



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

Francisco Jairan Dionizio Pedro

**Avaliação de complexos eólicos através do
método de decisão multicritério TOPSIS**



SALVADOR
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

Avaliação de complexos eólicos através do método de decisão multicritério TOPSIS

Francisco Jairan Dionizio Pedro

Salvador

2019

Francisco Jairan Dionizio Pedro

Avaliação de complexos eólicos através do método de decisão multicritério TOPSIS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientadores:

Prof^a Dr^a Karla Patrícia Santos Oliveira Rodriguez Esquerre

Prof. Dr. Salvador Ávila Filho

Salvador

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pedro, Francisco Jairan Dionizio
Avaliação de complexos eólicos através do método de
decisão multicritério TOPSIS / Francisco Jairan
Dionizio Pedro, FRANCISCO JAIRAN PEDRO. -- Salvador,
2019.
75 f.

Orientadora: KARLA PATRICIA SANTOS OLIVEIRA
RODRIGUEZ ESQUERRE.
Coorientador: Salvador Ávila Filho.
Dissertação (Mestrado - Mestrado em Engenharia
Industrial) -- Universidade Federal da Bahia, Escola
Politécnica, 2019.

1. TOPSIS. 2. Energia Eólica.. 3. Revisão
Sistemática da Literatura. 4. MCDA. II. PEDRO,
FRANCISCO JAIRAN. I. RODRIGUEZ ESQUERRE, KARLA
PATRICIA SANTOS OLIVEIRA. II. Ávila Filho, Salvador .
III. Título.

**AVALIAÇÃO DE COMPLEXOS EÓLICOS
ATRAVÉS DO MÉTODO DE DECISÃO
MULTICRITÉRIO TOPSIS**

FRANCISCO JAIRAN DIONIZIO PEDRO

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. Karla Patrícia Santos Oliveira Rodrigues Esquerre Karla Patrícia Santos Oliveira Rodrigues Esquerre
Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2003

Prof. Dr. Adonias Magdiel Silva Ferreira Adonias Magdiel S. Ferreira
Doutor em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia, BRASIL, 2015

Prof. Dr. Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna
Doutor em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BRASIL, 2009

Prof. Dr. Eduardo Oliveira Teles Eduardo Oliveira Teles
Doutor em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia, BRASIL, 2016

Salvador, BA - BRASIL
Jan/2019

Agradecimentos

Agradeço a Deus primeiramente, por todos os momentos difíceis que estive comigo.

À minha querida Geralda Dionizio e Francisco de Assis, pelos ensinamentos que me guiaram para a vida.

À minha filha Ellen; minha irmã Zilma; meu irmão Jailson; meu tio João Dionizio; meus sobrinhos Vinicius, Vivia e Viviane; ao meu cunhado Vescio e todos os tios, tias, primos e primas que sempre me apoiaram positivamente, presencialmente ou a distância.

À Luanda por todo apoio, paciência e ensinamentos.

À Prof^ª. Karla Patrícia Santos Oliveira Rodrigues Esquerre pelo acolhimento, ensinamentos, confiança, paciência e principalmente pela sua compreensão.

Aos membros da banca pelas sugestões no trabalho.

À Prof. Salvador Ávila Filho pelo acolhimento e ensinamentos.

Aos meus amigos queridos, que presencialmente ou a distância, tem sempre uma palavra de apoio, são tantos.

Aos amigos do GAMMA e do GRODin que contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

À todos do PEI em nome de Tatiane Reis, Tamiles Bispo, Robinson Carvalho e aos estagiários.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*Você não pode voltar atrás e fazer um novo começo, mas você pode começar agora e
fazer um novo fim.*

Chico Xavier

Avaliação de complexos eólicos através do método de decisão multicritério TOPSIS

Autor: Francisco Jairan Dionizio Pedro

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Karla Patrícia Santos Oliveira Rodriguez Esquerre

Orientador: Prof. Dr. Salvador Ávila Filho

RESUMO

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o volume de investimento nos complexos eólicos em 22 municípios do Estado da Bahia, localizadas no eixo Central do Estado, através do método de decisão multicritério TOPSIS. Para definição dos critérios e método mais adequado, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) nas bases Compendex e Scopus de acordo com o protocolo que foi estruturado. Para aplicação do método de decisão, foi definido os seguintes critérios: investimentos por *Mega-Watts* (*MW*) produzidos, investimentos por quantidades de usinas e *MW* por quantidade de usina. Foi determinado o vetor peso igual a 0,33 para todos os critérios. Em seguida, foi realizada a normatização, ponderação da matriz de decisão, cálculo da solução ideal positiva e negativa, cálculo da distância e coeficiente de aproximação, com auxílio do *software R Core Team* e planilha eletrônica. Com os resultados obtidos, a partir da RSL, verificou-se que as publicações acerca da temática multicritério são crescentes, a colaboração de países europeus, do Oriente Médio e da Ásia, principalmente a China, constituem a maior malha de colaboração e o método TOPSIS apresentou-se como melhor ferramenta para o problema estruturado neste trabalho. Foi estabelecido o ordenamento onde Sento Sé foi o melhor município avaliado, enquanto Casa Nova ocupou o último lugar. Ao distribuir espacialmente o ordenamento foi possível observar dois grupos distribuídos de forma oposta. Sendo assim, conclui-se a RSL contribuiu para compreensão do que é um processo de decisão com base em multicritério, sua importância, e como o Brasil está aquém na discussão dessa temática. Além disso, conclui-se que os municípios melhor avaliados são: Sento Sé, Pindaí, Itaguaçu da Bahia, Caetité, Xique-Xique, Riancho de Santana. Há outros municípios com potencial de geração, porém este potencial não está sendo completamente aproveitado.

Palavras-chave: TOPSIS, Energia Eólica, Revisão Sistemática da Literatura, MCDA.

Evaluation of wind farms through the multi-criteria decision method TOPSIS

Autor: Francisco Jairan Dionizio Pedro

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karla Patrícia Santos Oliveira Rodriguez Esquerre

Orientador: Prof. Dr. Salvador Ávila Filho

ABSTRACT

This reasearch aims to evaluate with multicriterion decision method TOPSIS the investment in wind power complexes in 22 counties of Bahia State, located on central region of the state. To define the criteria and most adequate method a Sistematic Review of Literature was realized ? SRL in Compendex and Scopus bases according to structured protocol. To application of decision method it was defined the following criteria: investment by produced *Mega-Watts* MW, investment by quantities of plants and MW by quantities of plants. It was Determined the vector weight equal 0,33 for all criteria. Next, the normatization was realized, ponderation of decision matrix, calculation of ideal positive solution and negative solution, calculation of distance and approximation coefficient, with software R Core Team and spreadsheet. With the results of SRL it was noted that publication about multicriteria theme are increasing, the collaboration of European countries, Middle East and Asia, specially Chine constitutes the bigger collaboration network and TOPSIS method showed as the best method to the problem structured in this work. By the calculation of ideal positive solution and ideal negative solution, it was established the planning where Sento Sé was the best count evaluated while Casa Nova occupied the final position. By distributing the planning spatially, it was possible to note 2 groups distributed in the opposite form. This way, it is concluded that the best evaluated counties are: Sento Sé, Pindaí, Itaguaçu, Caetité, Xique-Xique, Riancho de Santana. There are others counties with potencial to generation, but this potencial are not being completely utilized.

Keywords: TOPSIS, wind power, Systematic Review of Literature, MCDA.

Lista de figuras

1	Estrutura da dissertação	p. 17
2	Capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN) - 2017/2022	p. 18
3	Capacidade instalada de parques por estado e evolução da capacidade instalada em MW	p. 20
4	Médias climatológicas sazonais de temperatura, precipitação e velocidade de vento sobre o Brasil	p. 23
5	Cadeia de suprimentos da energia eólica	p. 24
6	Fluxo para o desenvolver uma revisão da literatura	p. 37
7	Métodos multicritérios ao longo dos anos	p. 43
8	Colaboração com países (1978 a 2018).	p. 44
9	Colaboração Universitária (1978 a 2018).	p. 45
10	Rede de colaboração (1978 a 2018).	p. 47
11	Co-ocorrências de palavras chaves (1978 a 2018).	p. 48
12	Métodos multicritérios no contexto das energias renováveis e TOPSIS ao longo dos anos	p. 49
13	Aplicação do TOPSIS no contexto da energia eólica ao longo dos anos .	p. 50
14	Mapa de localização do municípios da Bahia participante do estudo . .	p. 54
15	Mapa da espacialidade do ordenamento via método TOPSIS	p. 62
16	Mapa eólico da Bahia do Potencial Eólico Anual	p. 75
17	Rotina do TOPSIS no software R	p. 76

Lista de tabelas

1	Distribuição de Frequência relativa de literatura por autores	p. 46
2	Distribuição de frequência das literaturas sobre métodos de decisão multicritério no contexto das energias renováveis por país	p. 51
3	Quantidade de artigos por journal abordando métodos multicritérios e energia renonável	p. 52
4	Quantidade de artigos por journal abordando TOPSIS em energia eólica	p. 52
5	Matriz de decisão	p. 57
6	Matriz de decisão normalizada e ponderada	p. 58
7	Soluções ideais positivas (A^+) e negativas (A^-)	p. 59
8	As distâncias (D_i^+) e (D_i^-)	p. 59
9	Coefficiente de aproximação (CC_i) de cada alternativa e ordenação. . .	p. 60

Lista de abreviaturas e siglas

SIN – Sistema Interligado Nacional

GWEC– Global Wind Energy Council

ANEEL– Agência Nacional de Energia Elétrica

MW – Mega-Watts

MADM – *Multi-Attribute Decision Making*

MCDM – *Multi-Criteria Decision Making*

MODM – *Multi-Objective Decision Making*

MODA – Multiple Objective Decision Aiding

MCDA – *Multiple Criteria Decision Aiding*

TOPSIS – Técnica de Preferência de Ordem por Similaridade à Solução Ideal

SIN – Sistema Interligado Nacional

PNE – Plano Nacional de Energia

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ABDI–Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial

AHP – Analytic Hierarchy Process

BIREME – Biblioteca Regional de Medicina

Sumário

1	Introdução	p. 12
1.1	Contextualização	p. 12
1.2	Objetivos	p. 14
1.3	Justificativa	p. 15
1.4	Caracterização da pesquisa	p. 16
1.5	Estrutura da Dissertação	p. 17
2	Revisão da Literatura	p. 18
2.1	Matriz Energética Brasileira	p. 18
2.2	Energia Eólica no Brasil	p. 21
2.3	Métodos de Decisão Multicritério	p. 26
2.4	Método de Avaliação TOPSIS	p. 31
3	Revisão Sistemática da Literatura	p. 35
3.1	Revisão Sistemática da Literatura	p. 35
3.2	Mapeamento e Estatísticas da RSL	p. 42
4	Avaliação de Complexos Eólicos	p. 53
4.1	Avaliação de Complexos Eólicos do Estado da Bahia	p. 56
5	Conclusões	p. 64
	Referências	p. 66
	Anexo A – Documentação Pacote topsis	p. 72

1 Introdução

1.1 Contextualização

A energia eólica vem ganhando destaque pelo aumento da capacidade de geração energética que proporciona. O desenvolvimento tecnológico permite a instalação de aerogeradores de grande porte. Quando no solo, configuram os parques *onshore* e, no mar, caracterizam os parques *offshore*.

A geração e acesso de energia são fundamentais tanto no desenvolvimento econômico quanto no social. Neste sentido, o planejamento da matriz energética vem ganhando protagonismo na definição de políticas estratégicas por parte dos países. Um exemplo é a busca pela diversificação da matriz energética, evitando a dependência de uma ou poucas fontes que, caso apresentem um cenário adverso, podem comprometer a economia.

As fontes de energia limpa reduzem a emissão de CO_2 . Ao longo do tempo, a quantidade de energia *per capita* aumentou para atender as necessidades cotidianas de uma sociedade contemporânea que demanda, cada vez mais, uma quantidade de energia que atenda seu estilo de vida social. Esta demanda da sociedade requer que o fornecimento energético seja contínuo. A inserção das fontes de energias renováveis na matriz energética amplia as possibilidades de melhoria, de modo a atender as sazonalidades existentes nas fontes geradoras e evitar a falta de energia.

O *Global Wind Energy Council* (GWEC) destaca o Chile atingindo um ano recorde com $513MW$ instalados e o Uruguai adicionando $365MW$, embora ambos os casos superem em apenas $1GW$ a capacidade total ($1.424MW$ e $1.210MW$ respectivamente). Outros países que foram destaque regional são Peru ($93MW$), República Dominicana ($50MW$) e Costa Rica ($20MW$). A Argentina também merece ser mencionada, já que é esperado um incremento acelerado nos próximos anos. Isto considerando que o país não tinha novas instalações em 2016, sendo projetada a construção de parques nos próximos dois anos com uma capacidade projetada total de $1.400MW$ (GWEC, 2017).

O Brasil voltou a liderar o mercado no contexto da América Latina. Apesar dos problemas políticos e econômicos, o país incrementou a sua capacidade em $2.014MW$, atingindo assim a marca de aproximadamente $10GW$ ao final de 2017. Já para 2018, o país fecha o ano com uma capacidade instalada de $14,71GW$. Os cinco estados com maior geração no período de 2018 foram Rio Grande do Norte com $13,64TWh$, Bahia com $11TWh$, Piauí com $5,59TWh$, Rio Grande do Sul $5,56TWh$ e Ceará com $5,53TWh$. O Brasil chegou a um Fator de capacidade médio em 2018 de $42,2\%$, Abastecimento médio mensal de $25,5$ milhões residência e $76,6$ milhões de habitantes. Evitando o lançamento de $20,58$ Milhões de Toneladas de CO_2 no meio ambiente.

O estado da Bahia participou do primeiro leilão de energia eólica da (ANEEL) em 2009, quando teve aproximadamente 25% dos projetos aprovados (18). A GE/Alstom e a Siemens/Gamesa foram implantadas em 2011. Em 2012 o primeiro parque eólico entrou em operação. Em 2013, a Nordex/Acciona e a Torrebras foram implantadas. Nesse mesmo ano foi lançado o Atlas Eólico da Bahia, com o mapeamento do potencial dos ventos para torres de até 150 metros de altura, objetivando o planejamento energético e de atração de investimentos para o setor. A comercialização no mercado livre da primeira em operação foi em 2014. No ano seguinte, as fábricas TEN e A Wobben foram implantadas. Em 2016 foi a vez da Tecsis. Em 2018, a Bahia ganhou o mapeamento do potencial híbrido no Atlas Solarimétrico da Bahia, segundo dados da Secretaria de Desenvolvimento Econômico do estado da Bahia.

A geração de energia a partir das fontes renováveis, depende da identificação da capacidade, através da realização dos estudos de prospecção das diversas fontes de geração. Por exemplo, um único território pode possibilitar a geração de energia a partir de uma única fonte ou até mesmo uma combinação de fontes de geração. Para determinar qual o cenário mais adequado, os empreendimentos do setor de energia fundamentam-se na realização de estudos para contemplar aspectos de viabilidade técnica, econômica, social e ambiental para a construção do potencial de geração de energia (KUMAR *et al.*, 2017 ; WANG J-J *et al.*, 2009). Admitindo a presença de incertezas envolvidas nos processos de construção da planta, busca-se métodos de decisão que possibilitem fazer uma avaliação multicritério, resultando em uma escolha adequada para implantação da usina. Diante desse cenário, para os processos produtivos simples ou complexos é importante a utilização de métodos de decisão multicritério, sejam estes métodos de menor ou maior impacto para a realização efetiva do empreendimento.

Os cenários no setor de energia, assumem várias formas e constituem-se de elementos facilitadores e sistêmicos para efetividade na escolha adequada do cenário de viabilidade do empreendimento. Por consequência, espera-se uma maior produção de energia gerada de acordo com a quantidade de usinas eólicas instaladas, distribuídas em alguns municípios da Bahia, com o preço do Mega-Watts (MW) competitivo.

Para a avaliação dos cenários, há métodos que podem ser aplicados de acordo com a estruturação do problema. Alguns métodos são: *Multi-Attribute Decision Making* (MADM), *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM), *Multi-Objective Decision Making* (MODM), *Multiple Objective Decision Aiding* (MODA), *Multiple Criteria Decision Aiding* (MCDA) que são compostos por seleção de critérios. As ponderações se concentram no *Multi-Criteria Decision Analysis*. Além desses, (ZAVADSKAS et al., 2016) discutiram a aplicação de métodos híbridos na engenharia.

Como os cenários do setor de energia são pautados em vários aspectos que contemplam os diversos critérios envolvidos, os métodos multicritério são abordados de forma efetiva no contexto de tomada de decisão (MCDM) ou apoio a decisão (MCDA). Trabalhos acadêmicos como de (KHALIL; HASSAN, 2017), (REICHERT; SCHUWIRTH; LANGHANS, 2013), (WANG et al., 2013), (HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011a), (STRANTZALI; ARAVOSSIS, 2016), são bem citados, contribuindo para o debate acadêmico e para aplicação no mercado de energia.

Esta pesquisa realizou uma revisão sistemática de literatura através das aplicações dos métodos multicritério no contexto das fontes de energias renováveis, bem como avaliou complexos eólicos com base no investimentos por *Mega-Watts* (MW) produzidos, investimentos por quantidades de usinas e MW por quantidade de usina em 22 municípios baianos.

1.2 Objetivos

Neste tópico são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos a serem alcançados.

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o volume de investimento nos complexos eólicos instalados na Bahia utilizando o método TOPSIS - Técnica de Preferência de Ordem por Similaridade à Solução Ideal.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Compreender os métodos multicritério dentro do contexto da geração de energia eólica;
2. Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura das aplicações dos métodos multicritério no contexto geração de energia eólica;
3. Aplicar o método multicritério TOPSIS no contexto da geração de energia eólica;

1.3 Justificativa

Pacesila *et al.* (2016) abordou a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural com uma estratégia para buscar um posicionamento perante o panorama energético mundial, diversificando sua matriz energética e aumentando a contribuição de energias renováveis, conforme Tolmasquim *et al.* (2007) relata. Aliando os dois posicionamentos e atendendo os acordos internacionais para o clima, o Brasil está diversificando sua matriz energética com foco nas fontes de energias renováveis e limpa. Porém, os custos para viabilizar um empreendimento de geração de energia são elevados, o que gera a necessidade de se utilizar ferramentas para auxílio nos processos de apoio à decisão.

O processo decisório que abrange multicritério, em que há alternativas de escolhas conflitantes entre si, apresenta uma complexidade que inclui todos os elementos, inclusive no setor de energia. A complexidade vai da estruturação do problema até a escolha da melhor alternativa, em que a tendência é prevalecer uma relação custo-benefício soberana.

Buscar por uma escolha da alternativa em que a melhor relação custo-benefício seja efetiva, conduz para um cenário em que se favorece o uso dos métodos de decisão multicritério. O fato de existir a padronização do processo de decisão multicritério pela modelagem matemática e também a interação com outras áreas do conhecimento possibilita ter um apoio na análise de decisão multicritério, sendo o facilitado para os atores envolvidos na escolha.

A aplicação dos métodos de decisão multicritério no Brasil ainda é muito tímida. Quando falamos em setores como o de energia, por exemplo, observa-se que há pouca literatura sobre o desenvolvimento e a aplicação dos métodos. Especialmente no setor de energia eólica, evidenciando a cadeia de suprimentos, existe um lacuna causada pela falta de literaturas.

No entanto, mesmo com o crescimento do setor de energia eólica no Brasil, principalmente no Estado da Bahia, pouco se discute sobre o uso dessas ferramentas dentro do segmento eólico e, conseqüentemente, a aplicação dessa temática ainda é limitada.

Por isso, a presente pesquisa propõe uma revisão sistemática da literatura, a fim de conhecer de forma ampla e sistêmica os métodos de apoio à tomada de decisão dentro do setor energético, além de fazer uma avaliação custo-benefício de empreendimentos já instalados no Estado da Bahia com base em multicritérios dos aspectos econômicos e técnicos.

