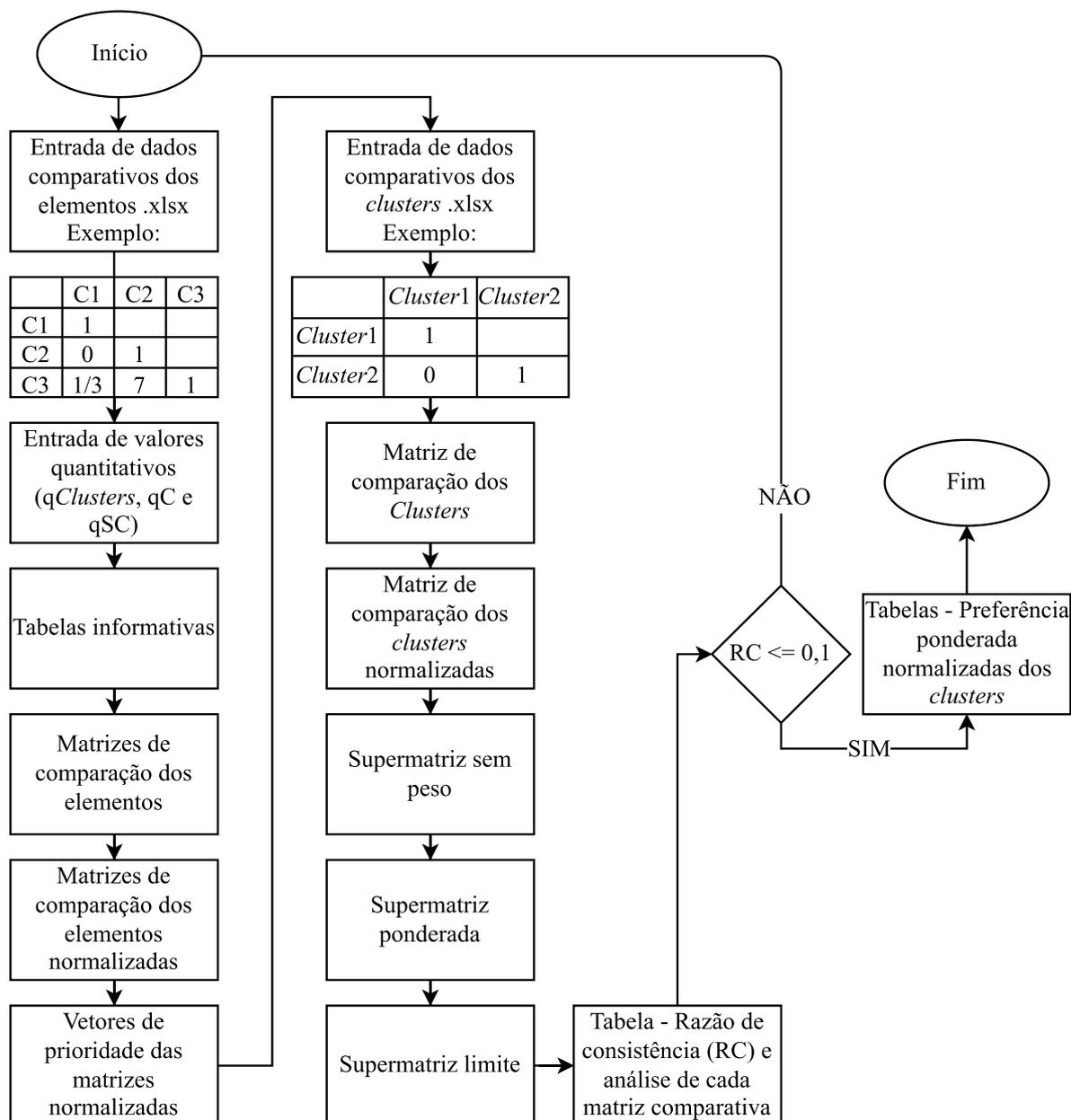
Tecnologia (T)	Comparação (%)
T1	0,4615
T2	0,9167
T3	-2,5424
T4	-0,7692
T5	2,2963
T6	-0,3644
T7	0,4564

Fonte: Autor.

3.2 MÉTODO ANP

O problema abordado na seção 3.1 é avaliado sob a aplicação do método ANP. Neste caso, são consideradas as influências entre os critérios e tecnologias apresentados nas Tabela 10 e Tabela 11. Na Figura 11, ilustra-se o fluxograma da rotina de utilização do método ANP implementada no MATLAB™. Observa-se que a rotina se inicia com a inserção dos dados de comparação dos elementos em formato .xlsx.

Figura 11 - Fluxograma do código implementado do método ANP.



Fonte: Autor.

Seguidamente, é incluído o número de *clusters* (qClusters), o número de critérios (qC), bem como o quantitativo de subcritérios (qSC) associados aos critérios. Somente os valores de qC assumem valores entre 3 e 15, com base em (SAATY, 1990). Para qClusters, foi estabelecido valores entre 2 e 15, e para qSC, os valores podem assumir o valor de 0 ou entre 1 e 15, parâmetros estabelecidos com base em (SAATY, 1990).

O código foi implementado com base em (ROSA; OLIVEIRA; BELDERRAIN, 2008), embora o artigo não tenha relação o tema sobre SAEs, a forma como foi explanada o uso do ANP por meio de um programa específico para o ANP foi essencial para o uso do artigo. O resultado da rotina implementada do método ANP encontra-se no APÊNDICE B. Uma vez definido qClusters, qC e respectivos qSC, a rotina gera as tabelas correspondentes para verificação dos dados inseridos, conforme apresentado no fluxograma da Figura 11. São geradas matrizes de comparação dos elementos, matrizes de comparação dos elementos normalizadas, vetores de prioridade das matrizes normalizadas. Após isso, pede-se a inserção dos dados de comparação dos *clusters* em formato .xlsx. Depois são geradas matriz de comparação dos *clusters*, matriz de comparação dos *clusters* normalizada, supermatriz sem peso, supermatriz ponderada, supermatriz sem limite e tabela que mostra a razão de consistência (RC) e análise de cada matriz, para serem verificada(o)s posteriormente.

Na Tabela 23, mostra-se a representação dos *clusters* para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) e como cada *cluster* é relacionado dentro da matriz dos *clusters* e de cada supermatriz (sem peso, ponderada e limite).

Tabela 23 - Exemplo para os clusters para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

<i>Clusters</i>	Denominação
<i>Cluster1</i>	Alternativas
<i>Cluster2</i>	Critérios

Fonte: Autor.

Na Tabela 2 do APÊNDICE B, apresenta-se a representação de como é dado o quantitativo de subcritérios para cada critério ao ser analisado ($cluster_i$ x $cluster_j$). Na Figura 12, mostra-se um exemplo de dois *clusters* de como se dá essa configuração da quantidade (Q) dos subcritérios para cada critério, relacionado tanto em relação à quantidade de subcritérios da linha (Q_{li}) como a quantidade de subcritérios da coluna (Q_{cj}).

Figura 12 - Configuração do quantitativo dos subcritérios para cada critério.

		<i>Cluster₁</i>			<i>Cluster₂</i>		
		C1, j1	C2, j2	C3, j3	C1, j4	C2, j5	C3, j6
<i>Cluster₁</i>	C1, i1	Q ₁₁ ;Q _{c1}	Q ₁₁ ;Q _{c2}	Q ₁₁ ;Q _{c3}	Q ₁₁ ;Q _{c4}	Q ₁₁ ;Q _{c5}	Q ₁₁ ;Q _{c6}
	C2, i2	Q ₁₂ ;Q _{c1}	Q ₁₂ ;Q _{c2}	Q ₁₂ ;Q _{c3}	Q ₁₂ ;Q _{c4}	Q ₁₂ ;Q _{c5}	Q ₁₂ ;Q _{c6}
	C3, i3	Q ₁₃ ;Q _{c1}	Q ₁₃ ;Q _{c2}	Q ₁₃ ;Q _{c3}	Q ₁₃ ;Q _{c4}	Q ₁₃ ;Q _{c5}	Q ₁₃ ;Q _{c6}
<i>Cluster₂</i>	C1, i4	Q ₁₄ ;Q _{c1}	Q ₁₄ ;Q _{c2}	Q ₁₄ ;Q _{c3}	Q ₁₄ ;Q _{c4}	Q ₁₄ ;Q _{c5}	Q ₁₄ ;Q _{c6}
	C2, i5	Q ₁₅ ;Q _{c1}	Q ₁₅ ;Q _{c2}	Q ₁₅ ;Q _{c3}	Q ₁₅ ;Q _{c4}	Q ₁₅ ;Q _{c5}	Q ₁₅ ;Q _{c6}
	C3, i6	Q ₁₆ ;Q _{c1}	Q ₁₆ ;Q _{c2}	Q ₁₆ ;Q _{c3}	Q ₁₆ ;Q _{c4}	Q ₁₆ ;Q _{c5}	Q ₁₆ ;Q _{c6}

Fonte: Autor.

Na Tabela 24, mostra-se uma simplificação da Tabela 3 do APÊNDICE B, essa tabela mostra a ordem das matrizes comparativas dos elementos, assim como as comparações, sobre o que vai ser comparado, ordem das matrizes normalizadas e onde se situa cada comparação no contexto de cada (*cluster₁ x cluster₂*).

Em relação ao processo de construção de cada matriz comparativa e normalizada, o processo é o mesmo do método AHP, seguindo todas as equações mostradas em 3.1 MÉTODO AHP.

Tabela 24 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz.

Matriz (C)	Comparações	Sobre	Matriz (N)	<i>Cluster x Cluster</i>
Matriz 1	Cs x Cs	Cs	Matriz 1	<i>Cluster₁ x Cluster₁</i>
Matriz 2	SC x SC	SC _{1,1}	Matriz 2	<i>Cluster₁ x Cluster₂</i>
Matriz 3	SC x SC	SC _{1,2}	Matriz 3	<i>Cluster₁ x Cluster₂</i>
Matriz 4	SC x SC	SC _{1,3}	Matriz 4	<i>Cluster₁ x Cluster₂</i>
Matriz 5	C x C	C2	Matriz 5	<i>Cluster₁ x Cluster₂</i>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Matriz 11	Cs x Cs	Cs	Matriz 17	<i>Cluster₂ x Cluster₂</i>

Fonte: Autor.

Na Figura 13, exemplifica-se a representação dos *clusters*, em que cada *cluster* comporta matriz normalizada dos elementos. Para *clusters* em que a linha e a coluna tenham o mesmo índice ou quando a linha for maior do que 1, adotou-se que ao invés de colocar os vetores de normalização (que formam matriz do tipo $[A]^N$), preferiu-se adotar que

tenham somente uma matriz inserida, pois à análise principal se concentra no *cluster* dos SAEs.

Figura 13 - Representação dos *clusters*.

<i>Cluster</i> _{1,1}	...	<i>Cluster</i> _{1,<i>J</i>}
[A] ^N _(1,1)	...	[A] ^N _(1,<i>J</i>)
⋮	⋮	⋮
<i>Cluster</i> _{<i>I</i>,1}	...	<i>Cluster</i> _{<i>I</i>,<i>J</i>}
[A] ^N _(<i>I</i>,1)	...	[A] ^N _(<i>I</i>,<i>J</i>)

Fonte: Autor.

Em (9), pode-se ver como é calculado o número de matrizes comparativas dos elementos no ANP. Q_{ANP} é calculado considerando o número de $q_{clusters}$ (com valor mínimo 2) somado com os a quantidade de matrizes contidas em cada bloco dos $clusters_{I,J}$. Cada bloco contém uma determinada quantidade de matrizes comparativas. Assim, cada bloco de *cluster* considera o somatório em relação à quantidade de critérios ou subcritérios contidos nele, ou seja, tem-se um somatório do número de $q_{c_{I,J}}$ (representa o número de critérios por $cluster_{I,J}$ em relação à coluna J); do número de $q_{sc_{I,J}}$ (representa o número de subcritérios por $cluster_{I,J}$ em relação à coluna J) e do número de $(q_{c_{I,J}})_{sc}$ (representa o número de critérios que contém subcritérios por $cluster_{I,J}$ em relação à coluna J). Para o modelo adotado, esses somatórios só são aplicados em relação à linha $I=1$ dos *cluster*, pois é nessa linha que estar contida o *cluster* SAEs e como foram adotados somente dois *clusters*, esse foi o modelo simplificado criado para encontrar o valor de Q_{ANP} .

$$Q_{ANP} = q_{cluster}(q_{cluster} - 1) + \sum_{I=1}^1 \left[\sum_{J=1}^{q_{cluster}} \left(\left((q_{c_{I,J}})_{J>1} + (q_{sc_{I,J}})_{J>1} \right) - \left((q_{c_{I,J}})_{sc} \right)_{J>1} \right) \right] \quad (9)$$

Em relação ao processo de construção da matriz comparativa dos *clusters* (matriz de pesos) e sua normalizada, seguem o mesmo do método AHP, acrescentando o fato de poder colocar valor zero nas comparações paritárias. Nessa etapa é solicitada dados da matriz dos *clusters* para depois serem geradas às matriz dos *clusters* e sua normalizada,

supermatriz sem pesos (contém matrizes normalizadas e vetores de prioridade, conforme a relação de cada $cluster_I \times cluster_J$ e também ao quantitativo de matrizes que cada $cluster_{I,J}$ possui); supermatriz ponderada e supermatriz sem limite.

Em (10), mostra-se o modelo da supermatriz sem pesos, nela está contida cada bloco das matrizes normalizadas e dos vetores de prioridade das matrizes normalizadas; em (11), apresenta-se o modelo da matriz normalizada dos *clusters* e em (12), o modelo para o cálculo da supermatriz ponderada, na qual cada bloco é encontrado multiplicando o bloco correspondente da supermatriz sem pesos em relação ao elemento normalizado da matriz normalizada dos *clusters*.

$$S_{SEMPESOS} = \begin{bmatrix} [A]_{1,1}^N & \cdots & [A]_{1,J}^N \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [A]_{I,1}^N & \cdots & [A]_{I,J}^N \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$[M]_{COMPESOS}^N = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & a_{1,j} \\ \frac{\sum_{i=1}^n a_{i1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \cdots & \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{j,1} & \cdots & 1 \\ \frac{\sum_{i=1}^n a_{i,1}}{\sum_{i=1}^n a_{i,1}} & \cdots & \frac{\sum_{i=1}^n a_{i,j}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$S_{PONDERADA} = \begin{bmatrix} [A]_{1,1}^N \times \frac{1}{\sum_{i=1}^j a_{i,1}} & \cdots & [A]_{1,J}^N \times \frac{a_{1,n}}{\sum_{i=1}^n a_{i,n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [A]_{I,1}^N \times \frac{a_{i,1}}{\sum_{i=1}^n a_{i,1}} & \cdots & [A]_{I,J}^N \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{i,n}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Para o cálculo da supermatriz sem limite, conforme o resultado para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) é mostrado na Tabela 25, foi considerado um número mínimo de casas decimais que cada valor unitário da supermatriz sem limite deve ter para atender o resultado esperado, foi considerado no mínimo 12 casas decimais, o mínimo foi considerado em virtude das simulações feitas e como o valor poderia demorar horas ou dias de simulação para encontrar valores iguais em cada linha da supermatriz, preferiu-se adotar tal parâmetro, com isso, para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013), foi encontrado o valor de 126 para elevar a supermatriz ponderada para encontrar a supermatriz limite. Em APÊNDICE B, o resultado da supermatriz é mostrado com 4 casas decimais, em virtude para diminuir o tamanho da supermatriz limite resultante, porém, o valor calculado para encontrar a supermatriz limite foi com 12 casas decimais.

Para analisar a razão de consistência de cada matriz comparativa que faz parte da supermatriz sem pesos, foram usadas as mesmas equações do método AHP. Na Tabela 26, apresenta-se a razão de consistência das matrizes comparativas dos elementos para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013). Para a matriz de pesos, a razão de consistência não é aplicada.

Tabela 26 - Razão de Consistência e análise de cada matriz comparativa para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) aplicando o ANP.

Razão de consistência (RC)	Consistente $0,1 \leq RC < 0,1$ Inconsistente	Matriz
-0,7576	Consistente	1
0,0224	Consistente	2
0,0199	Consistente	3
0,0182	Consistente	4
0,0182	Consistente	5
0,0717	Consistente	6
0,0538	Consistente	7
0,0717	Consistente	8
0,0731	Consistente	9
-0,7092	Consistente	10
-0,7092	Consistente	11

Fonte: Autor.

Em (13), mostra-se como calcular os vetores $\{V\}_{CLUSTER_I}^N$ de preferência ponderada normalizada dos *clusters*, o cálculo considera a linha *I* de cada *cluster*, com isso, $t_{cluster_I}$ é o valor do tamanho final de cada linha *I*; os valores de cada linha *I* são normalizados, considerando o tamanho de cada linha *I* para ser o limite de cada *cluster*, sendo esse limite usado para ser calculado cada valor normalizado referente a linha deste *cluster*. Com isso, é feita uma normalização de cada elemento, mas somente é considerado a coluna 1 de cada *cluster I*, pois como os valores normalizados são os mesmos para cada coluna, então não precisa-se considerar todos os valores de cada *cluster I* para serem colocados no vetor $\{V\}_{CLUSTER_I}^N$.

Nas Tabela 27 e Tabela 28, mostram-se tabelas resultantes de cada *cluster* para a preferência ponderada normalizada (classificação dentro do *cluster*) a partir da supermatriz limite (Tabela 26), *cluster1* (cor verde) e *cluster2* (cor amarela), respectivamente. Como foram dois *clusters*, então o resultado corresponde a cada cluster separado, tanto pode-se analisar as alternativas como também os critérios e subcritérios em relação ao desempenho

individual de cada um dentro do *cluster* correspondente. Como o intuito do trabalho final é realizar uma análise dos SAEs, o resultado mais importante é sobre os SAEs, às análises sobre os *clusters* envolvendo os critérios dentro de curtíssimo e curto prazo não devem ser tratadas no trabalho de forma comparativa com o método AHP, com isso, os resultados mostrados como por exemplo na Tabela 28, não devem ser avaliados de forma comparativa, pois se tratam das comparações envolvendo os critérios e/ou subcritérios adotados.

$$\{V\}_{CLUSTER_I}^N = \left[\begin{array}{c} a_{1,j} \\ \hline \sum_{i=1}^{t_{cluster_I}} a_{i,1} \\ \vdots \\ a_{i,1} \\ \hline \sum_{i=1}^{t_{cluster_I}} a_{i,1} \end{array} \right] \quad (13)$$

Tabela 27 - Preferência ponderada normalizada para *cluster1* (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

<i>Cluster1</i>	Peso global	Classificação
C1	0,1219	3°
C2	0,1107	4°
C3	0,0931	7°
C4	0,0946	6°
C5	0,1004	5°
C6	0,2919	1°
C7	0,1874	2°

Fonte: Autor.

Tabela 28 - Preferência ponderada normalizada para *cluster2* (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

<i>Cluster2</i>	Peso global	Classificação
SC _{1,1}	0,1219	7°
SC _{1,2}	0,1107	6°
SC _{1,3}	0,0931	5°
C2	0,0946	3°
C3	0,1004	4°
C4	0,2919	1°
C5	0,1874	2°
C6	0,0000	8°

Fonte: Autor.

Na Tabela 29, mostram-se comparações dos resultados para o *cluster* alternativas para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013). Percebe-se que algumas posições das alternativas foram alteradas quando aplicou-se o método ANP, em outros casos os resultados foram bem próximos do obtidos tanto para o AHP como do (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Tabela 29 - Comparações dos resultados dos pesos globais dos SAEs para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013).

