

## COMPORTAMENTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Paula Rose de Araújo Santos <sup>1</sup>  
Luiz Moreira Coelho Junior <sup>2</sup>  
Raphael Abrahão <sup>3</sup>

### Resumo

A intensificação do efeito estufa eleva a temperatura da Terra, provocando modificações no comportamento climático em diferentes escalas. As fontes renováveis são um caminho para diminuir a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, todavia, há uma forte dependência climática deste tipo de energia. Acontece que as variações no clima impactam de forma direta os recursos naturais, alterando o regime das chuvas, a temperatura, a nebulosidade, a velocidade e direção dos ventos e outros aspectos relacionados ao clima. A partir dos modelos climáticos globais (GCM's) associados aos modelos climáticos regionais (RCM's) é possível simular o comportamento futuro do clima em distintas regiões. Os GCM's e os RCM's utilizam diferentes parâmetros para gerar resultados que demonstrem estimativas do clima futuro, no entanto, é preciso levar em consideração as incertezas geradas. O presente trabalho teve o objetivo de realizar uma revisão bibliográfica dos principais trabalhos relacionando modelos climáticos e energias renováveis publicados em periódicos internacionais. A busca foi realizada no banco de dados Web of Science - Coleção Principal (Clarivate Analytics), empregando-se um conjunto de palavras-chave pré-determinadas. Foram aplicados alguns filtros para selecionar apenas trabalhos no contexto ambiental relacionados às fontes energéticas renováveis frente às transformações no clima. Foi possível entender os resultados de uma série de artigos que mostraram como a geração de energia através das fontes renováveis será afetada diante das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Modelos climáticos, Alterações climáticas, Fontes renováveis.

### INTRODUÇÃO

O aquecimento global e conseqüentemente a elevação da temperatura terrestre trazem o receio de como as fontes renováveis se comportarão diante das alterações climáticas (INVIDIATA; GHISI, 2016). O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) relatou que as mudanças no clima afetam de forma direta os recursos renováveis (IPCC, 2014). No cenário atual, buscam-se meios para diminuir a emissão de gases do efeito estufa, e a utilização das energias renováveis é uma opção para substituição dos combustíveis fósseis. Entretanto, o comportamento dos recursos renováveis é dependente das condições climáticas (FANT; SCHLOSSER; STRZEPEK, 2015; RAVESTEIN et al., 2018). Por outro lado, as fontes naturais de energia podem sofrer alterações devido às modificações do clima. A variabilidade climática pode afetar a irradiação solar, a intensidade

<sup>1</sup> Mestranda do Curso de Energias renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, paularose@cear.ufpb.br;

<sup>2</sup> Professor: Doutor, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, luiz@cear.ufpb.br.;

<sup>3</sup> Professor orientador: Doutor, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, raphael@cear.ufpb.br;

dos ventos (SHEN; LIOR, 2016) e a geração de energia a partir da água pela modificação nos regimes das chuvas e elevação da temperatura nas diferentes regiões (CHILKOTI; BOLISETTI; BALACHANDAR, 2017).

A necessidade de compreender o comportamento climático futuro levou ao desenvolvimento de modelos climáticos globais (GCM's) e modelos climáticos regionais (RCM's). Esses modelos são capazes de simular o comportamento climático a partir de representações físicas e matemáticas, em níveis globais e regionais, utilizando diversos parâmetros. Assim, são capazes de estimar como o clima afetará as distintas regiões em diferentes períodos de tempo (QUEIROZ et al., 2016). Contudo, deve-se levar em consideração que a utilização de diferentes modelos pode gerar resultados divergentes (MOEMKEN et al., 2018). Quando são utilizados mais de um modelo, os resultados obtidos ajudam a diminuir as incertezas (PAŠIČKO; BRANKOVIĆ; ŠIMIĆ, 2012). Este trabalho apresenta alguns estudos realizados a respeito das implicações das mudanças climáticas sobre as energias renováveis derivados da aplicação de modelos climáticos. O propósito foi compreender como as modificações no clima podem afetar a geração de energia a partir das fontes renováveis e a importância de conhecer essas mudanças para a aplicação de medidas mitigadoras.