Esta avaliação permitirá compreender, preliminarmente, como os investimentos afetam na geração de energia eólica, buscando evidenciar a solução ideal positiva, que maximiza os critérios de benefícios e minimiza os critérios de custo e a solução ideal negativa, que maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefícios.

1.4 Caracterização da pesquisa

A natureza desta pesquisa é quantitativa. Miguel e Fleury (2012) destaca que dentre as principais preocupações da abordagem quantitativa estão: mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação. Podendo ser classificada quanto aos objetivos e também aos procedimentos técnicos (GIL, 2008).

Para Gil (2008), a classificação quanto aos objetivos é muito útil para o estabelecimento de seu marco teórico. O entendimento sobre a metodologia empregada neste trabalho, compreende-se segundo o autor Minayo e Deslandes (2007), que declara a não existência de um método melhor do que outro, mas salienta que o método adequado ajuda o pesquisador à responder as interrogações da pesquisa. O estudo tem o objetivo exploratório, que compreende a realização de análise da literatura sobre os métodos de decisão multicritério no contexto da geração de energia eólica.

Quanto aos procedimentos técnicos, o estudo caracteriza-se por ser uma pesquisa bibliográfica que desenvolve através de bases de dados que contém principalmente artigos científicos. Como também, uma pesquisa *ex-post-facto* que analisa situações que se desenvolveram após algum acontecimento, que é o caso da implantação dos complexos eólicos.

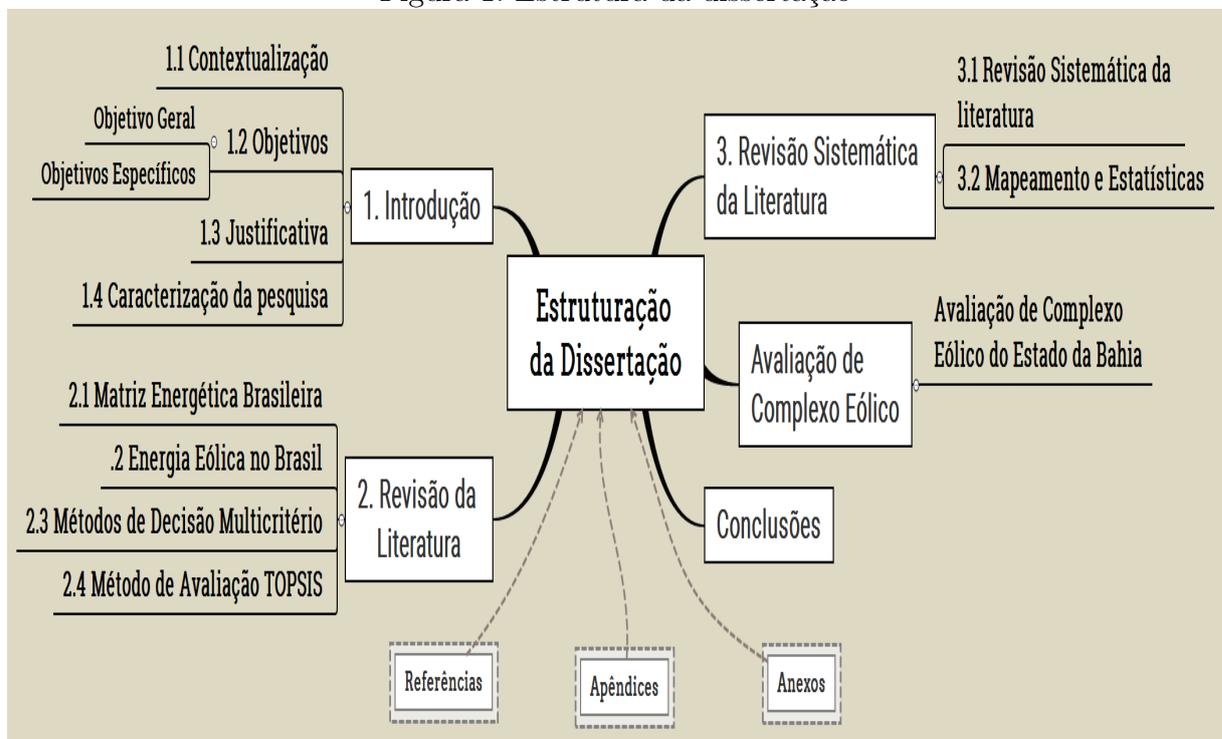
Do ponto de vista da linguagem, uma das formas exploratórias da realidade são os números, logo uma característica quantitativa, o que leva a um nível efetivo de cientificidade. Acrescentado à justificativa dos métodos, das técnicas, dos instrumentos para a coletas dos

dados usado pelo pesquisador, que ajudou a formar o caminho para atingir os objetivos da pesquisa, está a criatividade do mesmo imprimindo sua forma de fazer pesquisa no cenário científico. O levantamento bibliográfico e a característica do procedimento *ex-post-facto* permitiram obter elementos para a avaliação dos complexos eólicos.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é estruturada em cinco capítulos. A Fig. 1 apresenta a estrutura da dissertação de uma maneira global evidenciando cada particularidade.

Figura 1: Estrutura da dissertação



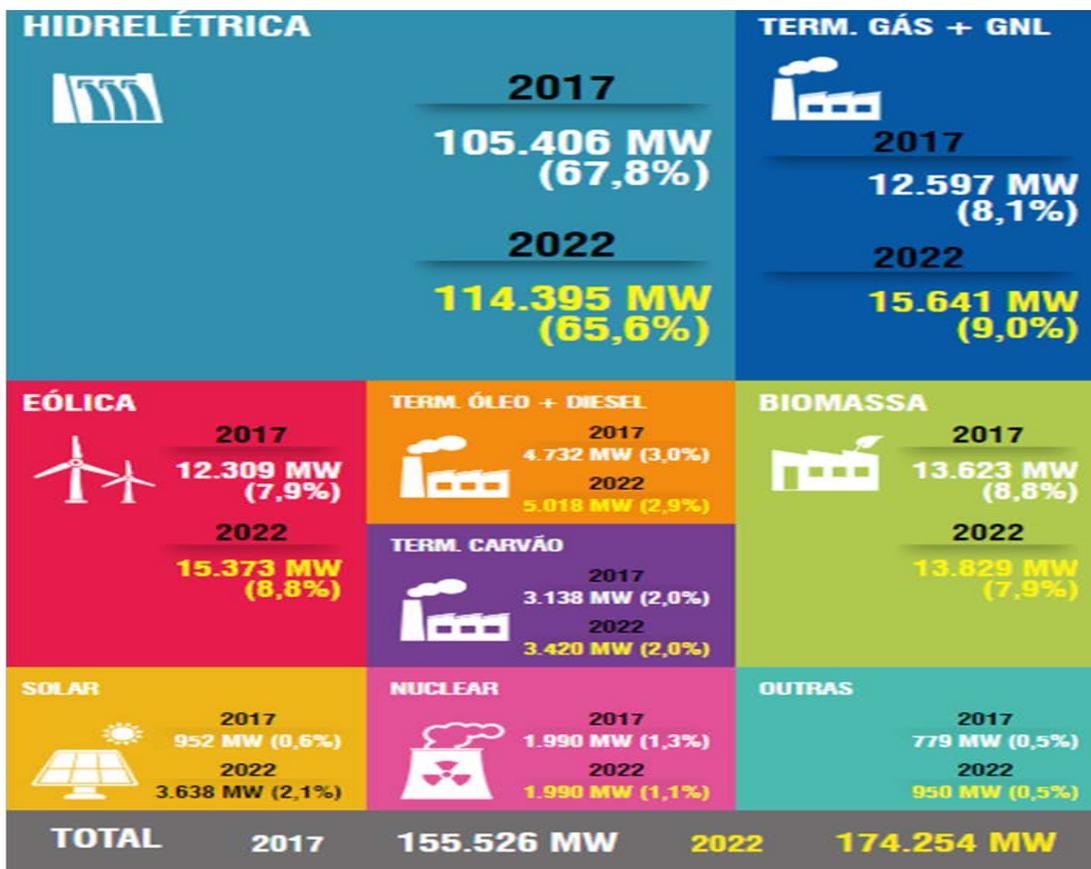
O primeiro capítulo é composto pela introdução que apresenta a temática da pesquisa e também os objetivos, sendo eles geral e específicos. Apresenta também a justificativa e a estruturação da dissertação. Já o segundo capítulo é composto pela revisão da literatura, subdividida em matriz energética e métodos de decisão multicritério. O terceiro capítulo apresenta a metodologia da pesquisa, que envolve a revisão sistemática da literatura e métodos de decisão multicritério. No quarto capítulo são comentados os resultados e discussões. No quinto capítulo as conclusões e sugestões para trabalhos futuros são comentadas.

2 Revisão da Literatura

2.1 Matriz Energética Brasileira

As fontes convencionais de energia provocam impactos na ocupação do espaço geográfico e/ou nas emissões de CO_2 , afetando o funcionamento das cidades e indústrias. Quando a energia é direcionada para o setor elétrico existe a agravante da não diversificação da matriz energética brasileira, como pode ser visto na Fig. 2

Figura 2: Capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN) - 2017/2022



Fonte: Plano Nacional de Energia (PNE, 2018).

Na Figura 2 é mostrado um infográfico apresentando dados do Operador Nacional do Setor Elétrico brasileiro, com dados de 2017 e projeção para 2022, onde é possível observar que aproximadamente 68% da capacidade instalada de geração tem como origem uma única fonte de energia. Essa fragilidade não é percebida nos períodos de seca, onde os reservatórios baixam comprometendo o fornecimento de energia. Por isso, Tolmasquim *et al.* (2007) fala da necessidade da diversificação da matriz energética como posicionamento estratégico perante o panorama energético mundial.

A energia solar e eólica apresentam maior previsão de crescimento segundo a Fig 2. Em relação à energia solar as perdas são elevadas e envolvem: conversão de energia, perdas nos inversores, sombreamento parcial, aumento da temperatura do painel fotovoltaico, entre outros. Mesmo em sistemas térmicos as perdas chegam a aproximadamente 65%, além da necessidade de sistemas alternativos e falta de local adequado (GREENING; AZAPAGIC, 2014). Saidur *et al.* (2011) fala que o uso da energia eólica contribui para a redução da poluição ambiental e do consumo de água. No entanto, destaca como critérios negativos a poluição sonora, interferência visual e impactos negativos na vida selvagem. Holttinen *et al.* (2011) destacou ainda o custo da integração da energia eólica para garantir a segurança operacional.

Apesar dos critérios negativos mencionados, os parques eólicos não emitem CO_2 e cumprem com os objetivos do acordo do clima. Essa fonte de energia tem um melhor custo-benefício na tarifa de energia, permite que o proprietário da terra realize plantações ou criações de animais, bem como a capacitação de mão de obra no local. Sendo assim, a energia eólica é um benefício enquanto fonte geradora de energia elétrica, conforme evidenciado pela Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2018) . A Figura 3 mostra o crescimento da energia eólica nos últimos anos e sua projeção para o ano 2022.

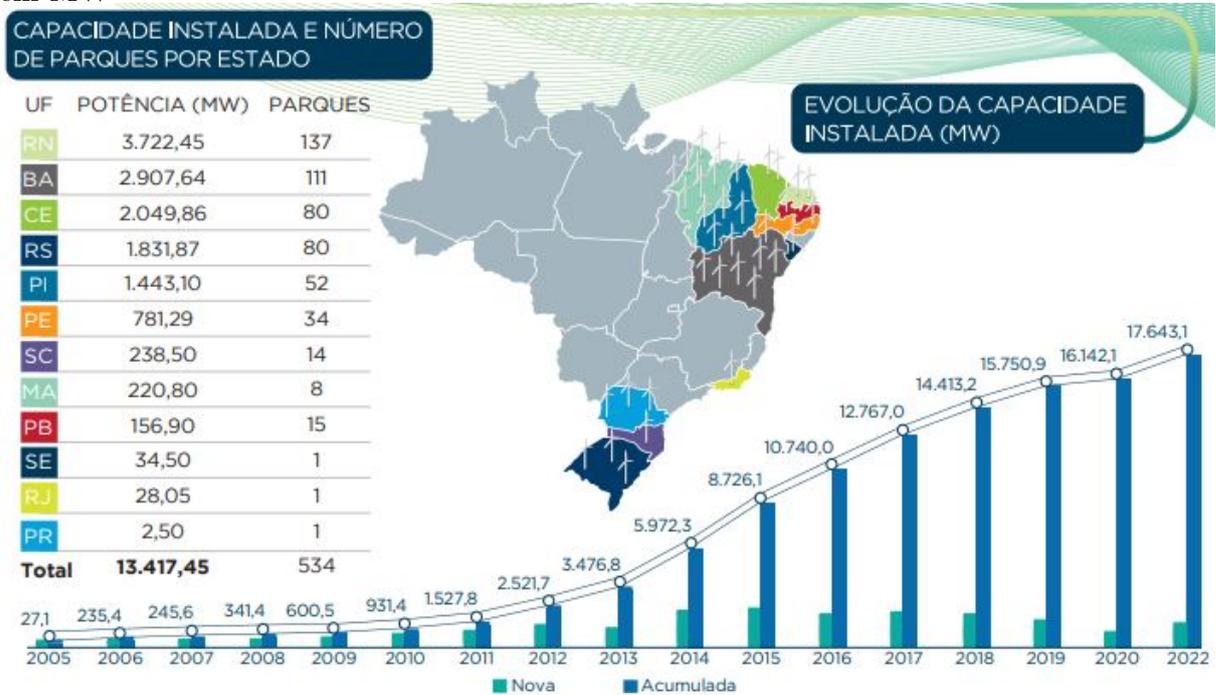
Embora o setor eólico esteja em crescimento, os custos para viabilizar empreendimentos de usinas geradoras de energia elétrica são elevados, principalmente no que diz respeito à logística e transmissão da energia gerada. Por isso, Maciel (2012) traz a discussão não somente da geração distribuída, mas também faz uma análise multiobjetiva da integração da geração distribuída às redes de distribuição. Os multiobjetos discutidos por Maciel (2012) são de base técnica que fomentam a discussão para que haja uma tomada de decisão de múltiplos critérios envolvidos e múltiplas variáveis. Já Sorensen (2017) amplia a discussão do técnico-econômico para a área ambiental e de planejamento.

Já se sabe que as soluções clássicas para geração de energia como por exemplo hidrelétrica e termelétrica, não são mais viáveis ambientalmente. Entretanto, a ideia de que

energias renováveis são energias limpas e que não causam impactos ambientais é equivocada. O que ocorre é que os impactos gerados são considerados mínimos quando comparados com fontes convencionais. Porém, em alguns casos, as energias renováveis têm impactos maiores do que as não renováveis (ABBASI; ABBASI, 2000).

Huesca-Pérez *et al.* (2016) citou os conflitos sociais oriundos da energia eólica, como uso e ocupação do solo, falta de qualificação da mão-de-obra, demonstrando que além do aspecto ambiental também existe o impacto social. O autor concluiu ainda que as comunidades locais precisam ser consideradas no processo de planejamento e desenvolvimento de energia eólica no mundo.

Figura 3: Capacidade instalada de parques por estado e evolução da capacidade instalada em MW



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) / ABEEólica - 01/08/2018

Na Fig 3, é exibida uma relação da capacidade instalada de parques eólicos por Estado. É possível notar que o desenvolvimento do planejamento e implantação dos complexos eólicos no Brasil se concentram em 12 Estados, 534 parques eólicos com capacidade instalada total de 13.417MW, como referência o início do mês de agosto de 2018. O Nordeste brasileiro tem um maior destaque na geração de energia eólica. O líder na geração é o Rio Grande do Norte com um total de 137 parques gerando uma potência de 3.722,45MW seguido pelos estados da Bahia com potência de 2.907,64MW e Ceará com potência de 2.049,86MW. Já a região Sul do Brasil gera uma potência de aproximadamente 2.073MW, sendo o Rio Grande do Sul líder na geração, com um total de 80 parques que

geram uma potência de $1.831,87MW$.

Condições de vento e meteorológicas favorecem a implantação de complexos eólicos. Destaca-se em relação às condições meteorológicas: a temperatura, pressão, umidade relativa, energia cinética, fluxo de calor, e outras que favorecem ao fluxo do potencial eólico anual e que tem velocidade média anual de vento entre 6,5 e 7,5, para uma altura de 50 metros.

Existe uma evolução na capacidade instalada compreendida de 2005 a 2018, em que no período dos anos de 2013 a 2018 cresce aproximadamente $11.000MW$ acumulado. Este crescimento está associado as políticas de inserção de fontes renováveis na matriz energética brasileira. Observa-se ainda, que haverá um aumento $3.230MW$ pela projeção de 2018 para 2022.

Portanto, para o processo decisório na geração, transmissão, distribuição e armazenamento de energia, é importante realizar estudos em relação as melhores opções de fontes energéticas renováveis e analisar o ciclo de vida da matriz energética inserida no funcionamento das cidades e regiões. Esses estudos devem ser baseados também em modelo decisório com multicritério.

2.2 Energia Eólica no Brasil

Até 2001, a energia eólica do Brasil não estava estruturada de forma que permitisse uma complementação dos fluxos hidrológicos nos reservatórios hidrelétricos. Devido à sazonalidade, que ocasionava períodos sem chuva, ocorria diminuição da produção de energia proveniente de hidrelétricas. Isso gerou inerteza em buscar a produção de energia proveniente dos ventos. Assim, surge a demanda pela geração de energia eólica, aproveitando o regime dos ventos e contribuindo para a diversificação da matriz energética. Com a crise energética ocorrida nesse período, a criação do Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) (BRASIL, b) através da RESOLUÇÃO No 24, DE 5 DE JULHO DE 2001, representa um marco na geração de energia eólica. O objetivo do programa era a contratação de $1.050MW$ de projetos até dezembro de 2003.

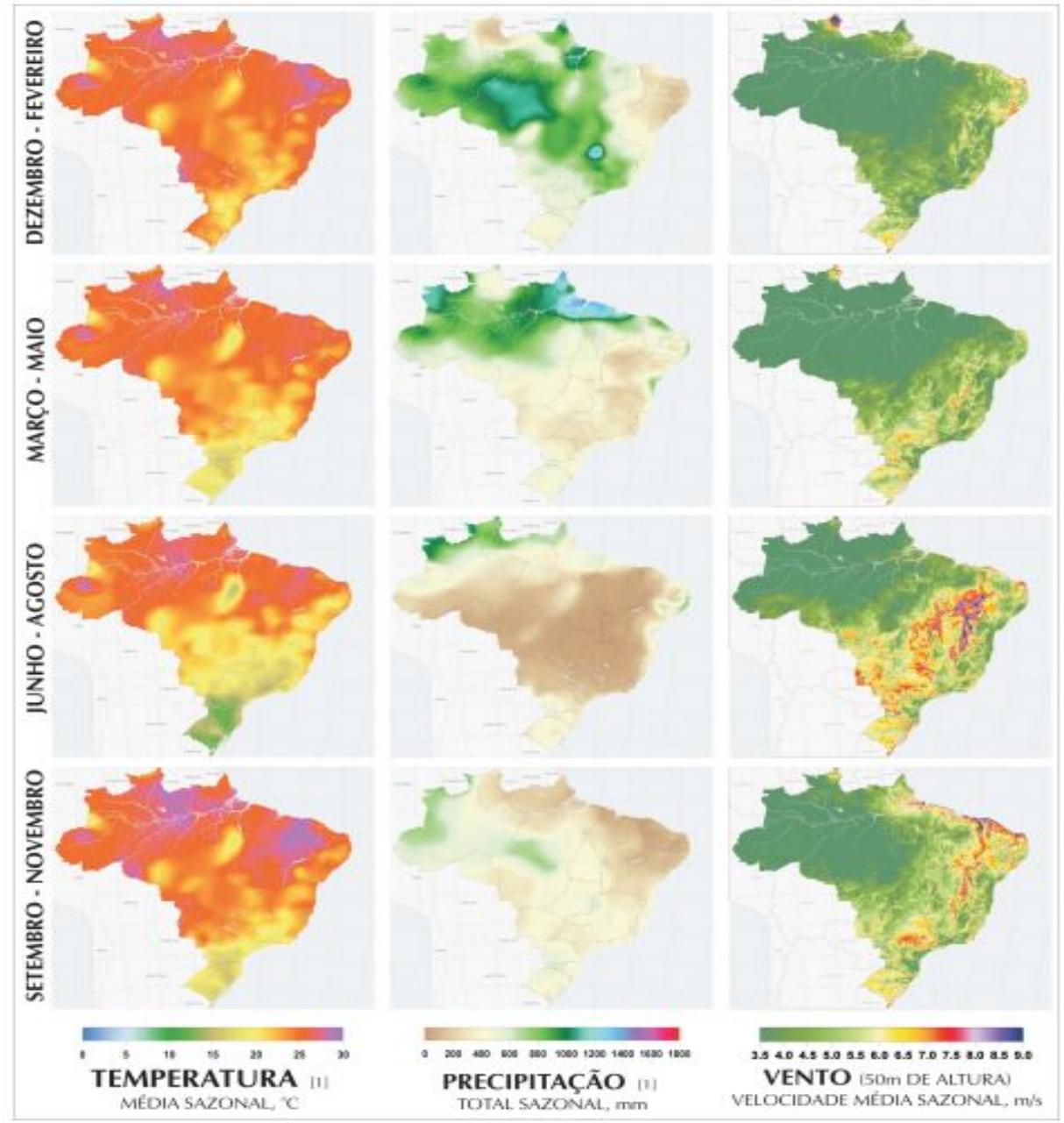
Como o PROEÓLICA não teve o resultado esperado para atender a demanda da crise, foi substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) criado pela Lei nº 10.438/2002, que incentiva o desenvolvimento das fontes renováveis na matriz energética, dando início a estruturação da indústria de componentes e turbinas eólicas em que se possa gerar produto nacional.