Alternativas	Autor (AHP)		Cluster1	Autor (ANP)	
	Peso global	Classificação		Peso global	Classificação
T1	0,1306	4°	C1	0,1219	3°
T2	0,1211	5°	C2	0,1107	4°
T3	0,0575	7°	C3	0,0931	7°
T4	0,0645	6°	C4	0,0946	6°
T5	0,1381	3°	C5	0,1004	5°
T6	0,2461	1°	C6	0,2919	1°
T7	0,2421	2°	C7	0,1874	2°

Fonte: Autor.

CAPÍTULO 4

SELEÇÃO DE ACUMULADORES NA APLICAÇÃO DE CURTÍSSIMO E CURTO PRAZO DA GD

4.1 DETALHES DE APLICAÇÃO DE CURTÍSSIMO E CURTO PRAZO DA GD

Segundo (SCHOENUNG, 2001), a capacidade de armazenamento de energia é determinada especificamente pela duração do tempo necessário para entrega ou descarga. Os aplicações tendem a se enquadrar em categorias de tempo de muito curto, curto, longo e muito longo. Com isso, como o estudo está se baseando apenas em aplicações de curtíssimo e curto prazo, o detalhamento se concentra nessas duas categorias de entrega ou descarga do armazenamento de energia. Na Tabela 30, mostram-se aplicações que são reconhecidas de acordo com às funções de cada uma, conforme (SCHOENUNG, 2001). Na Tabela 31, apresentam-se às divisões dessas aplicações para as categorias de curtíssimo prazo e curto prazo.

Tabela 30 - Aplicações que são reconhecidas pelas concessionárias e seus clientes.

Aplicações	Explicação
Aprimoramento de transmissão	O armazenamento de energia pode melhorar a capacidade de transmissão fornecendo estabilidade de linha, regulação de tensão, regulação de frequência. Equipamentos de eletrônica de potência especializados devem estar localizados em locais adequados ao longo das linhas de transmissão. A quantidade de energia injetada geralmente é pequena, mas com potência relativamente alta.
Correspondência de energias renováveis	Fontes de energia renováveis, como eólica e solar, são desejáveis porque não são poluentes e são abundantes. Por sua própria natureza, porém, são intermitentes; muitas vezes o perfil de geração de energia não coincide com o ciclo de demanda. O armazenamento de energia pode ser usado para combinar a saída de fontes renováveis com qualquer perfil de carga.
Eletromobilidade	Muitos sistemas de transporte elétrico podem se beneficiar do armazenamento de energia devido à carga altamente variável que eles criam durante a frenagem e a partida. Muitos tipos de armazenamento de energia podem fornecer frenagem regenerativa, aceitando energia do sistema de propulsão durante a desaceleração e, em seguida, fornecendo um impulso durante a aceleração.
Energia remota	Em alguns locais remotos, não é prático levar energia a um local a partir de uma rede elétrica estabelecida. A energia pode ser gerada a partir de geradores a diesel ou gás, células de combustível ou fontes renováveis. Para gerenciamento de carga local, pode ser útil incluir armazenamento de energia para minimizar a capacidade de geração.

Gerenciamento de carga	<p>O gerenciamento de carga inclui a aplicação tradicional de armazenamento de energia de nivelamento de carga, na qual a energia é armazenada fora do horário de pico (normalmente à noite) e depois descarregada durante o horário de pico. Isso não apenas economiza dinheiro com base na diferença entre as taxas de pico e fora de pico, mas também fornece um fator de carga mais uniforme para os sistemas de geração, transmissão e distribuição.</p>
Qualidade de energia	<p>A energia elétrica às vezes sofre distúrbios, como quedas de tensão momentâneas ou até mesmo interrupções. Esses eventos, juntamente com distorções harmônicas e outras imperfeições, podem afetar equipamentos de processamento sensíveis que precisam de energia extremamente limpa para operar adequadamente. Os sistemas de armazenamento de energia estão sendo instalados com sucesso para fornecer energia confiável e de alta qualidade para cargas sensíveis. Às vezes os sistemas são acoplados diretamente ao equipamento crítico, às vezes ao barramento que alimenta uma instalação ou mesmo em uma linha alimentadora.</p>
Recursos distribuídos	<p>Os sistemas de distribuição em muitas áreas urbanas e suburbanas em crescimento estão sujeitos a picos dramáticos durante o dia. Muitas vezes, é mais econômico adicionar recursos de geração distribuída em locais críticos do que atualizar os fios de distribuição. O armazenamento de energia pode ser ideal para esta aplicação porque a recarga pode ocorrer fora dos períodos de pico.</p>
Reserva giratória	<p>A maioria das concessionárias de energia elétrica opera com um requisito de reserva giratória. Esta geração está pronta, caso uma unidade geradora elétrica em algum lugar do sistema falhe. A energia de reserva disponível é determinada pela configuração e combinação de capacidades da unidade no sistema. Normalmente, a potência de reserva deve ser igual à potência da maior unidade geradora em operação.</p>
Uso final	<p>Embora a principal aplicação de uso final para armazenamento de energia seja para qualidade de energia, existem outros usos do cliente. Isso inclui redução de pico local (para evitar cobranças de hora do dia) e aprimoramentos de processo (i.e., em processos de energia pulsada ou outras aplicações industriais especializadas).</p>

Fonte: Autor.

Tabela 31 - Aplicações de armazenamento de energia e suas características.

Aplicações	Energia (kWh)	Potência	Tempo de armazenamento	Tempo de resposta*
Duração muito curta				
Qualidade de energia e partida de motor.	~0,2	≤ 1 MW	Segundos	< ¼ de ciclo
Eletromobilidade	~0,2	< 1 MW	Segundos	< 1 ciclo
Estabilização de transmissão e distribuição de energia.	20 - 50	Até 100 MW	Segundos	< ¼ de ciclo
Duração curta				

Geração distribuída (pico).	5.000 – 50.000	0,5 até 5 MW	~1 hora	< 1 minuto
Corte de pico de uso final (para evitar cobranças de demanda).	1.000	< 1 MW	~1 hora	< 1 minuto
Reserva giratória – resposta rápida em 3 segundos para evitar o deslocamento automático.	5.000 – 500.000	1 – 100 MW	< 30 minutos	< 3 segundos
Reserva giratória – convencional (responder em 10 min).	--	--	< 30 minutos	< 10 minutos
Backup de telecomunicações.	2 – 4	1 – 2 kW	~2 horas	< 1 ciclo
Correspondência renovável (intermitente).	10 – 10.000	Até 10 MW	min – 1 hora	< 1 ciclo
Fonte de energia ininterrupta.	100 – 4.000	Até ~2 MW	~2 horas	Segundos

Fonte: Adaptado de (SCHOENUNG, 2001).

Nota: * O tempo de resposta não são valores exatos, mas valores de requisitos de cada aplicação e que esses valores podem estar longe ou próximos da margem do limite apresentado para cada aplicação, tanto para limites de tempo dado em ciclos de AGC (i.e., 0,0667 minutos = 4 segundos) (MAKAROV et al., 2008) como para limites de tempo em segundos e minutos.

Na Tabela 32, mostram-se às especificações de cada aplicação, como a GD é o foco da dissertação, os parâmetros analisados (critérios) devem ser guiados com base nas características da GD e que com base nisso, os SAEs possam atender essas restrições de aplicabilidade.

Tabela 32 - Especificações da categoria de aplicação.

Categoria de aplicação	Faixa de energia armazenada	Faixa de potência de descarga	Faixa de tempo de descarga	Aplicações representativas
Armazenamento de energia a granel	10 – 8.000 MWh	10 – 1.000 MW	1 – 8 horas	Nivelamento de carga, reserva giratória.
GD	50 – 8.000 kWh	100 – 2.000 kW	0,5 – 4 horas	Corte de pico, adiamento de transmissão.
Qualidade de energia	0,028 – 16,67 kWh	0,1 – 2 MW	1 – 30 segundos	Qualidade e confiabilidade de energia de uso final.

Fonte: Adaptado de (SCHOENUNG; HASSENZAHN, 2003).

4.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E ESCOLHA DOS SAEs

Os critérios de seleção dos SAEs foram escolhidos com base na própria importância do critério (i.e., tempo de resposta, critério importante do ponto de vista em relação às aplicações de curtíssimo prazo e curto prazo) ou se tratando do ponto de vista econômico (i.e., custo de investimento), outros como eficiência, potência e tempo de descarga foram considerados em virtude da quantidade de vezes que estavam inseridos nos artigos selecionados, visto que são critérios bastante utilizados para análise de cada SAE, principalmente se forem avaliados de forma unitários (eficiência em relação ao SAE que tenha uma melhor entrega de energia; caso uma aplicação necessite considerar a taxa de transferência de energia requerida como fator decisivo, potência; ou o próprio desgaste do SAE em cada ciclo de carga-descarga, tempo de descarga). Como os critérios devem-se ser aplicados tanto ao AHP como ANP, os critérios foram adotados como critério custo de investimento, critério eficiência, etc. Com isso, os termos referentes a critério ambiental, econômico, entre outros, não devem-se ser considerados para efeito de terminologia. Na Tabela 33, mostram-se os critérios adotados, descrição e unidade dos critérios.

Tabela 33 - Critérios de seleção, definição e unidade.

Critérios	Descrição	Unidade
Custo de investimento (C1)	Custo do investimento por célula de armazenamento. Apesar de a moeda ser estrangeira, não foi convertida para o real e nem também foi aplicado uma correção de inflação, mas somente os valores que foram tabelados pela referência utilizada.	€/kWh
Eficiência (C2)	Reflete a quantidade de energia que sai do armazenamento em relação à quantidade colocada no armazenamento (EYER; COREY, 2010).	%
Potência (C3)	A taxa de transferência de energia por unidade de volume (IRENA, 2017).	MW
Tempo de descarga (C4)	SAEs se degradam com o uso (ciclo de carga-descarga). A taxa de degradação depende do tipo de tecnologia de armazenamento, condições operacionais e outras variáveis (EYER; COREY, 2010).	h
Tempo de resposta (C5)	É a quantidade de tempo necessária para passar de nenhuma descarga para descarga total, ou seja, é o tempo que leva para um sistema de armazenamento atingir a potência nominal após um período de espera (EYER; COREY, 2010; IRENA, 2017).	ms

Fonte: Autor.

Os SAEs foram selecionados de acordo com às informações sobre os dados técnicos e ano de publicação do artigo, sendo assim, os artigos que não continham

informações de como os autores obtiveram os dados técnicos não foram selecionados, sendo que os dados obtidos são em relação aos artigos do portfólio construído.

Dois SAEs selecionados foram escolhidos por maturidade tecnológica ou disponível comercialmente (Li-Ion e Pb-A) e dois SAEs por desenvolvimento tecnológico (Supercapacitor e VRB) com base em (NADEEM et al., 2019). Na Tabela 34, apresentam-se os SAEs selecionados com às características adotadas para a seleção dos SAEs e os valores mínimos e máximos para cada SAE em relação aos dados técnicos consultados.

Tabela 34 - Características das tecnologias de armazenamento de energia.

SAEs Critérios	Li-Ion (T1)	Pb-A (T2)	Supercapacitor (T3)	VRB (T4)
Custo de investimento (€/kWh)	484-696	230-320	1463-6800	458-860
Eficiência (%)	87,2-94,8	75,3-85,5	92,5-96,4	80-86,8
Potência (MW)	0-0,37	0-25	0-15,15	0,10-3
Tempo de descarga (h)	0,017-1	$2,8 \times 10^{-04}$ -1	$2,8 \times 10^{-07}$ -1	$2,8 \times 10^{-04}$ -10
Tempo de resposta* (ms)	20	5	8	1

Fonte: Autor.

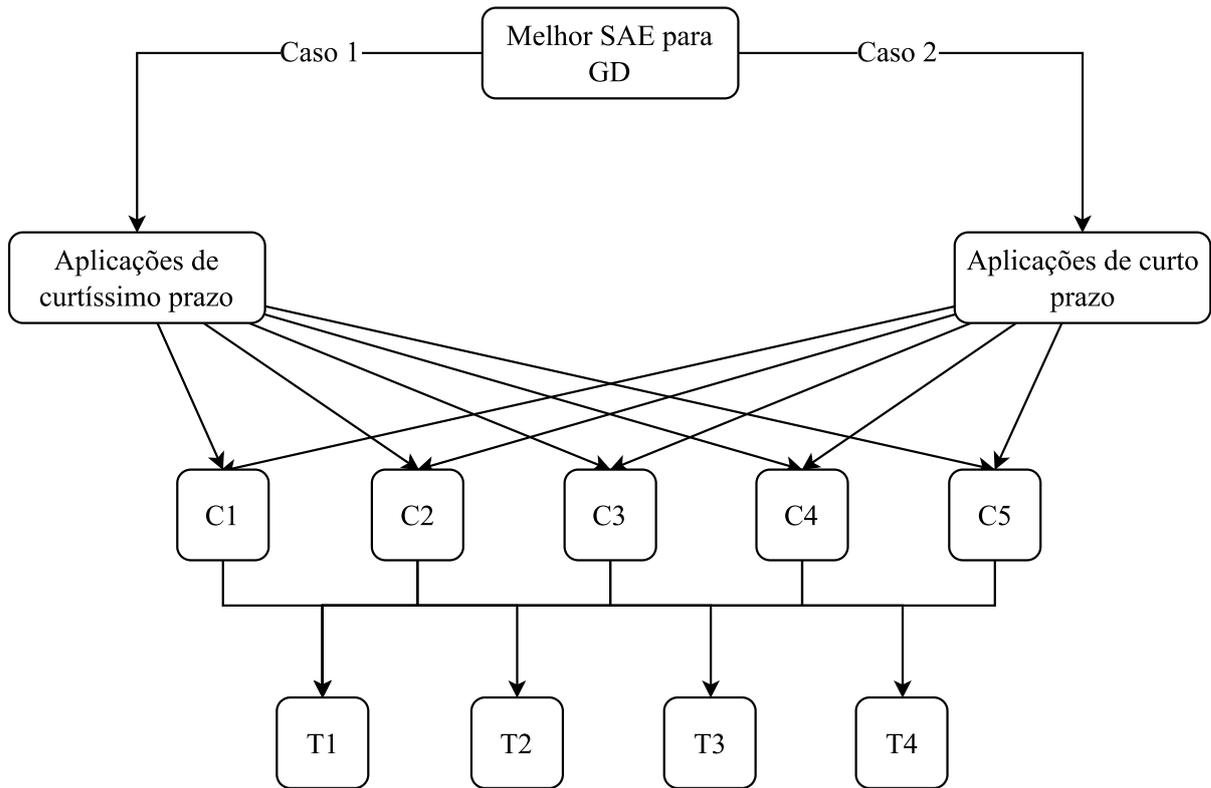
Nota: * Foi considerado somente o valor mínimo do C5, em decorrência de não possuírem valores numéricos máximos para T4, mas somente da própria unidade de medida.

4.3 APLICAÇÃO DO AHP

Nessa etapa mostram às explicações dos pesos aplicados e os pesos de cada comparação tanto para curtíssimo prazo como para curto prazo, com base em tabelas consultadas que foram detalhadas nos tópicos anteriores.

Na Figura 14, mostra-se o diagrama proposto da hierarquia da seleção dos SAEs para o AHP, considerando os casos de curtíssimo prazo e curto prazo das aplicações. São mostrados os critérios escolhidos (C1, C2, C3, C4 e C5) e os SAEs (T1, T2, T3 e T4).

Figura 14 - Diagrama de seleção proposto para os casos curtíssimo prazo e curto prazo.



Fonte: Autor.

4.3.1 Curtíssimo prazo

Na Tabela 35, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos critérios selecionados para serem aplicados no método AHP. Os pesos foram escolhidos com base na análise dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 35 - Comparativo dos critérios para AHP.

Comparação		Resultado	Explicação
C2	x C1	2	Levando-se em consideração que o C2 acompanha o C1, ou seja, seguem uma proporcionalidade entre custo e eficiência, porém têm SAEs que ainda estão em desenvolvimento ou disponíveis comercialmente. Então, o custo de investimento deve ser o menor possível, sem prejudicar a eficiência do sistema, exigindo um equilíbrio. Foi adotado um peso de importância intermediária entre C2 e C1.
C3	x C1	7	Apesar C3 e C1 serem fatores bastante importantes tanto do ponto de vista econômico como técnico, preferiu-se adotar um peso em que C3 tenha uma importância muito forte em relação ao C1, pois C3 atende a maioria das aplicações de curto e curtíssimo prazo.

C3	x	C2	2	C3 e C2 são importantes do ponto de vista técnico. Foi adotado um peso de importância intermediária entre C3 e C2, pois é necessário uma melhor eficiência do SAE, assim como também uma maior possibilidade de aplicações de diferentes requisitos de potência.
C4	x	C1	7	Levando-se em consideração que o tempo de descarga é um importante critério técnico, foi adotado um peso de importância muito forte entre C4 e C1.
C4	x	C2	2	C4 e C2 são importantes do ponto de vista técnico, pois ambos contribuem para eficiência global do sistema aplicado (GD). Foi adotado um peso de importância intermediária entre C4 e C2.
C4	x	C3	2	C4 e C3 são importantes do ponto de vista técnico (tempo de descarga e aplicações do ponto de vista da potência necessária). Foi adotado um peso de importância intermediária entre C4 e C3.
C5	x	C1	7	Ao ser comparado C5 com C1, foi adotado que para SAEs para aplicações de curtíssimo prazo, C5 tenha importância muito forte em relação a C1.
C5	x	C2	4	Tanto o C5 como o C2 contribuem de forma importante para o sistema elétrico, tanto ao analisar a eficiência do sistema como também o tempo que o sistema vai precisar de uma resposta de um determinado SAE. Foi adotado um peso de importância intermediária entre C5 e C2.
C5	x	C3	2	C4 e C3 são importantes do ponto de vista técnico (tempo de resposta e aplicações do ponto de vista da potência). Foi adotado um peso de importância intermediária entre C5 e C3.
C5	x	C4	2	Ambos contribuem de forma bastante necessária para aplicações de curtíssimo prazo. Foi adotado um peso de importância intermediária entre C5 e C4.

Fonte: Autor.

Na Tabela 36, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C1. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 36 - Comparativo das tecnologias em relação a C1 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	3	O custo deve ser o menor possível para o investimento, com isso, o peso de T2 teve uma importância moderada em relação a T1.
T3	x	T1	1/9	T3 tem um custo de investimento maior, mas como o custo deve ser o menor possível, o fato de ter um custo maior faz com que o peso do SAE seja baixo. Portanto, foi adotado um valor de importância absoluta de T1 em

				relação a T9.
T3	x	T2	1/9	T3 tem um custo de investimento maior, mas como o custo deve ser o menor possível, o fato de ter um custo maior faz com que o peso do SAE seja baixo. Portanto, foi adotado um peso de importância absoluta de T2 em relação a T3.
T4	x	T1	1	Como T4 tem um custo de investimento mínimo próximo de T1, o peso entre T4 e T1 foi adotado como unitário.
T4	x	T2	1/3	O custo deve ser o menor possível para o investimento, com isso, o peso de T2 deve ser moderado em relação a T4.
T4	x	T3	9	O custo deve ser o menor possível para o investimento, com isso, o peso de T4 foi considerado de importância absoluta em relação a T3.

Fonte: Autor.

