

Fatores de risco na viabilidade econômica do investimento em energia eólica: uma revisão sistemática

Paulo Rotela Junior (Universidade Federal da Paraíba) paulo.rotela@gmail.com

Rômulo de Oliveira Azevêdo (Universidade Federal da Paraíba) romulocpm@hotmail.com

Sandra Naomi Morioka (Universidade Federal da Paraíba) sanmorioka@gmail.com

Giancarlo Aquila (Universidade Federal de Itajubá) giancarlo.aquila@yahoo.com

Luiz Célio Souza Rocha (Instituto Federal do Norte de Minas Gerais) luizrochamg@hotmail.com

Resumo:

A crescente demanda energética no mundo e a preocupação de fontes de energia que agredem em demasia o meio ambiente tem causado um crescente interesse por pesquisas que busquem alternativas de fontes renováveis de energia, como a energia eólica. Neste estudo foi realizada uma revisão sistemática da literatura, como meio de agrupar trabalhos sobre viabilidade econômica em energia eólica no mundo. O objetivo desta pesquisa foi investigar, dentro da literatura, quais são os principais fatores que impactam na viabilidade econômica do investimento em energia eólica. A busca foi realizada na base de dados eletrônica ISI *Web of Knowledge* (WoS) e gerou resultado inicial de 131 manuscritos, entre artigos e revisões. O processo de análise dos estudos envolveu a leitura de títulos, resumos e textos completos, bem como a aplicação de critérios de inclusão e exclusão dos manuscritos para essa revisão sistemática. A amostra final da pesquisa ficou com um total de 69 trabalhos, que foram sintetizados e analisados para identificar os fatores de risco. Como resultado da análise foram identificados 25 parâmetros citados como fatores de risco, e os cinco fatores mais citados foram: potência instalada, custo de investimento, velocidade do vento, custo de operação e manutenção e tempo de vida útil.

Palavras chave: Energia eólica, Potencial eólico, Viabilidade econômica, Fatores de risco, Energias renováveis.

Risk factors in the economic viability of wind energy investment: a systematic review

Abstract

The growing energy demand in the world and the preoccupation of energy sources that attack the environment too much have caused a growing interest in research that looks for alternatives to renewable energy sources, such as wind energy. In this study a systematic review of the literature was carried out, as a means of grouping works on economic viability in wind energy in the world. The objective of this research was to investigate, within the literature, what are the main factors that impact on the economic viability of the investment in wind energy. The search was performed in the electronic database ISI Web of Knowledge (WoS) and generated an initial result of 131 manuscripts, between articles and reviews. The process of analysis of the studies involved the reading of titles, abstracts and full texts, as well as the application of inclusion and exclusion criteria of the manuscripts for this systematic review. The final sample of the research was a total of 69 papers, which were synthesized and analyzed to identify the risk factors. As a result of the analysis, 25 parameters were identified as risk factors, and the five most cited factors were: installed power, investment cost, wind speed, operation and maintenance cost, and lifetime.

Keywords: Wind energy, Wind potential, Economic viability, Risk factors, Renewable energy.

1. Introdução

De acordo com Oliveira *et al.* (2017), o rápido crescimento da demanda energética no mundo e a busca por alternativas de geração de energia com baixa emissão de gases poluentes estão impulsionando a busca por fontes de energia renováveis. Fontes energéticas limpas e com abundantes quantidades de recursos vem recebendo grande atenção pelo mundo. Dentre essas fontes, destaca-se aqui a energia eólica.

Muitos pesquisadores tentam explorar as características econômicas que afetam a eletricidade produzida e os custos totais no desenvolvimento de turbinas eólicas. Estudar essas características é importante para se ater aos principais fatores que podem colaborar ou inviabilizar um projeto de energia eólica (JIE *et al.*, 2017).

Alguns fatores de risco, que podem tornar o investimento em energia eólica inviável financeiramente, têm sido apontados por autores que realizam esse tipo de estudo ao redor do mundo. Este trabalho foi feito a fim de investigar quais são esses principais fatores. Para isso, uma revisão sistemática da literatura foi aplicada com o objetivo de agrupar e examinar os principais fatores que devem ser avaliados num estudo de análise econômica desse tipo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 discute os materiais e métodos utilizados para atingir o objetivo da pesquisa; A seção 3 trata dos resultados e discussões, onde será apresentada a caracterização da amostra da literatura pesquisada, uma análise de rede de dados e a apresentação dos principais fatores de impacto identificados; e finalmente, a Seção 4 conclui o estudo.

2. Materiais e métodos

Uma revisão metodológica da literatura é um esforço crucial para qualquer pesquisa acadêmica (WEBSTER e WATSON, 2002). Descobrir o que já é conhecido é necessário antes de se iniciar qualquer estudo de pesquisa (HART, 1998). De acordo com Webster e Watson (2002), uma revisão efetiva da literatura é aquela que cria uma base sólida para o avanço do conhecimento, facilita o desenvolvimento de teorias, fecha áreas onde existe uma infinidade de pesquisas e descobre áreas onde a pesquisa é necessária.

Esta pesquisa apresenta uma revisão sistemática da literatura (RSL), com o objetivo de reunir uma amostra de trabalhos sobre a viabilidade econômica da energia eólica, a fim de entender e investigar os parâmetros econômicos que estão sendo mais analisados na literatura como fatores de risco.

Segundo Levy e Ellis (2006), a revisão da literatura é um processo que segue sistematicamente três passos: Entrada, Processamento e Saída.

Baseando-se no modelo desenvolvido por Conforto, Amaral e Silva (2011), para revisões sistemáticas, temos o processo de RSL dividido em três etapas: processo de entrada, com a definição do problema, objetivos, termos de busca, critérios de inclusão ou exclusão, métodos e ferramentas a serem pesquisados; etapa de processamento, onde está incluída a busca de manuscritos nas bases de dados, análise dos resultados da busca, realização de filtros desejados e a documentação dos resultados; e por fim o processo de saída, onde deve-se fazer uma análise dos artigos finais da busca e a construção de uma tabela com a síntese da pesquisa.

2.1 Fase de entrada

Esta fase consiste na construção do planejamento da RSL. O primeiro passo foi a definição do problema a ser estudado: “Quais os fatores que mais impactam na viabilidade econômica da energia eólica?”. Junto à definição do problema, foram alinhados os objetivos da pesquisa: identificar trabalhos que abordam o tema de viabilidade econômica em energia eólica e verificar os fatores que mais impactam financeiramente, segundo os autores.

