

ARTIGO ORIGINAL

Emissões de GEE evitadas em Cabo Verde: estimativa em um cenário de adoção de fontes energéticas renováveis em 2025

Emissiones de GEI evitadas en Cabo Verde: estimación en un escenario de adopción de fuentes de energía renovables en 2025

Cape Verde's avoided GHG emissions: estimate in a scenario of adoption of renewable energy sources in 2025

Gabriel Leuzinger Coutinho¹  
João Nildo de Souza Vianna¹  

¹ Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

* vianna@unb.br

Resumo

Em 2017 Cabo Verde apresentou um plano para ter, até 2025, ao menos 50% de sua energia elétrica sendo gerada por fontes renováveis. O objetivo deste artigo é estimar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) que seriam evitadas caso este plano seja executado. Foram verificadas quais seriam as fontes de energia renováveis mais adequadas para serem utilizadas no arquipélago. Considerou-se a avaliação do ciclo de vida (ACV) destas fontes renováveis para estimar as emissões de GEE associadas à sua utilização. Foram calculadas as emissões que seriam evitadas com a não utilização de usinas termelétricas para gerar a energia que passaria a ser fornecida por fontes renováveis no período indicado. O balanço entre as emissões evitadas e aquelas relacionadas ao ciclo de vida das energias renováveis mostrou que deixariam de ser emitidas anualmente 210,8 MtCO_{2eq}.
Palavras-chave: Cabo Verde. Gases de efeito estufa. Energias renováveis. Avaliação do ciclo de vida.

Resumen

Cabo Verde presentó en 2017 un plan para tener el 50% de su energía generada por energía renovable para 2025. Este documento tiene como objetivo estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se evitarían en este caso. Se identificaron las energías renovables más apropiadas para ser utilizadas en el archipiélago. Las emisiones de GEI asociadas con estas energías renovables se estimaron considerando su evaluación del ciclo de vida (LCA). Se calcularon las emisiones que se evitarían con la no utilización de plantas termoeléctricas para generar la energía que comenzaría a ser generada por fuentes renovables en 2025. Un equilibrio entre las emisiones que se evitarían y las relacionadas con el ciclo de vida de las energías renovables indicó que se evitarían anualmente 210,8 MtCO_{2eq}.
De emisiones de GEI.
Palabras clave: Gases de efecto invernadero. Energías renovables. Evaluación del ciclo de vida.

Abstract

Cape Verde presented in 2017 a plan to have at least 50% of their energy generated by renewable energy by 2025. This paper objective is to estimate the emissions of greenhouse gases (GHG) that would be avoided in this case have been estimated. It

Recebido: 11 dezembro 2019

Aceito: 01 maio 2020

Publicado: 03 junho 2020

Copyright: © 2020 Coutinho e Vianna. Este artigo é publicado em acesso aberto e distribuído sob os termos da [Licença Creative Commons Atribuição \(CC BY\)](#), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos, desde que creditados os autores e a fonte original.

Publicado por:



was identified the renewable energies more appropriated to be used in the archipelago. The emissions of GHG associated to these renewable energies were estimated by considering their life cycle assessment (LCA). The emissions that would be avoided with the non-utilization of thermoelectric power plants to generate the energy that would start being generated by renewable sources in 2025 were calculated. A balance between the emissions that would be avoided and those related to the life cycle of the renewable energies indicated that 210.8 MtCO_{2eq.} of GHG emissions would be avoided annually.

Keywords: Cape Verde. Greenhouse gases. Renewable energy. Life Cycle Assessment.

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas estão causando mudanças de grande escala na Terra e já rivalizam com algumas das mais fortes forças da natureza na extensão e na intensidade de seus impactos (Steffen et al. 2005). Destas mudanças, as climáticas, causadas em parte pelas maciças emissões antropogênicas de gases de efeito estufa, são provavelmente as que têm os impactos mais negativos sobre a vida no planeta (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2014). A *Alliance of Small Island States* (AOSIS), uma aliança de 44 nações insulares e nações com zona costeira de baixa altitude, destacou durante a 21^a Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) que os seus membros já sofrem o impacto de eventos climáticos extremos, sem falar dos eventos mais lentos, como a elevação do nível do mar e a acidificação dos oceanos (AOSIS 2015).