Na Tabela 37, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C2. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 37 - Comparativo das tecnologias em relação a C2 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	1/3	Considerando que a maior eficiência é a melhor opção, T2 tem um valor médio inferior a T1, foi adotado um peso de importância moderada de T1 em relação a T2.
T3	x	T1	3	T3 tem um valor médio um pouco superior a T1, portanto, sendo avaliado como uma comparação de importância moderada de T3 em relação a T1.
T3	x	T2	5	T3 tem um valor médio um pouco superior a T1, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso de forte importância entre T3 e T2.
T4	x	T1	1/3	T4 tem um valor médio um pouco inferior a T1, portanto sendo avaliado como uma comparação de peso fraco, T1 com uma importância moderada em relação a T4.
T4	x	T2	3	T4 tem um valor médio um pouco superior a T2, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso de importância moderada entre T4 e T2.
T4	x	T3	1/3	T4 tem um valor médio um pouco inferior a T3, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso de importância moderada entre T3 e T4.

Fonte: Autor.

Na Tabela 38, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em

relação a C3. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados nas Tabela 31 e Tabela 34.

Tabela 38 - Comparativo das tecnologias em relação a C3 para AHP.

Comparação			Resultado	Explicação
T2	x	T1	9	T2 possui uma potência grande em comparação a T1, foi adotado um peso de importância absoluta entre T2 e T1.
T3	x	T1	9	T3 possui uma potência grande em comparação a T1, foi adotado um peso de importância absoluta entre T3 e T1.
T3	x	T2	1/3	T3 possui uma potência pequena em comparação a T2, foi adotado um peso de importância moderada entre T2 e T3.
T4	x	T1	3	T4 possui uma potência pequena em comparação a T1, foi adotado um peso de importância moderada entre T4 e T1.
T4	x	T2	1/9	T2 possui uma potência grande em comparação a T4, foi adotado um peso de importância absoluta entre T2 e T4.
T4	x	T3	1/5	T4 possui uma potência pequena em comparação a T3, foi adotado um peso de importância forte entre T3 e T4.

Fonte: Autor.

Na Tabela 39, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C4. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 39 - Comparativo das tecnologias em relação a C4 para AHP.

Comparação			Resultado	Explicação
T2	x	T1	1	Considerando que quanto maior o tempo de descarga, melhor o SAE, então foi colocado um valor de peso em que ambos os SAEs contribuem igualmente, pois os valores médios ficaram muito próximos.
T3	x	T1	1	Foi colocado um valor de peso em que ambos os SAEs contribuem igualmente, pois os valores médios ficaram muito próximos.
T3	x	T2	1	Foi colocado um valor de peso em que ambos os SAEs contribuem igualmente, pois os valores médios ficaram muito próximos.
T4	x	T1	9	Foi colocado um peso de importância absoluta, pois T4 se destaca mais, principalmente pelo fato de possui um maior valor máximo de tempo de descarga.
T4	x	T2	9	Foi colocado um peso de importância absoluta, pois T4

				se destaca mais, principalmente pelo fato de possuir um maior valor máximo de tempo de descarga.
T4	x	T3	9	Foi colocado um peso de importância absoluta, pois T4 se destaca mais, principalmente pelo fato de possuir um maior valor máximo de tempo de descarga.

Fonte: Autor.

Na Tabela 40, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C5. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados nas Tabela 31 e Tabela 34.

Tabela 40 - Comparativo das tecnologias em relação a C5 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	7	O tempo de resposta é um fator importante para aplicações de curtíssimo prazo, com isso, quanto menor o tempo de atuação, melhor o SAE. Foi considerado que T2 tenha um peso de forte importância em relação a T1.
T3	x	T1	3	T3 tem um peso de importância moderada em relação a T1 por causa do menor tempo de resposta de T3 em relação a T1.
T3	x	T2	1/3	T2 tem um peso de importância moderada em relação a T3 por causa do maior tempo de resposta de T3 em relação a T2.
T4	x	T1	9	T4 tem um peso de importância absoluta em relação a T1 por causa do menor tempo de resposta de T4 em relação a T1.
T4	x	T2	5	T4 tem um peso de forte importância em relação a T2 por causa do menor tempo de resposta de T4 em relação a T2.
T4	x	T3	7	T4 tem um peso de importância muito forte em relação a T3 por causa do menor tempo de resposta em relação a T3.

Fonte: Autor.

4.3.2 Curto prazo

Para o curto prazo, os requisitos requerem uma atuação com um prazo maior do que para o curtíssimo prazo, portanto, o peso mais relevante é para o SAE que possui o maior tempo de resposta.

Na Tabela 41, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos critérios selecionados para serem aplicados no método AHP. Os pesos foram escolhidos com base na análise dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 41 - Comparativo dos critérios para AHP.

Comparação		Resultado	Explicação	
C2	x	C1	2	Levando-se em consideração que o C2 acompanha o C1, ou seja, seguem uma proporcionalidade entre custo e eficiência, porém têm SAEs que ainda estão em desenvolvimento ou disponíveis comercialmente. Então, o custo de investimento deve ser o menor possível, sem prejudicar a eficiência do sistema, exigindo um equilíbrio. Foi adotado um peso de importância intermediária entre C2 e C1.
C3	x	C1	7	Apesar C3 e C1 serem fatores bastante importantes tanto do ponto de vista econômico como técnico, preferiu-se adotar um peso em que C3 tenha uma importância muito forte em relação ao C1, pois C3 atende a maioria das aplicações de curto prazo.
C3	x	C2	2	C3 e C2 são importantes do ponto de vista técnico, pois é necessário uma melhor eficiência do SAE assim como também uma maior possibilidade de aplicações de diferentes requisitos de potência. Foi adotado um peso de importância intermediária entre C3 e C2.
C4	x	C1	7	Levando-se em consideração que o tempo de descarga é um importante critério técnico, foi adotado um peso de importância muito forte entre C4 e C1.
C4	x	C2	2	C4 e C2 são importantes do ponto de vista técnico, procurou-se uma responsabilidade de forma intermediária entre ambos, pois ambos contribuem para eficiência global do sistema aplicado (GD). Foi adotado um peso de importância intermediária entre C4 e C2.
C4	x	C3	2	C4 e C3 são importantes do ponto de vista técnico (tempo de descarga e aplicações do ponto de vista da potência necessária). Foi adotado um peso de importância intermediária entre C4 e C3.
C5	x	C1	7	Ao ser comparado C5 com C1, foi adotado que para SAEs para aplicações de curtíssimo prazo, C5 tenha importância muito forte em relação a C1.
C5	x	C2	4	Tanto o C5 como o C2 contribuem de forma importante para o sistema elétrico, tanto ao analisar a eficiência do sistema como também o tempo que o sistema vai precisar de uma resposta de um determinado SAE. Foi adotado um peso importância intermediária entre C5 e C2.
C5	x	C3	2	C4 e C3 são importantes do ponto de vista técnico (tempo de resposta e aplicações do ponto de vista da potência). Foi adotado um peso de importância intermediária entre C5 e C3.
C5	x	C4	2	Ambos contribuem de forma bastante necessária para aplicações de curto prazo. Foi adotado um peso de importância intermediária entre C5 e C4.

Fonte: Autor.

Na Tabela 42, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C1. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 42 - Comparativo das tecnologias em relação a C1 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	3	O custo deve ser o menor possível para o investimento, com isso, o peso de T2 teve uma importância moderada em relação a T1.
T3	x	T1	1/9	T3 tem um custo de investimento maior, mas como o custo deve ser o menor possível, o fato de ter um custo maior faz com que o peso do SAE seja baixo. Portanto, foi adotado um peso de importância absoluta de T1 em relação a T3.
T3	x	T2	1/9	T3 tem um custo de investimento maior, mas como o custo deve ser o menor possível, o fato de ter um custo maior faz com que o peso do SAE seja baixo. Portanto, foi adotado um peso importância absoluta de T2 em relação a T3.
T4	x	T1	1	Como T4 tem um custo de investimento mínimo próximo de T1, o peso entre T4 e T1 foi unitário.
T4	x	T2	1/3	O custo deve ser o menor possível para o investimento, com isso, o peso de T2 deve ser moderado em relação a T4.
T4	x	T3	9	O custo deve ser o menor possível para o investimento, com isso, o peso de T4 foi considerado de importância absoluta em relação a T3.

Fonte: Autor.

Na Tabela 43, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C2. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 43 - Comparativo das tecnologias em relação a C2 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	1/3	Considerando que a maior eficiência é a melhor opção, T2 tem um valor médio inferior a T1, foi adotado um peso de importância moderada de T1 em relação a T2.
T3	x	T1	3	T3 tem um valor médio um pouco superior a T1, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso de importância moderada de T3 em relação a T1.
T3	x	T2	5	T3 tem um valor médio um pouco superior a T1, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso

				de forte importância entre T3 e T2.
T4	x	T1	1/3	T4 tem um valor médio um pouco inferior a T1, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso de importância moderada de T1 em relação a T4.
T4	x	T2	3	T4 tem um valor médio um pouco superior a T2, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso de importância moderada entre T4 e T2.
T4	x	T3	1/3	T4 tem um valor médio um pouco inferior a T3, portanto, sendo avaliado como uma comparação de peso de importância moderada entre T3 e T4.

Fonte: Autor.

Na Tabela 44, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C3. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados nas Tabela 31 e Tabela 34.

Tabela 44 - Comparativo das tecnologias em relação a C3 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	9	T2 possui uma potência grande em comparação a T1, foi adotado um importância absoluta entre T2 e T1. Foi analisado o fato de existir um certo limite mínimo cada aplicação de curto prazo de acordo com os dados consultados.
T3	x	T1	7	T3 possui uma potência grande em comparação a T1, foi adotado um importância absoluta entre T3 e T1.
T3	x	T2	1/3	T3 possui uma potência pequena em comparação a T2, foi adotado um importância moderada entre T2 e T3.
T4	x	T1	1/3	T4 possui uma potência pequena em comparação a T1, foi adotado um importância moderada entre T1 e T4.
T4	x	T2	1/9	T2 possui uma potência grande em comparação a T4, foi adotado um importância absoluta entre T2 e T4.
T4	x	T3	1/7	T4 possui uma potência pequena em comparação a T3, foi adotado um importância muito forte entre T3 e T4.

Fonte: Autor.

Na Tabela 45, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C4. Os valores de comparação foram obtidos com base na interpretação dos parâmetros apresentados na Tabela 34.

Tabela 45 - Comparativo das tecnologias em relação a C4 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	1	Considerando que quanto maior o tempo de descarga, melhor o SAE, então foi colocado um valor de peso em que ambos os SAEs contribuem igualmente, pois os valores médios ficaram muito próximos.
T3	x	T1	1	Foi colocado um valor de peso em que ambos os SAEs contribuem igualmente, pois os valores médios ficaram muito próximos.
T3	x	T2	1	Foi colocado um valor de peso em que ambos os SAEs contribuem igualmente, pois os valores médios ficaram muito próximos.
T4	x	T1	9	Foi colocado um peso de importância absoluta entre T4 e T1, pois T4 se destaca mais, principalmente pelo fato de possuir um maior valor máximo de tempo de descarga.
T4	x	T2	9	Foi colocado um peso de importância absoluta entre T4 e T2, pois T4 se destaca mais, idem.
T4	x	T3	9	Foi colocado um peso de importância absoluta entre T4 e T3, pois T4 se destaca mais, idem.

Fonte: Autor.

Na Tabela 46, mostram-se cada comparação, resultado e explicação de cada comparação em relação aos SAEs selecionados para serem aplicados no método AHP em relação a C5. Os valores de comparação foram obtidos com base na análise dos parâmetros apresentados nas Tabela 31 e Tabela 34.

Tabela 46 - Comparativo das tecnologias em relação a C5 para AHP.

Comparação		Resultado		Explicação
T2	x	T1	1/7	Por causa do maior tempo de reposta de T1 em relação a T2, foi adotado um peso de importância muito forte entre T1 e T2.
T3	x	T1	1/3	T1 tem um peso de importância moderada em relação a T3.
T3	x	T2	3	Por causa do maior tempo de reposta de T3 em relação a T2, foi adotado um peso de importância moderada T3 em relação a T2.
T4	x	T1	1/9	T1 tem um peso de importância absoluta em relação a T4.
T4	x	T2	1/5	T2 tem um peso de forte importância em relação a T4.
T4	x	T3	1/7	T4 tem um peso de importância muito forte em relação a T3.

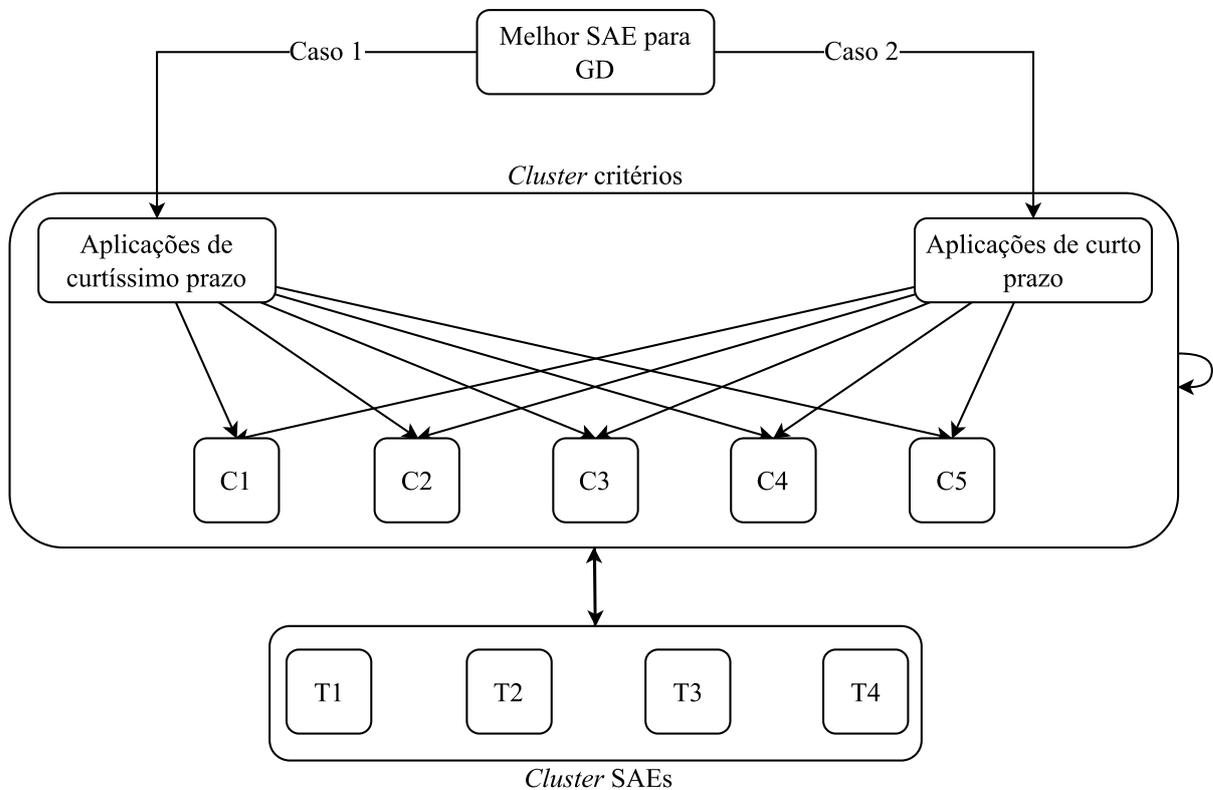
Fonte: Autor.

4.4 APLICAÇÃO DO ANP

Nessa etapa mostram-se às explicações dos pesos aplicados e os pesos de cada comparação tanto para curtíssimo prazo como para curto prazo, sendo às afirmações consideradas com base em tabelas consultadas que foram detalhadas nos tópicos anteriores.

Na Figura 15, apresenta-se a rede de influência proposta entre os *clusters* considerados para serem aplicados ao método ANP. Considerou-se que os critérios possuem uma dependência entre si, dependência explicada pela forma como os critérios afetam o *cluster* de curtíssimo prazo e *cluster* curto prazo.

Figura 15 - Rede de influência para os casos de curtíssimo prazo e curto prazo.



Fonte: Autor.

4.4.1 Curtíssimo prazo

Na Tabela 47, mostram-se os *clusters* analisados em relação ao curtíssimo prazo, compostos pelos SAEs e o prazo considerado, como foram estudados dois casos analisados, o *cluster2* recebem duas denominações (curtíssimo e curto prazo), no caso avaliado neste é somente o *cluster* curtíssimo prazo.

Tabela 47 - *Clusters* analisados nessa seção.

<i>Cluster</i>	Denominação
<i>Cluster1</i>	SAEs
<i>Cluster2</i>	Curtíssimo prazo

Fonte: Autor.

Na Tabela 48, mostram-se às comparações dos SAEs em relação à comparação *cluster1 x cluster1*.

Tabela 48 - Comparativo dos SAEs para ANP, *cluster1 x cluster1*.

Comparação	Resultado	Explicação
T2 x T1	0	Como não existe nenhuma relação entre si (constituintes principais como fundamento escolhido), foi adotado um peso de não relação entre eles.
T3 x T1	0	Idem.
T3 x T2	0	Idem.
T4 x T1	0	Idem.
T4 x T2	0	Idem.
T4 x T3	0	Idem.

Fonte: Autor.

Na Tabela 49, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C1, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 49 - Comparativo dos SAEs em relação a C1 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 36

Fonte: Autor.

Na Tabela 50, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C2, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 50 - Comparativo dos SAEs em relação a C2 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 37

Fonte: Autor.

Na Tabela 51, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C3, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 51 - Comparativo dos SAEs em relação a C3 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 38

Fonte: Autor.

Na Tabela 52, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C4, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 52 - Comparativo dos SAEs em relação a C4 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 39

Fonte: Autor.

Na Tabela 53, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C5, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 53 - Comparativo dos SAEs em relação a C5 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 40

Fonte: Autor.

Na Tabela 54, mostram-se às comparações dos critérios em relação à comparação *cluster2 x cluster1*.

Tabela 54 - Comparativo dos critérios para ANP, *cluster2 x cluster1*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 35

Fonte: Autor.

As comparações dos critérios em relação à comparação *cluster2 x cluster2* foram replicadas de *cluster2 x cluster1* em decorrência destas comparações serem usados argumentos tanto para *cluster1* (SAEs) como para *cluster2* (Curtíssimo prazo).

Na Tabela 55, mostra-se à comparação dos *clusters* envolvidos na relação para o curtíssimo prazo.

Tabela 55 - Comparativo dos *clusters* para ANP.

Comparação		Resultado	Explicação
<i>Cluster2</i>	x	<i>Cluster1</i>	2
			Foi considerado um peso de importância em que os <i>clusters</i> analisados contribuam de forma intermediária (dependência entre ambos), observando que o <i>cluster1</i> se trata da entrega (fonte) dos requisitos do <i>cluster2</i> (tanto dos SAEs como das aplicações envolvidas).

Fonte: Autor.

4.4.2 Curto prazo

Na Tabela 56, mostram-se os *clusters* analisados em relação ao curto prazo, compostos pelos SAEs e o prazo considerado.

Tabela 56 - *Clusters* analisados nessa seção.

<i>Cluster</i>	Denominação
<i>Cluster1</i>	SAEs
<i>Cluster2</i>	Curto prazo

Fonte: Autor.

Na Tabela 57, mostram-se às comparações dos SAEs em relação à comparação *cluster1 x cluster1*.

Tabela 57 - Comparativo dos SAEs para ANP, *cluster1 x cluster1*.