No segundo semestre de 2009 ocorre o primeiro leilão de comercialização de energia de fonte eólica, o Leilão de Energia de Reserva (LER) com contratação de 1,8GW . Em dezembro de 2009 acontece o segundo LER que contratou usinas eólicas com início do suprimento em 2012 que cujo prazo dos contratos era de 20 anos. A intensificação das instalações se inicia em 2011, conforme conforme Fig. 3. Relações dos leilões mais informações em <http://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes>.

O Brasil tem as condições necessárias e suficientes para ter uma quantidade de vento, com a intensidade certa e sem mudanças bruscas de velocidade ou direção, o que explica em grande medida o sucesso da eólica no Brasil nos últimos anos. Inicialmente, havia menos de 1GW de capacidade instalada em 2010. Observa-se um aumento deste valor para 13,4GW em agosto de 2018. Já são mais de 500 parques eólicos em funcionamento, com mais de 6.600 aerogeradores em 12 estados, conforme InfoVento n° 7 atualizado em 01/08/18 da ABEEólica.

Para trazer informações que podem auxiliar os tomadores de decisão, foi produzido o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001). Os complexos eólicos, são conectados ao Sistema de Interligado Nacional com base na configuração geográfica, condicionada pelas características dos ventos no Brasil conforme Figura 4.

Figura 4: Médias climatológicas sazonais de temperatura, precipitação e velocidade de vento sobre o Brasil



Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001)

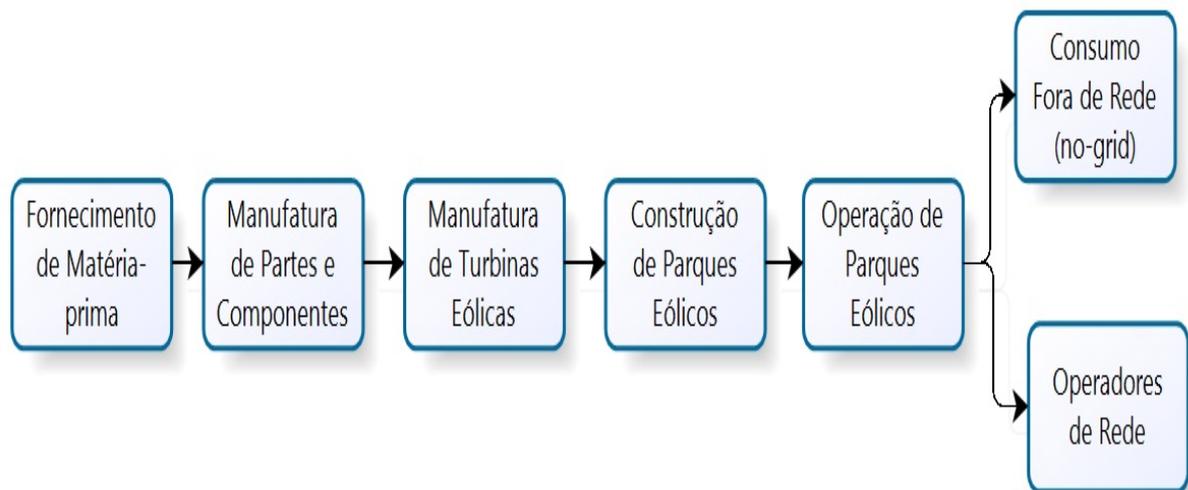
Na Fig 4. são apresentadas as médias climatológicas sazonais de precipitação e temperatura, que ilustram os diferentes tipos de clima e suas sazonalidades. As velocidades médias sazonais de vento a 50m de altura configuram que a costa e o interior do Nordeste brasileiro tem uma maior predominância de ventos. Com base no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001) foram direcionados os estudos de prospecções para os projetos participantes dos leilões com o objetivo de construir complexos eólicos e estimular toda a estrutura da cadeia de suprimentos da energia eólica.

2.2.1 Estrutura da cadeia de suprimentos da energia eólica

A cadeia de abastecimento de energia eólica é com frequência relacionada pela sua complexidade, considerando o fornecimento de matérias-primas, fabricação de partes e componentes, de turbinas eólicas, operação e manutenção dos projetos eólicos e da rede de transmissão da energia gerada.

Para Yuan *et al.* (2014), um melhor entendimento da cadeia de suprimentos da indústria de energia eólica a divide em duas partes principais: *upstream*, concentrando as fábricas de turbina eólica e fabricantes de componentes e peças. *Downstream*, que concentra os complexos eólicos e empresas de energia elétrica. Na Fig. 5, a ideia da cadeia de suprimento para a geração de energia eólica é representada de um modo geral.

Figura 5: Cadeia de suprimentos da energia eólica



Fonte: Adaptado de Yuan *et al.* (2014)

Assim, a etapa de *upstream* é composta de fornecedores de matérias-primas, componentes e fabricantes de peças, serviços de tecnologia, fabricantes de turbinas eólicas e os desenvolvedores de parques eólicos (YUAN *et al.*, 2014). O fornecimento de matéria-prima inclui, principalmente, aço (torres, pás, nacelle, cubo, entre outros), cobre (elementos de transmissão, aerogeradores, entre outros), concreto (caso de torres de concreto, e a base das torres em geral) e os chamados materiais raros da terra (REM) (ímãs dos aerogeradores).

Nos últimos anos tem sido crescente a preocupação da indústria pela obtenção do REM. Ele inclui 12 materiais que são fundamentais na fabricação dos grandes eletroímãs,

além de serem utilizados na fabricação de eletrônicos e alguns eletrodomésticos. O grande desafio é seu fornecimento, que segundo Massari e Ruberti (2013) está concentrado em cerca de 20 companhias ao redor do mundo, sendo a China responsável pelo 97% da produção mundial.

A seguir, os fabricantes de componentes e serviços de tecnologia são os responsáveis pelo suprimento dos componentes para os fabricantes das turbinas eólicas. A próxima fase envolve o fornecimento de turbinas eólicas e partes principais das torres para a construção dos parques eólicos. A última etapa do *upstream* requer o deslocamento até as zonas remotas onde estão localizados os parques eólicos, e inclui serviços de transporte, montagem, com a utilização de guindastes de grande porte e serviços de infraestrutura complementares, como a construção de vias de acesso para a operação e manutenção dos parques.

O *downstream* é composto por operadores de parques eólicos, empresas de rede, clientes de uso final e/ou distribuidores equipados com instalações de armazenamento de energia (Yuan *et al.*, 2014). No caso do mercado brasileiro, a energia gerada é distribuída pelo SIN, (Sistema Energético Nacional) que é o responsável pela distribuição e monitoramento da rede de energia elétrica do país.

A Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2018) apresenta maiores detalhamentos da cadeia de suprimento. Uma vez que este não é foco da pesquisa, a abordagem realizada aqui se aprofunda na discussão dos Métodos de Decisão Multicritério aplicados ao setor de eólica.

2.3 Métodos de Decisão Multicritério

Para Almeida (2011) a decisão multicritério consiste em uma situação que envolve pelo menos duas alternativas de ação para escolhas que são conflitantes entre si.

As linhas de pesamento que regem a construção dos métodos de decisão multicritério são pautadas nos aspectos normativo e construtivo. O que tem origem na escola americana é normativo, sendo baseado na teoria da utilidade e caracterizado por auxiliar o decisor a construir uma função utilidade conforme suas preferências, de acordo com a teoria axiomática que garante a existência dessa função. A escola americana instituiu a utilização do termo tomada de decisão multicritério, *Multicriteria Decision Making* ou MCDM. Alguns dos métodos propostos por esta escola segundo (PARREIRAS, 2006), são:

- ***Analytic Hierarchy Process - AHP***: Método baseado em comparações entre alternativas e na medição da preferência com uso de escalas;
- ***Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique - Macbeth***: Este método transforma em quantitativos os julgamentos qualitativos realizados pelo decisor ao comparar os pares de alternativas;
- **Programação por Metas**: Exige que o decisor declare sua preferência indicando a meta que ele deseja alcançar. Permite ordenar todas as alternativas a partir da distância de cada uma delas em relação a essa meta;
- ***Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings - Smarts***: Auxilia a construção de funções utilidade aproximando-as por funções lineares;
- ***Smarts Intervalar***: Auxilia a construção de funções utilidade introduzindo nelas a imprecisão dos julgamentos do decisor;
- ***Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks - Smarter***: Método similar ao Smarts, que aproxima as funções utilidade por funções lineares e estima o peso de cada critério por uma técnica chamada Rank Order Centroid;
- **Tomada de Decisão Interativa Multicritério - Todim**: Possui algumas características semelhantes ao AHP. O Todim pode ser considerado um método híbrido, por possuir elementos próprios de ambas escolas;
- ***Utilités Additives Discriminantes - Utadis***: Classifica alternativas em categorias pré-definidas pela simples comparações entre o valor da função utilidade global para cada alternativa e constantes usadas para delimitar cada classe;

Já a escola europeia é construtiva, buscando auxiliar o decisor na construção das preferências, considerando que estas são inicialmente instáveis ou inexistentes. A escola europeia utiliza o termo apoio a decisão multicritério *Multicriteria Decision Aid* ou MCDA. Há ainda os métodos híbridos, sendo a *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), e também suas variações um dos principais (ALMEIDA; GOMES; GOMES, 2012). Alguns dos métodos da escola europeia segundo (PARREIRAS, 2006), são:

- ***Elimination and (et) Choice Translating - Electre I***: Baseia-se no conceito de concordância e discordância para construir as relações de sobreclassificação entre as alternativas. Essas relações definem um grafo, a partir do qual é possível definir o menor conjunto de alternativas consideradas satisfatórias.
- ***Electre II***: Método usado para ordenar as alternativas da melhor até a pior, tendo como dados de entrada os resultados obtidos pelo método **Electre I**.
- ***Electre III***: Utiliza os conceitos de relações de sobreclassificação e índice de credibilidade para ordenar as alternativas da melhor até a pior.
- ***Electre IV***: Método usado para ordenar as alternativas, mas que oferece a vantagem de não exigir a especificação do peso de cada critério.
- ***Electre Tri***: Método baseado em relações de sobreclassificação usado para classificar as alternativas em categorias pré-definidas, a partir da comparação entre cada alternativa e os perfis que definem os limites das categorias.
- ***Oreste***: Baseado no conceito de sobreclassificação, usado para ordenar as alternativas da melhor até a pior.
- ***Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations - Promethee I*** : Usa o conceito de fluxo de rede da teoria de grafos para construir as relações de sobreclassificação e ordenar as alternativas da melhor até a pior. Esse método admite situações em que a preferência do decisor é indefinida e as alternativas são consideradas incomparáveis.
- ***Promethee II***: Método similar ao **Promethee I**, mas que não admite julgamentos em que as alternativas são incomparáveis.
- ***Promethee V***: Esse método divide-se em dois estágios: inicialmente, é executado o método **Promethee II**; posteriormente, é executado um método de busca a fim de se achar a alternativa que atende a uma série de restrições impostas sobre o valor

do fluxo de rede (parâmetro usado para ordenar as alternativas) e que está mais bem colocada na ordenação.

- ***Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS:*** Estabelece relações de sobreclassificação entre alternativas baseado nas distâncias entre cada alternativa até a solução ideal positiva e a solução ideal negativa.

Os métodos de análises de decisão multicritério dividem-se em discretos e contínuos. Essa classificação está relacionada ao tipo de critério. Os critérios classificados como contínuos tem seus valores correspondentes aos valores da reta real. Já os critérios discretos são aqueles que obedecem uma contagem. Para Gomes e Freitas Jr (2000), os métodos discretos são aqueles que tratam de um número finito de alternativas e os contínuos são aqueles em que o número pode ser pensado como sendo infinitamente grande.

Um exemplo do método discreto é Análise Hierárquica de Processo (AHP) que se baseia no método newtoniano e cartesiano de se pensar em tomadas de decisões gerenciais (MARINS *et al.* 2009). Rocha (2016) utilizou essa ferramenta para auxiliar na escolha da alternativa para melhorar o sistema de trem da cidade Salvador, Bahia. Porém, os métodos de multicritério mais utilizados são os de otimização, conhecidos também por métodos contínuos (SCOTT *et al.* 2012).

Outra abordagem para trabalhar com métodos multicritério é usar a lógica Fuzzy. Parreiras (2006) desenvolveu um modelo matemático baseado em lógica Fuzzy interativo e comparou com outros modelos da literatura apresentando as vantagens e desvantagens de cada modelo. A escolha do modelo está relacionada aos critérios objetivos envolvidos, por isso, Durbach e Stewart (2012) avaliaram a incerteza na modelagem de tomada de decisão multicritério.

Wang *et al.* (2009) fizeram um *review* de metodologias para análise de multicritérios em diferentes estágios de tomada de decisão com foco nos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Dentre estes quatro aspectos o presente trabalho buscou avaliar os aspectos econômicos e técnicos. Já Sengül (2015) usou o estudo de Wang *et al.* (2009) e fez uma adaptação nos subcritérios em um estudo de caso na Turquia usando o método multicritério Fuzzy Topsis. Sengül condensou os critérios justificando o acesso ao dado. Como no setor energético as informações são confidenciais e propriedade das grandes empresas, o *paper* de Sengül (2015) contribuiu para seleção dos critérios deste trabalho. Boran (2012) também trabalhou com seleção de critérios.

Na literatura é possível encontrar diversas ferramentas para análise de multicritérios

em diferentes setores, mas dentro do setor energético os métodos de multicritérios tem sido utilizados para diversas finalidades, como apresentado por Ifaei (2017), que utilizou variáveis dos aspectos técnicos e econômicos para o projeto de energia renovável buscando uma solução ideal em um sistema híbrido usando TOPSIS, mesmos aspectos considerados nessa pesquisa.

Quanto a aplicação da técnica TOPSIS, Lee e Chang (2018) apresentaram o *ranking* das quatro técnicas MCDA mais utilizadas, afirmando que a TOPSIS é a mais aplicada. Os autores também avaliaram a sensibilidade desses métodos referente à mudança dos pesos atribuídos aos critérios e o método TOPSIS ficou em penúltimo lugar no *ranking*. Em aplicações na energia eólica, Dinmohammadi e Shafiee (2017) usaram modelo integrado de decisão AHP-TOPSIS para determinar as tecnologias mais adequadas para o uso em turbinas eólicas. Mytilinou *et al.* (2018) usaram o método TOPSIS para avaliar o melhor local para implementação do parque eólico.

2.2.1 Problema de decisão multicritério

Alguns elementos básicos para o entendimento e operacionalização de um problema de decisão multicritério devem ser expressos com detalhamento.

Para Roy (1985) os **critérios** são as ferramentas que permitem a comparação das ações em relação aos pontos de vista particulares. Já Bouyssou (1990) define um critério como uma função de valor real $C_i(\cdot) : \mathbf{A} \rightarrow \mathfrak{R}$ que associa um número a cada alternativa, possibilitando compará-la de acordo com um particular ponto de vista, permitindo que seja qualitativa ou quantitativa. Para estruturar o problema de decisão multicritério é necessário compreender o que é alternativa, modelo, analista e decisores.

Alternativas são ações globais ou possíveis soluções que podem ser avaliadas isoladamente e que representa diferentes direcionamentos para ação, ou ainda diferentes hipóteses sobre a natureza de uma característica, segundo Gomes *et al.* (2003).

Modelo é o conjunto e operações matemáticas que permite mensurar as opiniões do decisor de forma quantitativa.

Decisores é um conjunto de indivíduos apto a decidir, que tem preferências e obedece uma determinada política no contexto da decisão.

Analista é, para Gomes *et al.* (2003), a pessoa encarregada de interpretar e qualificar as opiniões dos decisores, estruturar o problema, elaborar o modelo matemático e apresentar os resultados para o decisor.

Na busca por apoiar ou auxiliar a decisão baseada em multicritério temos algumas problemáticas, sendo que Roy e Bouyssou (1993) definem quatro delas, consistindo:

- **Problemática P_δ** que objetiva esclarecer a decisão por uma descrição em uma linguagem adequada;
- **Problemática P_α** tem como objetivo recomendar a escolha de uma alternativa;
- **Problemática P_γ** o processo de decisão objetiva a recomendação de uma ordenação das alternativas;
- **Problemática P_β** o objetivo do processo de seleção é recomendar a triagem das alternativas em categorias preestabelecidas, podendo ser ordenadas ou não.

Na estruturação de preferências, a definição é feita no conjunto de alternativas. Para os autores Roy e Bouyssou (1993) as quatro relações fundamentais são:

- **Indiferença (I)**, ${}_aI_b$ significa que há razões que justificam a indiferença na escolha entre as duas alternativas;
- **Preferência estrita (P)**, ${}_aP_b$, representa a existência de fatores que provam o favorecimento da alternativa a em relação à alternativa b .
- **Preferência fraca (Q)**, ${}_aQ_b$ demonstra a existência de dúvida entre ${}_aI_b$ e ${}_aP_b$.
- **Incomparabilidade (R)**, ${}_aR_b$ representa a inexistência de situações que legitimem alguma das disposições anteriores.

Roy e Bouyssou (1993) afirmam que há três condições que devem ser satisfeitas para a definição de uma família coerente de critérios, denominado de **axiomas de Roy**

- **Exaustividade:** impõe a necessidade de descrever o problema levando em conta todos os aspectos relevantes o que implica em considerar como indiferentes duas alternativas que apresentam desempenhos iguais em todos os critérios;
- **Coesão:** obriga à correta análise de quais são os critérios de maximização e quais os de minimização. Supõe que se a alternativa a_1 apresenta desempenhos iguais aos da alternativa a_2 , excetuando-se o desempenho em um critério j em que a_1 é melhor que a_2 , então a_1 não poderá ser considerada pior que a alternativa a_2 , para todos os critérios;

- **Não Redundância:** obriga a excluir critérios que estejam avaliando características já avaliadas por outro critério. Requer que não se possa retirar nenhum critério da família de critérios sem afetar as duas primeiras condições.

Bouyssou (1993) adiciona mais duas qualidades de uma família de critérios:

- **Legibilidade:** uma família de critérios deve conter um número suficientemente pequeno de critérios de modo que o acesso a informações intercritérios seja facilitado na implementação de um procedimento de agregação;
- **Operacionalidade:** a família deve ser considerada por todos os atores com uma base para a continuidade do processo de apoio à decisão.