## **METODOLOGIA**

A pesquisa foi realizada utilizando o banco de dados Web of Science - Coleção Principal (Clarivate Analytics). Utilizaram-se as palavras-chave: “climate model”, “climate change” e “renewable energy”, encontrando-se 30 resultados. Destaca-se que com o objetivo de selecionar apenas artigos em que as palavras-chave ocorressem de forma simultânea utilizou-se o conectivo “and”. Dos 30 resultados encontrados foram selecionados apenas os artigos científicos de periódicos, resultando em 25 artigos. Com o intuito de refinar a pesquisa apenas para dados relacionados ao cenário ambiental e a respeito das energias renováveis, excluíram-se as categorias Computer Science Interdisciplinary Applications e Public Administration, restando 23 artigos. Foi realizada uma análise nos 23 artigos selecionados e 02 foram desconsiderados por não terem como foco a influências das mudanças climáticas nas energias renováveis. Por fim, analisaram-se os resumos para confirmar o enquadramento na temática e todos os artigos selecionados foram estudados de forma integral. O período escolhido para a pesquisa foi de 1945 a 2019, no entanto, com as palavras-chave utilizadas o documento mais antigo encontrado foi de 2005.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa completa resultou em 21 artigos internacionais relacionados ao tema (Tab. 1).

Tabela 1: Detalhes dos artigos selecionados durante a pesquisa.

| <b>Autor(es)</b>                          | <b>Modelos Climáticos</b>  | <b>Local</b>   |
|---|--|--|
| (DE JONG et al., 2019)                    | HADGEM2-ES, MIROC5, CANESM2. RCM: Eta  | Brasil   |
| (MOEMKEN et al., 2018)                    | GCMs: CNRM-CM5, EC-EARTH, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR e IPSL-CM5A-MR. RCM: COSMO-CLM e RCA4                 | Europa   |
| (RAVESTSTEIN et al., 2018)                | EC-EARTH   | Atlântico Norte e Europa                                 |
| (SUN et al., 2018)                        | WEAP e LEAD  | Pequim-Tianjin-Hebei, China.                             |
| (TARROJA et al., 2018)                    | CanESM2, CNRM-CM5, HadGEM2-ES e MIROC5   | Califórnia   |
| (CHILKOTI; BOLISSETTI; BALACHANDAR, 2017) | RCM: CanRCM4, RCA4, HIRHAM5, CRCM5 e GCM: CanESM2, EC0-EARTH, MPI-ESM-LR) e o modelo hidrológico HYMOD | Rio Ochlockonee, próximo a Talhahasee, Flórida - EUA     |
| (HAUPT et al., 2016)                      | NARCCAP: combinação de GCM's e RCM's   | Estados Unidos   |
| (JOHNSON; ERHARDT, 2016)                  | NARCCAP: combinação de GCM's e RCM's. Neste caso: RCM3/ GFDL, RCM3/ CGCM3, WRFG/ CCSM e WRFG/CGCM3.    | Estados Unidos   |
| (KOLETSIS et al., 2016)                   | GCM's: Bergen Climate Model (BCM), (ECHAM5 / MPI e o (HadCM3Q16) RCM's: KNMI-RACMO2 e o HIRHAM5        | Áreas marítimas do Mar Mediterrâneo e parte do Mar Negro |
| (QUEIROZ et al., 2016)                    | HADCM3, HTSP e o RCM ETA-CPTEC   | Brasil   |
| (SHEN; LIOR, 2016)                        | GCM: HadCM3  | Estados Unidos   |
| (VON STECHOW et al., 2016)                | Modelos do AMPERE  | Primeira metade do século XXI                            |
| (GUTSCH et al., 2015)                     | GCM: CMIP5 RCM: STARS  | Alemanha   |
| (SANTOS et al., 2015)                     | COSMO-CCLM acionado pelo ERA-40 e COSMO-CCLM conduzido com ECHAM5.                                     | Península Ibérica  |
| (KRAKAUER, 2014)                          | -  | -  |
| (KAMRANZAD et al., 2013)                  | CGCM 3.1 e ECMWF   | Golfo Pérsico  |

|  |   |                                  |
|--|---|----------------------------------|
| (LIZUMA et al., 2013)                    | RCM: CLM<br>Modelo de Área Limitada de Alta<br>Resolução (Hirlam) | Mar Báltico próximo à Costa Letã |
| (PAŠIČKO; BRANKOVIĆ; ŠIMIĆ,<br>2012)     | GCM: ECHAM5-MPIDM<br>RCM: RegCM                                   | Croácia                          |
| (ANGELES et al., 2010)                   | CGM: PARALELO – PCM<br>RCM: RAMS                                  | Região do Caribe                 |
| (PRYOR; BARTHELMIE; SCHOOF,<br>2006)     | HadeM3  | Europa                           |
| (PRYOR; BARTHELMIE;<br>KJELLSTRÖM, 2005) | RCM: ECHAM4, OPYC3<br>AOGCM e GCM somente de<br>atmosfera HadAM3H | Norte da Europa                  |