Seguindo as etapas da fase de entrada, foram definidos termos de busca. No início da revisão, realizou-se uma busca de manuscritos focados no tema da problemática deste trabalho, identificando as principais palavras-chave que seriam, posteriormente, utilizadas na pesquisa de artigos e revisões

nas bases de dados. A base de dados selecionada para esta revisão foi *ISI Web of Knowledge (WoS)*. Foram realizadas duas pesquisas com os mesmos termos de busca, alternando o local de estrutura onde os termos deveriam ser encontrados nos trabalhos (entre título ou tópico). Os termos de busca utilizados foram “*economic feasibility*”, “*economic assessment*” ou “*economic viability*” associados aos termos “*wind energy*”, “*wind risk*” ou “*wind power*”. A pesquisa foi realizada na base de dados em 3 de agosto de 2018.

Com a busca realizada, aplicou-se critérios de inclusão e/ou exclusão a fim de refinar e melhorar a amostra, focando no objetivo deste trabalho. Os principais critérios de inclusão de trabalhos na amostra foram: (a) pesquisa aplicadas ao contexto global; (b) pesquisas em formato de artigos e revisões; (c) disponibilidade de acesso ao conteúdo completo; (d) literatura focada na avaliação econômica de energia eólica; (e) trabalhos disponíveis na língua inglesa.

No que se refere à exclusão dos trabalhos na amostra, os principais critérios usados foram: (a) falta de acesso ao conteúdo completo; (b) duplicidade de trabalhos; (c) trabalhos disponíveis apenas em idiomas diferentes do inglês; (d) pesquisas com temas que fogem do objetivo deste trabalho.

Definiu-se as principais ferramentas e metodologias a serem aplicadas no refinamento da pesquisa. Foi usada a base de dados *ISI Web of Knowledge* para obtenção dos manuscritos, o *software* bibliométrico *VOSviewer* para análise de rede de dados, e o *Microsoft Excel* para trabalhar e sintetizar os resultados e informações e na elaboração de gráficos de análise do conteúdo.

2.2 Fase de processamento

Nesta fase foi realizada a busca na base de dados, selecionando filtros que poderiam melhorar essa busca, de acordo com o tema a ser estudado. Os trabalhos encontrados foram filtrados em artigos e revisões, sendo esse o único filtro usado na base de dados desta pesquisa. No resultado da pesquisa, após os filtros, o número da amostra ficou em 131 manuscritos.

Da amostra de 131 manuscritos, por critérios de exclusão, restaram 127 trabalhos. Os artigos que restaram foram submetidos à leitura, a fim de refinar ainda mais essa pesquisa.

Inicialmente foram encontrados 127 artigos na busca, no entanto após a leitura de títulos, resumos e palavras-chave essa busca foi reduzida para 93 trabalhos, pois verificou-se que alguns dos temas tratados nos trabalhos fugiam do objetivo desta pesquisa, analisando fontes de energia diferentes da eólica ou trabalhos que não tratavam do estudo de viabilidade econômica.

Na segunda etapa de leitura foi dada atenção aos resultados e conclusão, pois eram nestes que se encontrava a análise econômica com mais ênfase, podendo verificar se os manuscritos de fato analisavam os fatores de impacto de acordo com o esperado. Nesta etapa a amostra diminuiu de 93 para 72 trabalhos, pois alguns dos trabalhos foram excluídos da amostra por não apresentarem os fatores de impacto na economia ou por não deixar claro a forma como os fatores influenciavam na viabilidade econômica. Por fim, na etapa final de leitura, os trabalhos foram submetidos à leitura completa e, após concluída, a amostra final ficou com um número de 69 manuscritos.

2.3 Fase de saída

Esta é a fase de síntese e análise dos resultados da pesquisa. Nesta fase, os fatores de risco foram identificados e apresentados numa tabela, em ordem da maior à menor ocorrência, explanando suas definições, como pode ser visto no apêndice A. Na sequência, todos os artigos da amostra final foram sintetizados e apresentados em uma tabela, organizados do mais recente ao mais antigo, anexando aos fatores de risco encontrados em cada um deles (ver apêndice B).

3. Resultados e discussões

3.1 Caracterização da amostra final

Ano de publicação: O primeiro artigo encontrado na pesquisa foi publicado no ano de 1984 e até meados de 2010 se nota que não haviam muitos estudos em viabilidade econômica de energia eólica, porém observa-se um crescimento de publicações na última década. Isso reflete o interesse cada vez

maior por fontes de energia renováveis, em especial a energia eólica. A figura 1 apresenta um gráfico da evolução de trabalhos publicados ao longo dos anos.

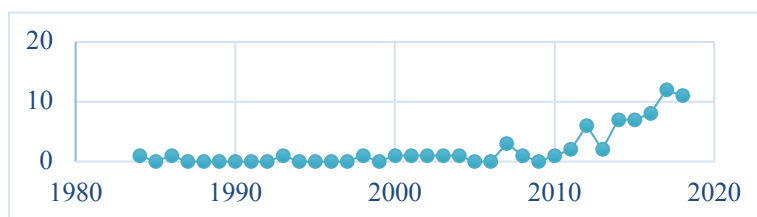


Figura 1 – Evolução do número de publicações por ano

Local de publicação: Foi observado que o local de estudo da viabilidade econômica em energia eólica influencia no resultado da avaliação, pois fatores como velocidade do vento, custo de eletricidade, políticas públicas, entre outros que dependem do local, têm uma grande influência no impacto econômico desses estudos. Por esse motivo, torna-se importante conhecer os principais locais onde esses trabalhos estão sendo realizados. A figura 2 apresenta um mapa de localização, nela se observa um maior interesse nesse tipo de estudo em regiões como o Estados Unidos, com 7 publicações na amostra, na Espanha e no Irã, com 6 publicações cada, e em países como Canadá, China e Grécia que aparecem com 4 publicações cada. Além disso, outros países aparecem na amostra com um número de 1 a 3 publicações, totalizando 32 diferentes países de publicação. Observa-se também uma concentração em países da Europa e na região sul da Ásia, isso ocorre pela dependência desses países por fontes de energia como o petróleo, cada vez mais escasso e a preços elevados, e também pela alta demanda energética destes países e a necessidade de atender essa demanda e reduzir os impactos ambientais.



Figura 2 – Mapa de localização de publicações da amostra

Número de citações: O número de citações de cada trabalho mostra a relevância que eles têm na literatura e o interesse em estudos no tema desta pesquisa. A figura 3 mostra os 15 artigos mais citados da amostra, nela nota-se que trabalhos realizados antes de 2010 ainda têm grande relevância na literatura. Referências como Greenblatt *et al* (2007) e Diaf *et al* (2008) aparecem com mais de 100 citações, sendo as publicações com maior número de citações da amostra. Além disso, a importância dos trabalhos na literatura pode ser observada pela média de citações por ano destes trabalhos, que reflete a intensidade que estes manuscritos estão impactando na literatura. Como exemplo, trabalhos mais recentes como os de Mohammadi e Mostafaeipour (2013), Fazelpour *et al* (2015) e Asumadu-Sarkodie e Owusu (2016), surgem com uma média alta de citações, o que mostra que estes trabalhos têm importância na literatura recente.