2.4 Método de Avaliação TOPSIS

Lima Júnior e Carpinetti (2015) disseram que uma das vantagens do Método de Decisão Multicritério TOPSIS é ser adequado aos problemas com grande número de critérios e alternativas, especialmente nos casos em que os critérios são de natureza quantitativa.

Autores como Huang *et al.* (2011b), Huang (2010), Samvedi *et al.* (2013), Kim *et al.* (1997) falam de outras vantagens: procedimentos facilmente programados; flexibilidade para ser combinado com análise estocástica; soluções obtidas de modo eficiente; resultados facilmente compreendidos e aceitos pelos participantes do processo de decisão.

Portanto, após avaliar as vantagens apresentadas verifica-se que o Método Multicritério TOPSIS é o melhor se adequar ao cenário que estrutura a problemática levantada no presente trabalho.

2.4.1 Problema de decisão multicritério (Problemática P_γ)

Conforme Roy e Bouyssou (1993) estabelecem, a **Problemática P_γ** é o processo de decisão objetiva a recomendação de uma ordenação das alternativas. É necessária a estruturação da matriz de decisão, bem como estabelecer os critérios e as alternativas conforme matriz D .

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_j & \cdots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1j} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2j} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{i1} & d_{i2} & \cdots & d_{ij} & \cdots & d_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nj} & \cdots & d_{nm} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Esta matriz possui n alternativas e m critérios com dimensão $n \times m$ e os elementos $d_{11}, d_{12} \cdots d_{nm}$ de cada alternativas segundo cada critérios.

Para o processo de decisão multicritério, são consideradas as fases de estruturação do problema, avaliação e recomendação do curso de ações a serem seguidas conforme os autores Dias *et al.* (1996).

A fase de estruturação trata da formulação do problema e da identificação dos objetivos. Para Bana e Costa *et al.* (2000) esta fase representa aproximadamente 80% do problema geral. Quanto a fase de avaliação, Gomes *et al.* (2003) indica que pode ser dividida em duas etapas. A primeira etapa trata-se de uma avaliação parcial das ações em que o decisor participa constantemente. A segunda etapa diz respeito ao uso de *software* para possibilitar uma melhor visualização dos dados para o decisor fazer uso e colocar suas preferências. No caso desse trabalho, *software* utilizado será o (R Core Team, 2018) e planilha eletrônica.

2.4.2 Técnica de Preferência de Ordem por Similaridade à Solução Ideal (TOPSIS)

O método proposto por Hwang e Yoon (1981) para ranquear alternativas através da Técnica de Preferência de Ordem por Similaridade à Solução Ideal (TOPSIS) obedece o caráter objetivo. A técnica estabelece a melhor alternativa no processo de decisão visando a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo. Já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício.

A busca pelo ranqueamento das alternativas obedece as seguintes etapas conforme (HWANG; YOON, 1981):

Etapa 1: Estruturar a matriz de decisão D e o vetor de pesos \tilde{W} sendo composto

pelos pesos w_j , conforme equação (2.1), de cada critério C_j de modo que $\sum_{i=1}^m w_j = 1$. d_{ij} representa a pontuação da alternativa A_i no critério (C_j), onde $i = 1, 2, \dots, n$ indica o número das alternativas e $j = 1, 2, \dots, m$ o números dos critérios de decisão.

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_j & \cdots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1j} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2j} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{i1} & d_{i2} & \cdots & d_{ij} & \cdots & d_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nj} & \cdots & d_{nm} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m] \quad (2.1)$$

Etapa 2: Normalizar a matriz de decisão D usando a Equação (2.2), onde d_{ij} são os elementos da matriz de decisão. Os elementos da matriz normalizada $N = [n_{ij}]$ são definidos de acordo com a Equação (2.2).

$$n_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n d_{ij}^2}} \quad (2.2)$$

Etapa 3: Calcular a matriz de decisão ponderada p_{ij} .

$$p_{ij} = w_j n_{ij}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m. \quad (2.3)$$

Etapa 4: Obter as soluções ideais positiva (A^+) e negativa (A^-) de acordo com a Equações (2.3) e (2.4), respectivamente. Nessas equações, n_j^+ representa a melhor pontuação alcançada pelas alternativas no critério j , e n_j^- representa a pior pontuação das alternativas neste mesmo critério.

$$A^+ = \{MAX_{jp_{ij}} | j = 1, 2, \dots, m\} = \{n_1^+, \dots, n_j^+, \dots, n_m^+\} \quad (2.3)$$

$$A^- = \{MIN_{jp_{ij}} | j = 1, 2, \dots, m\} = \{n_1^-, \dots, n_j^-, \dots, n_m^-\} \quad (2.4)$$

Etapa 5: Calcular a distância (D_i^+) e a solução ideal positiva entre os elementos da matriz de decisão ponderada e normalizada, usando a equação (2.5). Similarmente, calcular a distância (D_i^-) entre os elementos da matriz de decisão e a solução ideal positiva por meio da equação (2.6).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (n_{ij} - n_j^+)^2} \quad (2.5)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (n_{ij} - n_j^-)^2} \quad (2.6)$$

Etapa 6: Por último, usando a Equação (2.6), deve-se calcular o coeficiente de aproximação (CC_i) de cada alternativa e ordenar o resultado de forma decrescente. Quanto mais próximo de 1 for o valor de (CC_i), melhor é o desempenho da alternativa.

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (2.7)$$

3 Revisão Sistemática da Literatura

3.1 Revisão Sistemática da Literatura

Nesta seção é apresentada a Revisão Sistemática da Literatura, a descrição das bases de dados bibliográficas, o mapeamento de referências e as literaturas sobre energia renovável associadas com a abordagens dos métodos de decisão multicritério.

Briner e Denyer (2012) relatam que a ênfase em contribuições empíricas resultou em fluxos de pesquisa volumosos e fragmentados. Tal fato dificulta para o pesquisador entender a dinâmica das publicações no meio científico. Já Rousseau *et al.* (2008) afirma que as revisões da literatura assumem um papel crucial na sintetização dos resultados das pesquisas pretéritas.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para Charters e Pettigrew (2007), é uma forma de estudo secundário que utiliza uma metodologia bem definida para identificar, analisar e interpretar todas as evidências disponíveis a respeito de um questionamento particular de maneira imparcial e repetível. Já Sampaio (2007) acrescenta que a elaboração de uma revisão sistemática deve identificar as bases de dados a serem consultadas, definir palavras-chave e estratégias de busca.

A bibliometria tem o potencial de introduzir um processo de revisão sistemático, transparente e reproduzível com base na medida estatística de ciência, cientistas ou atividade científica (BROADUS,1987;DIODATO; GELLATLY, 2013;PRITCHARD *et al.*,1969).

Também se torna útil ao fornecer uma análise estruturada a um grande volume de informações. A sua estrutura possibilita, inferir tendências ao longo do tempo, temas pesquisados, identificar mudanças nos limites das disciplinas, detectar os estudiosos e instituições mais produtivas, e apresentar o grande quadro de pesquisa existente (CRANE, 1972).

Os resultados são considerados com base em especificações pré estabelecidas nos trabalhos relatados por Okoli e Schabram (2010) e também Kitchenham (2004).

Kitchenham (2004) declara seis características que diferenciam uma revisão sistemática de uma revisão convencional da literatura especializada. Primeiramente, a autora diz que as revisões sistemáticas se iniciam por um protocolo de revisão específico em relação à questão de pesquisa a ser abordada e os métodos que serão utilizados para realizar a revisão. Em seguida, informa que as análises sistemáticas são baseadas em uma estratégia de busca definida que visa detectar a maior parte da literatura relevante possível.

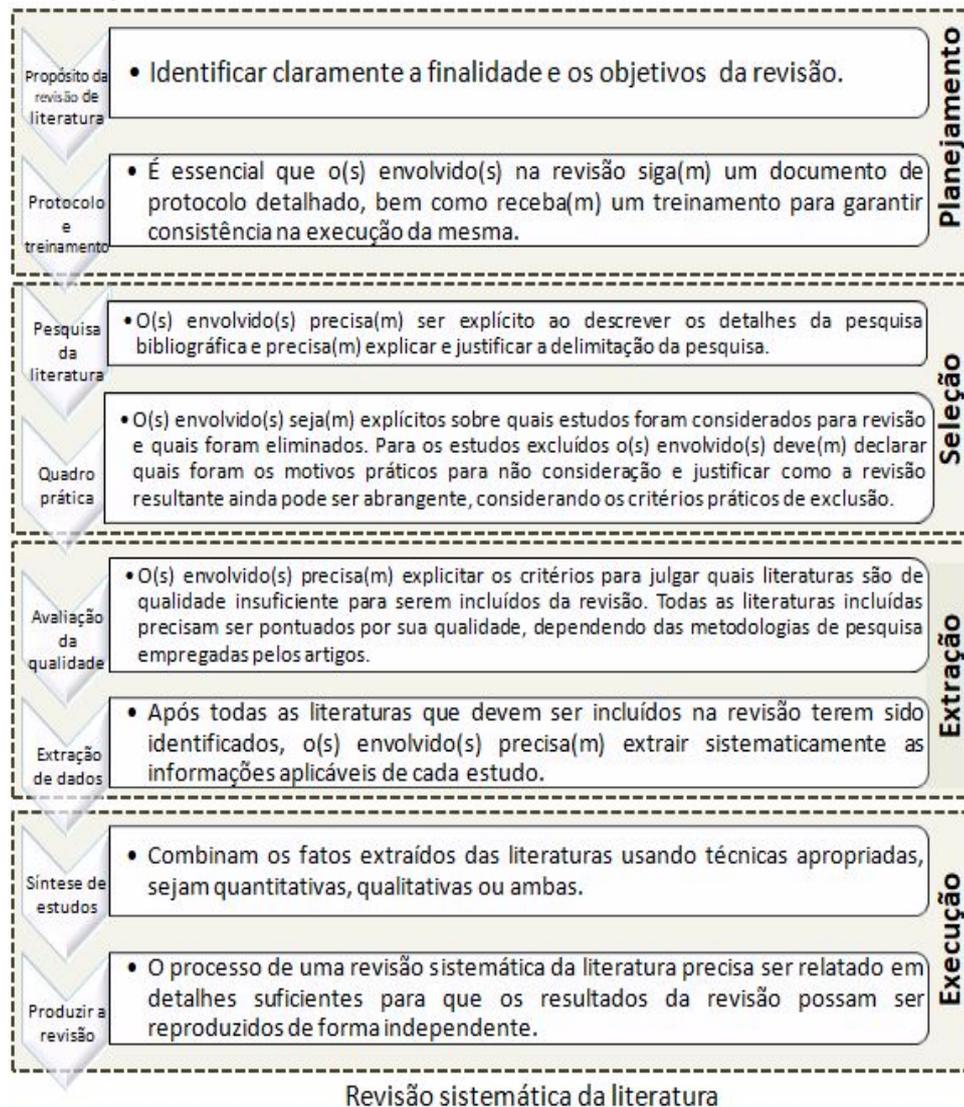
Já a terceira característica diz que as análises sistemáticas documentam sua estratégia de busca para que os leitores possam avaliar o rigor, a completude e a repetibilidade do processo. Avaliações sistemáticas requererem ainda critérios explícitos de inclusão e exclusão para avaliar cada estudo primário potencial. Também especificam a informação a ser obtida de cada estudo primário, incluindo critérios de qualidade para avaliar cada um destes estudos. Por último, uma revisão sistemática é um pré-requisito para a meta-análise quantitativa, que é uma análise estatística de resultados de diferentes estudos individuais objetivando a integração dos resultados (GLASS, 1976).

O processo de revisão sistemática da literatura que Kitchenham(2004) executou possui três momentos: planejamento, condução e o relato de revisão. Isso ocorre diante das várias atividades distintas que o processo de revisão pode apresentar.

Além da diferenciação entre uma revisão sistemática e uma convencional definida por Kitchenham (2004), Okoli e Schabram (2010) descreveram e delimitaram o que é próprio da revisão sistemática de literatura como sendo o método sistemático, explícito e reproduzível para identificar, avaliar e sintetizar uma base de dados complexa que contém trabalhos idealizados e desenvolvidos por pesquisadores, acadêmicos e profissionais. Além disso, os autores propuseram oito etapas para realizar uma revisão sistemática de literatura e destacaram que essas etapas são critérios para uma revisão ser cientificamente rigorosa. A etapas da revisão sistemática de literatura estão indicadas na Fig. 6.

A razão de usar a revisão sistemática da literatura na presente pesquisa tem como objetivo evidenciar os métodos de decisões multicritérios nos estudos associados às fontes de energia renováveis, englobando desde o estudo de prospecção até a avaliação da efetividade do complexo eólico, e assim estruturar uma base sólida da literatura envolvida para o auxílio do desenvolvimento desta pesquisa. A revisão sistemática possibilita também identificar lacunas nas pesquisas realizadas com o propósito de contribuir com a discussão e também gerar *insights* para trabalhos futuros.

Figura 6: Fluxo para o desenvolver uma revisão da literatura



Fonte: Adaptado de (OKOLI; SCHABRAM, 2010)

Esta etapa inclui a identificação da necessidade de revisão, bem como o desenvolvimento de um protocolo de revisão, considerando o fluxo apresentado na Fig. 6

3.1.1 Planejamento da revisão

3.1.1.1 Propósito

Conforme o estudo realizado por Okoli e Schabram (2010), a identificação do propósito da revisão sistemática de literatura, para o presente trabalho concentrou-se em seis pontos: analisar o progresso de um fluxo específico de pesquisa, fazer recomendações para pesquisas futuras, revisar a aplicação de um modelo teórico na literatura, revisar a aplica-

ção de uma abordagem metodológica na literatura, desenvolver um modelo ou estrutura e responder a uma questão de pesquisa específica.

3.1.1.2 Protocolo

Uma vez que o propósito foi estruturado o protocolo para realização da revisão sistemática de literatura deve ser estabelecido, sendo considerado um orientador para o pesquisador não cometer arbitrariedades. Para Charters e Pettigrew (2007) protocolo é um plano que descreve a conduta de uma proposta de revisão sistemática da literatura.

O presente trabalho seguiu as seguintes etapas do protocolo:

Propósito para realizar a revisão sistemática da literatura neste estudo.

- Evidenciar os métodos de decisão multicritérios aplicado nos estudos associados as fonte de energias renováveis, em todo o seu processo;
- Estruturar uma base sólida da literatura para o auxílio do desenvolvimento desta pesquisa;
- Identificar lacunas nas pesquisas realizadas com o propósito de contribuir com a discussão e também gerar insights para trabalhos futuros.

Identificar as pesquisas

A pesquisa foi realizada nas bases de dados **EI Compendex / engineering village** e **SCOPUS** e ocorreu entre o dia 07 abril de 2018 e 20 abril de (2018) buscando compor uma série histórica de 1978 até 2018.

Critérios de Inclusão

Para a inclusão, inicialmente foram usadas as seguintes palavras - chave: Multi Attribute Decision Making, MADM, Multi Criteria Decision Making, MCDM, Multi Objective Decision Making, MODM, Multiple Objective Decision Aiding, MODA, Multiple Criteria Decision Aiding, MCDA. Posteriormente, foi adicionado a palavra- chave *renewable energy*. Por fim, foram usadas as palavras chaves *wind power* e TOPSIS.

Critérios de Exclusão

As literaturas foram excluídas conforme critérios abaixo:

- A literatura que não seja na língua inglesa;
- A literatura que não seja journal ou article;

- A literatura que não seja relevante.

Processo de Seleção dos Estudos Primários

Dentro das literaturas disponibilizadas nas bases de pesquisas acadêmicas, foram selecionados os trabalhos com base na: Distribuição de frequência de publicação por revista, distribuição dos artigos por instituição de pesquisa, distribuição de publicação por países e distribuição por tipo de documento.

Coletando os Dados

Após o procedimento de busca e seleção estabelecido no protocolo foram selecionadas as variáveis:

- Ano de publicação;
- País de publicação;
- Autor;
- Colaboração das universidades;
- Rede de colaboração de autores;
- Vocabulário controlado.

Análise de Dados

A análise de dados da RSL será apresentada no tópico Mapeamento e Estatísticas da RSL.

Disseminação

Os resultados de RSL devem ser de interesse da comunidade acadêmica, em particular para o desenvolvimento de trabalhos acadêmicos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia, bem como aos pesquisadores interessados no tema.

Os resultados aqui obtidos serão divulgados no meio acadêmico e científico através de publicações em *journal* e artigos.

3.1.2 Seleção da revisão

A seleção descreve os detalhes da pesquisa e seus limites, bem como a condução da revisão. Na condução da revisão, primeiramente se faz a identificação da pesquisa; em seguida, a seleção de estudos primários; depois a avaliação da qualidade do estudo, seguida pela extração e monitoramento de dados e prontamente a síntese dos dados.

Estratégia de busca

Na estratégia de busca é identificada a base de dados para realização de busca de literaturas com base nas palavras-chave que contemplam o objetivo do estudo realizado, bem como a descrição da base de dados. A descrição da base de dados bibliográfica ajudará a pesquisar, agrupar e organizar as referências. A Biblioteca Regional de Medicina (BIREME,2008) estabelece como base de dados bibliográfico ou base de dados referencial uma fonte de informação agrupadas e organizadas de documentos técnicos e científicos, que podem ser artigos de revistas, livros, teses, trabalhos de congressos para facilitar a pesquisa por informação nesses documentos.

A base referencial escolhida para a revisão da literatura têm duas abordagens, uma contempla a caracterização das aplicações dos métodos de decisão multicritério em perspectiva histórica, nas diversas áreas do conhecimento usando a base referencial Scopus, a fim de evidenciar a sua importância na literatura científica. A outra busca no contexto das engenharias, usando a base referencial *EI Compendex / engineering village*.

A **Scopus** é uma Base de dados do tipo referenciais e resumos, de citações da literatura científica e fontes de informação de nível acadêmico na Internet. Indexa mais de 21 mil periódicos, de 5 mil editores internacionais, 24 milhões de patentes, além de outros documentos. Tem como editor a Elsevier e como produtor a *Reed Elsevier*. Mais detalhes encontram-se no site www.scopus.com;

A **EI Compendex / engineering village** é uma Base de dados do tipo referenciais e resumos, utilizando como base de referência pesquisas em engenharia técnica e científica disponíveis. Inclui mais de 17 milhões de registros dentre citações bibliográficas, resumos, periódicos de engenharias, anais de congressos e eventos de 73 países em 190 disciplinas da Engenharia. Quando combinada com a base *Engineering Index Backfile* (1884-1969), a base Compendex cobre mais de 120 anos da principal literatura da área de engenharia.

Na base Compendex, cada registro é selecionado e indexado usando o Engineering Index Thesaurus que, fundada em 1884, possui registros de praticamente todos as principais inovações em engenharia ao redor do mundo. Possui mais de 1,7 milhões de registros digitalizados a partir dos índices de impressão originais. Tem como Editor a Elsevier

Engineering Information e produtor a *Elsevier Engineering*.

O período para coleta dos dados, segundo protocolo estabelecido pela revisão sistemática, ocorreu entre o dia 07 abril de 2018 e 20 abril de 2018 buscando compor uma série histórica de 1978 até 2018, obedecendo três momentos de buscas, o primeiro totalizou 19067 literaturas utilizando as seguintes palavras-chave:

- *Multi-Attribute Decision Making* ou MADM;
- *Multi-Criteria Decision Making* ou MCDM;
- *Multi-Objective Decision Making* ou MODM;
- *Multiple Objective Decision Aiding* ou MODA;
- *Multiple Criteria Decision Aiding* ou MCDA;

No segundo momento de busca, foram totalizadas 608 literaturas utilizando as palavras chaves do primeiro momento e foi adicionada a palavra *renewable energy*. Já no terceiro momento da busca foram totalizadas 245 literaturas utilizando as seguintes palavras chaves: *wind energy* e TOPSIS.