Fonte: Autores

Moemken et al. (2018), Pryor, Barthelmie e Schoof (2006) se concentraram na Europa e Pryor, Barthelmie e Kjellstro (2005) avaliaram o Norte Europeu, todos para o comportamento da energia eólica diante das alterações climáticas. Moemken et al. (2018) constataram que para a maior parte das análises, os resultados para as áreas do Mar Báltico e do Mar Egeu são robustos e positivos para a energia eólica, por outro lado, para a Europa Central e Oriental há grandes incertezas. Moemken et al. (2018) avaliaram que as mudanças climáticas afetarão a região de forma mais intensa no cenário RCP 4.5 no final do século (2071-2100). Os resultados ainda demonstraram que a utilização de distintos modelos podem gerar resultados diferentes, por exemplo, para a saída de energia eólica em grade (Eout) as simulações geradas pelo CNRM-CM5 demonstraram um leve aumento do Eout para a Europa central, o norte da França, as Ilhas Britânicas e a Escandinávia, por sua vez, os modelos EC-EARTH, HadGEM2-ES e IPSL-CM5A-MR projetaram uma diminuição de Eout na maior parte da Europa. Pryor, Barthelmie e Schoof (2006) encontraram que para os dados do ECMWF a Dinamarca exibe um potencial mais consistente para a produção de energia eólica anual, ao passo que os dados do NCEP/NCAR indicam a Islândia com a menor variabilidade interanual.

Os dados obtidos a partir do HadCM3 demonstraram um considerável aumento dos ventos para os países da Europa, inclusive os localizados no Norte Europeu. Pryor, Barthelmie e Kjellstro (2005) obtiveram resultados distintos, quando utilizaram o ECHAM4/OPYC3 identificaram um leve aumento no potencial eólico, tendo um aumento mais significativo da densidade energética para o inverno durante o período de 1961-1990 e 2071-2100. Ao utilizarem o HadAM3H encontraram indícios de diminuição ou nenhuma mudança para a velocidade do vento e densidade energética para o mesmo período. Moemken et al. (2018) também apontam uma diminuição do potencial eólico para o norte europeu,

sendo a diminuição de até 1,2 m/s para o período de 2006-2100. Segundo Pryor, Barthelmie e Kjellstro (2005) há uma grande incerteza a respeito dos resultados para velocidade do vento e densidade energética para o Norte da Europa. Atenta-se que Pryor, Barthelmie e Schoof (2006), utilizando HadCM3, um modelo climático distinto do utilizado por Pryor, Barthelmie e Kjellstro (2005), também identificaram um pequeno aumento no potencial eólico para o Norte da Europa. Nota-se também que assim como Moemken et al. (2018), Pryor, Barthelmie e Kjellstro (2005) encontram resultados diferentes ao utilizar distintos modelos climáticos.

Koletsis et al. (2016) avaliaram as áreas marítimas do Mar Mediterrâneo e parte do Mar Negro, Kamranzad et al. (2016), o Golfo Pérsico, Santos et al. (2015), a Península Ibérica e Lizuma et al. (2013), o Mar Báltico e costa Letã para os impactos das mudanças climáticas na energia eólica. O conjunto de modelos utilizados por Koletsis et al. (2016) identificaram uma tendência positiva para os ventos no Mar Egeu e na parte Ocidental do Mar Negro. Utilizando o HadCM3Q16/RCA3 os autores apontaram um aumento da velocidade do vento no leste do Mediterrâneo, Mar de Alborão, parte leste do Mar Negro e principalmente sobre o Norte do Mar Egeu. O potencial eólico aumentará no Mar Egeu e no sudeste do Mar Negro para o período de 2021-2050, aumento também encontrado para o oeste da beira-mar do Estreito de Gibraltar. Por outro lado, áreas marítimas do norte da África e do Oriente Médio e parte do Mar Mediterrâneo central e oriental apresentarão uma diminuição na energia eólica, de acordo com Koletsis et al. (2016), esses resultados foram encontrados na maioria dos modelos climáticos utilizados. Observa-se que apesar de utilizarem GCM's e RCM's distintos, assim como Koletsis et al. (2016), posteriormente Moemken et al. (2018) também encontraram um cenário otimista para a geração de energia eólica para o Mar Mediterrâneo no período de 2006-2100 e para o Mar Egeu no período entre 2071-2100, sendo mais intenso no final do século.