O arquipélago de Cabo Verde está localizado no Atlântico Norte, a 455 km da costa africana, e é composto por dez ilhas: Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal, Boa Vista, Maio, Santiago, Fogo e Brava, além de alguns ilhéus e ilhotas. Em 2008, Cabo Verde implantou uma política energética cujo objetivo era transformar sua matriz energética de maneira que, até 2020, 50% de sua eletricidade fosse gerada a partir de fontes renováveis (Ministério de Economia, Crescimento e Competitividade [Cabo Verde] 2008). Com esta proposta, o governo de Cabo Verde estava buscando tanto mitigar efeitos climáticos, quanto reduzir a dependência do país da importação de combustíveis fósseis. Estas importações eram utilizadas, em sua maior parte, para operar as usinas térmicas, principais componentes da matriz energética elétrica nacional. Elas representavam mais de 95% das fontes da matriz em 2009 (Gesto Energia 2011a; Instituto Nacional de Estatística 2017).

Os objetivos desta política foram revisados na Contribuição Nacionalmente Determinada Pretendida (iNDC) que Cabo Verde enviou à ONU em 2017. A nova meta é alcançar 30% de renováveis até 2025. Contudo, o governo cabo-verdiano se propõe a alcançar a meta de 50% de

energias renováveis em 2025, caso exista ajuda financeira internacional para isso (Cabo Verde 2017).

Esta nova concepção da matriz energética certamente resultará em uma redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE). Não se encontra em documentos do governo de Cabo Verde, relatórios das empresas do setor elétrico do país ou na literatura científica uma estimativa dessas emissões com a respectiva apresentação e descrição do método utilizado. No documento enviado por Cabo Verde à ONU em sua iNDC, prevê-se uma redução de 600 e 700 tonCO_{2eq} como resultado desse aumento da energia renovável. Contudo, não há qualquer documento oficial que demonstre como o governo chegou nesse valor.

Notadamente, não é possível saber se foram consideradas as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida das energias renováveis no cálculo das emissões evitadas. Esta consideração não é feita em muitos dos estudos de redução de emissões de GEE pela utilização de fontes renováveis, por exemplo, os da *European Environment Agency* (2017). Estes estudos, em geral, consideram que as emissões ocorrem apenas na fase de operação, que, para a maior parte das energias renováveis, é zero. Contudo, as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida das fontes renováveis não são negligenciáveis e impactam significativamente os cálculos.

Estudos em vários países mostram que há emissões consideráveis ao longo do ciclo de vida das energias renováveis. Marques et al. (2018) indicam que há emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de todas as fontes renováveis utilizadas em Portugal. Estas emissões ocorrem nas fases de produção/construção e no descarte ou reciclagem dos equipamentos ao final da vida útil. Estudos na Alemanha, Holanda, Japão e Brasil chegaram a resultados semelhantes (Alvim et al. 2010; Hondo 2005; Pehnt 2006; Veltkamp, Wild-Scholten 2006).