Comparação	Resultado	Explicação
T2 x T1	0	Como não existe nenhuma relação entre si (constituintes principais como fundamento escolhido), foi adotado um peso de não relação entre eles.
T3 x T1	0	Idem.
T3 x T2	0	Idem.
T4 x T1	0	Idem.
T4 x T2	0	Idem.
T4 x T3	0	Idem.

Fonte: Autor.

Na Tabela 58, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C1, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 58 - Comparativo dos SAEs em relação a C1 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 42

Fonte: Autor.

Na Tabela 59, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C2, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 59 - Comparativo dos SAEs em relação a C2 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 43

Fonte: Autor.

Na Tabela 60, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C3, comparação *cluster1 x cluster2*. Os pesos utilizados foram avaliados com base nas Tabela 31 e Tabela 34.

Tabela 60 - Comparativo dos SAEs em relação a C3 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 44

Fonte: Autor.

Na Tabela 61, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C4, comparação *cluster1 x cluster2*.

Tabela 61 - Comparativo dos SAEs em relação a C4 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 45

Fonte: Autor.

Na Tabela 62, mostram-se às comparações dos SAEs em relação a C5, comparação *cluster1 x cluster2*. Pesos foram avaliados com base nas Tabela 31 e Tabela 34.

Tabela 62 - Comparativo dos SAEs em relação a C5 para ANP, *cluster1 x cluster2*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 46

Fonte: Autor.

Na Tabela 63, mostram-se às comparações dos critérios em relação à comparação *cluster2 x cluster1*.

Tabela 63 - Comparativo dos critérios para ANP, *cluster2 x cluster1*.

Comparação, Resultado e Explicação da Tabela 41

Fonte: Autor.

As comparações dos critérios em relação à comparação *cluster2 x cluster2* foram replicadas de *cluster2 x cluster1*, em decorrência destas comparações usarem argumentos tanto para *cluster1* (SAEs) como para *cluster2* (Curto prazo).

O valor do peso da comparação dos *clusters* envolvidos na relação para o curto prazo foi o mesmo do curtíssimo prazo, como foi apresentado na Tabela 55, tendo como ponto analisado o fato de que o *cluster1* se trata da entrega (fonte) dos requisitos do *cluster2* (tanto dos SAEs como das aplicações envolvidas).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

Na Tabela 64, apresenta-se a supermatriz limite (com os valores apresentados com 16 casas decimais) para o curtíssimo prazo. As linhas representam os valores convergentes das comparações que acontece quando cada elemento da mesma linha tem o mesmo valor, com isso, é atingido um limite de convergência dos valores horizontais, que foi relatado anteriormente como se dá esse em 3.2 MÉTODO ANP e demonstrado na Tabela 25, a supermatriz limite com 12 casas decimais, que foi o limite estabelecido de convergência dos valores horizontais para a supermatriz limite.

Tabela 64 - Supermatriz limite para curtíssimo prazo.

	SAEs				Curtíssimo prazo				
SAEs	0,0261175	0,0261175	0,0261175	0,0261175	0,0261175	0,0261175	0,0261175	0,0261175	0,0261175
	47958985	47958972	47958974	47958971	47958975	47958977	47958973	47958973	47958972
	8	5	9	7	3	0	7	2	8
	0,1049319	0,1049319	0,1049319	0,1049319	0,1049319	0,1049319	0,1049319	0,1049319	0,1049319
	44111906	44111917	44111896	44111912	44111913	44111903	44111910	44111910	44111911
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAEs	0,0650464	0,0650464	0,0650464	0,0650464	0,0650464	0,0650464	0,0650464	0,0650464	0,0650464
	70093687	70093684	70093704	70093690	70093687	70093696	70093691	70093691	70093690
	1	5	5	9	2	1	1	2	5
	0,1372373	0,1372373	0,1372373	0,1372373	0,1372373	0,1372373	0,1372373	0,1372373	0,1372373
	71168754	71168758	71168757	71168759	71168758	71168757	71168758	71168758	71168758
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Curtíssimo prazo	0,0274203	0,0274203	0,0274203	0,0274203	0,0274203	0,0274203	0,0274203	0,0274203	0,0274203
	32232904	32232905	32232904	32232905	32232905	32232904	32232905	32232905	32232905
	8	1	9	0	0	9	0	0	0
	0,0663451	0,0663451	0,0663451	0,0663451	0,0663451	0,0663451	0,0663451	0,0663451	0,0663451
	84950271	84950271	84950272	84950272	84950271	84950272	84950272	84950272	84950271
4	5	8	0	6	2	0	0	9	
Curtíssimo prazo	0,2100327	0,2100327	0,2100327	0,2100327	0,2100327	0,2100327	0,2100327	0,2100327	0,2100327
	55576763	55576762	55576761	55576762	55576762	55576762	55576762	55576762	55576762
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0989748	0,0989748	0,0989748	0,0989748	0,0989748	0,0989748	0,0989748	0,0989748	0,0989748
	17444305	17444303	17444299	17444302	17444303	17444301	17444302	17444302	17444302
4	8	5	2	6	8	5	4	5	
Curtíssimo prazo	0,2638935	0,2638935	0,2638935	0,2638935	0,2638935	0,2638935	0,2638935	0,2638935	0,2638935
	76462421	76462423	76462428	76462425	76462423	76462425	76462425	76462425	76462425
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor.

Na Tabela 65, apresenta-se a supermatriz limite para o curto prazo, com os elementos apresentando diferenças de valores dentro da mesma linha.

Tabela 65 - Supermatriz limite para curto prazo.

	SAEs				Curto prazo				
SAEs	0,1020623	0,1020623	0,1020623	0,1020623	0,1020623	0,1020623	0,1020623	0,1020623	0,1020623
	17880185	17880168	17880429	17880250	17880199	17880315	17880254	17880253	17880246
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0873629	0,0873629	0,0873629	0,0873629	0,0873629	0,0873629	0,0873629	0,0873629	0,0873629
	13613935	13613960	13613591	13613844	13613916	13613753	13613839	13613840	13613849
5	5	4	9	1	5	3	9	8	
0,0854670	0,0854670	0,0854670	0,0854670	0,0854670	0,0854670	0,0854670	0,0854670	0,0854670	
57124717	57124703	57124900	57124765	57124727	57124814	57124768	57124767	57124762	
0	5	7	6	4	3	3	6	8	
0,0584410	0,0584410	0,0584410	0,0584410	0,0584410	0,0584410	0,0584410	0,0584410	0,0584410	
44714494	44714501	44714411	44714472	44714490	44714450	44714471	44714471	44714474	
9	1	4	5	1	6	7	7	1	
Curto prazo	0,0285012	0,0285012	0,0285012	0,0285012	0,0285012	0,0285012	0,0285012	0,0285012	0,0285012
	33378610	33378611	33378606	33378609	33378610	33378608	33378609	33378609	33378609
	8	1	3	6	5	4	5	6	7
	0,0675827	0,0675827	0,0675827	0,0675827	0,0675827	0,0675827	0,0675827	0,0675827	0,0675827
	27143571	27143571	27143577	27143573	27143571	27143574	27143573	27143573	27143573
5	0	7	1	8	8	2	2	0	
0,1970408	0,1970408	0,1970408	0,1970408	0,1970408	0,1970408	0,1970408	0,1970408	0,1970408	
49226790	49226791	49226784	49226788	49226790	49226787	49226788	49226788	49226788	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,1068377	0,1068377	0,1068377	0,1068377	0,1068377	0,1068377	0,1068377	0,1068377	0,1068377	
13656148	13656148	13656147	13656148	13656148	13656148	13656148	13656148	13656148	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,2667041	0,2667041	0,2667041	0,2667041	0,2667041	0,2667041	0,2667041	0,2667041	0,2667041	
43261545	43261545	43261551	43261547	43261545	43261548	43261547	43261547	43261547	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: Autor.

Na Tabela 66, apresentam-se os resultados dos pesos globais dos SAEs a partir da utilização do AHP e do ANP, conforme os dados gerados das comparações que podem ser consultados nos apêndices, APÊNDICE C; APÊNDICE D; APÊNDICE E e APÊNDICE F.

Pode-se notar que tanto para o AHP como para o ANP, os resultados das posições dos SAEs são os mesmos em termos das posições de classificação dos SAEs, isso pode ser explicado pelo fato de que algumas análises dos pesos e que algumas comparações estão conectadas entres os dois métodos utilizados, tanto nas próprias comparações (i.e., matrizes de comparação entre SAEs no AHP e matrizes de comparação dos SAEs em relação aos elementos no ANP dentro do bloco *cluster1* x *cluster2*) como também na forma como foram implementadas às rotinas dos métodos.

Esses resultados comprovam características das comparações dos dois métodos que são similares entre si em determinados pontos de comparações e que ajudaram a

entender melhor o funcionamento do ANP a partir do método AHP e que permitiu atingir um dos objetivos do trabalho que é comparar os resultados dos pesos globais dos SAEs.

O melhor SAE dentro da análise do método ANP para o curtíssimo prazo é o VRB (peso global de 0,4117) e para o curto prazo é o Li-Ion (peso global de 0,3062), como são apresentados na Tabela 66 (contém os valores normalizados, conforme (13), dos *clusters* de curtíssimo prazo e curto prazo da supermatriz limite de curtíssimo prazo e curto prazo). O sistema de Li-Ion é o mais maduro entre esses dois (NADEEM et al., 2019), mas apesar disso, ambos são sistemas usados comercialmente, principalmente o Li-Ion (LI et al., 2018). Os critérios que tiveram maiores destaques nas avaliações dos SAEs, foram, o critério de potência (pesos de 0,3150 e 0,2956 - APÊNDICE E e APÊNDICE F) e o critério de tempo de resposta (pesos de 0,4117 e 0,4001 - APÊNDICE E e APÊNDICE F), critérios selecionados com base na Tabela 31.

Tabela 66 - Resultados obtidos dos pesos globais dos SAEs com a utilização dos métodos AHP e ANP.

Resultados SAEs	AHP (curtíssimo prazo)	AHP (curto prazo)	ANP (curtíssimo prazo)	ANP (curto prazo)
T1	0,0836	0,2932	0,0784	0,3062
T2	0,2585	0,2679	0,3148	0,2621
T3	0,1714	0,2534	0,1951	0,2564
T4	0,4864	0,1855	0,4117	0,1753

Fonte: Autor.

Na Tabela 67, apresentam-se comparações dos resultados dos pesos globais dos SAEs para o AHP e o ANP. Em relação às comparações, pode-se ver que não teve nenhum valor igual, mas teve valores próximos, em termos de comparação, o que deve ser avaliado é em relação às posições dos SAEs, como não teve alterações entre essas posições, podendo ser avaliado que os argumentos das julgamentos foram bem sucedidos para avaliar também diferenças entre os resultados dos dois métodos utilizados, pois em 3.2 MÉTODO ANP, foram constatadas alteração nas posições entre os SAEs ao serem comparadas com o método AHP, sendo que não foram usados argumentos fortes (sem dados técnicos consultados) para se colocar os valores dos pesos das comparações paritárias.

Tabela 67 - Comparações dos pesos globais entre os métodos AHP e ANP.

Comparações (pesos)		AHP e ANP (curtíssimo prazo)	AHP e ANP (curto prazo)
SAEs			
T1		ANP < AHP	ANP > AHP
T2		ANP > AHP	ANP < AHP
T3		ANP > AHP	ANP > AHP
T4		ANP < AHP	ANP < AHP

Fonte: Autor.

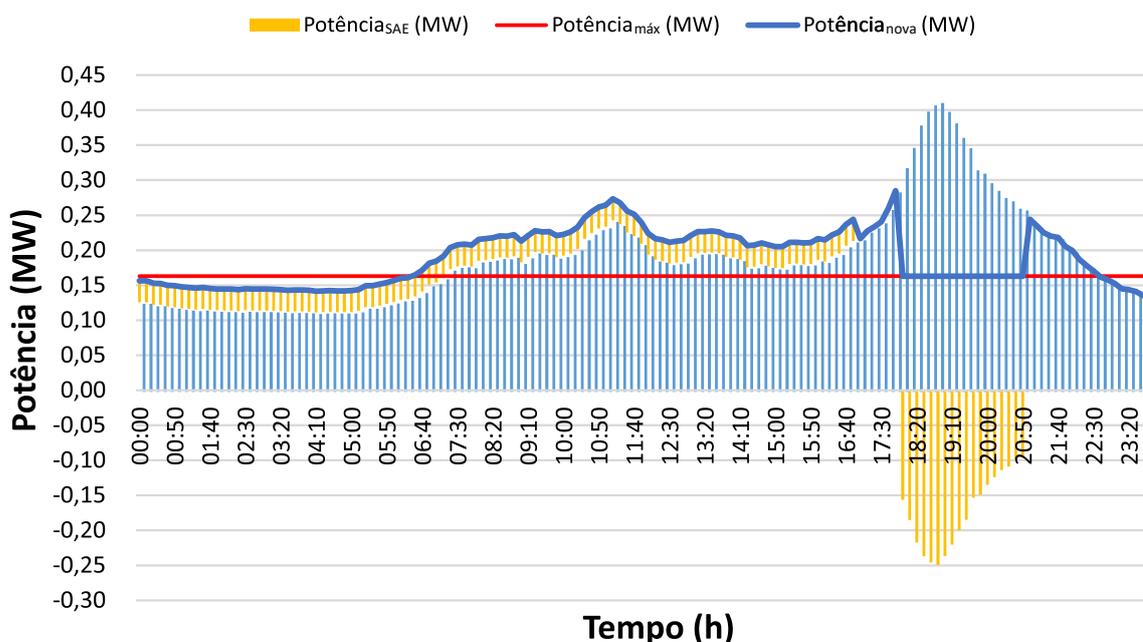
Foi avaliado também o tempo de resposta dos SAEs, o tempo de resposta foi considerado em milissegundos, mas muitos SAEs podem ter também um tempo de resposta maior (i.e., segundos), essa variação pode ser explicada pelas diferentes tecnologias dos SAEs, nas análises feitas nos trabalhos consultados, não são relatadas quais são às tecnologias dos SAEs (somente características técnicas dos SAEs que foram utilizadas nas comparações paritárias).

(LI et al., 2018) relata que o VRB é um ótimo SAE para GD e (POSSO RIVERA et al., 2022) relata que Li-Ion têm ótimos indicadores econômicos (i.e., como o indicador econômico (LCOE - levelized cost of electricity), que considera o custo anual de armazenamento de um determinado SAE pela energia produzida anualmente do SAE); e o VRB é uma ótima solução ao se tratar de questões ambientais. Embora o critério ambiental não foi utilizado para às comparações entre os dois SAEs, o SAE VRB é melhor avaliado ao considerar uma escala de fator de impacto sobre o meio ambiente, como foi relatado por (LI et al., 2018) ao utilizar o método ReCiPe para medir o peso dos impactos ambientais dos SAEs, e que os impactos ambientais não se resumem somente ao uso, mas também pode ser considerado fatores de impacto desde a construção do SAE até seu uso.

Apesar dos dois SAEs que tiveram um melhor desempenho de avaliações para curtíssimo e curto prazo serem colocados em aplicações diferentes, ambos podem ser aplicados nos dois casos (curtíssimo prazo e curto prazo), pois como os SAEs podem ter os tamanhos aumentados em termos de potência, por exemplo, isso permite que esses SAEs atendam às mais variadas aplicações envolvendo os dois prazos analisados. O SAE Li-Ion por exemplo, teve uma margem pequena inserida no trabalho (analisando a potência máxima), mas nos trabalhos revisados, como foi relatado em (BEHABTU et al., 2020), a potência máxima do SAE era muito maior em determinadas citações, isso se explica pela possibilidade de aumentar o tamanho do sistema (células de armazenamento).

O SAE Li-Ion pode ser usado para absorver picos de energia em determinados períodos do dia (quando exige-se uma maior demanda de eletricidade), diminuindo o impacto sobre o SEP e diminuindo o custo mensal elétrico. Um caso de aplicação projetada para utilização de dois SAEs (bateria de fluxo e bateria de Li-Ion) que foi relatado em (OENING et al., 2021) faz o uso para corte de pico de uso final (para evitar cobranças de demanda), como uma das aplicações dentro de curto prazo e que uma simulação disso pode ser vista na Figura 16, na qual pode-se ver a $Potência_{Nova}$ (após o uso dos SAEs), no qual foi escolhido um intervalo para que o pico máximo fosse atenuado (linha de cor azul escura) com o uso dos SAEs. A parte em que a $Potência_{SAE}$ fica negativa (uso da energia elétrica da rede) é quando ocorre o carregamento dos SAEs antes de ser usado no período de pico de demanda.

Figura 16 - Simulação de absorção de pico nas aplicações de SAEs.

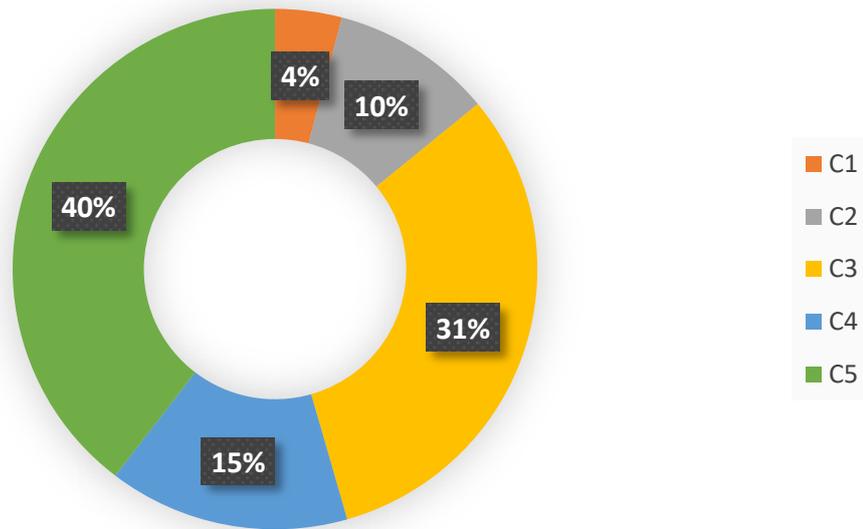


Fonte: Adaptado de (OENING et al., 2021).

Os critérios que foram utilizados e os que mais se destacaram de acordo com os requisitos propostos por (SCHOENUNG, 2001) para análise das aplicações de curtíssimo prazo e curto prazo e outros requisitos de prazo, se destacaram em virtude desses requisitos, caso fossem considerados outros, como o critério de investimento, as análises deveriam ser pautadas nesse critério que teria uma importância maior, pois seria um fator determinante do custo de investimento no(s) SAE(s).