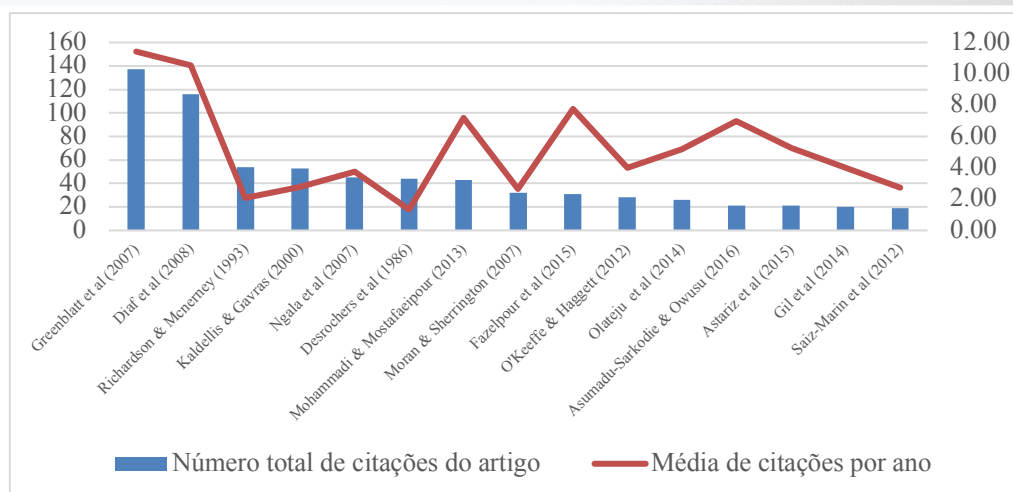


Figura 3 – Número e média de citações dos artigos mais citados da amostra

Periódicos: A figura 4 apresenta os principais periódicos com interesse no assunto, nos quais os trabalhos da amostra estão sendo publicados. No total apareceram 31 periódicos dentro desta pesquisa, isso pode ser visto com detalhes no apêndice B.

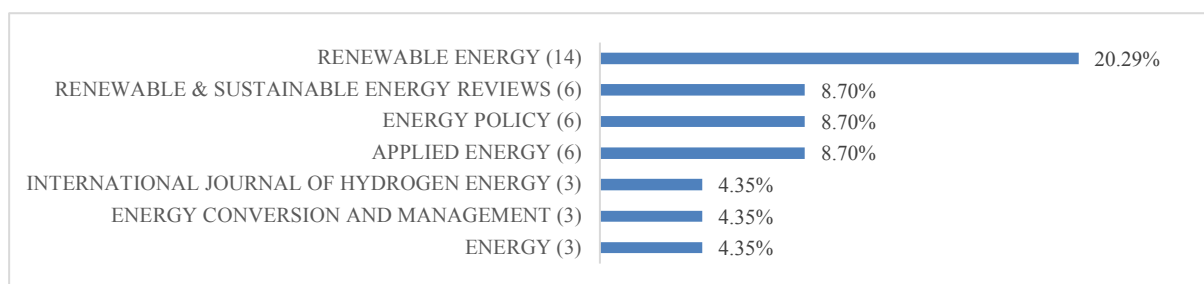


Figura 4 – Principais periódicos de publicações da amostra

3.2 Análise de rede de dados

Com o uso do *VOSviewer* foi realizada uma análise de rede dos dados da amostra para as principais palavras chaves, a fim de observar quais os principais termos usados na busca destes trabalhos e as ligações entre eles. Para esta análise foi criado um mapa baseado nos dados bibliográficos, selecionando os dados da amostra final de 69 trabalhos. O tipo de análise selecionado foi de “*co-ocorrência*”, o método de contagem foi “*full counting*” e a unidade de análise foi “*author keywords*”. Optou-se por um mínimo de ocorrências de palavras-chave igual a 3, para que o mapa mostre todos os termos que aparecem em pelo menos 3 trabalhos. Ao final foram identificadas 17 palavras-chave e o mapa de dados foi criado no modo “*overlay visualization*”, onde é possível analisar a evolução dos termos utilizados ao longo dos anos (ver figura 5).

Pode-se perceber que o termo “*wind energy*” é o que aparece com mais frequência, o que já era esperado, pois este foi um dos principais termos usados na busca desta pesquisa. Além disso é possível notar que termos mais recentes estão sendo utilizados, como “*wind speed*”, “*wind power density*” e “*offshore wind energy*”, enquanto termos como “*economic analysis*” e “*economic viability*” foram utilizados na literatura mais antiga e não aparecem com muita frequência, o que significa que estão sendo menos usados na literatura mais recente.