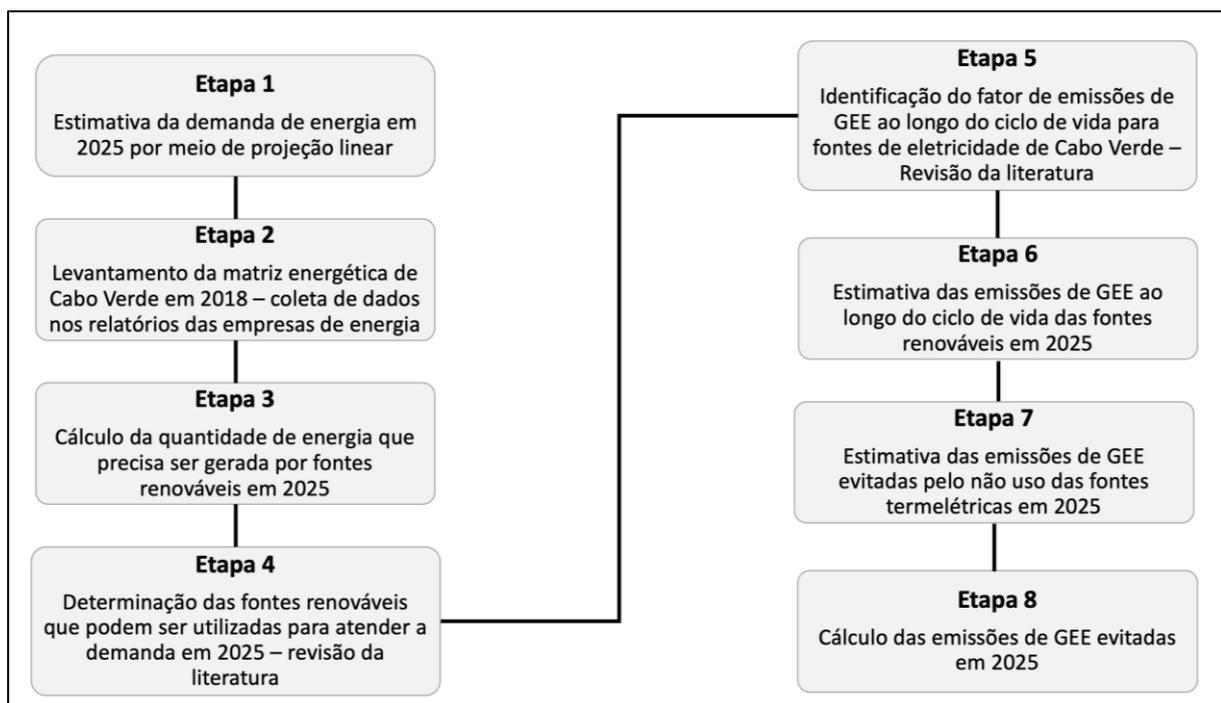
Diversos fatores influenciam nos cálculos das emissões de GEE ao longo do ciclo de vida. Por exemplo, a matriz energética do país em que os equipamentos (ex: painéis fotovoltaicos) são produzidos e a tecnologia utilizada (Munir, Huque, Kommalapati 2016; Reich et al. 2011). Por isso, os valores obtidos costumam ter uma variação grande. Um estudo de revisão da literatura sobre avaliação do ciclo de vida (ACV) de painéis fotovoltaicos feito por Nugent e Sovacool (2014) mostra que os valores do fator de emissões de GEE para esta tecnologia variam de 1 a 218 gCO_{2eq}/kWh. Asdrubali et al. (2015), também em um estudo de revisão da literatura, encontraram valores para o fator de emissões de painéis fotovoltaicos variando de 9,4 a 167 gCO_{2eq}/kWh.

Neste artigo foi estimado o valor anual de redução nas emissões de GEE em Cabo Verde caso a meta de ter 50% da eletricidade sendo gerada por fontes renováveis seja alcançada. Foram consideradas nos cálculos as emissões de GEE ao longo de todo o ciclo de vida das fontes geradoras de energia elétrica. Foi feita uma estimativa da quantidade de energia a ser gerada por fontes renováveis e quais os tipos de energia mais adequados para o país. Em seguida, foi realizado um balanço entre (i) as emissões de GEE evitadas (pela não utilização de usinas termelétricas) e (ii) as emissões relacionadas ao ciclo de vida das fontes renováveis que substituirão as termelétricas até 2025.

2. MÉTODO

A estimativa da quantidade de emissões de gases de GEE que serão evitadas caso Cabo Verde implemente seu plano de ter 50% da geração de energia por meio de fonte renováveis em 2025 foi realizada em oito etapas. A Figura 1 apresenta um esquema do método utilizado no artigo.

Figura 1. Esquema do método utilizado no artigo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Primeiro, determinou-se quanta energia precisaria ser gerada por fontes renováveis e quais os tipos de energias renováveis que seriam utilizados. A demanda de energia em 2025 foi estimada por meio de uma projeção linear com base nos dados de demanda de energia disponíveis (2011 a 2018) e levantados pelos autores.

Em seguida, foi necessário fazer um levantamento da matriz de energia elétrica em Cabo Verde, visto que não há documento oficial do governo com o balanço energético de Cabo Verde. Esse levantamento foi feito com base nos balanços energéticos das empresas de geração de energia elétrica de Cabo Verde: Electra Norte, Electra Sul, Cabeólica, Electric Wind, Água de Ponta Preta (APP) e Água e Energia de Boa Vista (AEB), bem como dados (não publicados oficialmente) obtidos por meio de pesquisa junto à Direção Nacional de Indústria, Comércio e Energia (DNICE), órgão responsável pela supervisão do setor energético de Cabo Verde.

Nos balanços de cada empresa, foi identificada a capacidade de geração de cada uma das suas usinas (termelétrica, eólica ou solar fotovoltaica) em cada uma das ilhas. Dados das empresas que não divulgam seus balanços, como a Electric Wind e a AEB, foram obtidos diretamente na DNICE. Os dados mais recentes disponíveis eram de 2018. A capacidade de geração de cada empresa em cada ilha foi somada, de modo a se chegar aos dados totais para as ilhas. Isso permitiu definir o total de energia que já pode ser gerado por fontes renováveis e determinar o quanto ainda é necessário para alcançar a meta de 50% de renováveis em 2025.