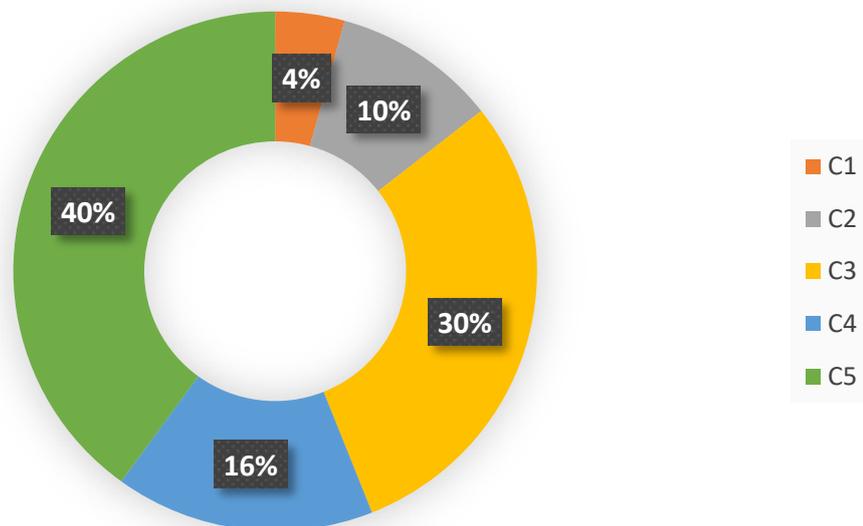
Nas Figura 17 e Figura 18, apresentam-se os critérios usados e suas participações em porcentagem nos dois casos analisados (curtíssimo e curto prazo), C3 e C5 tiveram pesos maiores nas comparações realizadas em comparação ao critério C1, mesmo considerando que quanto menor o custo de um SAE, melhor seria o peso de comparação de C1 em relação a outros critérios.

Figura 17 - Participação dos critérios para aplicações de curtíssimo prazo.



Fonte: Autor.

Figura 18 - Participação dos critérios para aplicações de curto prazo.



Fonte: Autor.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

O trabalho propõe o uso de um método para seleção da melhor tecnologia de armazenamento de energia para ser integrado a GD, pois fontes de GD que dependem de recursos intermitentes são afetadas, podendo diminuir ou interromper a geração de energia, por isso, podem ser utilizados SAEs que permitam que o sistema elétrico seja menos afetado, mas para que se tenha uma boa eficiência do sistema como um todo, é necessário que o SAE consiga atender às características do sistema de aplicação, para que isso aconteça, o SAE deve ser escolhido analisando às próprias características dos SAEs, e como solução para encontrar o SAE mais adequado para diversas aplicações, a proposta do trabalho apresentou duas soluções de métodos de seleção, um que é bastante empregado em várias áreas de conhecimento (AHP) e outro em que foram obtidos poucos resultados de buscas do uso para seleção de SAEs (ANP).

Foi realizada uma análise do método AHP usando o MATLAB™ sobre estudo que foi relatado em (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) para entender o método e implementar uma rotina do método AHP, os dados do estudo não foram utilizados para a pesquisa, pois são dados não tão recentes, os dados que foram utilizados para obter os resultados teóricos da dissertação foram obtidos com estudos mais recentes sobre às diversas características que são observadas nos SAEs e que os valores tendem a aumentar conforme os estudos em outras áreas são realizados, como para características das densidades de energia dos SAEs ou diminuído como os preços médios dos próprios SAEs.

O estudo relatado por (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) foi utilizado também para se implementar uma rotina do método ANP, visto que um dos objetivos específicos era realizar comparações dos resultados entre os dois métodos. Ao usar o método ANP, a comparação das análises dos estudos para (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013) usando o método AHP demonstra que os mesmos foram próximos. Como nessa etapa não foram usados dados com uma análise mais detalhada tanto das alternativas como dos critérios e subcritérios, isso de uma certa forma influenciou nos resultados utilizando o método ANP, pois foram utilizadas comparações com valores sem tanto respaldo técnico, sendo que os objetivos dos tópicos 3.1 MÉTODO AHP e 3.2 MÉTODO ANP eram exclusivamente a montagem das rotinas para os dois métodos.

Os resultados tanto para o curtíssimo prazo como curto prazo foram obtidos, assim como também os resultados das comparações entre os métodos apresentados nesse trabalho. Os destaques dos critérios principais que tiveram que ser utilizados para encontrar os SAEs que se adequam às características das aplicações dos prazos considerados foram apresentados, como o critério de potência dos SAEs e o critério do tempo de resposta, ambos critérios técnicos e que isso reafirma o que foi relatado anteriormente em (LI et al., 2018), no qual os autores afirmam que critérios técnicos são importantes na seleção dos SAEs e que os SAEs com os melhores desempenhos técnicos são os preferidos na hora da escolha; e também foram apresentados os resultados dos outros critérios que tiveram menores pesos em comparação aos critérios de destaque nos dois casos analisados.

Os resultados entre os métodos tiveram poucas diferenças entre os valores dos pesos globais em relação aos pesos das classificações dos SAEs. Para à aplicação de curtíssimo prazo, o melhor SAE foi o SAE de VRB (peso global de 0,4117) e para à aplicação de curto prazo foi o SAE de Li-Ion (peso global de 0,3062) ao utilizar o método ANP. Os resultados confirmam outras análises de outros autores para a GD, embora não seja um estudo de caso para que pudesse ser avaliado o comportamento dos critérios frente aos requisitos de uma aplicação real. O estudo permite ter uma maior avaliação e utilização do método ANP para encontrar a solução que mais se aproxima ou a mais adequada para uma determinada aplicação. A proposta foi bem sucedida em aplicar o método ANP para encontrar o SAE mais adequado para os dois casos apresentados (curtíssimo prazo e curto prazo).

Para trabalhos futuros, pode-se ajustar a implementação do ANP para ter menor subjetividade humana, principalmente para ter uma maior confiabilidade dos resultados, isso pode ser realizado com a utilização de outros métodos em conjunto com o ANP ou utilização de análise de dados de forma mais objetiva, o fato de querer menos a subjetividade humana envolvida nos julgamentos está relacionado ao fato de precisar ser mais direto quanto ao certeza dos dados utilizados, ficando menos dependente de julgamentos de terceiros (i.e., necessidade de consultar especialistas) quanto ao fato de um critério ou subcritério sem mais ponderante ou não em relação a outro, fazendo com que às análises sejam mais diretas (reduzidas) para cada aplicação desejada. Em relação a GD, pode-se analisar o uso de simulações para implementação de GD com SAEs ou mesmo um estudo de um caso real de integração da GD com SAEs.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAR, C.; BESKESE, A.; TEMUR, G. T. A novel multicriteria sustainability investigation of energy storage systems. **International Journal of Energy Research**, v. 43, n. 12, p. 6419–6441, 6 mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA No 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015**. Disponível em: <https://download.aldo.com.br/energy/RESOLUCAO_NORMATIVA_REN%20687_2015.pdf>. Acesso em: 2021.

ATMACA, E.; BASAR, H. B. Evaluation of power plants in Turkey using Analytic Network Process (ANP). **Energy**, v. 44, n. 1, p. 555–563, ago. 2012.

BAUMANN, M. et al. A review of multi-criteria decision making approaches for evaluating energy storage systems for grid applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 516–534, jun. 2019.

BEHABTU, H. A. et al. A Review of Energy Storage Technologies' Application Potentials in Renewable Energy Sources Grid Integration. **Sustainability**, v. 12, n. 24, p. 10511, 15 dez. 2020.

BEN AMMAR, F.; HAFSA, I. H.; HAMMAMI, F. Analytic Hierarchy process selection for batteries storage technologies. **2013 International Conference on Electrical Engineering and Software Applications**, p. 1–6, mar. 2013.

BLECUA-DE-PEDRO, M.; DÍAZ-RAMÍREZ, M. C. Assessment of Potential Barriers to the Implementation of an Innovative AB-FB Energy Storage System under a Sustainable Perspective. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 11042, 6 out. 2021.

CARDOSO JUNIOR, R. A. F. et al. A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E A REDUÇÃO DE CARBONO NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA. **Revista Internacional de Ciências**, v. 11, n. 1, p. 42–60, 29 abr. 2021.

CHAN, A. H. S.; KWOK, W. Y.; DUFFY, V. G. Using AHP for determining priority in a safety management system. **Industrial Management & Data Systems**, v. 104, n. 5, p. 430–445, jun. 2004.

DO NASCIMENTO, Á. D. J.; RÜTHER, R. Evaluating distributed photovoltaic (PV) generation to foster the adoption of energy storage systems (ESS) in time-of-use frameworks. **Solar Energy**, v. 208, p. 917–929, set. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2021.

ENERDATA. **World Power consumption | Electricity consumption | Enerdata**. Disponível em:<<https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>>. Acesso em: 13 set. 2021.

ENSSLIN, L. et al. **ProKnow-C, Knowledge Development Process – Constructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**.

ERDOGMUS, S.; ARAS, H.; KOC, E. Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 3, p. 269–279, jun. 2006.

EYER, J. M.; COREY, G. P. **Energy storage for the electricity grid : benefits and market potential assessment guide : a study for the DOE Energy Storage Systems Program**. Disponível em: <<https://www.osti.gov/biblio/1031895/>>. Acesso em: 4 jan. 2023.

GRANDZOL, J. R. **Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. IR Applications. Volume 6**. [s.l.] Association for Institutional Research, 2005.

HERNANDEZ, C. T.; MARINS, F. A. S.; DURAN, J. A. R. Selection of Reverse Logistics activities using an ANP-BOCR model. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 8, p. 3886–3891, ago. 2016.

IBRAHIM, H; A ILINCA,; PERRON, J. Energy storage systems—Characteristics and comparisons. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1221-1250, jun. 2008. Elsevier BV.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewable power generation by technology in the Net Zero Scenario, 2010-2030 – Charts – Data & Statistics**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-power-generation-by-technology-in-the-net-zero-scenario-2010-2030#>>. Acesso em: 3 mar. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2019 Sumário Executivo Brazilian Portuguese Translation**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

- <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a3981adb-f1de-4e1a-88df-938f5c7c5726/Brazilian-Portuguese-Summary-WEO2019-ES.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2023.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Year-on-year change in electricity demand by region, 2019-2025 – Charts – Data & Statistics**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/year-on-year-change-in-electricity-demand-by-region-2019-2025>>. Acesso em: 30 mar. 2023.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030**. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>>. Acesso em: 4 jan. 2023.
- KEY, T.; BANERJEE, B. **Comparison Of Energy Storage And Electric Conversion For Bridging Power Applications**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.sandia.gov/essssl/EESAT/2002_papers/00008.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- KÖNE, A. Ç.; BÜKE, T. An Analytical Network Process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey. **Energy Policy**, v. 35, n. 10, p. 5220–5228, out. 2007.
- LACERDA, R. T. DE O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, p. 59–78, 2012.
- LI, L. et al. A multi-objective optimization approach for selection of energy storage systems. **Computers & Chemical Engineering**, v. 115, p. 213–225, 12 jul. 2018.
- LIMA, Y. C. et al. Seleção de Baterias para Sistemas de Armazenamento de Energia pela Aplicação do Método AHP. **Congresso Brasileiro de Automática - CBA**, v. 2, n. 1, 8 dez. 2020.
- LINHARES, J. E. et al. Capacidade para o trabalho e envelhecimento funcional: análise Sistêmica da Literatura utilizando o PROKNOW-C (Knowledge Development Process - Constructivist). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, p. 53–66, 1 jan. 2019.
- MAKAROV, Y. et al. **Assessing the Value of Regulation Resources Based on Their Time Response Characteristics**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-17632.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2023.
- MBUNGU, N. T. et al. An overview of renewable energy resources and grid integration for commercial building applications. **Journal Of Energy Storage**, [S.L.], v. 29, p. 101385, jun. 2020. Elsevier BV.

- MENDES, Luiz Fernando Rosa; STHEL, Marcelo Silva; LIMA, Marcenilda Amorim. O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos. **Revista Vértices**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 626-647, 25 nov. 2020. Essentia Editora.
- NADEEM, F. et al. Comparative Review of Energy Storage Systems, Their Roles, and Impacts on Future Power Systems. **IEEE Access**, [S.L.], v. 7, p. 4555-4585, 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- OENING, A. P. et al. Analytic Hierarchy Process Algorithm Applied to Battery Energy Storage System Selection for Grid Applications. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, n. spe, 2021.
- OLMEDO-GONZÁLEZ, J. et al. Analysis of Stand-Alone Photovoltaic—Marine Current Hybrid System and the Influence on Daily and Seasonal Energy Storage. **Energies**, v. 15, n. 2, p. 468, 10 jan. 2022.
- PIANTANAKULCHAI, Mongkut. **Evaluation of alternatives in transportation planning using multi-stakeholders multi-objectives AHP modeling**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228426663_Evaluation_of_alternatives_in_transportation_planning_using_multi-stakeholders_multi-objectives_AHP_modeling. Acesso em: 12 jul. 2021.
- POSSO RIVERA, F. et al. Sustainable use of spilled turbinable energy in Ecuador: Three different energy storage systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 156, p. 112005, mar. 2022.
- RAZA, S. S.; JANAJREH, I.; GHENAI, C. Sustainability index approach as a selection criteria for energy storage system of an intermittent renewable energy source. **Applied Energy**, v. 136, p. 909–920, dez. 2014.
- ROSA, G.G. ; OLIVEIRA, C. A. ; BELDERRAIN, M. C. N. . **Estudo Comparativo entre o Método ANP e o AHP: seleção de um programa de controle de qualidade da água para consumo humano**. In: Encuentro Nacional de docentes de Investigación Operativa, 2008, Posadas. Anales do EPIO, 2008. v. 1.
- RUGOLO, Jason; AZIZ, Michael J.. Electricity storage for intermittent renewable sources. **Energy & Environmental Science**, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 7151, 2012. Royal Society of Chemistry (RSC).
- SAATY, T. Fundamentals of the analytic network process. **Proceedings of International Symposium on Analytical Hierarchy Process**, 12 jul. 1999.

- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, jun. 1977.
- SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation**. New York ; London: Mcgraw-Hill International Book Co, 1980.
- SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, set. 1990.
- SAATY, T. L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 40–40, 1994.
- SAATY, T. L. Fundamentals of the analytic network process — Dependence and feedback in decision-making with a single network. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 13, n. 2, p. 129–157, abr. 2004.
- SCHOENUNG, S. M.; HASSENZAHN, W. V. **Long- vs. short-term energy storage technologies analysis : a life-cycle cost study : a study for the DOE energy storage systems program**. Disponível em: <<https://www.osti.gov/biblio/918358>>. Acesso em: 9 set. 2022.
- SCHOENUNG, S. M. **Characteristics and Technologies for Long- vs. Short-Term Energy Storage: A Study by the DOE Energy Storage Systems Program**. Disponível em: <<https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc720907/>>.
- SHARMA, J. Economics of Decision Making: Exploring Analytical Hierarchical Process (AHP). **Theoretical Economics Letters**, v. 08, n. 14, p. 3141–3156, 2018.
- UMBARILA VALENCIA, L. P.; ALFONSO MORENO, F. L.; RIVERA RODRÍGUEZ, J. C. Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 231, 15 dez. 2015.
- UN ENVIRONMENT. **Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017**. Disponível em: <<https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/towards-zero-emission-efficient-and-resilient-buildings-and-construction>>. Acesso em: 17 ago. 2021.
- WEI, L. et al. Evaluation of grid energy storage system based on AHP-PROMETHEE-GAIA. **2016 35th Chinese Control Conference (CCC)**, jul. 2016.
- WU, Y. et al. Optimal planning of energy storage technologies considering thirteen demand scenarios from the perspective of electricity Grid: A Three-Stage framework. **Energy Conversion and Management**, v. 229, p. 113789, fev. 2021a.

- WU, Y. et al. Portfolio planning of renewable energy with energy storage technologies for different applications from electricity grid. **Applied Energy**, v. 287, p. 116562, abr. 2021b.
- YANG, B. et al. Optimal sizing and placement of energy storage system in power grids: A state-of-the-art one-stop handbook. **Journal of Energy Storage**, v. 32, p. 101814, dez. 2020.
- YANG, Y. et al. Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 109–125, ago. 2018.
- YASMIN SCHINKE, D.; SOLANA-GONZÁLEZ, P.; ALBERTO VANTI, A. **Sistema Toyota de Produção: Seleção de Fornecedores com Uso do Método AHP**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343040949_Sistema_Toyota_de_Producao_Selecao_de_Fornecedores_com_Uso_do_Metodo_AHP>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- ZHAO, H.; GUO, S.; ZHAO, H. Comprehensive Performance Assessment on Various Battery Energy Storage Systems. **Energies**, v. 11, n. 10, p. 2841, 20 out. 2018.
- ZHAO, H.; GUO, S.; ZHAO, H. Comprehensive assessment for battery energy storage systems based on fuzzy-MCDM considering risk preferences. **Energy**, v. 168, p. 450–461, fev. 2019.

APÊNDICE

APÊNDICE A

ARQUIVO GERADO PARA (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013)

ARQUIVO GERADO PELO ALGORITMO DO AHP

Tabela 1 - Tecnologias Analisadas

TABELA1 =

7x1 table

TECNOLOGIA(T)

"T1"
 "T2"
 "T3"
 "T4"
 "T5"
 "T6"
 "T7"

Tabela 2 - Critérios e quantidade de subcritérios

TABELA2 =

6x2 table

CRITÉRIO(C) SUBCRITÉRIOS(SC) PARA CADA CRITÉRIO

"C1"	"3xSC"
"C2"	" -- "
"C3"	" -- "
"C4"	" -- "
"C5"	" -- "
"C6"	" -- "

Tabela 3 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz

TABELA3 =

10x5 table

COMPARATIVA	COMPARAÇÕES	SOBRE	NORMALIZADA	PRIORIDADE
"MatrizC{1}"	"C x C"	"Cs"	"MatrizN{1}"	"VetorP{1}"
"MatrizC{2}"	"SC x SC"	"C1"	"MatrizN{2}"	"VetorP{2}"
"MatrizC{3}"	"T x T"	"SC1,1"	"MatrizN{3}"	"VetorP{3}"
"MatrizC{4}"	"T x T"	"SC1,2"	"MatrizN{4}"	"VetorP{4}"

APÊNDICE A

"MatrizC{5}"	"T x T"	"SC1,3"	"MatrizN{5}"	"VetorP{5}"
"MatrizC{6}"	"T x T"	"C2"	"MatrizN{6}"	"VetorP{6}"
"MatrizC{7}"	"T x T"	"C3"	"MatrizN{7}"	"VetorP{7}"
"MatrizC{8}"	"T x T"	"C4"	"MatrizN{8}"	"VetorP{8}"
"MatrizC{9}"	"T x T"	"C5"	"MatrizN{9}"	"VetorP{9}"
"MatrizC{10}"	"T x T"	"C6"	"MatrizN{10}"	"VetorP{10}"

MATRIZES DE COMPARAÇÃO

MatrizC{1} =

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	0.14286	0.33333	0.2	0.5	2
C2	7	1	3	2	5	9
C3	3	0.33333	1	0.5	2	5
C4	5	0.5	2	1	3	7
C5	2	0.2	0.5	0.33333	1	3
C6	0.5	0.11111	0.2	0.14286	0.33333	1

MatrizC{2} =

	SC1,1	SC1,2	SC1,3
SC1,1	1	5	3
SC1,2	0.2	1	0.33333
SC1,3	0.33333	3	1

MatrizC{3} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	0.33333	0.2	0.16667	0.5	0.14286	2
T2	3	1	0.5	0.33333	2	0.2	5
T3	5	2	1	0.5	3	0.33333	6
T4	6	3	2	1	5	0.5	7
T5	2	0.5	0.33333	0.2	1	0.16667	3
T6	7	5	3	2	6	1	9
T7	0.5	0.2	0.16667	0.14286	0.33333	0.11111	1

MatrizC{4} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	0.5	0.2	0.33333	2	0.14286	3
T2	2	1	0.33333	0.5	3	0.2	5
T3	5	3	1	2	7	0.5	8

APÊNDICE A

T4	3	2	0.5	1	5	0.33333	7
T5	0.5	0.33333	0.14286	0.2	1	0.125	2
T6	7	5	2	3	8	1	9
T7	0.33333	0.2	0.125	0.14286	0.5	0.11111	1