3.1.3 Extração de dados da revisão

O objetivo desta etapa é ter um instrumento estruturado para a extração e registro de dados. Segundo Charters e Pettigrew (2007) essa etapa compreende projetar formulários de extração de dados para registrar com precisão as informações obtidas pelos pesquisadores dos estudos primários. A extração requer informações de cada artigo para compor a síntese. Para Okoli e Schabram (2010), o tipo de dados a serem removidos é estabelecido na subseção Protocolo.

Para identificar e selecionar os artigos na base de dados foram definidos os seguintes procedimentos de busca e seleção:

1. Inserção da palavra-chave;
2. Utilização de filtros estabelecidos na subseção Protocolo para selecionar literaturas publicadas entre 1978 e 2018;
3. Ordenação dos resultados por relevância a partir de uma funcionalidade contida no portal da base de dados;

4. Seleção de todas as literaturas listadas;
5. Eliminação de artigos que não contemplavam o desenvolvimento e/ou aplicação de modelos de decisão multicritério e energia eólica.

3.1.4 Execução / Relatar a revisão

essa etapa compreende projetar formulários de extração de dados para registrar com precisão as informações obtidas pelos pesquisadores dos estudos primários. A extração requer informações de cada artigo para compor a síntese. Para Okoli e Schabram (2010), o tipo de dados a serem removidos é estabelecido na subseção Protocolo.

3.2 Mapeamento e Estatísticas da RSL

Compreendendo a importância dessa área de estudo é que se propôs a Revisão Sistemática da Literatura - RSL sobre o tema desse trabalho. Os resultados da RSL serão apresentados conforme critérios de busca pré-estabelecidos anteriormente.

Primeiramente, serão apresentados os resultados de uma série histórica de 1978 até 2018. Em seguida, serão exibidos os resultados como diagrama de rede com o objetivo de identificar as redes de colaborações de países, pesquisadores e instituições.

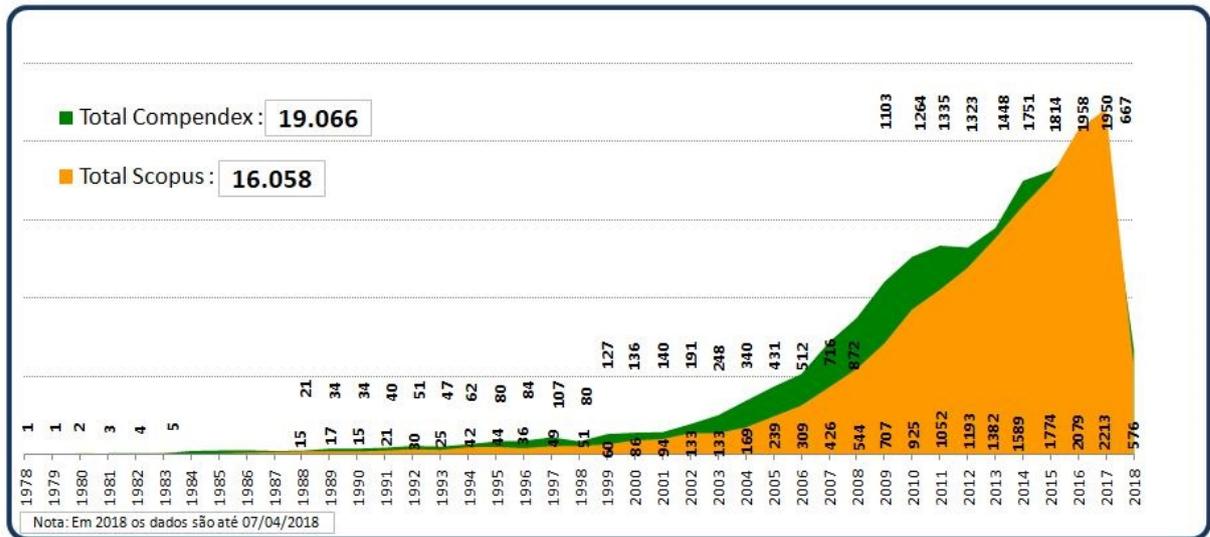
3.2.1 Abordagem geral dos Métodos de Decisão Multicritério

A Figura 7 apresenta o resultado da pesquisa ao restringir o filtro de busca para os métodos de decisão multicritério de forma geral.

Ao longo dos anos, as publicações na temática, métodos multicritério, tiveram um aumento bastante elevado. A partir do ano 2003 até o momento, a quantidade de literaturas produzidas aumentou de 133 para 1950 publicações aproximadamente, no intervalo de 14 anos.

Nos dias atuais, conflitos no processo de tomada de decisão são cada vez mais presentes, para que se tenha maior efetividade das ações evitando consequências negativas. Pensando no êxito da solução desses conflitos na etapa do planejamento, os centros de estudos ao redor do mundo demandam para seus pesquisadores desafios para o desenvolvimento de métodos de decisão multicritério e suas aplicações para soluções do dia a dia da sociedade.

Figura 7: Métodos multicritérios ao longo dos anos

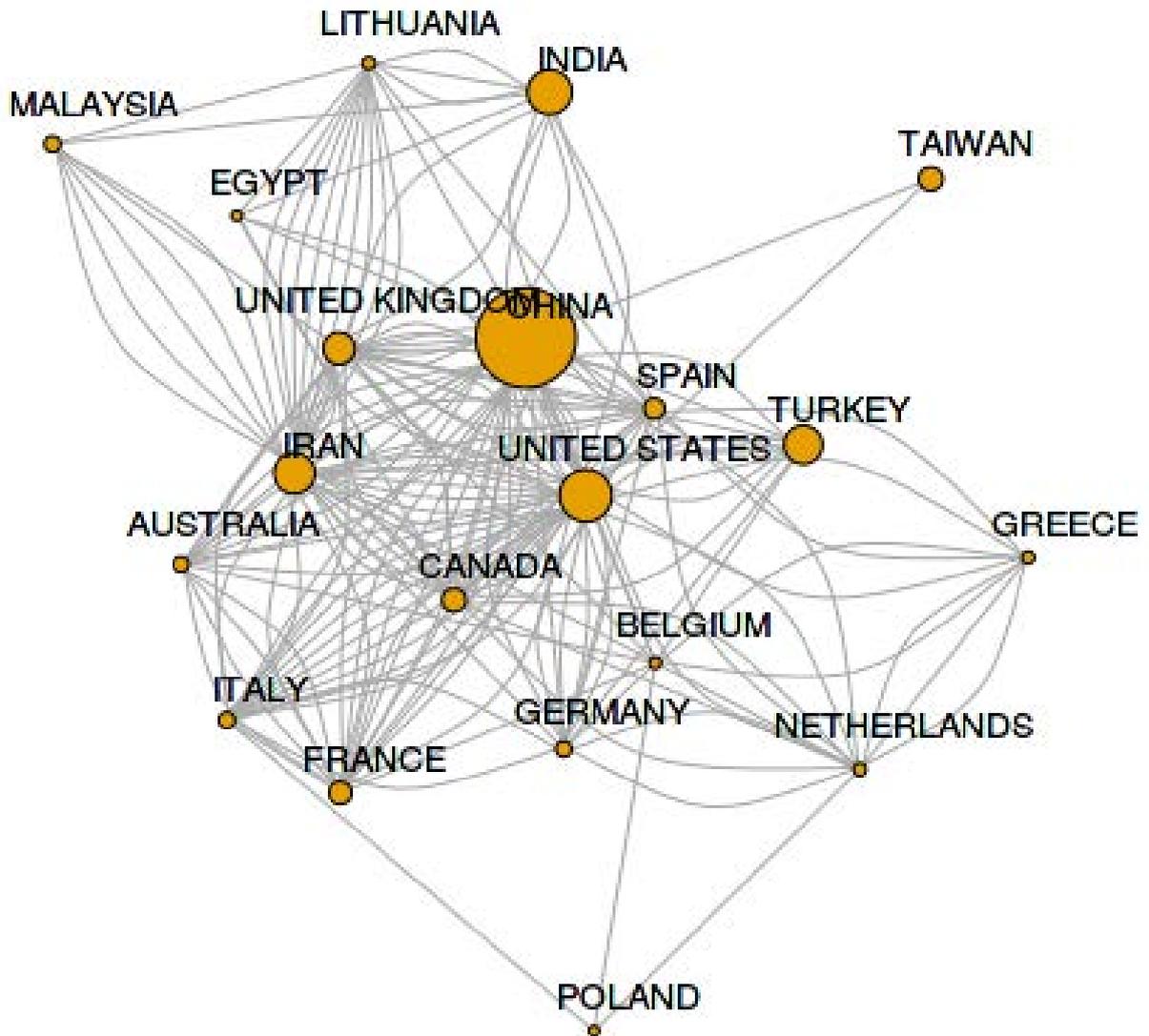


Fonte: Elaboração Própria.

A série é quantificada por literaturas das mais diversas áreas de conhecimento científicos. Sendo a *Compendex* uma base de dados referencial concentrada em literaturas das engenharias a partir do ano de 2009, as publicações chegam a casa dos 4 dígitos. Nas engenharias houve um aumento de aproximadamente 1078 publicações em 9 anos. Isso afirma o quanto essa temática tem seu espaço para melhorar os processos de decisão das organizações e para os investidores.

Ao analisar a rede apresentada na Fig 8 verifica-se que há a colaboração de países europeus, mas deve-se destacar também a participação dos países do Oriente Médio e da Ásia. Nesse aspecto, destaca-se principalmente a China que possui a maior malha de colaboração seguida pela Índia, Estados Unidos, Irã e Turquia. É possível notar que em maior escala, o Brasil ainda não aparece nessa rede de colaboração. Espera-se que essa temática ganhe destaque nos processos de desenvolvimento acadêmico com aplicação em parcerias com as empresas através de pesquisa e desenvolvimento.

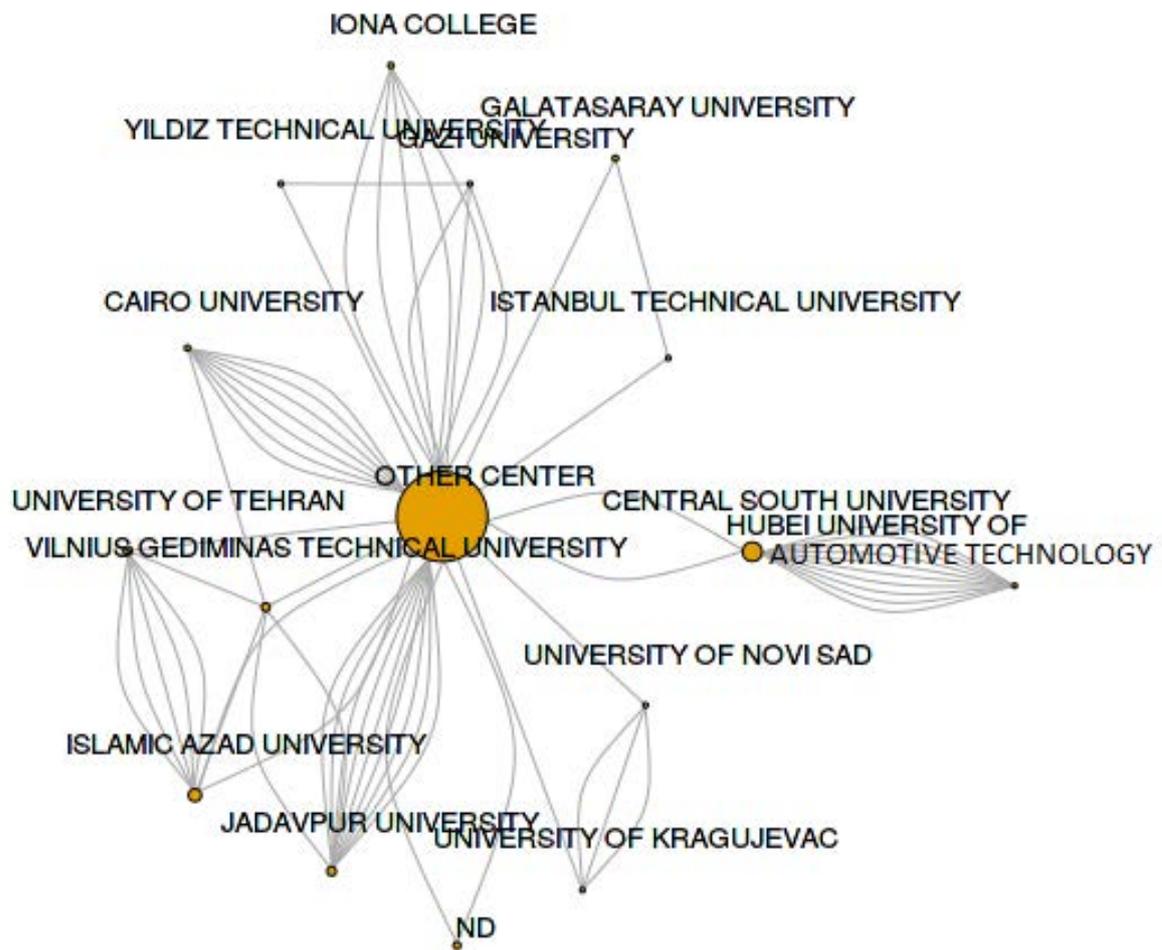
Figura 8: Colaboração com países (1978 a 2018).



Fonte: Elaboração Própria.

Ao analisar a Fig 9 é possível perceber que existem vários grupos de colaboração entre universidades com predominância de instituições da região asiática e oriente médio. Na rede de colaboração com recorte temporal de 40 anos, estabelecido na Fig 9, há três grandes ramificações de Iona College localizada no Estados Unidos, Cairo University do Egito e Jadavpur University da Índia com outras instituições. Como também uma forte colaboração de Hubei University of Automotive Technology com a Central South University, ambas Chinesas. Já a Uilnius Gediminas Techncl University da Lituânia colabora muito mais com Islamic Azad University que é do Irã.

Figura 9: Colaboração Universitária (1978 a 2018).



Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 1 apresenta os sessenta autores com maior número de publicações, com base na busca realizada para o período estabelecido no protocolo da RSL.

Entre os sessenta autores há dois brasileiros, Adiel Teixeira de Almeida e Plácido Rogério Pinheiro, que atuam no Nordeste, com trinta publicações cada. Apesar de estarem entre os vinte e cinco pesquisadores com maior número de publicações em um *ranking* de sessenta, e serem até então os únicos representantes da América do Sul, suas publicações representam apenas 3,05% de total de obras. Além disso, ambos os autores trabalham a aplicação dos métodos multicritério, mas não com foco em energia eólica.

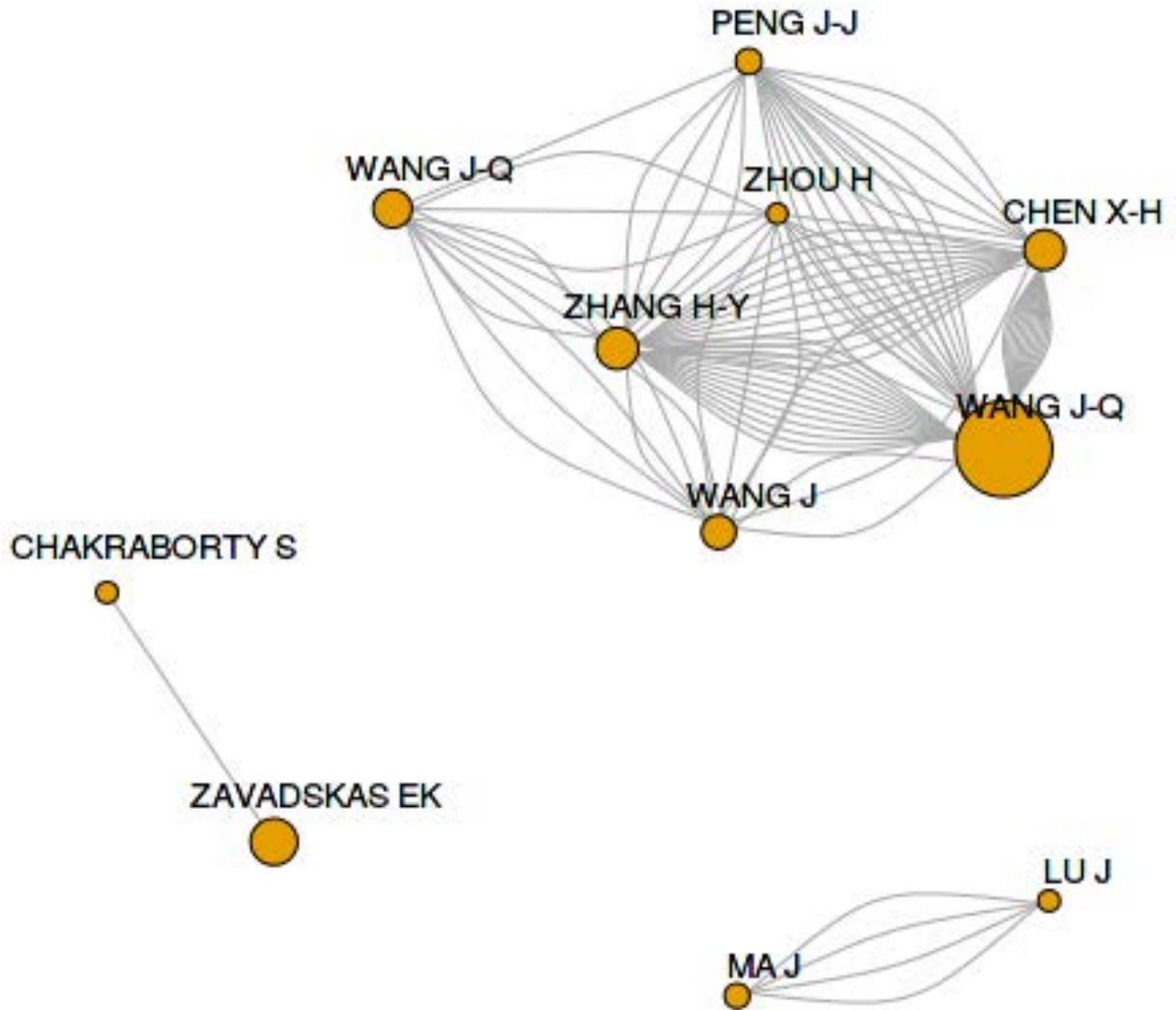
Tabela 1: Distribuição de Frequência relativa de literatura por autores

Autor	%	Autores	%
Tzeng, Gwo-Hshiung,	6,06%	Yeh, Chung-Hsing,	1,37%
Xu, Zeshui,	4,63%	Zhang, Qiang,	1,32%
Wang, Jian-Qiang,	4,12%	Ren, Jingzheng,	1,32%
Kahraman, Cengiz,	3,92%	Ye, Jun,	1,32%
Deb, Kalyanmoy,	3,46%	Huang, Chi-Yo,	1,27%
Xu, Jiuping,	2,85%	Govindan, Kannan,	1,27%
Zavadskas, Edmundas Kazimieras,	2,70%	Greco, Salvatore,	1,22%
Buyukozkan, Gulcin,	2,44%	Tavana, Madjid,	1,22%
Zhang, Hong-Yu,	2,44%	Sayyaadi, Hoseyn,	1,22%
Spaeth, J-M.,	2,29%	Labreuche, Christophe,	1,17%
Liu, Peide,	2,29%	Deng, Hepu,	1,17%
Chen, Xiaohong,	2,24%	Wang, Yu-Jie,	1,17%
Lu, Jie,	1,88%	Liu, Jing,	1,12%
Deng, Yong,	1,78%	Liao, Huchang,	1,12%
Yager, Ronald R.,	1,63%	Kabassi, Katerina,	1,07%
Meng, Fanyong,	1,63%	Dursun, Mehtap,	1,07%
Linkov, Igor,	1,58%	Chen, Ting-Yu,	1,07%
Wan, Shu-Ping,	1,53%	Wei, Cuiping,	1,07%
Wei, Guiwu,	1,53%	Mavris, Dimitri N.,	1,02%
De, Almeida Adiel Teixeira,	1,53%	Bohanec, Marko,	1,02%
Wibowo, Santoso,	1,53%	Karsak, E. Ertugrul,	1,02%
Li, Deng-Feng,	1,53%	Mousavi, S. M.,	1,02%
Pinheiro, Placido Rogerio,	1,53%	Yang, Jian-Bo,	0,97%
Chen, Xiao-Hong,	1,53%	Martinez, Luis,	0,97%
Turskis, Zenonas,	1,48%	Oztaysi, Basar,	0,92%
Wang, Jing,	1,48%	Yu, Dejian,	0,92%
Miettinen, Kaisa,	1,48%	Chung, Eun-Sung,	0,87%
Zhang, Guangquan,	1,42%	Ishizaka, Alessio,	0,81%
Wang, Tien-Chin,	1,42%	Vinodh, S.,	0,81%
Chen, Shyi-Ming,	1,37%	Mateos, Alfonso,	0,81%
Total (1965)		100,00%	

Fonte: Elaboração Própria.