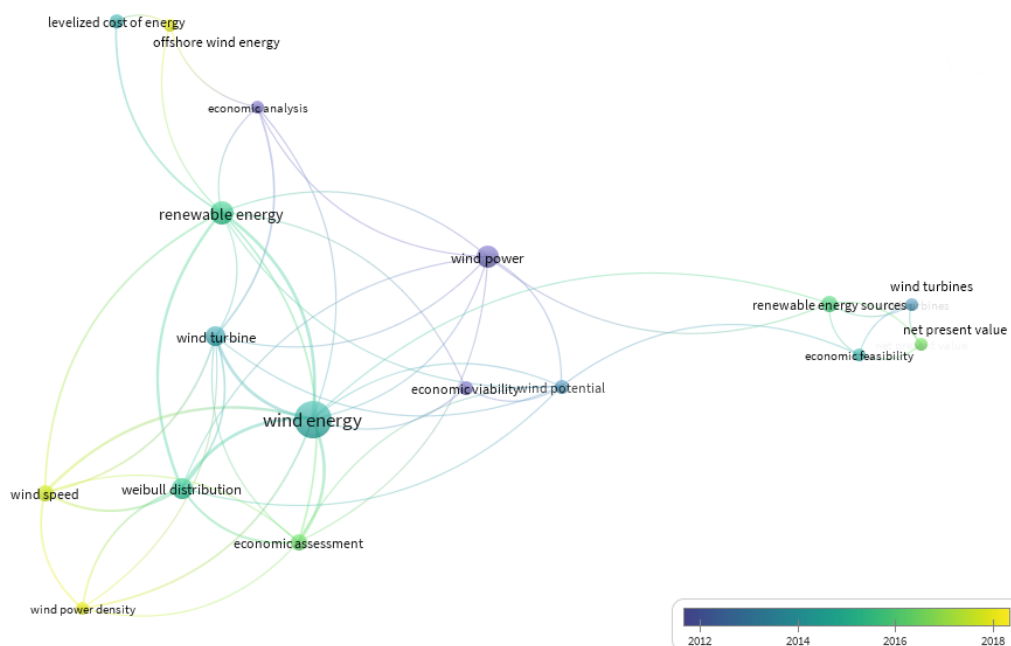


Figura 5 – Mapa de dados bibliográficos das principais palavras-chave da amostra

3.3 Fatores de risco identificados

Na RSL realizada foram encontrados 25 parâmetros vistos como fatores de risco na viabilidade econômica de energia eólica. O apêndice A detalha os fatores identificados, definindo os significados deles. A figura 6 apresenta os principais fatores de risco e nela pode-se observar que a potência instalada foi o fator mais citado, presente em todos os trabalhos da amostra, seguido de custo de investimento, velocidade do vento, custo de operação e manutenção e tempo de vida útil, que são citados 64, 62, 60 e 59 vezes, respectivamente.

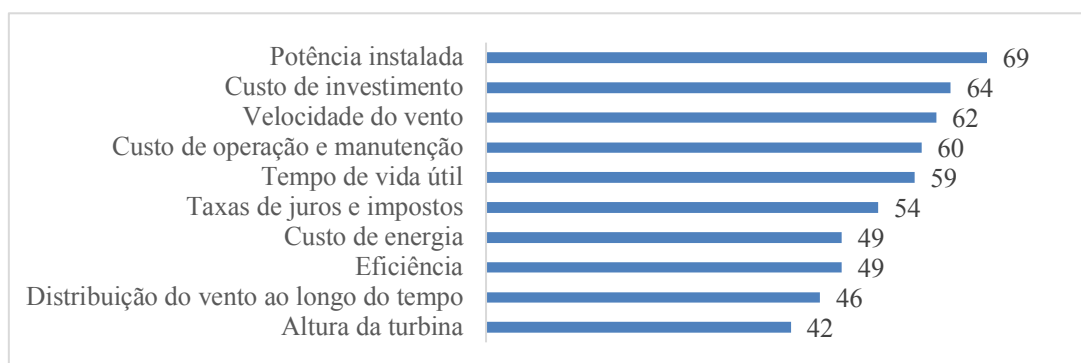


Figura 6 – Principais fatores de risco identificados na amostra

4. Conclusões

Este artigo revisou uma amostra inicial da base de dados *ISI Web of Knowledge* de 131 estudos sobre a viabilidade econômica do investimento em energia eólica. Após a leitura completa dos trabalhos, a amostra final ficou com 69 artigos e revisões, que foram sintetizados e examinados a fim de atingir o objetivo da pesquisa.

Na amostra final, pode-se perceber o crescimento de trabalhos na área de estudo, através do número de publicações por ano, bem como um interesse maior dessa amostra de pesquisa por regiões como o

Estados Unidos, Europa e sul da Ásia. Também foi mostrada a relevância dos trabalhos através do número e média de citações por ano e os principais periódicos de publicações do estudo presente.

Na pesquisa foram identificados 25 parâmetros como fatores de risco na viabilidade econômica do investimento em energia eólica. A potência instalada, o custo de investimento, a velocidade do vento, custo de operação e manutenção e o tempo de vida útil foram os fatores de risco que mais apareceram nos estudos. Além dos fatores mais citados é importante também dar atenção ao surgimento de outros fatores e decidir quais merecem ser avaliados para cada caso de estudo.

Os parâmetros analisados como fatores de risco dependem muito do local de avaliação, como é o caso da densidade do ar, temperatura, pressão atmosférica, custo de energia e preço de venda de energia, entre outros. Há fatores que podem ser interessantes na avaliação em alguns casos e em outros não, como exemplo vimos que em alguns trabalhos é importante estudar a variação do vento ao longo do dia (horários de pico e de menor velocidade do vento), enquanto para outros autores é importante apenas conhecer a média geral da velocidade do vento. Por isso é interessante para a avaliação econômica de energia eólica conhecer todos os parâmetros que estão sendo examinados e avaliar quais deles devem ser considerados no seu estudo.

Alguns dos autores têm dado atenção às condições de financiamento através de políticas públicas, como a taxa de juros cobrada, o prazo de financiamento e o valor financiado pelo governo. Estas condições podem oferecer uma amortização no custo de investimento, o que pode ajudar a tornar o projeto viável.

Com base nessas conclusões, trabalhos futuros poderiam (i) analisar de que forma esses fatores de risco impactam na viabilidade econômica de energia eólica e o grau de risco destes fatores; (ii) realizar um estudo de caso utilizando os 25 fatores de risco aqui identificados e nomeando novos riscos que porventura possam surgir.

Referências

- ABDELHADY, S.; BORELLO, D.; SHABAN, A.** *Assessment of levelized cost of electricity of offshore wind energy in Egypt.* Wind Engineering, v.41, p.160-173, 2017.
- AJAYI, O. O.; OHJEAGBON, O. D.** *Feasibility and techno-economic assessment of stand-alone and hybrid RE for rural electrification in selected sites of south eastern Nigeria.* International Journal of Ambient Energy, v.38, p.55-68, 2017.
- ALBANI, A.; IBRAHIM, M. Z.; YONG, K. H.** *The feasibility study of offshore wind energy potential in Kijal, Malaysia: the new alternative energy source exploration in Malaysia.* Energy Exploration & Exploitation, v.32, p.329-344, 2014.
- ALI, S.; LEE, S. M.; JANG, C. M.** *Techno-Economic Assessment of Wind Energy Potential at Three Locations in South Korea Using Long-Term Measured Wind Data.* Energies, v.10, n.1442, 2017.
- ARGATOV, I.; SHAFRANOV, V.** *Economic assessment of small-scale kite wind generators.* Renewable Energy, v.89, p.125-134, 2016.
- ASHGAR, A. B.; LIU, X. D.** *Estimation of wind speed probability distribution and wind energy potential using adaptive neuro-fuzzy methodology.* Neurocomputing, v.287, p.58-67, 2018.
- ASKARI, I. B.; AMERI, M.** *Techno-economic Feasibility Analysis of Stand-alone Renewable Energy Systems (PV/bat, Wind/bat and Hybrid PV/wind/bat) in Kerman, Iran.* Energy Sources Part B-Economics Plan. and Policy, v.7, p.45-60, 2012.
- ASTARIZ, S. et al.** *Co-located wave-wind farms: Economic assessment as a function of layout.* Renewable Energy, v.83, p.837-849, 2015.
- ASUMADU-SARKODIE, S.; OWUSU, P. A.** *The potential and economic viability of wind farms in Ghana.* Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects, v.38, p.695-701, 2016.
- BABARIT, A. et al.** *Techno-economic feasibility of fleets of far offshore hydrogen-producing wind energy converters.* International Journal of Hydrogen Energy, v.43, p.7266-7289, 2018.
- BELABES, B. et al.** *Evaluation of wind energy potential and estimation of cost using wind energy turbines for electricity generation in north of Algeria.* Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.51, p.1245-1255, 2015.
- CAPALLERO, M.** *Prediction of site specific wind energy value factors.* Renewable Energy, v.87, p.430-436, 2016.
- CASTRO-SANTOS, L. et al.** *Economic feasibility of floating offshore wind farms.* Energy, v.112, p.868-882, 2016.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA.** *Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos.* 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto – CNGDP 2011, v.8, n.1998, p.1-12, 2011.