MatrizC{5} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	0.5	2	3	0.25	0.33333	0.2
T2	2	1	3	4	0.33333	0.5	0.25
T3	0.5	0.33333	1	2	0.2	0.25	0.14286
T4	0.33333	0.25	0.5	1	0.14286	0.2	0.11111
T5	4	3	5	7	1	2	0.5
T6	3	2	4	5	0.5	1	0.33333
T7	5	4	7	9	2	3	1

MatrizC{6} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	0.5	2	3	0.25	0.33333	0.2
T2	2	1	3	4	0.33333	0.5	0.25
T3	0.5	0.33333	1	2	0.2	0.25	0.14286
T4	0.33333	0.25	0.5	1	0.14286	0.2	0.11111
T5	4	3	5	7	1	2	0.5
T6	3	2	4	5	0.5	1	0.33333
T7	5	4	7	9	2	3	1

MatrizC{7} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	0.2	3	3	0.33333	0.125	0.14286
T2	5	1	7	7	3	0.2	0.33333
T3	0.33333	0.14286	1	1	0.2	0.11111	0.125
T4	0.33333	0.14286	1	1	0.2	0.11111	0.125
T5	3	0.33333	5	5	1	0.14286	0.2
T6	8	5	9	9	7	1	3
T7	7	3	8	8	5	0.33333	1

MatrizC{8} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	3	5	4	9	1	7

APÉNDICE A

T2	0.33333	1	4	3	7	0.33333	5
T3	0.2	0.25	1	0.33333	4	0.2	3
T4	0.25	0.33333	3	1	5	0.25	4
T5	0.11111	0.14286	0.25	0.2	1	0.11111	0.33333
T6	1	3	5	4	9	1	7
T7	0.14286	0.2	0.33333	0.25	3	0.14286	1

MatrizC{9} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	1	0.2	0.33333	0.14286	0.125	0.11111
T2	1	1	0.2	0.33333	0.14286	0.125	0.11111
T3	5	5	1	3	0.33333	0.2	0.14286
T4	3	3	0.33333	1	0.2	0.14286	0.125
T5	7	7	3	5	1	0.33333	0.2
T6	8	8	5	7	3	1	0.33333
T7	9	9	7	8	5	3	1

MatrizC{10} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1	4	5	3	9	7	8
T2	0.25	1	3	0.33333	7	4	5
T3	0.2	0.33333	1	0.25	5	3	4
T4	0.33333	3	4	1	8	5	7
T5	0.11111	0.14286	0.2	0.125	1	0.25	0.33333
T6	0.14286	0.25	0.33333	0.2	4	1	3
T7	0.125	0.2	0.25	0.14286	3	0.33333	1

MATRIZES NORMALIZADAS

MatrizN{1} =

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0.054054	0.062457	0.047393	0.047891	0.042254	0.074074
C2	0.37838	0.4372	0.42654	0.47891	0.42254	0.33333
C3	0.16216	0.14573	0.14218	0.11973	0.16901	0.18519
C4	0.27027	0.2186	0.28436	0.23945	0.25352	0.25926
C5	0.10811	0.087439	0.07109	0.079818	0.084507	0.11111
C6	0.027027	0.048577	0.028436	0.034208	0.028169	0.037037

MatrizN{2} =

SC1,1	SC1,2	SC1,3
-------	-------	-------

APÉNDICE A

SC1,1	0.65217	0.55556	0.69231
SC1,2	0.13043	0.11111	0.076923
SC1,3	0.21739	0.33333	0.23077

MatrizN{3} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.040816	0.027701	0.027778	0.038377	0.028037	0.058215	0.060606
T2	0.12245	0.083102	0.069444	0.076754	0.11215	0.081501	0.15152
T3	0.20408	0.1662	0.13889	0.11513	0.16822	0.13583	0.18182
T4	0.2449	0.24931	0.27778	0.23026	0.28037	0.20375	0.21212
T5	0.081633	0.041551	0.046296	0.046053	0.056075	0.067917	0.090909
T6	0.28571	0.41551	0.41667	0.46053	0.33645	0.4075	0.27273
T7	0.020408	0.01662	0.023148	0.032895	0.018692	0.045278	0.030303

MatrizN{4} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.053097	0.041551	0.046499	0.04645	0.075472	0.05922	0.085714
T2	0.10619	0.083102	0.077498	0.069675	0.11321	0.082908	0.14286
T3	0.26549	0.24931	0.23249	0.2787	0.26415	0.20727	0.22857
T4	0.15929	0.1662	0.11625	0.13935	0.18868	0.13818	0.2
T5	0.026549	0.027701	0.033213	0.02787	0.037736	0.051818	0.057143
T6	0.37168	0.41551	0.46499	0.41805	0.30189	0.41454	0.25714
T7	0.017699	0.01662	0.029062	0.019907	0.018868	0.04606	0.028571

MatrizN{5} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.063158	0.045113	0.088889	0.096774	0.056482	0.045767	0.078824
T2	0.12632	0.090226	0.13333	0.12903	0.075309	0.06865	0.09853
T3	0.031579	0.030075	0.044444	0.064516	0.045186	0.034325	0.056303
T4	0.021053	0.022556	0.022222	0.032258	0.032275	0.02746	0.043791
T5	0.25263	0.27068	0.22222	0.22581	0.22593	0.2746	0.19706
T6	0.18947	0.18045	0.17778	0.16129	0.11296	0.1373	0.13137
T7	0.31579	0.3609	0.31111	0.29032	0.45186	0.4119	0.39412

MatrizN{6} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.063158	0.045113	0.088889	0.096774	0.056482	0.045767	0.078824
T2	0.12632	0.090226	0.13333	0.12903	0.075309	0.06865	0.09853
T3	0.031579	0.030075	0.044444	0.064516	0.045186	0.034325	0.056303
T4	0.021053	0.022556	0.022222	0.032258	0.032275	0.02746	0.043791
T5	0.25263	0.27068	0.22222	0.22581	0.22593	0.2746	0.19706
T6	0.18947	0.18045	0.17778	0.16129	0.11296	0.1373	0.13137
T7	0.31579	0.3609	0.31111	0.29032	0.45186	0.4119	0.39412

MatrizN{7} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.040541	0.020369	0.088235	0.088235	0.01992	0.061777	0.029
T2	0.2027	0.10184	0.20588	0.20588	0.17928	0.098843	0.067666
T3	0.013514	0.014549	0.029412	0.029412	0.011952	0.054913	0.025375
T4	0.013514	0.014549	0.029412	0.029412	0.011952	0.054913	0.025375

APÊNDICE A

T5	0.12162	0.033948	0.14706	0.14706	0.059761	0.070602	0.040599
T6	0.32432	0.50921	0.26471	0.26471	0.41833	0.49421	0.60899
T7	0.28378	0.30553	0.23529	0.23529	0.2988	0.16474	0.203

MatrizN{8} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.32924	0.37849	0.26906	0.31291	0.23684	0.32924	0.2561
T2	0.10975	0.12616	0.21525	0.23468	0.18421	0.10975	0.18293
T3	0.065848	0.031541	0.053812	0.026076	0.10526	0.065848	0.10976
T4	0.08231	0.042055	0.16143	0.078227	0.13158	0.08231	0.14634
T5	0.036582	0.018023	0.013453	0.015645	0.026316	0.036582	0.012195
T6	0.32924	0.37849	0.26906	0.31291	0.23684	0.32924	0.2561
T7	0.047034	0.025233	0.017937	0.019557	0.078947	0.047034	0.036585

MatrizN{9} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.029412	0.029412	0.011952	0.013514	0.014549	0.025375	0.054913
T2	0.029412	0.029412	0.011952	0.013514	0.014549	0.025375	0.054913
T3	0.14706	0.14706	0.059761	0.12162	0.033948	0.040599	0.070602
T4	0.088235	0.088235	0.01992	0.040541	0.020369	0.029	0.061777
T5	0.20588	0.20588	0.17928	0.2027	0.10184	0.067666	0.098843
T6	0.23529	0.23529	0.2988	0.28378	0.30553	0.203	0.16474
T7	0.26471	0.26471	0.41833	0.32432	0.50921	0.60899	0.49421

MatrizN{10} =

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	0.46247	0.44812	0.36276	0.59392	0.24324	0.34008	0.28235
T2	0.11562	0.11203	0.21765	0.065991	0.18919	0.19433	0.17647
T3	0.092494	0.037343	0.072551	0.049493	0.13514	0.14575	0.14118
T4	0.15416	0.33609	0.29021	0.19797	0.21622	0.24291	0.24706
T5	0.051386	0.016004	0.01451	0.024747	0.027027	0.012146	0.011765
T6	0.066067	0.028007	0.024184	0.039595	0.10811	0.048583	0.10588
T7	0.057809	0.022406	0.018138	0.028282	0.081081	0.016194	0.035294

VETORES DE PRIORIDADE

VetorP{1} =

C1	0.054687
C2	0.41281
C3	0.154
C4	0.25424
C5	0.090346
C6	0.033909

VetorP{2} =

SC1,1	0.63335
SC1,2	0.10616
SC1,3	0.2605

VetorP{3} =

T1	0.040219
T2	0.099559
T3	0.1586
T4	0.24264
T5	0.061491

APÊNDICE A

T6 0.37073
T7 0.026763

VetorP{4} =

T1 0.058286
T2 0.096492
T3 0.24657
T4 0.15828
T5 0.037433
T6 0.37769
T7 0.025255

VetorP{5} =

T1 0.067858
T2 0.10306
T3 0.043775
T4 0.028802
T5 0.23842
T6 0.1558
T7 0.36229

VetorP{6} =

T1 0.067858
T2 0.10306
T3 0.043775
T4 0.028802
T5 0.23842
T6 0.1558
T7 0.36229

VetorP{7} =

T1 0.049725
T2 0.15173
T3 0.025589
T4 0.025589
T5 0.088664
T6 0.41207
T7 0.24663

VetorP{8} =

T1 0.3017
T2 0.1661
T3 0.065449
T4 0.10347
T5 0.022685
T6 0.3017
T7 0.038904

VetorP{9} =

T1 0.025589
T2 0.025589
T3 0.088664
T4 0.049725

APÊNDICE A

T5 0.15173
 T6 0.24663
 T7 0.41207

VetorP{10} =

T1 0.39042
 T2 0.15304
 T3 0.096278
 T4 0.24066
 T5 0.022512
 T6 0.060061
 T7 0.037029

Tabela 4 - Razão de Consistência e análise de cada matriz

TABELA4 =

10x3 table

RC	CONSISTENTE 0.1 <= RC > 0.1 INCONSISTENTE	MATRIZ
0.0094	"CONSISTENTE"	"MatrizC{1}"
0.0332	"CONSISTENTE"	"MatrizC{2}"
0.0224	"CONSISTENTE"	"MatrizC{3}"
0.0199	"CONSISTENTE"	"MatrizC{4}"
0.0182	"CONSISTENTE"	"MatrizC{5}"
0.0182	"CONSISTENTE"	"MatrizC{6}"
0.0717	"CONSISTENTE"	"MatrizC{7}"
0.0538	"CONSISTENTE"	"MatrizC{8}"
0.0717	"CONSISTENTE"	"MatrizC{9}"
0.0731	"CONSISTENTE"	"MatrizC{10}"

Tabela 5 - Preferência ponderada normalizada

TABELA5 =

7x3 table

TECNOLOGIA(T)	VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA	POSIÇÃO
"T1"	0.1306	"4°"
"T2"	0.1211	"5°"
"T3"	0.0575	"7°"
"T4"	0.0645	"6°"
"T5"	0.1381	"3°"
"T6"	0.2461	"1°"
"T7"	0.2421	"2°"

APÊNDICE B
ARQUIVO GERADO PARA (BEN AMMAR; HAFSA; HAMMAMI, 2013)

ARQUIVO GERADO PELO ALGORITMO DO ANP

Tabela 1 - Clusters

TABELA1 =

2x1 table

CLUSTER

"Cluster1"
 "Cluster2"

Tabela 2 - Critérios e quantidade de subcritérios por linha (L) e coluna (C) - L;C

TABELA2 =

13x13 table

	c1,j1	c2,j2	c3,j3	c4,j4	c5,j5	c6,j6	c7,j7	c1,j8	c2,j9	c3,j10	c4,j11	c5,j12	c6,j13
c1,i1	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c2,i2	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c3,i3	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c4,i4	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c5,i5	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c6,i6	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c7,i7	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c1,i8	"3;0"	"3;0"	"3;0"	"3;0"	"3;0"	"3;0"	"3;0"	"3;3"	"3;0"	"3;0"	"3;0"	"3;0"	"3;0"
c2,i9	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c3,i10	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c4,i11	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c5,i12	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"
c6,i13	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;3"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"	"0;0"

APÊNDICE B

Tabela 3 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz

TABELA3 =

11x5 table

COMPARATIVA	COMPARAÇÕES	SOBRE	NORMALIZADA	CLUSTER X CLUSTER
"MatrizC{1}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{1}"	"Cluster1 x Cluster1"
"MatrizC{2}"	"Sc X Sc"	"Sc1,1"	"MatrizN{2}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{3}"	"Sc X Sc"	"Sc1,2"	"MatrizN{3}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{4}"	"Sc X Sc"	"Sc1,3"	"MatrizN{4}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{5}"	"C X C"	"C2"	"MatrizN{5}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{6}"	"C X C"	"C3"	"MatrizN{6}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{7}"	"C X C"	"C4"	"MatrizN{7}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{8}"	"C X C"	"C5"	"MatrizN{8}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{9}"	"C X C"	"C6"	"MatrizN{9}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{10}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{10}"	"Cluster2 x Cluster1"
"MatrizC{11}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{11}"	"Cluster2 x Cluster2"

MATRIZES DE COMPARAÇÃO DOS ELEMENTOS

MatrizC_E_{1} =

1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1

MatrizC_E_{2} =

1.0000	0.3333	0.2000	0.1667	0.5000	0.1429	2.0000
3.0000	1.0000	0.5000	0.3333	2.0000	0.2000	5.0000
5.0000	2.0000	1.0000	0.5000	3.0000	0.3333	6.0000

APÊNDICE B

6.0000	3.0000	2.0000	1.0000	5.0000	0.5000	7.0000
2.0000	0.5000	0.3333	0.2000	1.0000	0.1667	3.0000
7.0000	5.0000	3.0000	2.0000	6.0000	1.0000	9.0000
0.5000	0.2000	0.1667	0.1429	0.3333	0.1111	1.0000

MatrizC_E_{3} =

1.0000	0.5000	0.2000	0.3333	2.0000	0.1429	3.0000
2.0000	1.0000	0.3333	0.5000	3.0000	0.2000	5.0000
5.0000	3.0000	1.0000	2.0000	7.0000	0.5000	8.0000
3.0000	2.0000	0.5000	1.0000	5.0000	0.3333	7.0000
0.5000	0.3333	0.1429	0.2000	1.0000	0.1250	2.0000
7.0000	5.0000	2.0000	3.0000	8.0000	1.0000	9.0000
0.3333	0.2000	0.1250	0.1429	0.5000	0.1111	1.0000

MatrizC_E_{4} =

1.0000	0.5000	2.0000	3.0000	0.2500	0.3333	0.2000
2.0000	1.0000	3.0000	4.0000	0.3333	0.5000	0.2500
0.5000	0.3333	1.0000	2.0000	0.2000	0.2500	0.1429
0.3333	0.2500	0.5000	1.0000	0.1429	0.2000	0.1111
4.0000	3.0000	5.0000	7.0000	1.0000	2.0000	0.5000
3.0000	2.0000	4.0000	5.0000	0.5000	1.0000	0.3333
5.0000	4.0000	7.0000	9.0000	2.0000	3.0000	1.0000

MatrizC_E_{5} =

1.0000	0.5000	2.0000	3.0000	0.2500	0.3333	0.2000
2.0000	1.0000	3.0000	4.0000	0.3333	0.5000	0.2500
0.5000	0.3333	1.0000	2.0000	0.2000	0.2500	0.1429
0.3333	0.2500	0.5000	1.0000	0.1429	0.2000	0.1111
4.0000	3.0000	5.0000	7.0000	1.0000	2.0000	0.5000
3.0000	2.0000	4.0000	5.0000	0.5000	1.0000	0.3333
5.0000	4.0000	7.0000	9.0000	2.0000	3.0000	1.0000

APÊNDICE B

MatrizC_E_{6} =

1.0000	0.2000	3.0000	3.0000	0.3333	0.1250	0.1429
5.0000	1.0000	7.0000	7.0000	3.0000	0.2000	0.3333
0.3333	0.1429	1.0000	1.0000	0.2000	0.1111	0.1250
0.3333	0.1429	1.0000	1.0000	0.2000	0.1111	0.1250
3.0000	0.3333	5.0000	5.0000	1.0000	0.1429	0.2000
8.0000	5.0000	9.0000	9.0000	7.0000	1.0000	3.0000
7.0000	3.0000	8.0000	8.0000	5.0000	0.3333	1.0000

MatrizC_E_{7} =

1.0000	3.0000	5.0000	4.0000	9.0000	1.0000	7.0000
0.3333	1.0000	4.0000	3.0000	7.0000	0.3333	5.0000
0.2000	0.2500	1.0000	0.3333	4.0000	0.2000	3.0000
0.2500	0.3333	3.0000	1.0000	5.0000	0.2500	4.0000
0.1111	0.1429	0.2500	0.2000	1.0000	0.1111	0.3333
1.0000	3.0000	5.0000	4.0000	9.0000	1.0000	7.0000
0.1429	0.2000	0.3333	0.2500	3.0000	0.1429	1.0000

MatrizC_E_{8} =

1.0000	1.0000	0.2000	0.3333	0.1429	0.1250	0.1111
1.0000	1.0000	0.2000	0.3333	0.1429	0.1250	0.1111
5.0000	5.0000	1.0000	3.0000	0.3333	0.2000	0.1429
3.0000	3.0000	0.3333	1.0000	0.2000	0.1429	0.1250
7.0000	7.0000	3.0000	5.0000	1.0000	0.3333	0.2000
8.0000	8.0000	5.0000	7.0000	3.0000	1.0000	0.3333
9.0000	9.0000	7.0000	8.0000	5.0000	3.0000	1.0000

MatrizC_E_{9} =

1.0000	4.0000	5.0000	3.0000	9.0000	7.0000	8.0000
0.2500	1.0000	3.0000	0.3333	7.0000	4.0000	5.0000
0.2000	0.3333	1.0000	0.2500	5.0000	3.0000	4.0000
0.3333	3.0000	4.0000	1.0000	8.0000	5.0000	7.0000
0.1111	0.1429	0.2000	0.1250	1.0000	0.2500	0.3333

APÉNDICE B

0.1429	0.2500	0.3333	0.2000	4.0000	1.0000	3.0000
0.1250	0.2000	0.2500	0.1429	3.0000	0.3333	1.0000

MatrizC_E_{10} =

1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1

MatrizC_E_{11} =

1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1

MATRIZES NORMALIZADAS DOS ELEMENTOS

MatrizN_e_{1} =

1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1

APÊNDICE B

MatrizN_e_{2} =

0.0408	0.0277	0.0278	0.0384	0.0280	0.0582	0.0606
0.1224	0.0831	0.0694	0.0768	0.1121	0.0815	0.1515
0.2041	0.1662	0.1389	0.1151	0.1682	0.1358	0.1818
0.2449	0.2493	0.2778	0.2303	0.2804	0.2038	0.2121
0.0816	0.0416	0.0463	0.0461	0.0561	0.0679	0.0909
0.2857	0.4155	0.4167	0.4605	0.3364	0.4075	0.2727
0.0204	0.0166	0.0231	0.0329	0.0187	0.0453	0.0303