Já a Figura 10 apresenta a rede de colaboração dos pesquisadores nos últimos 40 anos. É possível perceber três grupos de colaboração bem definidos dentro da rede, porém a maior malha está associada ao pesquisador Wang J-Q. Wang J-Q que têm 81, Zhang H-Y com 48, Chen X-H com 30 e Wang J com 29 publicações. Já o pesquisador Zavadskas é Professor na Universidade Técnica de Vilnius Gediminas e têm 53 publicações. Lu Jie têm 37 publicações.

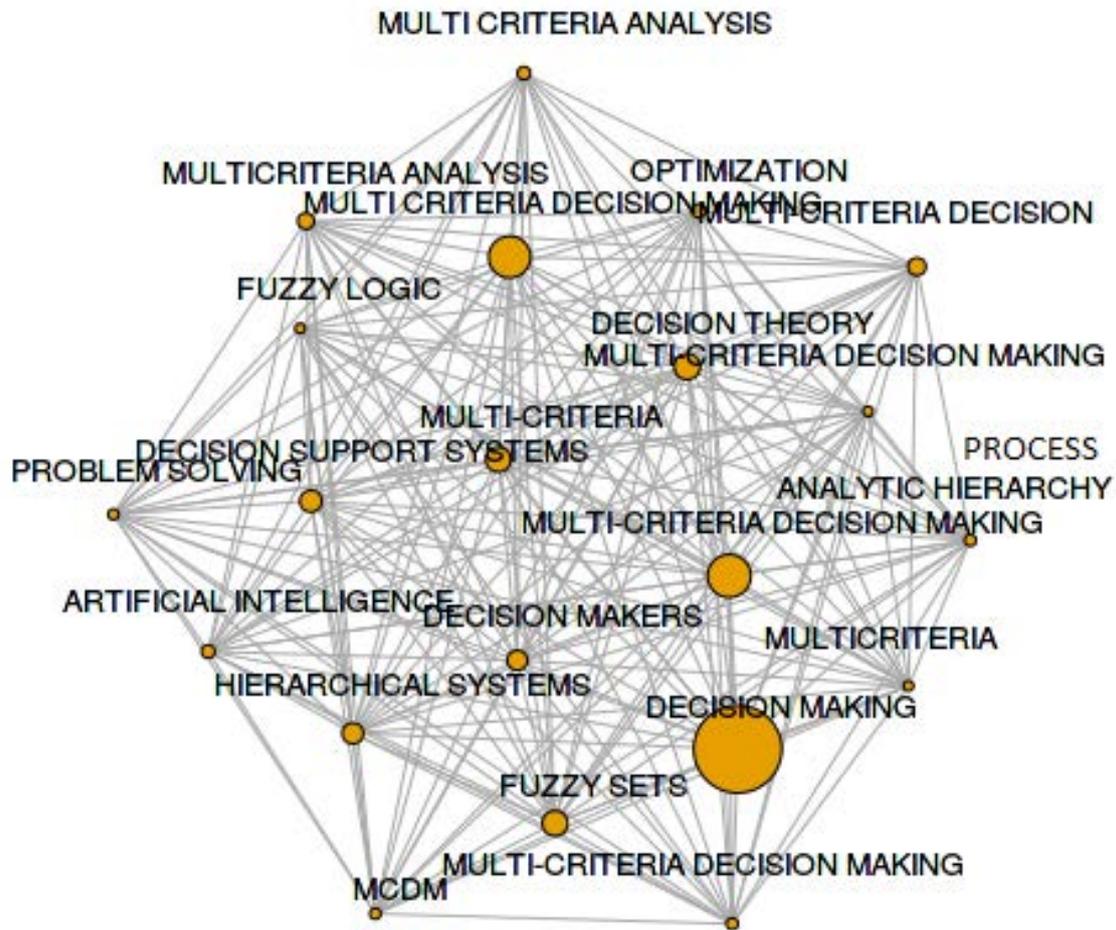
Figura 10: Rede de colaboração (1978 a 2018).



Fonte: Elaboração Própria.

Um dos critérios mais importantes no momento de realizar a pesquisa é a definição das palavras chaves. Por isso a Fig 11 apresenta, dentro da RSL, a rede de co-ocorrência de palavras chaves dentro do contexto de multicritério.

Figura 11: Co-ocorrências de palavras chaves (1978 a 2018).



Fonte: Elaboração Própria.

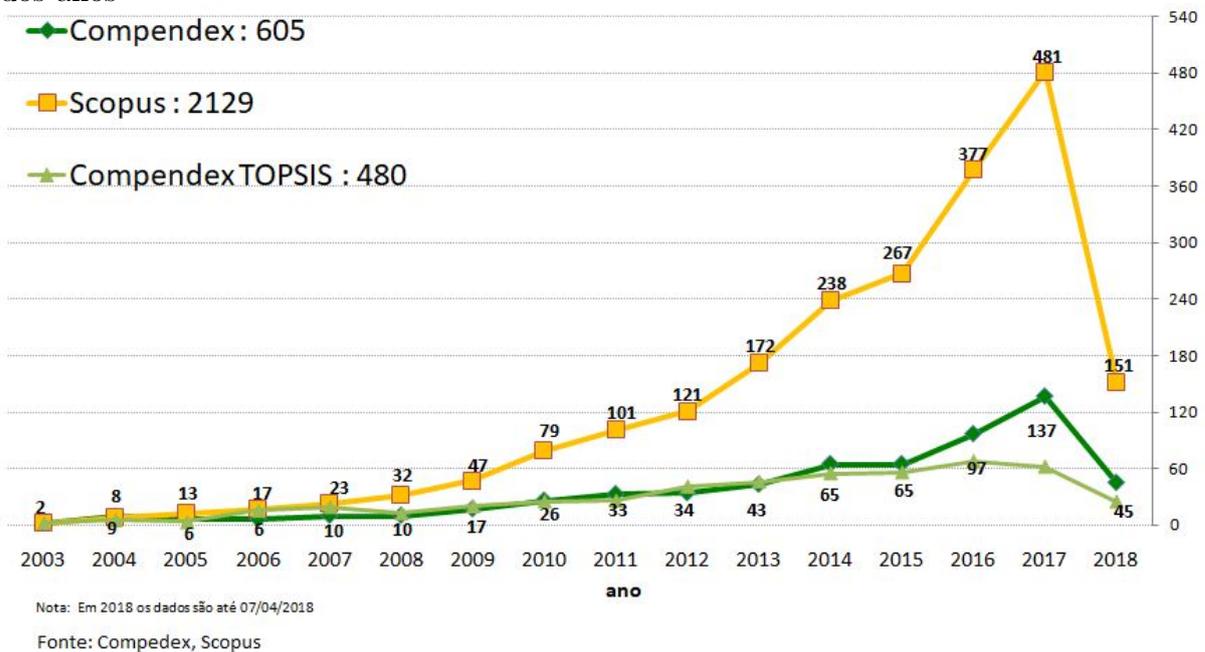
Diferente dos outros diagramas de rede, a Fig 11 não apresenta a rede de colaboração, mas sim a rede de co-ocorrência das palavras-chaves. A palavra-chave *Making Decision* foi a que apresentou maior co-ocorrência com as demais, seguida por *Multi-Criteria Decision Making*. Embora a escola europeia use o termo Apoio à Decisão, é o termo Tomada de Decisão, da escola americana, que é mais utilizado como palavra-chave. Isso é coerente, pois ao observar a Fig. 8 verifica-se que os países europeus possuem colaboração com outros países como China e Estados Unidos.

3.2.2 Métodos de Decisão Multicritério no contexto das energias renováveis e TOPSIS

As publicações com a temática dos Métodos de Decisão Multicritério no contexto das energias renováveis crescem ao longo dos anos. Observando a série histórica da base referencial *Scopus*, que tem literaturas de várias áreas do conhecimento, o crescimento da combinação dos métodos multicritério no contexto de energia renováveis chegam a um total de 1.686 nos últimos 5 anos. Isto evidencia que as áreas do conhecimento que trabalham com energia renováveis produzem e aplicam os métodos nas suas problemáticas.

A *Compendex* é uma base referencial especializada nas literaturas das engenharias. A quantidade de literaturas relacionadas com os Métodos de Decisão Multicritério no contexto das energias renováveis crescem pouco a pouco. Nos últimos 5 anos houve um total de 409 publicações. Este valor se altera para 266 quando se aplica o filtro de termo TOPSIS, conforme Fig. 12.

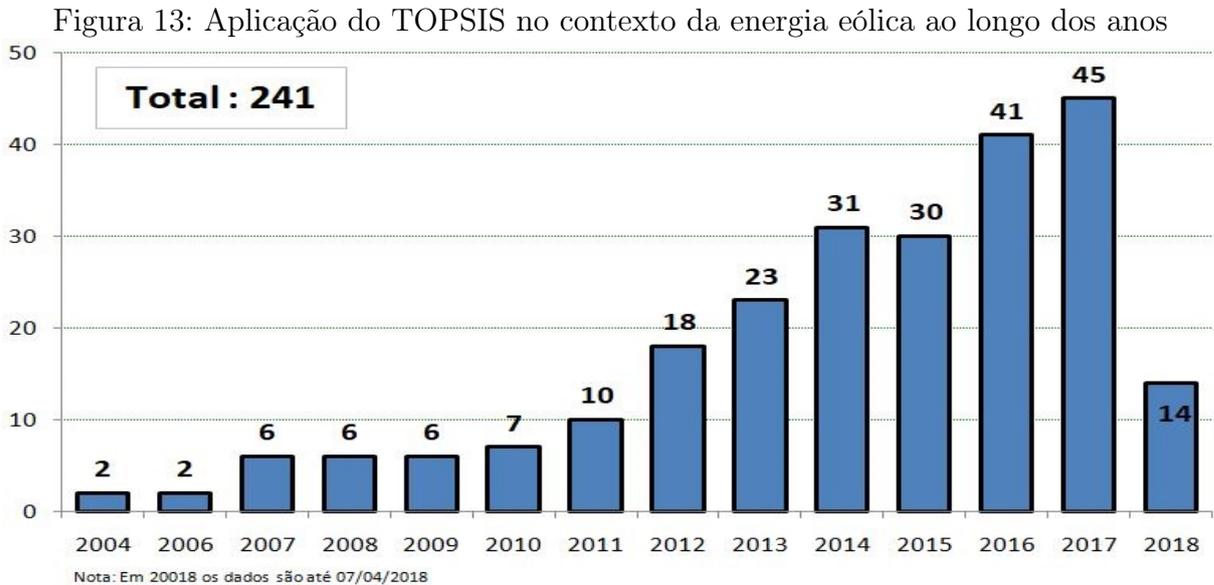
Figura 12: Métodos multicritérios no contexto das energias renováveis e TOPSIS ao longo dos anos



Fonte: Elaboração Própria.

O método TOPSIS no contexto das energias renováveis apresenta-se com um Métodos de Decisão Multicritério útil e garantindo a efetividade para o processo decisório.

A série histórica da aplicação do método TOPSIS no contexto da energia eólica, segundo a base Compendex ao longo dos 14 anos, registra um total de 241 literaturas publicadas. Evidenciando os últimos 5 anos, um total de 161 publicações representa aproximadamente 67% do total, conforme Fig. 13 Destaca-se o artigo que propõe uma



Fonte: Elaboração Própria.

metodologia híbrida integrada para a análise do setor de energia da Turquia e o método TOPSIS para formular e analisar de forma holística as alternativas e prioridades da estratégia energética (ERVURAL et al., 2018). O método TOPSIS ajuda a direcionar estratégias tanto de uma nação ou comunidade, assumindo que pode ser utilizado em pequena ou grande escala.

Sessenta países são listados na Tabela 2. O Brasil ocupa a 16ª posição com um montante de 13 publicações que representam aproximadamente 2,3% do total. Esse valor mostra como o Brasil está aquém na discussão sobre processo de decisão com base em multicritério no contexto da energias renováveis.

Tabela 2: Distribuição de frequência das literaturas sobre métodos de decisão multicritério no contexto das energias renováveis por país

Países	Frequência	%	Países	Frequência	%
Irã	77	9.88	Sweden	6	0.77
China	76	9.76	Belgium	5	0.64
United States	60	7.70	Sri Lanka	5	0.64
United Kingdom	52	6.68	Denmark	5	0.64
Turkey	44	5.65	Norway	5	0.64
India	42	5.39	Czech Republic	5	0.64
Spain	31	3.98	Tunisia	4	0.51
Greece	27	3.47	Indonesia	4	0.51
Italy	27	3.47	Ireland	4	0.51
France	22	2.82	Mexico	4	0.51
Germany	21	2.70	Singapore	4	0.51
Australia	20	2.57	Algeria	3	0.39
Canada	18	2.31	Oman	3	0.39
Switzerland	17	2.18	Egypt	3	0.39
Taiwan	15	1.93	Slovenia	3	0.39
Portugal	14	1.80	Finland	3	0.39
South Africa	13	1.67	Austria	3	0.39
Brazil	13	1.67	Luxembourg	2	0.26
Lithuania	13	1.67	Latvia	2	0.26
Japan	10	1.28	Viet Nam	2	0.26
Thailand	9	1.16	Lebanon	2	0.26
Hong Kong	8	1.03	Chile	2	0.26
Saudi Arabia	8	1.03	Cyprus	2	0.26
Poland	8	1.03	Colombia	2	0.26
Malaysia	7	0.9	Venezuela	2	0.26
United Arab Emirates	7	0.90	Philippines	2	0.26
Morocco	7	0.90	Jordan	2	0.26
Korea, Republic Of	7	0.90	Hungary	2	0.21
Netherlands	7	0.90	Kuwait	1	0.13
Serbia	6	0.77	Nigeria	1	0.10
		Total	779		100

Fonte: Elaboração Própria.

Os países que passaram por grandes problemas com meio ambiente tendem a investir em melhoria de processo para solucionar ou minimizar a problemática. Esse melhoramento requer uma atenção especial ao processo decisório. Países como China, Irã, e Estados Unidos entre outros, têm um grau de poluição elevado. Com isso, buscam diminuir o grau de poluição cumprindo alguns acordos internacionais, como o Acordo do Clima de Paris. Um outro ponto importante, é a busca pela diversificação da matriz energética, para garantir continuidade de fornecimento e precificar a energia a um valor menor. Uma oportunidade é a abertura para criação e aplicação dos métodos de decisão multicritério.

Na tabela 3 é apresentado os 16 *journal* com maior quantidade de artigos publicados abordando métodos multicritérios e energia renonável. Destaque para o *journal Renewable And Sustainable Energy Reviews* com 95 artigos e o *journal Renewable Energy* com 44 artigos.

Tabela 3: Quantidade de artigos por journal abordando métodos multicritérios e energia renonável

Journal	Total
Renewable And Sustainable Energy Reviews	95
Renewable Energy	44
Energy	35
Energy Conversion And Management	24
Applied Energy	20
Energy Policy	19
Journal Of Cleaner Production	14
Energies	10
Energy Procedia	9
Outros	151
Total	421

Fonte: Elaboração Própria.

As literaturas publicadas nos journal apresentado na tabela 4 destaca o *Journal of intelligent and fuzzy systems*, o *Energy Conversion and Management*, o *Renewable and Sustainable Energy Reviews* e tambem o *Applied Soft Computing Journal*.

Tabela 4: Quantidade de artigos por journal abordando TOPSIS em energia eólica

journal	Total
Journal of Intelligent and Fuzzy Systems	15
Energy Conversion and Management	12
Renewable and Sustainable Energy Reviews	11
Applied Soft Computing Journal	10
Expert Systems with Applications	9
Energy	6
Fuzzy Optimization and Decision Making	5
ICIC Express Letters	5
International Journal of Computational Intelligence Systems	5
International Journal of Electrical Power and Energy Systems	5
Journal of Cleaner Production	5
Journal of Computational Information Systems	5
Solar Energy	5
Outros	147
Total	245

Fonte: Elaboração Própria.

4 Avaliação de Complexos Eólicos

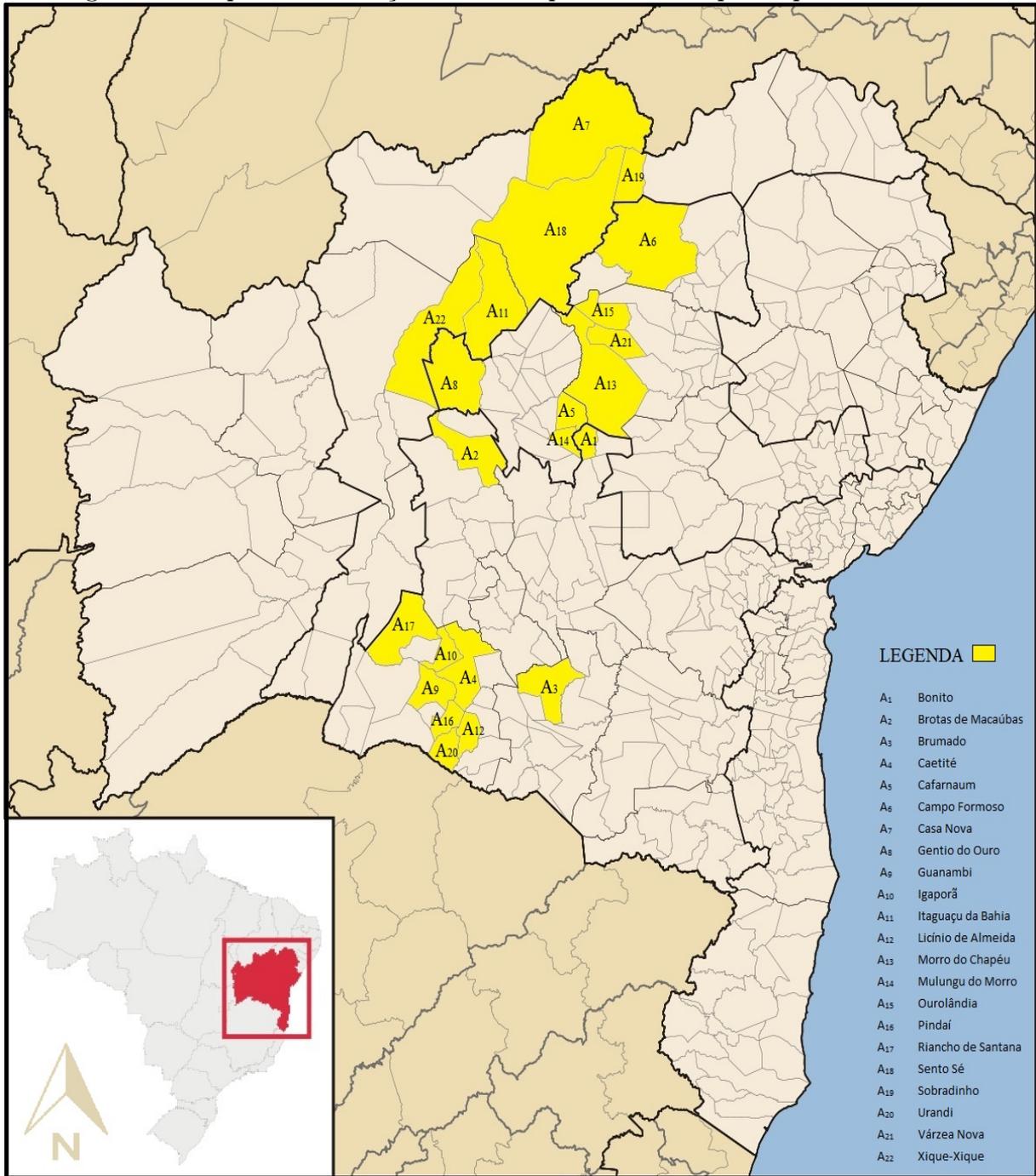
Com objetivo de melhor aproveitar seus recursos naturais para a geração de energia elétrica, a Bahia tem atraído vários investimentos do setor produtivo de energia eólica de modo a incentivar o desenvolvimento econômico, social e ambiental do estado.