- DESROCHERS, G.; BLANCHARD, M.; SUD, S.** *A Monte-Carlo Simulation Method for the Economic-Assessment of the Contribution of Wind Energy to Power-Systems.* Ieee Transactions On Energy Conversion, v.1, p.50-56, 1986.
- DIAF, S. et al.** *Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica island.* Energy Policy, v.36, p.743-754, 2008.
- FAZELPOUR, F.; MARKARIAN, E.; SOLTANI, N.** *Wind energy potential and economic assessment of four locations in Sistan and Balouchestan province in Iran.* Renewable Energy, v.109, p.646-667, 2017.
- FAZELPOUR, F. et al.** *Assessment of wind energy potential and economics in the north-western Iranian cities of Tabriz and Ardabil.* Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.45, p.87-99, 2015.
- FURUYA, O.; MAEKAWA, S.** *Technical and Economic-Assessment of Tethered Wind Energy-Systems.* Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the Asme, v.106, p.327-334, 1984.
- GENC, M. S.** *Economic Viability of Water Pumping Systems Supplied by Wind Energy Conversion and Diesel Generator Systems in North Central Anatolia, Turkey.* Journal of Energy Engineering-Asce, v.137, p.21-35, 2011.
- GIL, M. D.; GOMIS-BELLMUNT, O.; SUMPER, A.** *Technical and economic assessment of offshore wind power plants based on variable frequency operation of clusters with a single power converter.* Applied Energy, v.125, p.218-229, 2014.
- GILLENWATER, M.; LU, X.; FISCHLEIN, M.** *Additionality of wind energy investments in the U.S. voluntary green power market.* Renewable Energy, v.63, p.452-457, 2014.
- GONZALEZ-APARICIO, I.; KAPETAKI, Z.; TZIMAS, E.** *Wind energy and carbon dioxide utilisation as an alternative business model for energy producers: A case study in Spain.* Applied energy, v.222, p.216-227, 2018.
- GREENBLATT, J. B.** *Baseload wind energy: modeling the competition between gas turbines and compressed air energy storage for supplemental generation.* Energy Policy, v.35, p.1474-1492, 2007.
- HAMOUDA, Y. A.** *Wind energy in Egypt: Economic feasibility for Cairo.* Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.16, p.3312-3319, 2012.
- HART, C.** *Doing a literature review: Releasing the social Science research imagination.* Londres: Sage Publications, 1998.
- HULIO, Z.; JIANG, W.; REHMAN, S.** *Technical and economic assessment of wind power potential of Nooriabad, Pakistan.* Energy Sustainability and Society, v.7, n.35, 2017.
- JIE, Z. et al.** *Economic feasibility of electricity generation from wind farms: A case study.* Energy Sources Part B-economics Planning and Policy, v.13, p.1-5, 2018.
- KALDELLIS, J. K.; GAVRAS, T. J.** *The economic viability of commercial wind plants in Greece - A complete sensitivity analysis.* Energy Policy, v.28, p.509-517, 2000.
- KAPSALI, M.; KALDELLIS, J. K.; ANAGNOSTOPOULOS, J. S.** *Investigating the techno-economic perspectives of high wind energy production in remote vs interconnected island networks.* Applied Energy, v.173, p. 238-254, 2016.
- KARLIS, A. D.; DERMENTZOGLU, J. C.; PAPADOPOULOS, D. P.** *Wind energy surveying and technoeconomic assessment of identifiable WEC system installations.* Energy Conversion and Management, v.42, p.49-67, 2001.
- KATSIGIANNIS, Y. A.; STAVRAKAKIS, G. S.** *Estimation of wind energy production in various sites in Australia for different wind turbine classes: A comparative technical and economic assessment.* Renewable Energy, v.67, p.230-236, 2014.
- KIRMANI, S.; JAMIL, M.; AKHTAR, I.** *Economic feasibility of hybrid energy generation with reduced carbon emission.* In IET Renewable Power Generation, v.12, n.8, p.934-942, 2018.
- KOSE, F.; AKSOY, M. H.; OZGOREN, M.** *An assessment of wind energy potential to meet electricity demand and economic feasibility in Konya, Turkey.* International Journal of Green Energy, v.11, p.559-576, 2014.
- LEVY, Y.; ELLIS, T. J.** *A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research.* Informing Science, v.9, p.181-211, 2006.
- LI, B. H.; DECAROLIS, J. F.** *A techno-economic assessment of offshore wind coupled to offshore compressed air energy storage.* Applied Energy, v.155, p.315-322, 2015.
- LI, Y. et al.** *Assessment of onshore wind energy potential under different geographical climate conditions in China.* Energy, v.152, p.498-511, 2018.
- LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A.** *Domestic application of micro wind turbines in Ireland: Investigation of their economic viability.* Renewable Energy, v.41, p.64-74, 2012.
- LIU, G. et al.** *General indicator for techno-economic assessment of renewable energy resources.* Energy Conversion and Management, v.156, p.416-426, 2018.
- MATTAR, C.; GUZMAN-IBARRA, M. C.** *A techno-economic assessment of offshore wind energy in Chile.* Energy, v.133, p.191-205, 2017.
- MOHAMMADI, K.; MOSTAFAEIPOUR, A.** *Economic feasibility of developing wind turbines in Aligoodarz, Iran.* Energy Conversion and Management, v.76, p.645-653, 2013.
- MOHAMMADI, K. et al.** *Application and economic viability of wind turbine installation in Lutak, Iran.* Environmental Earth Sciences, v.75, n.248, 2016.