Kamranzad et al. (2016) utilizaram o CGCM 3.1 e compararam o período de 1980-2000 com o de 2080-2100. Observaram que as frequências de velocidade do vento são mais baixas para o cenário A2 e mais altas para o cenário B1. Além disso, no cenário B1 a velocidade do vento terá uma menor variação no período futuro. Segundo Kamranzad et al. (2016), apesar da baixa redução na velocidade dos ventos futuros, poderá haver uma acentuada variação na energia eólica para o Golfo Pérsico.

Os resultados encontrados por Santos et al. (2015) para o potencial eólico na Península Ibérica indicaram o aumento do potencial eólico para o Norte da Galiza, as montanhas da Cantábria, a área do Estreito de Gibraltar e o vale do Ebro. Observa-se que o aumento do

potencial eólico para a beira-mar do Estreito de Gibraltar foi encontrado por Koletsis et al. (2016) para o período de 2061-2090, na maioria dos cinco grupos de modelos utilizados. Por outro lado, Santos et al. (2015) projetaram uma diminuição significativa para o potencial eólico na maior parte da Península Ibérica, sendo que o Sudoeste interno e Nordeste da Península Ibérica apresentaram resultados mais baixos para o potencial eólico, todavia, é importante destacar que o potencial eólico para a Península Ibérica é maior na estação do inverno.

A partir das simulações realizadas para o Mar Báltico próximo à Costa Letã, Lizuma et al. (2013) identificaram um aumento na temperatura do ar para os períodos de 2021-2051 e 2071-2100 comparados ao período histórico de referência (1981-2010), o que segundo os autores ajudará na instalação, operação e manutenção das turbinas eólicas devido a diminuição do frio extremo. Por sua vez, a variabilidade eólica para o final do século XXI, 2071-2100, continuará estável na área.

Johnson e Erhardt (2016) utilizaram quatro conjuntos de GCM's/RCM's para realizar as simulações para compreender o potencial eólico para os Estados Unidos. Os resultados demonstraram que a velocidade média do vento diminuirá no Noroeste, Nordeste e ao longo da costa leste nos quatro conjuntos de GCM's/RCM's para o período de 2038-2070, assim como o aumento na velocidade média do vento sobre Kansas, Oklahoma e Texas. Estes estados são os únicos em que o aumento na densidade de energia é superior a 2% nas simulações de todos os quatro conjuntos de modelos climáticos.

Ravestein et al. (2018) estudaram os impactos das mudanças na geração de energia solar fotovoltaica e eólica para a Europa e o Atlântico Norte. Os resultados demonstraram que ambas fontes terão seus rendimentos afetados pela variabilidade climática. Todavia, os autores indicaram que apesar dos impactos que as mudanças climáticas podem causar na produção de energia fotovoltaica e eólica na Europa, o impacto da Oscilação do Atlântico Norte pode compensar essa problemática, principalmente com relação à energia eólica.

Os impactos gerados pelas mudanças climáticas nas energias solar e eólica foram avaliados por De Jong et al. (2019), no Brasil, Haupt et al. (2016), nos Estados Unidos e por Angeles et al. (2010), na região do Caribe. As simulações projetadas por De Jong et al. (2019) indicaram que a radiação solar aumentou na maior parte do Brasil na década de 1980, em comparação com a década de 1970, com exceção da região Sul que sofreu um declínio. Para o período de 2021-2050 e 2070-2099, utilizando o modelo MIROC5, apenas Guaimbê no estado de São Paulo apresentou uma diminuição da irradiação solar, o maior aumento foi

projetado para Pirapora, Minas Gerais. Por sua vez, o aumento da velocidade do vento é projetada para maior parte do Brasil com declínio nos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, principalmente para o modelo CANESM2/Eta no período de 2070-2099, no cenário RCP 8.5.