Na Bahia, há empresas de todo o setor produtivo, que vão desde a prospecção até a geração e distribuição de energia, além das empresas que alimentam o setor de geração, como as de fabricação de pás, torres, aerogeradores e outras. Essas empresas migraram para o Estado com o objetivo de se aproximarem dos pontos de geração que são os parques ou complexos eólicos.

Para cada construção de um complexo eólico são gerados postos de trabalhos diretos e indiretos contribuindo para a economia local e ativa. Na Fig. 14, fica evidente a existência de dois grandes aglomerados de municípios com parques eólicos, um mais ao Norte e outro mais a Sudoeste do Estado. Nesse corredor as condições de vento favorecem a implantação de complexos eólicos.

A Fig. 14 mostra a localização e espacialidade dos municípios do Estado da Bahia que fizeram parte da presente pesquisa.

Figura 14: Mapa de localização dos municípios da Bahia participante do estudo



Fonte: Adaptado de wikimedia.org (2006)

A escolha do local para implementação dos parques eólicos, ou mesmo sua avaliação de desempenho, envolve critérios econômicos, políticos, ambientais e técnicos. Apesar da complexidade que há nesse processo de decisão, não há discussões acerca dos métodos de decisão multicritério no estado da Bahia no contexto da energia eólica.

Portanto, devido ao destaque que o estado possui dentro do setor eólico, e pela necessi-

dade de fomentar a discussão acerca dos métodos multicritérios nesse setor, determinou-se o estado da Bahia como cenário de avaliação dos complexos eólicos deste trabalho.

Os dados para realizar a avaliação de complexos eólicos foram obtidos através da Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado da Bahia (2018), contendo as variáveis: Municípios, Empresas detentoras dos investimentos, Valor total investido, Quantidade de Mega-Watts (MW) e Quantidade de Usinas.

Para seguir as etapas de execução do método multicritério TOPSIS, será usada a legenda dos rótulos utilizadas para as alternativas que são uma concatenação de municípios e empresas que geram energia eólica:

A_1	=	Bonito	EDF/ENEL
A_2	=	Brotas de Macaúbas	DESENVIX(STATKRAFT)
A_3	=	Brumado	ENEL
A_4	=	Caetité	BW GUIRAPÁ/IBERDROLA/RENOVA/RIO ENERGY
A_5	=	Cafarnaum	ENEL
A_6	=	Campo Formoso	ATLANTIC/ENEL
A_7	=	Casa Nova	CHESF
A_8	=	Gentio do Ouro	CER ENERGIA
A_9	=	Guanambi	RENOVA
A_{10}	=	Igaporã	ENEL/RENOVA
A_{11}	=	Itaguaçu da Bahia	CGEOL
A_{12}	=	Licínio de Almeida	RENOVA
A_{13}	=	Morro do Chapéu	ENEL/RIO ENERGY/PEC ENERGIA
A_{14}	=	Mulungu do Morro	EDF
A_{15}	=	Ourolândia	EDP
A_{16}	=	Pindaí	BW GUIRAPÁ/GPEXPAN/RENOVA
A_{17}	=	Riancho de Santana	RENOVA
A_{18}	=	Sento Sé	BRENNAND/ENEL/RENOVA/TRACTEBEL
A_{19}	=	Sobradinho	GESTAMP
A_{20}	=	Urandi	RENOVA
A_{21}	=	Várzea Nova	EDP
A_{22}	=	Xique-Xique	CER ENERGIA

E para os critérios:

- C_1 = Investimento em reais por MW;
- C_2 = Investimento em reais por quantidade de usina;
- C_3 = MW por quantidade de usinas;

Para operacionalizar os cálculos do método TOPSIS foi utilizado o *software* R Core Team (2018), com aplicação do pacote *topsis*, elaborado por Yazdi (2013), e o uso de planilha eletrônica para validação.

O pacote TOPSIS tem como argumentos: decisão, pesos e impactos. O argumento decisão compreende uma matriz numérica com n linhas para n alternativas e m colunas para m critérios. O argumento pesos é composto por um vetor numérico com comprimento igual ao número de colunas na matriz de decisão para pesos dos critérios. Já o argumento impactos refere-se a um vetor de caractere de sinais positivo (+) e negativo (-) para o modo como cada critério influencia nas alternativas.

A escolha de usar o R Core Team (2018) versão R-3.4.4 é pelo fato de ser gratuito e de se ter uma rede de colaboração mundial. Mais informações sobre o R pode ser obtida no site (<http://CRAN.R-project.org>). O uso de planilha eletrônica foi fundamental no tratamento de dados, validação do cálculo realizado no R Core Team (2018).

4.1 Avaliação de Complexos Eólicos do Estado da Bahia

O Estado da Bahia conta com 111 projetos de parques eólicos, segundo dados ANEEL divulgados pela ABEEólica, para o segundo semestre de 2018. Este valor totaliza uma capacidade instalada de 2.907,64MW. Para a avaliação dos complexos eólicos foi feita uma concatenação de 22 municípios e empresas com atuação no eixo central do Estado, que compreende a Região Sudoeste até o Norte do Vale do São Francisco, conforme Fig. 14.

Do ponto de vista avaliativo, qualquer ação e empreendimento necessita passar por algum tipo de avaliação para saber qual a efetividade com relação ao custo benefício que são gerados.

Fazer uma avaliação dos complexos eólicos do Estado da Bahia através do método TOPSIS é uma iniciativa preliminar de saber qual concatenação de municípios e empresas

apresenta os melhores desempenhos. A avaliação dos empreendimentos se concentra no valor investido para uma quantidade de usinas que geram uma quantidade de MW.

Como em qualquer mercado, o de energia tem grupos de investidores interessados em adquirir ou vender empreendimento. Este tipo de avaliação pode ser utilizada para compor o cenário de um processo de decisão estratégica.

As negociações nos leilões de energia eólica consideram o valor do Mega Watt-hora (*MWh*) para ser vendido. Podem ser feitas avaliações dos complexos eólicos utilizando o Mega Watt-hora como uma das métricas possíveis.

Saber qual das alternativas tem um melhor desempenho diante do valor do investimento por *MW* produzido, valor do investimento por quantidade de usina instalada e *MW* por quantidade de usina instalada, torna possível para o decisor ter uma métrica objetiva para confrontar as subjetividades inerentes ao processo de decisão.

O processo avaliativo utiliza o método TOPSIS devido às vantagens descritas anteriormente e, identifica a sua importância na RSL. O método TOPSIS também se adequa ao problema de decisão da presente pesquisa, que estrutura-se com critérios objetivos e quantitativos.

Os critérios valor do investimento por *MW* produzido e valor do investimento por quantidade de usina instalada, são considerados melhores para o desenvolvimento do empreendimento quanto menor for o valor. Já o critério *MW* por quantidade de usina instalada, quanto maior o valor, melhor para o desempenho do empreendimento. Na Tabela 5, os dados da matriz de decisão são apresentados, juntamente com as etapas que compõem o método de decisão TOPSIS.

Tabela 5: Matriz de decisão

	C_1	C_2	C_3		C_1	C_2	C_3
A_1	4610903,75	92218075,00	20,00	A_{12}	4010057,14	84211200,00	21,00
A_2	3999579,83	126920000,00	31,73	A_{13}	4054462,35	114766625,00	28,31
A_3	4897370,00	146921100,00	30,00	A_{14}	4579168,35	130201020,00	28,43
A_4	3677285,68	79950319,44	21,74	A_{15}	4600000,00	128800000,00	28,00
A_5	4536622,91	135947466,67	29,97	A_{16}	3057781,30	46342374,44	15,16
A_6	3938419,28	109063918,46	27,69	A_{17}	3916540,40	74257606,00	18,96
A_7	4841259,62	125872750,00	26,00	A_{18}	2773846,46	64511743,33	23,26
A_8	4297575,38	105164197,65	24,47	A_{19}	4245202,13	114014000,00	26,86
A_9	4007358,36	81260322,22	20,28	A_{20}	4000000,00	72000000,00	18,00
A_{10}	4093349,15	71541179,68	17,48	A_{21}	4600000,00	128800000,00	28,00
A_{11}	3431321,43	96077000,00	28,00	A_{22}	3747961,85	101194970,00	27,00

Fonte: Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado da Bahia 2018.

O vetor peso foi estabelecido por uma prática comum na aplicação do método, validada por Lee e Chang (2018) em seu trabalho. Desta forma, é estabelecido por:

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1 = 0,33, \tilde{w}_2 = 0,33, \tilde{w}_3 = 0,33]$$

Estrutura da matriz de decisão com os dados disponíveis na Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado da Bahia (2018) e o vetor peso já estabelecido, segue-se para a segunda etapa do método que é a obtenção da matriz de decisão normalizada.

Na segunda etapa, realiza-se a normalização conforme a equação (2.2) e na terceira é feita a ponderação conforme a equação (2.3). Consequentemente, é obtida a matriz de decisão normalizada e ponderada, apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Matriz de decisão normalizada e ponderada

Alternativas	C1	C2	C3	Alternativas	C1	C2	C3
A1	0,07952	0,06256	0,05687	A12	0,06915	0,05712	0,05971
A2	0,06897	0,0861	0,09023	A13	0,06992	0,07785	0,08049
A3	0,08446	0,09966	0,0853	A14	0,07897	0,08832	0,08085
A4	0,06342	0,05423	0,06182	A15	0,07933	0,08737	0,07961
A5	0,07824	0,09222	0,08521	A16	0,05273	0,03144	0,04309
A6	0,06792	0,07398	0,07874	A17	0,06754	0,05037	0,05391
A7	0,08349	0,08539	0,07393	A18	0,04784	0,04376	0,06613
A8	0,07411	0,07134	0,06958	A19	0,07321	0,07734	0,07637
A9	0,06911	0,05512	0,05766	A20	0,06898	0,04884	0,05118
A10	0,07059	0,04853	0,0497	A21	0,07933	0,08737	0,07961
A11	0,05917	0,06517	0,07961	A22	0,06463	0,06865	0,07677

Fonte: Elaboração Própria

Com os dados da matriz de decisão normalizados e ponderados é dado o segmento para a quarta etapa, em que se determina a solução ideal positiva (A^+) e negativa (A^-), conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7: Soluções ideais positivas (A^+) e negativas (A^-)

	C_1	C_2	C_3
A+	0,04784	0,03144	0,09023
A-	0,08446	0,09966	0,04309

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados da Tabela 6 e 7 são usados para o cálculo das distâncias (D_i^+) e (D_i^-) de cada uma das alternativas em relação a soluções ideais.

Efetuada o cálculo da distância de (D_i^+) e (D_i^-) entre os elementos da Tabela 4 e as soluções A^+ , A^- , obtém-se o resultado das distâncias exibido na Tabela 8.

Tabela 8: As distâncias (D_i^+) e (D_i^-)

Alternativas	D^+	D^-	Alternativas	D^+	D^-
A1	0,05554	0,03989	A12	0,04523	0,04817
A2	0,0586	0,05144	A13	0,05232	0,04566
A3	0,07759	0,04221	A14	0,06552	0,0398
A4	0,03962	0,05345	A15	0,06506	0,03887
A5	0,06815	0,04322	A16	0,04739	0,07524
A6	0,04843	0,04694	A17	0,04545	0,05322
A7	0,06669	0,03399	A18	0,02707	0,07069
A8	0,05205	0,04014	A19	0,05425	0,04162
A9	0,04555	0,04931	A20	0,0477	0,05374
A10	0,04953	0,05339	A21	0,06506	0,03887
A11	0,03714	0,05624	A22	0,04299	0,04989

Fonte: Elaboração Própria

De acordo com os dados da Tabela 8, o coeficiente de aproximação (CC_i) de cada alternativa é calculado e, por conseguinte a ordenação do resultado de forma decrescente. Quanto mais próximo de 1 for o valor de (CC_i), melhor é o desempenho da alternativa.

O coeficiente de aproximação (CC_i) e a ordenação que são apresentados na Tabela 9, foram calculados utilizando o pacote topsis do R Core Team (2018) e também planilha eletrônica.

Com as etapas concluídas para aplicação do método TOPSIS na avaliação dos complexos eólicos localizados no Estado da Bahia através dos critérios predefinidos, é possível verificar que a melhor alternativa no processo de decisão é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Coeficiente de aproximação (CC_i) de cada alternativa e ordenação.

	Planilha Eletrônica	Software R (pacote topsis)	
ID	Coeficiente de aproximação CC_i		Ordenamento
A_{18}	0,723093082	0.7236940	1
A_{16}	0,613556264	0.6131726	2
A_{11}	0,60225098	0.6031133	3
A_4	0,574323131	0.5747375	4
A_{22}	0,537176424	0.5381716	6 (5)
A_{17}	0,53937082	0.5355977	5 (6)
A_{20}	0,529786384	0.5305694	7
A_9	0,519840567	0.5191164	8
A_{10}	0,518760052	0.5187936	9
A_{12}	0,515711721	0.5166647	10
A_6	0,492197368	0.4932482	11
A_2	0,467429381	0.4671218	12
A_{13}	0,466052949	0.4657689	13
A_8	0,435383073	0.4365256	14
A_{19}	0,434089831	0.4352681	15
A_1	0,417978512	0.4188716	16
A_5	0,388068964	0.3826232	17
A_{14}	0,377890603	0.3767287	18
A_{15}	0,374019706	0.3753105	19 (19,5)
A_{21}	0,374019706	0.3753105	19 (19,5)
A_3	0,352327048	0.3535383	21
A_7	0,337634623	0.3389852	22

Fonte: Elaboração Própria

A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo, já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício.

Desta forma, os complexos eólicos que tem um investimento por MW menor apresentam melhor avaliação, pelo fato de haver competitividade para ofertar um menor valor do MWh na comercialização da energia. O mesmo acontece com o valor do investimento por quantidade de usina, quanto menor custar uma usina, melhor para o empreendimento e seus investidores. Já para o MW por usina, quanto maior seu valor, melhor

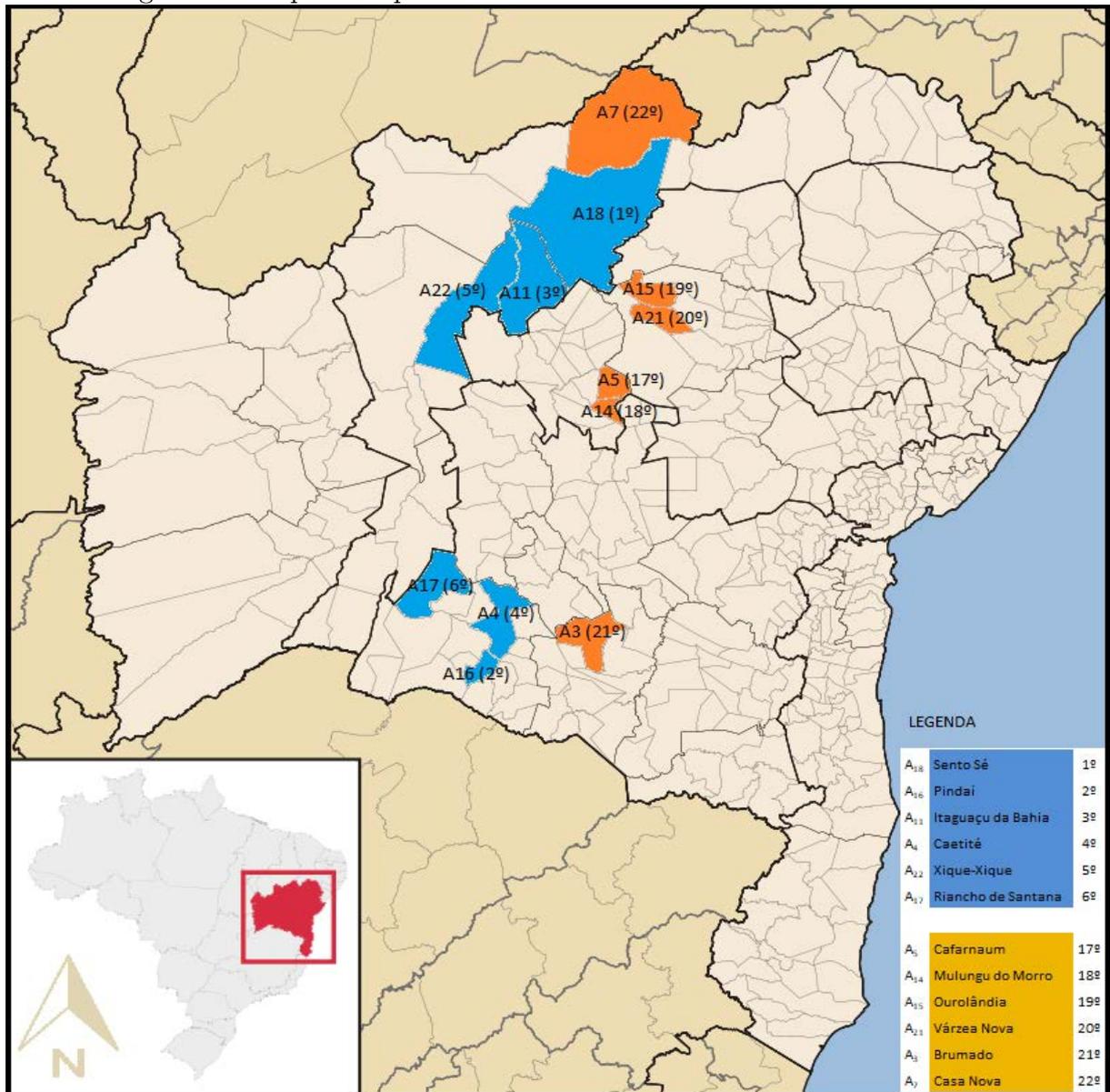
Portanto, o ordenamento das alternativas obedece os aspectos e destaca-se que não necessariamente um maior valor de investimento para uma quantidade de MW é a melhor solução, bem como uma quantidade de MW gerado por uma determinada quantidade de usinas não é o fator determinante. Neste caso, as combinações dos critérios considerando os impactos que cada um causa ao ordenamento das alternativas exerce maior influência, atuando como fator determinante ao auxílio a decisão.

Com relação a Tabela 9, verifica-se que as cinco primeiras colocações do ordenamento são os municípios com menor valor de investimento por MW , considerando que os outros critérios também contribuíram para sua posição no ordenamento. Sendo assim, este comportamento para as demais alternativas não é válido pelo fato de não obedecer essa lógica.

Como já foi dito anteriormente, a Bahia tem atraído vários investimentos do setor produtivo de energia. Porém, analisando apenas os critérios estabelecido nesse trabalho, alguns empreendimentos do setor de geração apresentaram uma resposta insatisfatória quando comparados à outros do mesmo segmento.

A Fig. 15 mostra distribuição espacial dos empreendimentos das seis primeiras posições do ordenamento, apresentado na Tabela 9, e das seis últimas. Os empreendimentos melhor avaliados estão indicados pela cor azul e são: A_{18} - Sento Sé - BREN-
NAND/ENEL/RENOVA/TRACTEBEL; A_{16} - Pindaí - BW GUIRAPÁ/ GPEXPAN/
RENOVA; A_{11} - Itaguaçu da Bahia - CGEOL; A_4 - Caetité - BW GUIRAPÁ / IBER-
DROLA / RENOVA / RIO ENERGY; A_{22} - Xique-Xique - CER ENERGIA; A_{17} - Riancho
de Santana - RENOVA. Já os seis últimos são indicados pela cor laranja e são: A_5 - Ca-
farnaum - ENEL; A_{14} - Mulungu do Morro - EDF; A_{15} - Ourolândia - EDP; A_{21} - Várzea
Nova - EDP; A_3 - Brumado - ENEL; A_7 - Casa Nova - CHESF.