MatrizN_e_{3} =

0.0531	0.0416	0.0465	0.0464	0.0755	0.0592	0.0857
0.1062	0.0831	0.0775	0.0697	0.1132	0.0829	0.1429
0.2655	0.2493	0.2325	0.2787	0.2642	0.2073	0.2286
0.1593	0.1662	0.1162	0.1393	0.1887	0.1382	0.2000
0.0265	0.0277	0.0332	0.0279	0.0377	0.0518	0.0571
0.3717	0.4155	0.4650	0.4180	0.3019	0.4145	0.2571
0.0177	0.0166	0.0291	0.0199	0.0189	0.0461	0.0286

MatrizN_e_{4} =

0.0632	0.0451	0.0889	0.0968	0.0565	0.0458	0.0788
0.1263	0.0902	0.1333	0.1290	0.0753	0.0686	0.0985
0.0316	0.0301	0.0444	0.0645	0.0452	0.0343	0.0563
0.0211	0.0226	0.0222	0.0323	0.0323	0.0275	0.0438
0.2526	0.2707	0.2222	0.2258	0.2259	0.2746	0.1971
0.1895	0.1805	0.1778	0.1613	0.1130	0.1373	0.1314
0.3158	0.3609	0.3111	0.2903	0.4519	0.4119	0.3941

MatrizN_e_{5} =

0.0632	0.0451	0.0889	0.0968	0.0565	0.0458	0.0788
0.1263	0.0902	0.1333	0.1290	0.0753	0.0686	0.0985
0.0316	0.0301	0.0444	0.0645	0.0452	0.0343	0.0563

APÊNDICE B

0.0211	0.0226	0.0222	0.0323	0.0323	0.0275	0.0438
0.2526	0.2707	0.2222	0.2258	0.2259	0.2746	0.1971
0.1895	0.1805	0.1778	0.1613	0.1130	0.1373	0.1314
0.3158	0.3609	0.3111	0.2903	0.4519	0.4119	0.3941

MatrizN_e_{6} =

0.0405	0.0204	0.0882	0.0882	0.0199	0.0618	0.0290
0.2027	0.1018	0.2059	0.2059	0.1793	0.0988	0.0677
0.0135	0.0145	0.0294	0.0294	0.0120	0.0549	0.0254
0.0135	0.0145	0.0294	0.0294	0.0120	0.0549	0.0254
0.1216	0.0339	0.1471	0.1471	0.0598	0.0706	0.0406
0.3243	0.5092	0.2647	0.2647	0.4183	0.4942	0.6090
0.2838	0.3055	0.2353	0.2353	0.2988	0.1647	0.2030

MatrizN_e_{7} =

0.3292	0.3785	0.2691	0.3129	0.2368	0.3292	0.2561
0.1097	0.1262	0.2152	0.2347	0.1842	0.1097	0.1829
0.0658	0.0315	0.0538	0.0261	0.1053	0.0658	0.1098
0.0823	0.0421	0.1614	0.0782	0.1316	0.0823	0.1463
0.0366	0.0180	0.0135	0.0156	0.0263	0.0366	0.0122
0.3292	0.3785	0.2691	0.3129	0.2368	0.3292	0.2561
0.0470	0.0252	0.0179	0.0196	0.0789	0.0470	0.0366

MatrizN_e_{8} =

0.0294	0.0294	0.0120	0.0135	0.0145	0.0254	0.0549
0.0294	0.0294	0.0120	0.0135	0.0145	0.0254	0.0549
0.1471	0.1471	0.0598	0.1216	0.0339	0.0406	0.0706
0.0882	0.0882	0.0199	0.0405	0.0204	0.0290	0.0618
0.2059	0.2059	0.1793	0.2027	0.1018	0.0677	0.0988
0.2353	0.2353	0.2988	0.2838	0.3055	0.2030	0.1647
0.2647	0.2647	0.4183	0.3243	0.5092	0.6090	0.4942

APÊNDICE B

MatrizN_e_{9} =

0.4625	0.4481	0.3628	0.5939	0.2432	0.3401	0.2824
0.1156	0.1120	0.2177	0.0660	0.1892	0.1943	0.1765
0.0925	0.0373	0.0726	0.0495	0.1351	0.1457	0.1412
0.1542	0.3361	0.2902	0.1980	0.2162	0.2429	0.2471
0.0514	0.0160	0.0145	0.0247	0.0270	0.0121	0.0118
0.0661	0.0280	0.0242	0.0396	0.1081	0.0486	0.1059
0.0578	0.0224	0.0181	0.0283	0.0811	0.0162	0.0353

MatrizN_e_{10} =

1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1

MatrizN_e_{11} =

1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1

VETORES DE PRIORIDADE DAS MATRIZES NORMALIZADAS

VetorP{1} =

0.1429

APÊNDICE B

0.1429
0.1429
0.1429
0.1429
0.1429
0.1429

VetorP{2} =

0.0402
0.0996
0.1586
0.2426
0.0615
0.3707
0.0268

VetorP{3} =

0.0583
0.0965
0.2466
0.1583
0.0374
0.3777
0.0253

VetorP{4} =

0.0679
0.1031
0.0438
0.0288
0.2384
0.1558
0.3623

APÊNDICE B

VetorP{5} =

0.0679
0.1031
0.0438
0.0288
0.2384
0.1558
0.3623

VetorP{6} =

0.0497
0.1517
0.0256
0.0256
0.0887
0.4121
0.2466

VetorP{7} =

0.3017
0.1661
0.0654
0.1035
0.0227
0.3017
0.0389

VetorP{8} =

0.0256
0.0256
0.0887

APÊNDICE B

0.0497
0.1517
0.2466
0.4121

VetorP{9} =

0.3904
0.1530
0.0963
0.2407
0.0225
0.0601
0.0370

VetorP{10} =

0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250

VetorP{11} =

0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250
0.1250

APÊNDICE B

C2,i11	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631	0.0631
C3,i12	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669	0.0669
C4,i13	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946	0.1946
C5,i14	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249	0.1249
C6,i15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4 - Razão de Consistência e análise de cada matriz

TABELA4 =

11x3 table

RC	CONSISTENTE 0.1 <= RC > 0.1 INCONSISTENTE	MATRIZ
-0.7576	"CONSISTENTE"	"MatrizC{1}"
0.0224	"CONSISTENTE"	"MatrizC{2}"
0.0199	"CONSISTENTE"	"MatrizC{3}"
0.0182	"CONSISTENTE"	"MatrizC{4}"
0.0182	"CONSISTENTE"	"MatrizC{5}"
0.0717	"CONSISTENTE"	"MatrizC{6}"
0.0538	"CONSISTENTE"	"MatrizC{7}"
0.0717	"CONSISTENTE"	"MatrizC{8}"
0.0731	"CONSISTENTE"	"MatrizC{9}"
-0.7092	"CONSISTENTE"	"MatrizC{10}"
-0.7092	"CONSISTENTE"	"MatrizC{11}"

TABELA{1} - Preferência ponderada normalizada para cluster1

TABELA{2} - Preferência ponderada normalizada para cluster2

TABELA{1} =

Cluster1	VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA	POSIÇÃO
"c1"	0.1219	"3°"
"c2"	0.1107	"4°"
"c3"	0.0931	"7°"
"c4"	0.0946	"6°"
"c5"	0.1004	"5°"
"c6"	0.2919	"1°"
"c7"	0.1874	"2°"

APÊNDICE B

TABELA{2} =

Cluster2	VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA	POSIÇÃO
"sc1,1"	0.1219	"3°"
"sc1,2"	0.1107	"4°"
"sc1,3"	0.0931	"7°"
"c2"	0.0946	"6°"
"c3"	0.1004	"5°"
"c4"	0.2919	"1°"
"c5"	0.1874	"2°"
"c6"	0.0000	"8°"

Published with MATLAB®

APÊNDICE C
ARQUIVO GERADO PARA CURTÍSSIMO PRAZO (AUTOR)

ARQUIVO GERADO PELO ALGORITMO AHP

Tabela 1 - Tecnologias Analisadas

TABELA1 =

4x1 table

TECNOLOGIA(T)

"T1"
 "T2"
 "T3"
 "T4"

Tabela 2 - Critérios e quantidade de subcritérios

TABELA2 =

5x2 table

CRITÉRIO(C) SUBCRITÉRIOS(SC) PARA CADA CRITÉRIO

"C1"	{' -- '}
"C2"	{' -- '}
"C3"	{' -- '}
"C4"	{' -- '}
"C5"	{' -- '}

Tabela 3 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz

TABELA3 =

6x5 table

COMPARATIVA	COMPARAÇÕES	SOBRE	NORMALIZADA	PRIORIDADE
"MatrizC{1}"	"C x C"	"Cs"	"MatrizN{1}"	"vetorP{1}"
"MatrizC{2}"	"T x T"	"C1"	"MatrizN{2}"	"vetorP{2}"
"MatrizC{3}"	"T x T"	"C2"	"MatrizN{3}"	"vetorP{3}"
"MatrizC{4}"	"T x T"	"C3"	"MatrizN{4}"	"vetorP{4}"
"MatrizC{5}"	"T x T"	"C4"	"MatrizN{5}"	"vetorP{5}"
"MatrizC{6}"	"T x T"	"C5"	"MatrizN{6}"	"vetorP{6}"

MATRIZES DE COMPARAÇÃO

MatrizC{1} =

APÉNDICE C

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	0.5	0.14286	0.14286	0.14286
C2	2	1	0.5	0.5	0.25
C3	7	2	1	0.5	0.5
C4	7	2	2	1	0.5
C5	7	4	2	2	1

MatrizC{2} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	0.33333	9	1
T2	3	1	9	3
T3	0.11111	0.11111	1	0.11111
T4	1	0.33333	9	1

MatrizC{3} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	3	0.33333	3
T2	0.33333	1	0.2	0.33333
T3	3	5	1	3
T4	0.33333	3	0.33333	1

MatrizC{4} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	0.11111	0.11111	0.33333
T2	9	1	3	9
T3	9	0.33333	1	5
T4	3	0.11111	0.2	1

MatrizC{5} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	1	1	0.11111
T2	1	1	1	0.11111
T3	1	1	1	0.11111
T4	9	9	9	1

APÉNDICE C

MatrizC{6} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	0.14286	0.33333	0.11111
T2	7	1	3	0.2
T3	3	0.33333	1	0.14286
T4	9	5	7	1

MATRIZES NORMALIZADAS

MatrizN{1} =

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0.041667	0.052632	0.025316	0.034483	0.059701
C2	0.083333	0.10526	0.088608	0.12069	0.10448
C3	0.29167	0.21053	0.17722	0.12069	0.20896
C4	0.29167	0.21053	0.35443	0.24138	0.20896
C5	0.29167	0.42105	0.35443	0.48276	0.41791

MatrizN{2} =

	T1	T2	T3	T4
T1	0.19565	0.1875	0.32143	0.19565
T2	0.58696	0.5625	0.32143	0.58696
T3	0.021739	0.0625	0.035714	0.021739
T4	0.19565	0.1875	0.32143	0.19565

MatrizN{3} =

	T1	T2	T3	T4
T1	0.21429	0.25	0.17857	0.40909
T2	0.071429	0.083333	0.10714	0.045455
T3	0.64286	0.41667	0.53571	0.40909
T4	0.071429	0.25	0.17857	0.13636

MatrizN{4} =

	T1	T2	T3	T4
T1	0.045455	0.071429	0.025773	0.021739

APÊNDICE C

T2	0.40909	0.64286	0.69588	0.58696
T3	0.40909	0.21429	0.23196	0.32609
T4	0.13636	0.071429	0.046392	0.065217

MatrizN{5} =

	<u>T1</u>	<u>T2</u>	<u>T3</u>	<u>T4</u>
T1	0.083333	0.083333	0.083333	0.083333
T2	0.083333	0.083333	0.083333	0.083333
T3	0.083333	0.083333	0.083333	0.083333
T4	0.75	0.75	0.75	0.75

MatrizN{6} =

	<u>T1</u>	<u>T2</u>	<u>T3</u>	<u>T4</u>
T1	0.05	0.022059	0.029412	0.076419
T2	0.35	0.15441	0.26471	0.13755
T3	0.15	0.051471	0.088235	0.098253
T4	0.45	0.77206	0.61765	0.68777

VETORES DE PRIORIDADE

VetorP{1} =

	<u> </u>
C1	0.04276
C2	0.10047
C3	0.20181
C4	0.26139
C5	0.39356

VetorP{2} =

	<u> </u>
T1	0.22506
T2	0.51446
T3	0.035423
T4	0.22506

VetorP{3} =

APÊNDICE C

T1 0.26299
T2 0.07684
T3 0.50108
T4 0.15909

VetorP{4} =

T1 0.041099
T2 0.5837
T3 0.29536
T4 0.07985

VetorP{5} =

T1 0.083333
T2 0.083333
T3 0.083333
T4 0.75

VetorP{6} =

T1 0.044472
T2 0.22667
T3 0.09699
T4 0.63187

Tabela 4 - Razão de Consistência e análise de cada matriz

TABELA4 =

6x3 table

RC	CONSISTENTE 0.1 <= RC > 0.1 INCONSISTENTE	MATRIZ
0.0276	"CONSISTENTE"	"MatrizC{1}"
0.0572	"CONSISTENTE"	"MatrizC{2}"
0.0734	"CONSISTENTE"	"MatrizC{3}"

APÊNDICE C

0.0694	"CONSISTENTE"	"MatrizC{4}"
0	"CONSISTENTE"	"MatrizC{5}"
0.0762	"CONSISTENTE"	"MatrizC{6}"

Tabela 5 - Preferência ponderada normalizada

TABELA5 =

4x3 table

TECNOLOGIA(T)	VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA	POSIÇÃO
"T1"	0.0836	"4"
"T2"	0.2585	"2"
"T3"	0.1714	"3"
"T4"	0.4864	"1"

Published with MATLAB®

APÊNDICE D
ARQUIVO GERADO PARA CURTO PRAZO (AUTOR)

ARQUIVO GERADO PELO ALGORITMO AHP

Tabela 1 - Tecnologias Analisadas

TABELA1 =

4x1 table

TECNOLOGIA(T)

"T1"
 "T2"
 "T3"
 "T4"

Tabela 2 - Critérios e quantidade de subcritérios

TABELA2 =

5x2 table

CRITÉRIO(C) SUBCRITÉRIOS(SC) PARA CADA CRITÉRIO

"C1"	{' -- '}
"C2"	{' -- '}
"C3"	{' -- '}
"C4"	{' -- '}
"C5"	{' -- '}

Tabela 3 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz

TABELA3 =

6x5 table

COMPARATIVA	COMPARAÇÕES	SOBRE	NORMALIZADA	PRIORIDADE
"MatrizC{1}"	"C x C"	"Cs"	"MatrizN{1}"	"vetorP{1}"
"MatrizC{2}"	"T x T"	"C1"	"MatrizN{2}"	"vetorP{2}"
"MatrizC{3}"	"T x T"	"C2"	"MatrizN{3}"	"vetorP{3}"
"MatrizC{4}"	"T x T"	"C3"	"MatrizN{4}"	"vetorP{4}"
"MatrizC{5}"	"T x T"	"C4"	"MatrizN{5}"	"vetorP{5}"
"MatrizC{6}"	"T x T"	"C5"	"MatrizN{6}"	"vetorP{6}"

MATRIZES DE COMPARAÇÃO

MatrizC{1} =

APÉNDICE D

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	0.5	0.14286	0.14286	0.14286
C2	2	1	0.5	0.5	0.25
C3	7	2	1	5	0.5
C4	7	2	0.2	1	0.5
C5	7	4	2	2	1

MatrizC{2} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	0.33333	9	1
T2	3	1	9	3
T3	0.11111	0.11111	1	0.11111
T4	1	0.33333	9	1

MatrizC{3} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	3	0.33333	3
T2	0.33333	1	0.2	0.33333
T3	3	5	1	3
T4	0.33333	3	0.33333	1

MatrizC{4} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	0.11111	0.14286	3
T2	9	1	3	9
T3	7	0.33333	1	7
T4	0.33333	0.11111	0.14286	1

MatrizC{5} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	1	1	0.11111
T2	1	1	1	0.11111
T3	1	1	1	0.11111
T4	9	9	9	1

APÉNDICE D

MatrizC{6} =

	T1	T2	T3	T4
T1	1	7	3	9
T2	0.14286	1	0.33333	5
T3	0.33333	3	1	7
T4	0.11111	0.2	0.14286	1

MATRIZES NORMALIZADAS

MatrizN{1} =

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0.041667	0.052632	0.037175	0.016529	0.059701
C2	0.083333	0.10526	0.13011	0.057851	0.10448
C3	0.29167	0.21053	0.26022	0.57851	0.20896
C4	0.29167	0.21053	0.052045	0.1157	0.20896
C5	0.29167	0.42105	0.52045	0.2314	0.41791

MatrizN{2} =

	T1	T2	T3	T4
T1	0.19565	0.1875	0.32143	0.19565
T2	0.58696	0.5625	0.32143	0.58696
T3	0.021739	0.0625	0.035714	0.021739
T4	0.19565	0.1875	0.32143	0.19565

MatrizN{3} =

	T1	T2	T3	T4
T1	0.21429	0.25	0.17857	0.40909
T2	0.071429	0.083333	0.10714	0.045455
T3	0.64286	0.41667	0.53571	0.40909
T4	0.071429	0.25	0.17857	0.13636

MatrizN{4} =

	T1	T2	T3	T4
T1	0.057692	0.071429	0.033333	0.15

APÊNDICE D

T1 0.26299
T2 0.07684
T3 0.50108
T4 0.15909

VetorP{4} =

T1 0.078114
T2 0.57802
T3 0.30037
T4 0.043498

VetorP{5} =

T1 0.083333
T2 0.083333
T3 0.083333
T4 0.75

VetorP{6} =

T1 0.58358
T2 0.12026
T3 0.25486
T4 0.041307

Tabela 4 - Razão de Consistência e análise de cada matriz

TABELA4 =

6x3 table

RC	CONSISTENTE 0.1 <= RC > 0.1 INCONSISTENTE	MATRIZ
0.0899	"CONSISTENTE"	"MatrizC{1}"
0.0572	"CONSISTENTE"	"MatrizC{2}"
0.0734	"CONSISTENTE"	"MatrizC{3}"

APÊNDICE D

0.091	"CONSISTENTE"	"MatrizC{4}"
0	"CONSISTENTE"	"MatrizC{5}"
0.0762	"CONSISTENTE"	"MatrizC{6}"

Tabela 5 - Preferência ponderada normalizada

TABELA5 =

4x3 table

<u>TECNOLOGIA(T)</u>	<u>VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA</u>	<u>POSIÇÃO</u>
"T1"	0.2932	"1°"
"T2"	0.2679	"2°"
"T3"	0.2534	"3°"
"T4"	0.1855	"4°"

Published with MATLAB®

APÊNDICE E

c5,i9 "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0"