Haupt et al. (2016) observaram um aumento da irradiação solar na parte sul dos Estados Unidos e uma diminuição na região Norte no verão. No inverno há uma diminuição da irradiação solar na maior parte do país, com exceção, por exemplo, da região sul. Na primavera, o aumento ocorre principalmente na Costa do Pacífico e no resto do país ocorre uma diminuição. Haupt et al. (2016) avaliaram também o comportamento do clima com relação à energia eólica. Observaram um aumento na velocidade dos ventos para o Texas e parte da Califórnia. Na primavera, há uma queda na magnitude da velocidade dos ventos no período matutino, esse decréscimo é significativo nas partes oeste e sul da região montanhosa. O sul do Arizona, o sul do Texas e a península superior de Michigan são os únicos locais que registraram aumento na velocidade do vento na altura do cubo, sendo a elevação de 2% a 3% no período entre 1995-2060. Para o verão, os dados demonstraram uma redução da velocidade dos ventos matutinos para grande parte dos Estados Unidos, para a Nova Inglaterra, região dos Grandes Lagos e Montana o decréscimo atingirá de 5% a 10% no período entre 1995-2060.

Segundo Haupt et al. (2016), a região sudeste da costa do Atlântico no Golfo do México, a região que se estende do Kansas ao oeste do Texas e do sul do Novo México e Arizona, e ao norte do interior da Califórnia são as regiões onde os principais aumentos na velocidade dos ventos são projetadas para 1995-2060. A condição favorável para a velocidade do vento para o Texas também foi observado por Johnson e Erhardt (2016), neste caso, para o período de 2038-2070 para o CGM3/RCM3. Para a região do Caribe, Angeles et al. (2010) observaram a diminuição da radiação solar simulada pelo PCM para o período de 2070-2098, por outro lado, para o mesmo período para a velocidade do vento haverá uma tendência de aumento. Utilizando o RAMS, Angeles et al. (2010) identificaram uma diminuição dos ventos sobre as áreas montanhosas da ilha de Porto Rico para o período de 2070-2098, além disso, para a energia solar a área leste de Porto Rico é a mais propícia para produção energética.

Shen e Lior (2016) estudaram as consequências das mudanças climáticas em edifícios nos Estados Unidos que utilizam as energias renováveis para suprir suas demandas de eletricidade. Para o período entre 2040-2069 os resultados indicaram um cenário mais estável e confiável para a produção de energia fotovoltaica, principalmente para Miami, onde o

aumento será mais acentuado no verão e no outono. O sistema eólico não terá um desempenho tão estável, se comparado ao sistema fotovoltaico, tendo um desempenho pior na primavera em Miami e no final do inverno em Memphis. Para a cidade de Albuquerque, o aumento da demanda de aquecimento no inverno e refrigeração no verão causará um declínio na rede térmica. Tarroja et al. (2018) analisaram as condições da utilização dos recursos solar térmico e geotérmico na Califórnia. A precipitação se intensificará nas regiões setentrionais do estado da Califórnia e diminuirá nas regiões sul do estado e nas áreas desérticas orientais. O potencial geotérmico e térmico solar estará concentrado nas regiões do Sul de Lahontan e do Rio Colorado, situação distinta das regiões do Rio São Joaquim, Rio Sacramento, Baía de São Francisco e Costa Norte que não demonstram ter capacidade térmica solar.

O comportamento hidrológico diante das mudanças climáticas foi avaliado por Sun et al. (2018), na região de Beijing-Tianjin-Hebei, na China e o potencial de energia hidrelétrica foi investigado por Chilkoti, Bolisetti e Balachandar (2017), no Rio Ochlockonee, na Flórida e por Queiroz et al. (2016), no Brasil. O estudo de Sun et al. (2018) identificaram que o estresse hídrico na região de Beijing-Tianjin-Hebei será intensificado no futuro, com exceção do ano de 2026. Em todos os outros anos o estresse hídrico na região será de mais de 134%. No cenário RCP 4.5, o estresse hídrico inicial será de 206% para os anos de 2013-2030 e no cenário RCP 8.5, chegará a 319%. Diante disso, a exploração de água subterrânea será de 150 a 210 bilhões de m<sup>3</sup> em 2017-2030 o que segundo Sun et al. (2018) causará impactos hidrológicos significativos a longo prazo. A partir das simulações feitas no WEAP-LEAP, os resultados apontaram que o aumento da geração de energia renovável será de 28,3%, o que contribuirá para a redução de 50 milhões de m<sup>3</sup> na demanda de água anual até 2030.