Figura 15: Mapa da espacialidade do ordenamento via método TOPSIS



Fonte: Adaptado de wikimedia.org (2006)

Ao comparar as Figs. 14 e 15 com o atlas eólico do Estado da Bahia verifica-se que todos os municípios escolhidos para receber os complexos eólicos fazem parte do mesmo corredor de vento e possuem características semelhantes para uma altitude de 100m.

Porém, ao analisar a Fig. 15 verifica-se que mesmo em territórios vizinhos há um contraste em sua posição no ordenamento. Ao observar o grupo de municípios ao Norte do Estado, as alternativas A_{18} e A_7 por mais que estejam na mesma conjuntura que favorece a geração de energia eólica a alternativa A_7 não tem um desempenho favorável com relação ao critérios estabelecido na avaliação. Já a alternativa A_{18} no contexto analisado apresenta

um melhor desempenho com relação ao critérios analisados.

Uma hipótese para isso é que os estudos preliminares que realizaram a modelagem podem não ter apresentado um melhor ajuste para os regimes de ventos naquele território. Outra possibilidade é que a decisão para instalações desses complexos eólicos podem ter levado em considerações critérios que não foram avaliados nesse trabalho, como critérios ambientais e políticos. Um fator político, pode ter sido a necessidade da diversificação da matriz energética buscando alinhamento com os acordos internacionais.

Os cenários apresentados podem contribuir para o entendimento e operacionalização envolvendo decisão com base em multicritério.

5 Conclusões

Com base nos resultados apresentados conclui-se que a melhor alternativa no processo de decisão é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa sendo as alternativas melhor avaliadas: A_{18} - Sento Sé - BRENNAND/ENEL/RENOVA/ TRACTEBEL; A_{16} - Pindaí - BW GUIRAPÁ/ GPEXPAN/ RENOVA; A_{11} - Itaguaçu da Bahia - CGEOL; A_4 - Caetité - BW GUIRAPÁ/IBERDROLA/RENOVA/RIO ENERGY; A_{22} - Xique-Xique - CER ENERGIA; A_{17} - Riancho de Santana - RENOVA.

Conclui-se que o potencial de geração de energia eólica de algumas regiões não está sendo completamente aproveitado. Cidades como Brumado e Casa Nova, que ocupam as últimas posições do ordenamento, estão localizadas em regiões com ventos favoráveis, como mostrado no atlas eólico da Bahia, no entanto a quantidade de parques instalados e *MW* produzidos é inferior à cidades vizinhas que possuem características de vento similares.

O resultado da avaliação pode servir de base para um diagnóstico preliminar que fomenta o aprimoramento dos parques eólicos existente como também fornece informações para o planejamento de novos parques eólicos.

Adicionalmente, comprovou-se a viabilidade de utilização do método TOPSIS - o que pode ser utilizado através de diferentes ferramentas computacionais, o que permite a sua adoção no processo decisório no cotidiano das empresas.

Conclui-se que a RSL contribuiu para compreensão do que é um processo de decisão com base em multicritério, sua importância e como o Brasil está aquém na discussão dessa temática.

Ainda dos resultados obtidos a partir da RSL, conclui-se que:

- Ao longo dos anos as publicações na temática de processo decisório com base em multicritério tiveram um aumento significativo. Porém, ao fazer o recorte no tema

de energia eólica e energia eólica com aplicação TOPSIS, a quantidade de trabalhos publicados sofre uma redução em comparação aos resultados encontrados para energia eólica. Ainda assim, o comportamento dos gráficos para este último caso é crescente, indicando um aumento no número de pesquisas nessa área;

- Os países que desenvolveram maior quantidade de publicações, com a temática de multicritério, construíram uma rede de colaboração entre os países Europeus, do Oriente Médio e da Ásia, principalmente a China com a maior malha de colaboração;
- O Brasil ainda não aparece nessa rede de colaboração com outros países de forma significativa. Na rede de colaboração entre universidades existe uma predominância de instituições da região Asiática e Oriente Médio;
- Na análise de desempenho individual dos pesquisadores, há o ranking dos sessenta autores com maior quantidade de publicação onde aparecem dois brasileiros que atuam no Nordeste, com trinta literaturas publicadas cada, o que representa 3,05% do total publicado. Porém, seus trabalhos publicados não tem como foco a energia eólica; Sendo assim, conclui-se também que no Brasil há pesquisas relevantes na área de decisão multicritério. Porém, as instituições de ensino, e seus respectivos pesquisadores, não desenvolveram ainda uma rede de colaboração, o que dificulta sua expressão nacional resultando em um desconhecimento sobre a temática e sua importância na resolução de conflitos nos vários segmentos da sociedade.

Para dar continuidade ao trabalho fica como sugestão: ampliar a quantidade de critérios e inserir outros aspectos como ambiental e/ou social com objetivo de compreender cada particularidade do processo de instalação e operação de complexo eólico. Como também, atualizar os valores monetários de investimentos e verificar a aplicação de métodos de decisão multicritério em cada etapa da cadeia produtiva do setor eólico baiano.

Referências

ABBASI, S.; ABBASI, N. The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *Applied Energy*, Elsevier, v. 65, n. 1-4, p. 121–144, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Banco de informações de Geração*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ALMEIDA, A. T. d.; GOMES, C. F. S.; GOMES, L. *Tomada de Decisão Gerencial-Enfoque Multicritério*. [S.l.]: Atlas, 2012.

ALMEIDA, A. T. de. *O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão*. [S.l.]: 2 Ed., 2011.

AMARANTE, O. A. et al. Atlas do potencial eólico brasileiro. In: *Atlas do potencial eólico brasileiro*. [S.l.]: Ministerio de Minas e Energia/Eletrobras, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. *Boletim Anual de Geração Eólica 2018*. Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>>. Acesso em: 24 out. 2018.

ATUALIZAÇÃO do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil. Disponível em: <http://inteligencia.abdi.com.br/wp-content/uploads/2017/08/2018-08-07_ABDI_relatorio_6-1_atualizacao-do-mapeamento-da-cadeia-produtiva-da-industria-eolica-no-brasil-WEB.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2018.

BIREME. *Curso a distância informação e evidências científicas para tomada de decisão em saúde na BVS*. 2008. Apostila.

BORAN, F.; BORAN, K.; DIZDAR, E. A fuzzy multi criteria decision making to evaluate energy policy based on an information axiom: a case study in turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, Taylor & Francis, v. 7, n. 3, p. 230–240, 2012.

BOUYSSOU, D. Building criteria: a prerequisite for mcda. In: *Readings in multiple criteria decision aid*. [S.l.]: Springer, 1990. p. 58–80.

BRASIL. *Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)*. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF*. Acessado: 22 dez. 2018. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438.htm>. Acesso em: 26 abr. 2002.

- BRASIL, C. de Gestão da Crise de E. E. *Resolução n. 24, de 5 de julho de 2001. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA no território nacional. Coleção de Leis da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.* Acessado: 22 dez. 2018. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Resolu%C3%A7%C3%A3o/RES24-01.htm>. Acesso em: 05 jul. 2001.
- BRINER, R. B.; DENYER, D. Systematic review and evidence synthesis as a practice and scholarship tool. *Handbook of evidence-based management: Companies, classrooms and research*, Oxford University Press New York, p. 112–129, 2012.
- BROADUS, R. Toward a definition of bibliometrics. *Scientometrics*, Akadémiai Kiadó, co-published with Springer Science+ Business Media BV, v. 12, n. 5-6, p. 373–379, 1987.
- CHARTERS, S.; PETTIGREW, S. The dimensions of wine quality. *Food Quality and Preference*, Elsevier, v. 18, n. 7, p. 997–1007, 2007.
- COSTA, C. Bana e; FERREIRA, J. A.; CORRÊA, E. Metodologia multicritério de apoio à avaliação de propostas em concursos públicos. *Casos de aplicação da investigação operacional*, McGraw-Hill, Lisboa, p. 336–363, 2000.
- CRANE, D. Invisible colleges; diffusion of knowledge in scientific communities. 1972.
- DIAS, L.; ALMEIDA, L.; CLÍMACO, J. Apoio multicritério à decisão. *Faculdade de Economia. Coimbra: Universidade de Coimbra*, 1996.
- DINMOHAMMADI, A.; SHAFIEE, M. Determination of the most suitable technology transfer strategy for wind turbines using an integrated ahp-topsis decision model. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 5, p. 642, 2017.
- DIODATO, V. P.; GELLATLY, P. *Dictionary of bibliometrics*. [S.l.]: Routledge, 2013.
- DURBACH, I. N.; STEWART, T. J. Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 223, n. 1, p. 1–14, 2012.
- ELSEVIER. *EI compendex/engineering village*. Disponível em: <<https://www.engineeringvillage.com>>. Acesso em: 07 abr. 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA. *Plano Nacional de Energia*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 07 ago. 2018.
- ERVURAL, B. C. et al. An anp and fuzzy topsis-based swot analysis for turkeys energy planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 82, p. 1538–1550, 2018.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. [S.l.]: 6. ed. Ediitora Atlas SA, 2008.
- GLASS, G. V. Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational researcher*, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 5, n. 10, p. 3–8, 1976.
- GOMES, E. G. et al. Conceitos básicos do apoio multicritério à decisão e sua aplicação no projeto aerodesign. *Engevista*, v. 5, n. 8, 2003.
- GOMES, L. F.; JR, A. A. F. A importância do apoio multicritério à decisão na formação do administrador. *Revista ANGRAD*, v. 1, n. 1, p. 82–87, 2000.

- GREENING, B.; AZAPAGIC, A. Domestic solar thermal water heating: A sustainable option for the uk? *Renewable Energy*, Elsevier, v. 63, p. 23–36, 2014.
- GWEC, G. W. E. C. Global wind report. 2015. *Brussels: GWEC*, 2017.
- HOLTTINEN, H. et al. Impacts of large amounts of wind power on design and operation of power systems, results of IEA collaboration. *Wind Energy*, Wiley Online Library, v. 14, n. 2, p. 179–192, 2011.
- HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 19, p. 3578 – 3594, 2011. ISSN 00489697. Application area;Course of action;Economic impacts;Environmental;Environmental applications;Environmental decision making;Environmental fields;Environmental policy;Environmental projects;Environmental science;Geographic regions;Multi-attribute utility theory;Multi-criteria decision analysis;Stakeholder values;Technical information;Web of Science;. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022>>.
- HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the total environment*, Elsevier, v. 409, n. 19, p. 3578–3594, 2011.
- HUANG, Y.-S.; LI, W.-H. A study on aggregation of topsis ideal solutions for group decision-making. *Group Decision and Negotiation*, Springer, v. 21, n. 4, p. 461–473, 2010.
- HUESCA-PEREZ, M. E.; SHEINBAUM-PARDO, C.; KÖPPEL, J. Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region—the case of the isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 58, p. 952–965, 2016.
- HWANG, C.-L.; YOON, K. Methods for multiple attribute decision making. In: *Multiple attribute decision making*. [S.l.]: Springer, 1981. p. 58–191.
- IFAEI, P. et al. A renewable energies-assisted sustainable development plan for Iran using techno-econo-socio-environmental multivariate analysis and big data. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 153, p. 257–277, 2017.
- JUNIOR, F. R. L.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos topsis e fuzzy-topsis no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. *Gestão & Produção*, Directory of Open Access Journals, v. 22, n. 1, p. 17–34, 2015.
- KHALIL, A. M.; HASSAN, N. A note on a novel approach to multi attribute group decision making based on trapezoidal interval type-2 fuzzy soft sets. *Applied Mathematical Modelling*, v. 41, p. 684 – 690, 2017. ISSN 0307904X. Counterexamples;Interval type-2 fuzzy;Interval type-2 fuzzy sets;Main results;Multi-attribute group decision making;Soft sets;. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2016.04.014>>.
- KIM, G.; PARK, C. S.; YOON, K. P. Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 50, n. 1, p. 23–33, 1997.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.

- KUMAR, A. et al. A review of multi criteria decision making (mcdm) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 69, p. 596–609, 2017.
- LEE, H.-C.; CHANG, C.-T. Comparative analysis of mcdm methods for ranking renewable energy sources in taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 92, p. 883–896, 2018.
- MACIEL, R. S. Otimização multiobjetivo na análise da integração de geração distribuída às redes de distribuição. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2012.
- MARINS, C. S.; SOUZA, D. d. O.; BARROS, M. d. S. O uso do método de análise hierárquica (ahp) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. *XLI SBPO*, v. 1, 2009.
- MASSARI, S.; RUBERTI, M. Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies. *Resources Policy*, Elsevier, v. 38, n. 1, p. 36–43, 2013.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A. C. C. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil.
- MINAYO, M. C. d. S.; DESLANDES, S. F. *Análise diagnóstica da política nacional de saúde para redução de acidentes e violências*. [S.l.]: Editora Fiocruz, 2007.
- MYTILINO, V.; LOZANO-MINGUEZ, E.; KOLIOS, A. A framework for the selection of optimum offshore wind farm locations for deployment. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 7, p. 1855, 2018.
- OKOLI, C.; SCHABRAM, K. A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. 2010.
- PACESILA, M.; BURCEA, S. G.; COLESCA, S. E. Analysis of renewable energies in european union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 56, p. 156–170, 2016.
- PARREIRAS, R. O. *Algoritmos evolucionários e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério*. Tese (Doutorado) — UFMG, 2006.
- PARREIRAS, R. O.; MACIEL, J. H.; VASCONCELOS, J. A. The a posteriori decision in multiobjective optimization problems with smarts, prometee ii, and a fuzzy algorithm. *IEEE Transactions on Magnetics*, IEEE, v. 42, n. 4, p. 1139–1142, 2006.
- PRITCHARD, A. et al. Statistical bibliography or bibliometrics. *Journal of documentation*, New York, v. 25, n. 4, p. 348–349, 1969.
- R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.
- REICHERT, P.; SCHUWIRTH, N.; LANGHANS, S. Constructing, evaluating and visualizing value and utility functions for decision support. *Environmental Modelling and Software*, v. 46, p. 283 – 291, 2013. ISSN 13648152. Decision supports;Ecological rivers;Multi-criteria decision analysis;River management;Uncertainty;Utility functions;Value functions;. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.01.017>>.

- ROCHA, P. S. Avaliação multicritério de alternativas de integração para melhoria da eficiência do sistema de trens de subúrbio da cidade do Salvador. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2016.
- ROUSSEAU, D. M.; MANNING, J.; DENYER, D. 11 evidence in management and organizational science: assembling the fields full weight of scientific knowledge through syntheses. *The academy of management annals*, Taylor & Francis, v. 2, n. 1, p. 475–515, 2008.
- ROY, B. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. [S.l.]: Economica, 1985.
- ROY, B.; BOUYSSOU, D. *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. [S.l.]: Economica Paris, 1993.
- SAIDUR, R. et al. Environmental impact of wind energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 15, n. 5, p. 2423–2430, 2011.
- SAMPAIO, R. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista brasileira de fisioterapia*, SciELO Brasil, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007.
- SAMVEDI, A.; JAIN, V.; CHAN, F. T. Quantifying risks in a supply chain through integration of fuzzy ahp and fuzzy topsis. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 51, n. 8, p. 2433–2442, 2013.
- SCOPUS. *Scopus Preview*. Disponível em: <<https://www.scopus.com/home.uri>>. Acesso em: 07 abr. 2018.
- SCOTT, J. A.; HO, W.; DEY, P. K. A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. *Energy*, Elsevier, v. 42, n. 1, p. 146–156, 2012.
- ŞENGÜL, Ü. et al. Fuzzy topsis method for ranking renewable energy supply systems in turkey. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 75, p. 617–625, 2015.
- SØRENSEN, B. E. *Renewable energy: Physics, engineering, environmental impacts, economics and planning*. Academic Press, 2017.
- STRANTZALI, E.; ARAVOSSIS, K. Decision making in renewable energy investments: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 55, p. 885–898, 2016.
- TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estudos-CEBRAP*, SciELO Brasil, n. 79, p. 47–69, 2007.
- WANG, D. et al. Multi-step forecasting for hourly wind speed using multi-attribute decision making with empirical mode decomposition and computational intelligence sensor. *Sensor Letters*, v. 11, n. 11, p. 2159 – 2163, 2013. ISSN 1546198X. Combination weighting method;Computational Intelligence algorithms;Empirical Mode Decomposition;Generalization ability;Inverse transformations;Multi attribute decision making;Multi-attribute decisions;Wind speed forecasting;. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1166/sl.2013.2966>>.

WANG, J.-J. et al. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 13, n. 9, p. 2263–2278, 2009.

YAZDI, M. M. *topsis: TOPSIS method for multiple-criteria decision making (MCDM)*. [S.l.], 2013. R package version 1.0. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=topsis>>.

YUAN, J. et al. Wind power supply chain in china. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 39, p. 356–369, 2014.

ZAVADSKAS, E. et al. Hybrid multiple-criteria decision-making methods: A review of applications in engineering. *Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering*, Sharif University of Technology, v. 23, n. 1, p. 1, 2016.

ANEXO A – Documentação Pacote topsis

Package ‘topsis’

February 20, 2015

Type Package

Title TOPSIS method for multiple-criteria decision making (MCDM)

Version 1.0

Date 2013-09-24

Author Mahmoud Mosalman Yazdi

Maintainer Mahmoud Mosalman Yazdi <m.mosalman@gmail.com>

Description Evaluation of alternatives based on multiple criteria using TOPSIS method.

License GPL-2

NeedsCompilation no

Repository CRAN

Date/Publication 2013-09-30 20:15:19

R topics documented:

topsis	1
Index	3

topsis	<i>TOPSIS method for multiple-criteria decision making (MCDM)</i>
--------	---

Description

The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is a multiple-criteria decision making (MCDM) method.

Usage

```
topsis(decision = NULL, weights = NULL, impacts = NULL)
```

2

*topsis***Arguments**

<code>decision</code>	A numeric matrix with m rows for m alternatives and n columns for n criteria.
<code>weights</code>	A numeric vector with length equal to number of columns in decision matrix for weights of criteria.
<code>impacts</code>	A character vector of "+" and "-" signs for the way that each criterion influences on the alternatives.

Value

	A data frame including elements
<code>alt.row</code>	Row number of alternatives in decision matrix.
<code>score</code>	TOPSIS score of alternatives.
<code>rank</code>	Rank of alternatives based on TOPSIS scores.

Author(s)

Mahmoud Mosalman Yazdi <m.mosalman@gmail.com>

References

Yoon, K.P.; Hwang, C. (1995). *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. California: SAGE publications.

Examples

```
d <- matrix(rpois(12, 5), nrow = 4)
w <- c(1, 1, 2)
i <- c("+", "-", "+")
topsis(d, w, i)
```


Figura 17: Rotina do TOPSIS no software R

```

library("topsis")

##### Carregando dados
invest <- matrix(c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,
184436150,380760000,293842200,2878211500,407842400,1417830940,
251745500,1787791360,731342900,2217776570,960770000,84211200,
1836266000,781206120,257600000,834162740,371288030,2709493220,
798098000,72000000,386400000,404779880,
40,95,60,782,89,360,52,416,182,541,280,21,452,170,56,272,94,976,188,18,84,108,
2,3,2,36,3,13,2,17,9,31,10,1,16,6,2,18,5,42,7,1,3,4),
nrow=22,
ncol=4,
byrow=F)
inv_Quo <- matrix(c( invMW <- invest[ , 2]/invest[ , 3],
invQU <- invest[ , 2]/invest[ , 4],
QUMW <- invest[ , 3]/invest[ , 4]),
nrow=22,
ncol=3,
byrow=F)

d <- inv_Quo
w <- c(1, 1,1)
i <- c("-", "-", "+")

top_me <- topsis(d, w, i)

```

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: pei@ufba.br

Home page: <http://www.pei.ufba.br>