- MOHSIN, M.; RASHEED, A. K.; SAIDUR, R. *Economic viability and production capacity of wind generated renewable hydrogen*. International Journal of Hydrogen Energy, v.43, p.2621-2630, 2018.
- MORAN, D.; SHERRINGTON, C. *An economic assessment of windfarm power generation in Scotland including externalities*. Energy Policy, v.35, p.2811-2825, 2007.
- MOTA, A.; MOTA, L.; GALIANA, F. *Analytical Economic Assessment of Distributed Wind Power Penetration in Electric Power Systems with Centralized Thermal Generation*. Ieee Latin America Transactions, v.9, p.726-731, 2011.
- MUDASSER, M.; YIRIDOE, E. K.; CORSCADDEN, K. *Economic feasibility of large community feed-in tariff-eligible wind energy production in Nova Scotia*. Energy Policy, v.62, p.966-977, 2013.
- MUNKSGAARD, J.; LARSEN, A. *Socio economic assessment of wind power - lessons from Denmark*. Energy Policy, v.26, p.85-93, 1998.
- NGALA, G. M.; ALKALI, B.; AJI, M. A. *Viability of wind energy as a power generation source in Maiduguri, Borno state, Nigeria*. Renewable Energy, v.32, p.2242-2246, 2007.
- NOR, K. M.; SHAABAN, M.; RAHMAN, H. A. *Feasibility assessment of wind energy resources in Malaysia based on NWP models*. Renewable Energy, v.62, p.147-154, 2014.
- O'KEEFFE, A.; HAGGETT, C. *An investigation into the potential barriers facing the development of offshore wind energy in Scotland: Case study - Firth of Forth offshore wind farm*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.16, p.3711-3721, 2012.
- OLATEJU, B.; MONDS, J.; KUMAR, A. *Large scale hydrogen production from wind energy for the upgrading of bitumen from oil sands*. Applied Energy, v.118, p.48-56, 2014.
- OLIVEIRA, A. N.; GOMES, M. S. S.; MORIS, V. A. S. *Avaliação de ciclo de vida da energia eólica offshore: uma revisão da literatura*. In: Congresso de energias renováveis – CONER, 2017, Sorocaba – SP. Anais do congresso de energias renováveis – CONER, 2017.
- OLIVER, D.; GROULX, D. *Thermo-economic assessment of end user value in home and community scale renewable energy systems*. Journal of Renewable and Sustainable Energy, v.4, n.23117, 2012.
- PAPADOPOULOS, D. P.; DERMENTZOGLU, J. C. *Economic viability analysis of planned WEC system installations for electrical power production*. Renewable Energy, v.25, p.199-217, 2002.
- PARK, E. et al. *Economic Feasibility of Renewable Electricity Generation Systems for Local Government Office: Evaluation of the Jeju Special Self-Governing Province in South Korea*. Sustainability, v.9, n.82, 2017.
- QOLIPOUR, M.; MOSTAFAEIPOUR, A.; TOUSI, O. M. *Techno-economic feasibility of a photovoltaic-wind power plant construction for electric and hydrogen production: A case study*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.78, p.113-123, 2017.
- RAHMAN, M.; BAKY, M. H.; ISLAM, A. K. M. S. *Electricity from Wind for Off-Grid Applications in Bangladesh: A Techno-Economic Assessment*. International Journal of Renewable Energy Development-Ijred, v.6, p.55-64, 2017.
- RAMADAN, H. S. *Wind energy farm sizing and resource assessment for optimal energy yield in Sinai Peninsula, Egypt*. Journal of Cleaner Production, v.161, p.1283-1293, 2017.
- RAMLI, M. A. M.; TWAHA, S.; ALGHAMD, A. U. *Energy production potential and economic viability of grid-connected wind/PV systems at Saudi Arabian coastal areas*. Journal of Renewable and Sustainable Energy, v.9, 2017.
- RASHEED, A.; LEE, J. W.; LEE, H. W. *Feasibility Evaluation of the Wind Energy as an Alternative Energy Source for the Irrigation of Greenhouse Crops*. International Journal of Renewable Energy Research, v.6, p.1545-1555, 2016.
- RECALDE, M. *Wind power in Argentina: Policy instruments and economic feasibility*. International Journal of Hydrogen Energy, v.35, p.5908-5913, 2010.
- RICHARDSON, R. D.; MCNERNEY, G. M. *Wind energy-systems*. Proceedings of the Ieee, v.81, p.378-389, 1993.
- ROCHA, L. C. S. et al. *A stochastic economic viability analysis of residential wind power generation in Brazil*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.90, p.412-419, 2018.
- SAIZ-MARIN, E. et al. *Economic Assessment of the Participation of Wind Generation in the Secondary Regulation Market*. Ieee Transactions on Power Systems, v.27, p.866-874, 2012.
- SAIZ-MARIN, E. et al. *Economic assessment of voltage and reactive power control provision by wind farms*. Wind Energy, v.18, p.851-864, 2015.
- SERRI, L. et al. *Wind energy plants repowering potential in Italy: technical-economic assessment*. Renewable Energy, v.115, p.382-390, 2018.
- SOE, T. T.; ZHENG, M. S.; AUNG, Z. N. *Assessment of Economic Feasibility on Promising Wind Energy Sites in Myanmar*. International Journal of Renewable Energy Research, v.5, p.548-557, 2015.
- STOCKTON, K. M. *Utility-scale wind on islands: an economic feasibility study of Ilio Point, Hawai'i*. Renewable Energy, v.29, p.949-960, 2004.
- TEETZ, H. W.; HARMS, T. M.; VON BACKSTROM, T. W. *Assessment of the wind power potential at SANAE IV base, Antarctica: a technical and economic feasibility study*. Renewable Energy, v.28, p.2037-2061, 2003.

TUYET, N. T. A.; CHOU, S. Y. *Impact of government subsidies on economic feasibility of offshore wind system: Implications for Taiwan energy policies.* Applied Energy, v.217, p.336-345, 2018.

WATTS, D.; OSES, N.; PEREZ, R. *Assessment of wind energy potential in Chile: A project-based regional wind supply function approach.* Renewable Energy, v.96, p.738-755, 2016.

WEBSTER, J. & WATSON, R. T. *Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review.* MIS Quarterly, 26(2), p.13-23, 2002.

WYMAN, C. M.; JABLONOWSKI, C. J. *A Workflow and Estimate for the Economic Viability of Offshore Wind Projects.* Wind Engineering, v.39, p.579-594, 2015.

YAROVA, N.; VORKUNOVA, O.; KHOTEYEVA, N. *Economic assessment of the alternative energy sources implementation for port enterprises.* Economic Annals-xxi, v.166, p.46-50, 2017.