O conjunto de modelos utilizados por Chilkoti, Bolisetti e Balachandar (2017), para o período de 2091-2100, indicaram um aumento na precipitação durante o inverno e a primavera, sendo que para a primavera a elevação da precipitação varia entre 8% e 13%. Para o verão, três modelos climáticos projetaram um declínio na precipitação variando de 1% a 6%, inclusive, os dados para a estação do verão são os mais confiáveis devido a menor variação apontada entre os modelos. Chilkoti, Bolisetti e Balachandar (2017) averiguaram que haverá um aumento na produção de energia hidrelétrica de até 56% no inverno. Por fim, um redução de 14% na produção de energia hidrelétrica para o verão. Queiroz et al. (2016) avaliaram a geração de energia hidrelétrica para quatro períodos para avaliar a energia assegurada nos anos 1990, 2040, 2070 e 2100. Os resultados demonstraram que o período de maior produção de energia hidrelétrica foi o de 1990. Devido aos efeitos das mudanças

climáticas, as novas usinas hidrelétricas planejadas gerarão um total de 28% menos eletricidade do que o planejado. As simulações do modelo HTSP projetaram uma diminuição de 15% para o sistema de geração existente e as projeções do Eta-40 CLT indicaram uma redução de 28% para o sistema de geração futura, ambos a partir de 2040. A região Norte será a mais afetada devido a redução da precipitação.

Pašičko, Branković e Šimić (2012) investigaram como se comportará a produção energética por meio das fontes solar, eólica e hidrelétrica diante das mudanças climáticas na Croácia. A partir do que foi analisado, verificou-se que o cenário para a geração de energia solar se manterá sem grandes mudanças. Ocorrerá um aumento da velocidade média dos ventos, todavia, a elevação será acima do necessário para gerar eletricidade, ou seja, não será possível a exploração. A energia hidrelétrica passará por uma notável diminuição devido ao aumento da temperatura e a diminuição da precipitação, sobretudo no verão.

Gutsch et al. (2015) avaliaram como as mudanças climáticas podem interferir na produção de biomassa na Alemanha. Os resultados apontaram mudanças positivas para o rendimento da biomassa de plantações de copas de rotação curta e principalmente para biomassa de florestas para o período de 2031-2060. As projeções para biomassa do milho e produção de palha tiveram um cenário negativo para alguns estados da Alemanha para o mesmo período. Os autores destacaram que o milho e a palha sofrerão mais com as mudanças do clima do que os resíduos florestais.

As pesquisas de Von Stechow et al. (2016) e a de Krakauer (2014) diferem dos demais trabalhos. Enquanto, as pesquisas dos outros autores citados neste artigo avaliaram como as mudanças climáticas afetarão a geração de energia através das fontes renováveis, Stechow Von et al. (2016) discorreram a respeito dos SDGs (objetivos de desenvolvimento sustentável) e Krakauer (2014) segue uma linha mais voltada para a relação econômica com as mudanças climáticas. Stechow Von et al. (2016) abordam que grandes restrições e a falta de flexibilidade no cumprimento da meta de manter a temperatura média global abaixo de 2 °C pode causar risco de atender a outros objetivos do SDG.

Krakauer (2014) avaliou como o crescimento econômico influenciará nas questões climáticas. A partir do seu estudo compreende-se que um lento crescimento econômico refletirá na incapacidade de uma sociedade de investir em controle das emissões de poluentes e até mesmo uma adaptação à nova condição climática. Portanto, há necessidade de mitigação das mudanças climáticas através de incentivos à diminuição na emissão de gases de efeito estufa, inclusive com maiores investimentos em fontes energéticas renováveis, para evitar

agravamento nos problemas futuros. Contudo, de acordo com os artigos analisados, é importante verificar se a fonte a ser implementada em determinado local é adequada não só ao seu clima atual, mas também às tendências futuras.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizou-se uma revisão bibliográfica a respeito dos efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos energéticos renováveis. A revisão mostrou que as alterações no clima modificam as condições das fontes energéticas renováveis nas regiões estudadas. Em algumas situações, essas condições se alterarão muito mais no futuro distante. Todavia, isso pode ser uma oportunidade para o investimento e utilização de outras fontes renováveis para suprir a demanda energética, já que alguns recursos estão sendo alterados de forma positiva para a produção energética renovável. Há de se levar em consideração que distintos modelos climáticos podem gerar resultados diferentes para uma mesma região, por isso é importante a utilização de mais de um modelo climático para geração de dados mais confiáveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio por meio dos projetos 401687/2016-3 e 306783/2018-5.