Tabela 3 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz

TABELA3 =

8x5 table

COMPARATIVA	COMPARAÇÕES	SOBRE	NORMALIZADA	CLUSTER X CLUSTER
"MatrizC{1}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{1}"	"Cluster1 x Cluster1"
"MatrizC{2}"	"C X C"	"C1"	"MatrizN{2}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{3}"	"C X C"	"C2"	"MatrizN{3}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{4}"	"C X C"	"C3"	"MatrizN{4}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{5}"	"C X C"	"C4"	"MatrizN{5}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{6}"	"C X C"	"C5"	"MatrizN{6}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{7}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{7}"	"Cluster2 x Cluster1"
"MatrizC{8}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{8}"	"Cluster2 x Cluster2"

MATRIZES DE COMPARAÇÃO DOS ELEMENTOS

MatrizC_E_{1} =

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

MatrizC_E_{2} =

1.0000	0.3333	9.0000	1.0000
3.0000	1.0000	9.0000	3.0000
0.1111	0.1111	1.0000	0.1111

APÊNDICE E

1.0000 0.3333 9.0000 1.0000

MatrizC_E_{3} =

1.0000 3.0000 0.3333 3.0000
 0.3333 1.0000 0.2000 0.3333
 3.0000 5.0000 1.0000 3.0000
 0.3333 3.0000 0.3333 1.0000

MatrizC_E_{4} =

1.0000 0.1111 0.1111 0.3333
 9.0000 1.0000 3.0000 9.0000
 9.0000 0.3333 1.0000 5.0000
 3.0000 0.1111 0.2000 1.0000

MatrizC_E_{5} =

1.0000 1.0000 1.0000 0.1111
 1.0000 1.0000 1.0000 0.1111
 1.0000 1.0000 1.0000 0.1111
 9.0000 9.0000 9.0000 1.0000

MatrizC_E_{6} =

1.0000 0.1429 0.3333 0.1111
 7.0000 1.0000 3.0000 0.2000
 3.0000 0.3333 1.0000 0.1429
 9.0000 5.0000 7.0000 1.0000

APÉNDICE E

MatrizC_E_{7} =

1.0000	0.5000	0.1429	0.1429	0.1429
2.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.2500
7.0000	2.0000	1.0000	5.0000	0.5000
7.0000	2.0000	0.2000	1.0000	0.5000
7.0000	4.0000	2.0000	2.0000	1.0000

MatrizC_E_{8} =

1.0000	0.5000	0.1429	0.1429	0.1429
2.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.2500
7.0000	2.0000	1.0000	5.0000	0.5000
7.0000	2.0000	0.2000	1.0000	0.5000
7.0000	4.0000	2.0000	2.0000	1.0000

MATRIZES NORMALIZADAS DOS ELEMENTOS

MatrizN_e_{1} =

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

MatrizN_e_{2} =

0.1957	0.1875	0.3214	0.1957
0.5870	0.5625	0.3214	0.5870
0.0217	0.0625	0.0357	0.0217

APÊNDICE E

0.1957 0.1875 0.3214 0.1957

MatrizN_e_{3} =

0.2143 0.2500 0.1786 0.4091
 0.0714 0.0833 0.1071 0.0455
 0.6429 0.4167 0.5357 0.4091
 0.0714 0.2500 0.1786 0.1364

MatrizN_e_{4} =

0.0455 0.0714 0.0258 0.0217
 0.4091 0.6429 0.6959 0.5870
 0.4091 0.2143 0.2320 0.3261
 0.1364 0.0714 0.0464 0.0652

MatrizN_e_{5} =

0.0833 0.0833 0.0833 0.0833
 0.0833 0.0833 0.0833 0.0833
 0.0833 0.0833 0.0833 0.0833
 0.7500 0.7500 0.7500 0.7500

MatrizN_e_{6} =

0.0500 0.0221 0.0294 0.0764
 0.3500 0.1544 0.2647 0.1376
 0.1500 0.0515 0.0882 0.0983
 0.4500 0.7721 0.6176 0.6878

APÊNDICE E

MatrizN_e_{7} =

0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0597
0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.1045
0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.2090
0.2917	0.2105	0.0520	0.1157	0.2090
0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.4179

MatrizN_e_{8} =

0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0597
0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.1045
0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.2090
0.2917	0.2105	0.0520	0.1157	0.2090
0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.4179

VETORES DE PRIORIDADE DAS MATRIZES NORMALIZADAS

VetorP{1} =

0.2500
0.2500
0.2500
0.2500

VetorP{2} =

0.2251
0.5145
0.0354

APÊNDICE E

0.2251

VetorP{3} =

0.2630

0.0768

0.5011

0.1591

VetorP{4} =

0.0411

0.5837

0.2954

0.0799

VetorP{5} =

0.0833

0.0833

0.0833

0.7500

VetorP{6} =

0.0445

0.2267

0.0970

0.6319

APÊNDICE E

VetorP{7} =

0.0415
0.0962
0.3100
0.1758
0.3765

VetorP{8} =

0.0415
0.0962
0.3100
0.1758
0.3765

MATRIZ DOS CLUSTERS

MatrizC_C_{1} =

1.0000	0.5000
2.0000	1.0000

MATRIZ DOS CLUSTERS NORMALIZADA

MatrizC_C_n{1} =

0.3333	0.3333
0.6667	0.6667

APÊNDICE E

Supermatrizsempesos =

9x9 table

	<u>c1,j1</u>	<u>c2,j2</u>	<u>c3,j3</u>	<u>c4,j4</u>	<u>c1,j5</u>	<u>c2,j6</u>	<u>c3,j7</u>	<u>c4,j8</u>	<u>c5,j9</u>
c1,i1	1	0	0	0	0.2251	0.263	0.0411	0.0833	0.0445
c2,i2	0	1	0	0	0.5145	0.0768	0.5837	0.0833	0.2267
c3,i3	0	0	1	0	0.0354	0.5011	0.2954	0.0833	0.097
c4,i4	0	0	0	1	0.2251	0.1591	0.0799	0.75	0.6319
c1,i5	0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0597
c2,i6	0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.1045
c3,i7	0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.209
c4,i8	0.2917	0.2105	0.052	0.1157	0.2917	0.2105	0.052	0.1157	0.209
c5,i9	0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.4179

Supermatrizponderada =

9x9 table

	<u>c1,j1</u>	<u>c2,j2</u>	<u>c3,j3</u>	<u>c4,j4</u>	<u>c1,j5</u>	<u>c2,j6</u>	<u>c3,j7</u>	<u>c4,j8</u>	<u>c5,j9</u>
c1,i1	0.3333	0	0	0	0.075	0.0877	0.0137	0.0278	0.0148
c2,i2	0	0.3333	0	0	0.1715	0.0256	0.1946	0.0278	0.0756
c3,i3	0	0	0.3333	0	0.0118	0.167	0.0985	0.0278	0.0323
c4,i4	0	0	0	0.3333	0.075	0.053	0.0266	0.25	0.2106
c1,i5	0.0278	0.0351	0.0248	0.011	0.0278	0.0351	0.0248	0.011	0.0398
c2,i6	0.0556	0.0702	0.0867	0.0386	0.0556	0.0702	0.0867	0.0386	0.0697
c3,i7	0.1944	0.1404	0.1735	0.3857	0.1944	0.1404	0.1735	0.3857	0.1393
c4,i8	0.1944	0.1404	0.0347	0.0771	0.1944	0.1404	0.0347	0.0771	0.1393
c5,i9	0.1944	0.2807	0.347	0.1543	0.1944	0.2807	0.347	0.1543	0.2786

APÊNDICE E

Supermatrizlimite = Supermatrizponderada^29

Supermatrizlimite =

9x9 table

	c1,j1	c2,j2	c3,j3	c4,j4	c1,j5	c2,j6	c3,j7	c4,j8	c5,j9
c1,i1	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261	0.0261
c2,i2	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049
c3,i3	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
c4,i4	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372
c1,i5	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274	0.0274
c2,i6	0.0663	0.0663	0.0663	0.0663	0.0663	0.0663	0.0663	0.0663	0.0663
c3,i7	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
c4,i8	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099
c5,i9	0.2639	0.2639	0.2639	0.2639	0.2639	0.2639	0.2639	0.2639	0.2639

Tabela 4 - Razão de Consistência e análise de cada matriz

TABELA4 =

8x3 table

RC	CONSISTENTE 0.1 <= RC > 0.1 INCONSISTENTE	MATRIZ
-1.1111	"CONSISTENTE"	"MatrizC{1}"
0.0572	"CONSISTENTE"	"MatrizC{2}"
0.0734	"CONSISTENTE"	"MatrizC{3}"
0.0694	"CONSISTENTE"	"MatrizC{4}"
0	"CONSISTENTE"	"MatrizC{5}"
0.0762	"CONSISTENTE"	"MatrizC{6}"
0.0899	"CONSISTENTE"	"MatrizC{7}"
0.0899	"CONSISTENTE"	"MatrizC{8}"

TABELA{1} - Preferência ponderada normalizada para cluster1

TABELA{2} - Preferência ponderada normalizada para cluster2

APÊNDICE E

TABELA{1} =

<u>Cluster1</u>	<u>VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA</u>	<u>POSIÇÃO</u>
"c1"	0.0784	"4°"
"c2"	0.3148	"2°"
"c3"	0.1951	"3°"
"c4"	0.4117	"1°"

TABELA{2} =

<u>Cluster2</u>	<u>VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA</u>	<u>POSIÇÃO</u>
"c1"	0.0411	"5°"
"c2"	0.0995	"4°"
"c3"	0.3150	"2°"
"c4"	0.1485	"3°"
"c5"	0.3958	"1°"

APÊNDICE F

c5,i9 "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0" "0;0"

Tabela 3 - Tipos de comparações e as comparações de cada matriz

TABELA3 =

8x5 table

COMPARATIVA	COMPARAÇÕES	SOBRE	NORMALIZADA	CLUSTER X CLUSTER
"MatrizC{1}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{1}"	"Cluster1 x Cluster1"
"MatrizC{2}"	"C X C"	"C1"	"MatrizN{2}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{3}"	"C X C"	"C2"	"MatrizN{3}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{4}"	"C X C"	"C3"	"MatrizN{4}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{5}"	"C X C"	"C4"	"MatrizN{5}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{6}"	"C X C"	"C5"	"MatrizN{6}"	"Cluster1 x Cluster2"
"MatrizC{7}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{7}"	"Cluster2 x Cluster1"
"MatrizC{8}"	"Cs X Cs"	"Cs"	"MatrizN{8}"	"Cluster2 x Cluster2"

MATRIZES DE COMPARAÇÃO DOS ELEMENTOS

MatrizC_E_{1} =

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

MatrizC_E_{2} =

1.0000	0.3333	9.0000	1.0000
3.0000	1.0000	9.0000	3.0000
0.1111	0.1111	1.0000	0.1111

APÊNDICE F

1.0000 0.3333 9.0000 1.0000

MatrizC_E_{3} =

1.0000 3.0000 0.3333 3.0000
 0.3333 1.0000 0.2000 0.3333
 3.0000 5.0000 1.0000 3.0000
 0.3333 3.0000 0.3333 1.0000

MatrizC_E_{4} =

1.0000 0.1111 0.1429 3.0000
 9.0000 1.0000 3.0000 9.0000
 7.0000 0.3333 1.0000 7.0000
 0.3333 0.1111 0.1429 1.0000

MatrizC_E_{5} =

1.0000 1.0000 1.0000 0.1111
 1.0000 1.0000 1.0000 0.1111
 1.0000 1.0000 1.0000 0.1111
 9.0000 9.0000 9.0000 1.0000

MatrizC_E_{6} =

1.0000 7.0000 3.0000 9.0000
 0.1429 1.0000 0.3333 5.0000
 0.3333 3.0000 1.0000 7.0000
 0.1111 0.2000 0.1429 1.0000

APÉNDICE F

MatrizC_E_{7} =

1.0000	0.5000	0.1429	0.1429	0.1429
2.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.2500
7.0000	2.0000	1.0000	5.0000	0.5000
7.0000	2.0000	0.2000	1.0000	0.5000
7.0000	4.0000	2.0000	2.0000	1.0000

MatrizC_E_{8} =

1.0000	0.5000	0.1429	0.1429	0.1429
2.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.2500
7.0000	2.0000	1.0000	5.0000	0.5000
7.0000	2.0000	0.2000	1.0000	0.5000
7.0000	4.0000	2.0000	2.0000	1.0000

MATRIZES NORMALIZADAS DOS ELEMENTOS

MatrizN_e_{1} =

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

MatrizN_e_{2} =

0.1957	0.1875	0.3214	0.1957
0.5870	0.5625	0.3214	0.5870
0.0217	0.0625	0.0357	0.0217

APÊNDICE F

0.1957 0.1875 0.3214 0.1957

MatrizN_e_{3} =

0.2143 0.2500 0.1786 0.4091
 0.0714 0.0833 0.1071 0.0455
 0.6429 0.4167 0.5357 0.4091
 0.0714 0.2500 0.1786 0.1364

MatrizN_e_{4} =

0.0577 0.0714 0.0333 0.1500
 0.5192 0.6429 0.7000 0.4500
 0.4038 0.2143 0.2333 0.3500
 0.0192 0.0714 0.0333 0.0500

MatrizN_e_{5} =

0.0833 0.0833 0.0833 0.0833
 0.0833 0.0833 0.0833 0.0833
 0.0833 0.0833 0.0833 0.0833
 0.7500 0.7500 0.7500 0.7500

MatrizN_e_{6} =

0.6300 0.6250 0.6702 0.4091
 0.0900 0.0893 0.0745 0.2273
 0.2100 0.2679 0.2234 0.3182
 0.0700 0.0179 0.0319 0.0455

APÊNDICE F

MatrizN_e_{7} =

0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0597
0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.1045
0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.2090
0.2917	0.2105	0.0520	0.1157	0.2090
0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.4179

MatrizN_e_{8} =

0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0597
0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.1045
0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.2090
0.2917	0.2105	0.0520	0.1157	0.2090
0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.4179

VETORES DE PRIORIDADE DAS MATRIZES NORMALIZADAS

VetorP{1} =

0.2500
0.2500
0.2500
0.2500

VetorP{2} =

0.2251
0.5145
0.0354

APÊNDICE F

0.2251

VetorP{3} =

0.2630

0.0768

0.5011

0.1591

VetorP{4} =

0.0781

0.5780

0.3004

0.0435

VetorP{5} =

0.0833

0.0833

0.0833

0.7500

VetorP{6} =

0.5836

0.1203

0.2549

0.0413

APÊNDICE F

VetorP{7} =

0.0415
0.0962
0.3100
0.1758
0.3765

VetorP{8} =

0.0415
0.0962
0.3100
0.1758
0.3765

MATRIZ DOS CLUSTERS

MatrizC_C_{1} =

1.0000	0.5000
2.0000	1.0000

MATRIZ DOS CLUSTERS NORMALIZADA

MatrizC_C_n{1} =

0.3333	0.3333
0.6667	0.6667

APÊNDICE F

Supermatrizsempesos =

9x9 table

	<u>c1,j1</u>	<u>c2,j2</u>	<u>c3,j3</u>	<u>c4,j4</u>	<u>c1,j5</u>	<u>c2,j6</u>	<u>c3,j7</u>	<u>c4,j8</u>	<u>c5,j9</u>
c1,i1	1	0	0	0	0.2251	0.263	0.0781	0.0833	0.5836
c2,i2	0	1	0	0	0.5145	0.0768	0.578	0.0833	0.1203
c3,i3	0	0	1	0	0.0354	0.5011	0.3004	0.0833	0.2549
c4,i4	0	0	0	1	0.2251	0.1591	0.0435	0.75	0.0413
c1,i5	0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0417	0.0526	0.0372	0.0165	0.0597
c2,i6	0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.0833	0.1053	0.1301	0.0579	0.1045
c3,i7	0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.2917	0.2105	0.2602	0.5785	0.209
c4,i8	0.2917	0.2105	0.052	0.1157	0.2917	0.2105	0.052	0.1157	0.209
c5,i9	0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.2917	0.4211	0.5204	0.2314	0.4179

Supermatrizponderada =

9x9 table

	<u>c1,j1</u>	<u>c2,j2</u>	<u>c3,j3</u>	<u>c4,j4</u>	<u>c1,j5</u>	<u>c2,j6</u>	<u>c3,j7</u>	<u>c4,j8</u>	<u>c5,j9</u>
c1,i1	0.3333	0	0	0	0.075	0.0877	0.026	0.0278	0.1945
c2,i2	0	0.3333	0	0	0.1715	0.0256	0.1927	0.0278	0.0401
c3,i3	0	0	0.3333	0	0.0118	0.167	0.1001	0.0278	0.085
c4,i4	0	0	0	0.3333	0.075	0.053	0.0145	0.25	0.0138
c1,i5	0.0278	0.0351	0.0248	0.011	0.0278	0.0351	0.0248	0.011	0.0398
c2,i6	0.0556	0.0702	0.0867	0.0386	0.0556	0.0702	0.0867	0.0386	0.0697
c3,i7	0.1944	0.1404	0.1735	0.3857	0.1944	0.1404	0.1735	0.3857	0.1393
c4,i8	0.1944	0.1404	0.0347	0.0771	0.1944	0.1404	0.0347	0.0771	0.1393
c5,i9	0.1944	0.2807	0.347	0.1543	0.1944	0.2807	0.347	0.1543	0.2786

APÊNDICE F

Supermatrizlimite = Supermatrizponderada^27

Supermatrizlimite =

9x9 table

	c1,j1	c2,j2	c3,j3	c4,j4	c1,j5	c2,j6	c3,j7	c4,j8	c5,j9
c1,i1	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021
c2,i2	0.0874	0.0874	0.0874	0.0874	0.0874	0.0874	0.0874	0.0874	0.0874
c3,i3	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855	0.0855
c4,i4	0.0584	0.0584	0.0584	0.0584	0.0584	0.0584	0.0584	0.0584	0.0584
c1,i5	0.0285	0.0285	0.0285	0.0285	0.0285	0.0285	0.0285	0.0285	0.0285
c2,i6	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676	0.0676
c3,i7	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197
c4,i8	0.1068	0.1068	0.1068	0.1068	0.1068	0.1068	0.1068	0.1068	0.1068
c5,i9	0.2667	0.2667	0.2667	0.2667	0.2667	0.2667	0.2667	0.2667	0.2667

Tabela 4 - Razão de Consistência e análise de cada matriz

TABELA4 =

8x3 table

RC	CONSISTENTE 0.1 <= RC > 0.1 INCONSISTENTE	MATRIZ
-1.1111	"CONSISTENTE"	"MatrizC{1}"
0.0572	"CONSISTENTE"	"MatrizC{2}"
0.0734	"CONSISTENTE"	"MatrizC{3}"
0.091	"CONSISTENTE"	"MatrizC{4}"
0	"CONSISTENTE"	"MatrizC{5}"
0.0762	"CONSISTENTE"	"MatrizC{6}"
0.0899	"CONSISTENTE"	"MatrizC{7}"
0.0899	"CONSISTENTE"	"MatrizC{8}"

TABELA{1} - Preferência ponderada normalizada para cluster1

TABELA{2} - Preferência ponderada normalizada para cluster2

APÊNDICE F

TABELA{1} =

<u>Cluster1</u>	<u>VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA</u>	<u>POSIÇÃO</u>
"c1"	0.3062	"1°"
"c2"	0.2621	"2°"
"c3"	0.2564	"3°"
"c4"	0.1753	"4°"

TABELA{2} =

<u>Cluster2</u>	<u>VETOR PREFERÊNCIA PONDERADA NORMALIZADA</u>	<u>POSIÇÃO</u>
"c1"	0.0428	"5°"
"c2"	0.1014	"4°"
"c3"	0.2956	"2°"
"c4"	0.1603	"3°"
"c5"	0.4001	"1°"