APÊNCICE A – Fatores de risco identificados na literatura

Fator de risco		Definição
1	Potência instalada	A potência instalada geralmente é medida em MW ou KW e é calculada de acordo com a demanda energética necessária e a capacidade das turbinas. O preço das turbinas depende do modelo e capacidade delas.
2	Custo de investimento	Grande parte do custo de investimento incide sobre os aerogeradores escolhidos. Neste custo inclui o projeto, aerogerador, infraestrutura civil e elétrica, instalação e transporte.
3	Velocidade do vento	É considerada uma velocidade média, geralmente em m/s, do vento para verificar o potencial eólico do local estudado.
4	Custo de operação e manutenção	Geralmente o custo com operação e manutenção é calculado como porcentagem do custo de investimento. Estes custos são considerados para garantir o bom funcionamento da instalação até o fim do período de vida útil dela.
5	Tempo de vida útil	Esse é o tempo considerado como tempo efetivo de funcionamento das turbinas, para saber o quanto vai durar o projeto e montar o fluxo de caixa em cima desse período. Medido em anos.
6	Taxas de juros e impostos	Ao avaliar os custos, a maioria dos autores consideram as taxas de juros ao ano e a taxa impostos cobrados pelo governo, para incluir (em %) esse acréscimo no fluxo de caixa.
7	Custo de energia	O gasto com energia é considerado para medir a economia gerada quando se utiliza da energia eólica em relação ao valor gasto com energia convencional.
8	Eficiência	A eficiência dos geradores relaciona a produção efetiva de energia com a capacidade máxima de produção. Geralmente os autores analisam a eficiência em termos de fator de capacidade, em %.
9	Distribuição do vento ao longo do tempo	Muitos autores usam uma distribuição de probabilidade do vento, a fim de prever suas variações ao longo do tempo. Geralmente se utiliza a distribuição de Weibull, utilizando parâmetros de probabilidade.
10	Altura da turbina	A altura da turbina influencia na captação do vento. Quanto mais alta, maior a velocidade do vento e maior a produção de energia. Deste modo muitos autores caracterizam a altura das turbinas como fator de risco.
11	Diâmetro do rotor	O diâmetro do rotor define a área de varredura das turbinas, que define a capacidade da turbina na captação de vento. Este fator geralmente é medido em metros.
12	Preço de venda de energia	Alguns autores consideram a geração de energia eólica ligada à rede de conexão local, sendo vendido à rede o potencial de energia gerado que não é consumido. Os preços de venda depende da localidade e incentivos de políticas públicas.
13	Densidade do ar	Este fator pode afetar na produção de energia eólica porque a energia cinética do vento é proporcional à densidade do ar, geralmente medida em Kg/m ³ .
14	Taxa de inflação	Alguns dos autores consideram o aumento anual no preço da energia, em %, para calcular o custo com eletricidade ou sobre o preço de venda da energia.
15	Variação do vento ao longo do dia	Em alguns casos os autores estudaram a variação do vento ao longo do dia, a fim de verificar horários de pico e de redução na velocidade do vento e considerar essa variação no impacto econômico.
16	Temperatura	Assim como a pressão atmosférica, a temperatura do local influencia na densidade do ar, e por isso é citada por alguns autores como fator de impacto. Medida geralmente em °C.
17	Condições de financiamento	Alguns estudos consideram as condições disponibilizadas para financiamento do valor investido, a fim de amortizar este valor. Aqui são considerados o prazo de financiamento, o valor financiado e taxa de juros.
18	Tempo de operação	Tempo de operação é o tempo que as turbinas gastam em funcionamento efetivo, para a produção de energia. Geralmente medido em horas.
19	Localização da turbina	Para alguns pesquisadores o local onde a turbina é instalada tem que ser avaliado com atenção, desde o custo de transporte para instalação até o potencial eólico no local instalado deve ser observado.
20	Aluguel de terra	Em alguns casos foram considerados um valor adicional ao aluguel de terras para instalação do sistema de energia eólico.
21	Rugosidade do	Alguns autores argumentam que os ventos são muito influenciados pela rugosidade do terreno.

	terreno	Quanto maior a rugosidade, menor a velocidade do vento. Medida em comprimentos de rugosidade (mm).
22	Pressão atmosférica	A densidade do ar é uma variável que depende da pressão atmosférica em cada local, por isso alguns autores utilizam a pressão do ar como fator de impacto. Geralmente medida em Pa ou mmHg.
23	Custo de depreciação	Alguns autores também consideram o custo de depreciação das máquinas. Este é o custo que representa o valor das máquinas perdido ao longo do tempo, medido em % ao ano.
24	Número de lâminas da turbina	Alguns autores incluem o número de lâminas, ou pás, das turbinas como um fator econômico, que influencia na qualidade da turbina.
25	Tempo de construção	Esse é o tempo que se leva do projeto até o funcionamento do sistema de energia eólico. Esse tempo é analisado principalmente pelo valor investido no início do projeto. Medido em anos.

APÊNDICE B – Síntese de artigos da amostra final

Autor	Localização	Citações	Fatores de risco	Periódico
González-Aparicio <i>et al.</i> (2018)	Espanha	0	1-9,15	<i>Applied Energy</i>
Rocha <i>et al.</i> (2018)	Brasil	0	1-3,5-14,17	<i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i>
Kirmani <i>et al.</i> (2018)	Índia	0	1-3,5,7,12,17	<i>Int Renewable Power Generation</i>
Li <i>et al.</i> (2018)	China	0	1-11,13,15	<i>Energy</i>
Tuyet & Chou (2018)	Taiwan	0	1-6,8-14,16,17,21,23	<i>Applied Energy</i>
Asghar & Liu (2018)	China	1	1,3,8-11,13	<i>Neurocomputing</i>
Babarit <i>et al.</i> (2018)	França	0	1-5,7,8,10,13	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>
Mohsin <i>et al.</i> (2018)	Paquistão	1	1-14,21,23	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>
Liu <i>et al.</i> (2018)	China	1	1-8,10,11,13,23	<i>Energy Conversion and Management</i>
Jie <i>et al.</i> (2018)	China	0	1,3,5,8-10,15	<i>Energy Sources Part B-Economics Planning & Policy</i>
Serri <i>et al.</i> (2018)	Itália	2	1-6,10,12	<i>Renewable Energy</i>
Yarova <i>et al.</i> (2017)	Ucrânia	0	1-8,12	<i>Economic Annals-Xxi</i>
Hulio <i>et al.</i> (2017)	Paquistão	0	1-11,13,15,16,22	<i>Energy Sustainability and Society</i>
Ramli <i>et al.</i> (2017)	Arábia Saudita	0	1-7,9-12,14,15,21	<i>Journal of Renewable and Sustainable Energy</i>
Qolipour <i>et al.</i> (2017)	Irã	12	1-5,7-9,12,15,16,22	<i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i>
Ramadan (2017)	Egito	3	1-11,13,16,21,22	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Ali <i>et al.</i> (2017)	Coreia do Sul	2	1-14,16,22,23	<i>Energies</i>
Mattar & Guzman-Ibarra (2017)	Chile	3	1-6,8-13,16,21,22	<i>Energy</i>
Fazelpour <i>et al.</i> (2017)	Irã	3	1-11,13,15,16,20,22	<i>Renewable Energy</i>
Abdelhady <i>et al.</i> (2017)	Egito	0	1-11,13,16,22	<i>Wind Engineering</i>
Rahman <i>et al.</i> (2017)	Bangladesh	2	1-7,9-11,14	<i>International Journal of Renewable Energy Development-Ijred</i>
Park <i>et al.</i> (2017)	Coreia do Sul	3	1-7,9,10,12,14	<i>Sustainability</i>
Ajayi & Ohijeagbon (2017)	Nigéria	1	1-6,9-12,18	<i>International Journal of Ambient Energy</i>
Castro-Santos <i>et al.</i> (2016)	Espanha	10	1-7,10,11	<i>Energy</i>
Watts <i>et al.</i> (2016)	Chile	7	1-10,13,16,22	<i>Renewable Energy</i>
Kapsali <i>et al.</i> (2016)	Grécia	4	1-7,9	<i>Applied Energy</i>
Argatov & Shafranov (2016)	Alemanha	0	1-4,6-8,10,11,13,20	<i>Renewable Energy</i>
Capellaro (2016)	Alemanha	6	1,3,8-13,15	<i>Renewable Energy</i>
Mohammadi <i>et al.</i> (2016)	Irã	1	1-14	<i>Environmental Earth Sciences</i>
Rasheed <i>et al.</i> (2016)	Coreia do Sul	1	1-7,9-11	<i>International Journal of Renewable Energy Research</i>