## REFERÊNCIAS

ANGELES, M. E. et al. The Impacts of Climate Changes on the Renewable Energy Resources in the Caribbean. **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 132, p. 1–13, 2010.

CHILKOTI, V.; BOLISSETTI, T.; BALACHANDAR, R. Climate change impact assessment on hydropower generation using multi-model climate ensemble. **Renewable Energy**, v. 109, p. 510–517, 2017.

DE JONG, P. et al. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. **Renewable Energy**, v. 141, p. 390–401, 2019.

FANT, C.; SCHLOSSER, A. C.; STRZEPEK, K. The impact of climate change on wind power production in Scotland. **Energy and Sustainability V: Special Contributions**, v. 1, p. 239–250, 2015.

GUTSCH, M. et al. Uncertainty of biomass contributions from agriculture and forestry to renewable energy resources under climate change. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 24, n. 2, p. 213–223, 2015.

HAUPT, S. E. et al. A method to assess the wind and solar resource and to quantify interannual variability over the United States under current and projected future climate. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 55, n. 2, p. 345–363, 2016.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20–32, 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press; 2014.

JOHNSON, D. L.; ERHARDT, R. J. Projected impacts of climate change on wind energy density in the United States. **Renewable Energy**, v. 85, p. 66-73, 2016.

KAMRANZAD, B. et al. Assessment of CGCM 3.1 wind field in the Persian Gulf. **Journal of Coastal Research**, v. 65, n. May, p. 249–253, 2013.

KOLETSIS, I. et al. Assessment of offshore wind speed and power potential over the Mediterranean and the Black Seas under future climate changes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 234–245, 2016.

KRAKAUER, N. Y. Economic growth assumptions in climate and energy policy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 3, p. 1448–1461, 2014.

LIZUMA, L. et al. Assessment of the Present and Future Offshore Wind Power Potential: A Case Study in a Target Territory of the Baltic Sea Near the Latvian Coast. **The Scientific World Journal**, v. 2013, p. 1–10, 2013.

MOEMKEN, J. et al. Future Changes of Wind Speed and Wind Energy Potentials in EURO-CORDEX Ensemble Simulations. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 123, n. 12, p. 6373–6389, 2018.

PAŠIČKO, R.; BRANKOVIĆ, Č.; ŠIMIĆ, Z. Assessment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. **Renewable Energy**, v. 46, p. 224–231, 2012.

PRYOR, S. C.; BARTHELMIE, R. J.; KJELLSTRÖM, E. Potential climate change impact on wind energy resources in northern Europe: Analyses using a regional climate model. **Climate Dynamics**, v. 25, n. 7–8, p. 815–835, 2005.

PRYOR, S. C.; BARTHELMIE, R. J.; SCHOOF, J. T. Inter-annual Variability of Wind Indices across Europe. **Wind Energy**, n. December 2005, p. 27–38, 2006.

QUEIROZ, A. R. DE et al. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. **Renewable Energy**, v. 99, p. 379–389, 2016.

RAVESTAIN, P. et al. Vulnerability of European intermittent renewable energy supply to climate change and climate variability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 97, n. October 2017, p. 497–508, 2018.

SANTOS, J. A. et al. Projected changes in wind energy potentials over Iberia. **Renewable**

**Energy**, v. 75, n. 2015, p. 68–80, 2015.

SHEN, P.; LIOR, N. Vulnerability to climate change impacts of present renewable energy systems designed for achieving net-zero energy buildings. **Energy**, v. 114, p. 1288–1305, 2016.

SUN, L. et al. Energy–water nexus analysis in the Beijing–Tianjin–Hebei region: Case of electricity sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, n. April, p. 27–34, 2018.

TARROJA, B. et al. Assessing future water resource constraints on thermally based renewable energy resources in California. **Applied Energy**, v. 226, n. February, p. 49–60, 2018.

VON STECHOW, C. et al. 2 °C and SDGs: united they stand, divided they fall? **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 3, p. 34022, 2016.