Asumadu-Sarkodie & Owusu (2016)	Gana	21	1-8,10-12,14,19,20	<i>Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects</i>
Belabes <i>et al.</i> (2015)	Argélia	9	1-6,8-12,14,24	<i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i>
Astariz <i>et al.</i> (2015)	Espanha	21	1-6,8,9,12,15,19,20	<i>Renewable Energy</i>
Wyman & Jablonowski (2015)	Estados Unidos	0	1-8,10,11,14	<i>Wind Engineering</i>
Li & DeCarolis (2015)	Estados Unidos	8	1-9,18	<i>Applied Energy</i>
Saiz-Marin <i>et al.</i> (2015)	Espanha	3	1,3,8,12,18	<i>Wind Energy</i>
Fazelpour <i>et al.</i> (2015)	Irã	31	1-6,8,9,11-13,15,16,20,22,24	<i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i>
Soe <i>et al.</i> (2015)	Myanmar	1	1-8,10,11,13,14,16-19,22	<i>International Journal of Renewable Energy Research</i>
Gil <i>et al.</i> (2014)	Espanha	20	1-7,9,11,14,18	<i>Applied Energy</i>
Kose <i>et al.</i> (2014)	Turquia	12	1-11,13,15,16,19-21	<i>International Journal of Green Energy</i>
Katsigiannis & Stavrakakis (2014)	Austrália	16	1-6,8-11,17,19	<i>Renewable Energy</i>
Olateju <i>et al.</i> (2014)	Canadá	26	1-5,8	<i>Applied Energy</i>
Gillenwater <i>et al.</i> (2014)	Estados Unidos	6	1-9,12,17,23	<i>Renewable Energy</i>
Nor <i>et al.</i> (2014)	Malásia	18	1-4,7,9,10,12-14,17	<i>Renewable Energy</i>
Albani <i>et al.</i> (2014)	Malásia	8	1-6,8-11,19	<i>Energy Exploration & Exploitation</i>
Mohammadi & Mostafaeipour (2013)	Irã	43	1-7,9,10,13-15	<i>Energy Conversion and Management</i>
Mudasser <i>et al.</i> (2013)	Canadá	4	1-12,14,15,17-20	<i>Energy Policy</i>
O'Keeffe & Haggett (2012)	Reino Unido	28	1,2,4,6-8,14,17	<i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i>
Hamouda (2012)	Egito	11	1-7,9,10,14,21	<i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i>
Saiz-Marin <i>et al.</i> (2012)	Espanha	19	1,2,7,8,12,15,18	<i>Ieee Transactions on Power Systems</i>
Li <i>et al.</i> (2012)	Irlanda	11	1-5,7,10,12,14,15,17	<i>Renewable Energy</i>
Oliver & Groulx (2012)	Canadá	4	1,2,4-8,14	<i>Journal of Renewable and Sustainable Energy</i>
Askari & Ameri (2012)	Irã	14	1-5,8,9,15,18	<i>Energy Sources Part B-Economics Planning & Policy</i>
Mota <i>et al.</i> (2011)	Brasil	4	1-3,7-9	<i>Ieee Latin America Transactions</i>
Genc (2011)	Turquia	9	1-12,18,19	<i>Journal of Energy Engineering-Asce</i>
Recalde (2010)	Argentina	10	1-6,9,21	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>
Diaf <i>et al.</i> (2008)	Argélia	116	1-5,9,16,18	<i>Energy Policy</i>
Ngala <i>et al.</i> (2007)	Nigéria	45	1-6,8-10	<i>Renewable Energy</i>
Moran & Sherrington (2007)	Escócia	32	1,2,4-8,20,23,25	<i>Energy Policy</i>
Greenblatt <i>et al.</i> (2007)	Estados Unidos	137	1-8,10,11,13,14,17,18,20,23,25	<i>Energy Policy</i>
Stockton (2004)	Estados Unidos	7	1-8,10,11,14,17,20,24	<i>Renewable Energy</i>
Teetz <i>et al.</i> (2003)	África do Sul	10	1-7,9,10,13,16,18,19,21	<i>Renewable Energy</i>
Papadopoulos & Dermentzoglou (2002)	Grécia	11	1,2,4-6,9,12,14,17,19	<i>Renewable Energy</i>
Karlis <i>et al.</i> (2001)	Grécia	7	1-6,8,9,12,14,17,19,25	<i>Energy Conversion and Management</i>
Kaldellis & Gavras (2000)	Grécia	53	1,2,4-8,12,14,19	<i>Energy Policy</i>
Munksgaard & Larsen (1998)	Dinamarca	8	1,2,5-7,19,21	<i>Energy Policy</i>
Richardson & Mcnemey (1993)	Estados Unidos	54	1-8,13,15,23,24	<i>Proceedings of the Ieee</i>
Desrochers <i>et al.</i> (1986)	Canadá	44	1,3,4,7,13,16,18	<i>Ieee Transactions on Energy Conversion</i>
Furuya & Maekawa (1984)	Estados Unidos	2	1-4,6-9,11,13,18,24	<i>Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of The Asme</i>