A determinação da energia elétrica a ser gerada por fontes renováveis permitiu estimar a quantidade de parques eólicos e solares que precisariam ser construídos para atender esta demanda. A empresa Gesto Energia (2011b) levantou, a pedido da DNICE, os melhores locais no arquipélago para a instalação de centrais de geração de energia eólica, solar, geotérmica e marítima, bem como de usinas para geração de energia com uso de resíduos sólidos urbanos. Após a definição destes locais, a Gesto Energia fez uma análise econômica de cada um dos parques geradores propostos e definiu quais seriam os projetos prioritários para instalação. Os resultados deste estudo foram utilizados no presente artigo para definir quais as fontes de energia renovável que deveriam ser preferencialmente instaladas em Cabo Verde para alcançar os 50% de geração de energia elétrica renovável em 2025.

Em uma segunda etapa é feita uma revisão da literatura para identificar fatores de emissão de GEE para as diferentes fontes de geração de energia elétrica em Cabo Verde: energia eólica, energia solar e energia termelétrica a óleo. Para cada um destes tipos de fonte, foram levantados ao menos oito estudos que calculam o seu fator de emissão de GEE.

Em seguida, foram estimadas as emissões de GEE referentes ao ciclo de vida das fontes renováveis definidas na etapa anterior. A realização de uma ACV para calcular as emissões de GEE oriundas da implantação de energias renováveis em Cabo Verde seria bastante complexa e

envolveria diversas incertezas inerentes a muitas variáveis. Este procedimento, portanto, não fez parte do escopo do presente estudo. Optou-se pela utilização dos fatores de emissão de GEE apresentados na literatura e identificados na etapa anterior.

Adotou-se como parâmetro para os cálculos o maior valor encontrado para o fator de emissões de GEE das fontes renováveis, o qual foi utilizado para estimar as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida das fontes renováveis que seriam utilizadas. Dois motivos explicam esta opção. Primeiro, queria-se que o valor encontrado para as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida das fontes renováveis fosse o maior possível, o que faz com que a estimativa de emissões evitadas seja mais conservadora. Segundo, sabe-se que a distância entre o local de produção e o local de instalação pode interferir significativamente no fator de emissão calculado pela ACV para uma turbina eólica ou um painel fotovoltaico (Nugent, Sovacool 2014; Tremeac, Meunier 2009). Visto que a distância entre o local de fabricação e o local de instalação é consideravelmente maior para Cabo Verde do que nos estudos de caso considerados na literatura, entende-se que o impacto dos transportes no fator de emissão em Cabo Verde será maior que aqueles observados nos estudos de caso.

As emissões de GEE referentes às energias renováveis que deveriam ser instaladas em Cabo Verde foram calculadas conforme a Equação 1.

(1)

$$\text{Emissões}_{CO_2eq} = \text{fator de emissões}_{CO_2eq} \times \text{geração de energia}$$

As emissões de GEE evitadas em função da substituição de usinas térmicas por fontes renováveis foram calculadas em seguida. Tomou-se como base a geração de energia por termelétricas em 2018. Assumiu-se também que novas usinas termelétricas seriam construídas para suprir a demanda por eletricidade em 2025 caso as fontes renováveis não fossem instaladas.

A estimativa das emissões evitadas levou em consideração as emissões ao longo do ciclo de vida das usinas termelétricas. Assim como no caso das energias renováveis, não foi feita uma ACV para calcular o fator de emissões de GEE das usinas termelétricas de Cabo Verde. Optou-se novamente pela utilização de fatores de emissão encontrados na literatura. Utilizou-se no cálculo o menor valor do fator de emissão de usinas termelétricas a óleo. Essa opção foi feita, assim como no caso das energias renováveis, para tornar a estimativa das emissões evitadas mais conservadora. As emissões evitadas foram calculadas por meio da Equação 1.

O balanço de emissões evitadas é dado então pela diferença entre os GEE que não seriam emitidos pela não utilização das usinas termelétricas (emissões evitadas termo) e as emissões referentes ao ciclo de vida dos parques eólicos e solares que substituiriam estas usinas (emissões renováveis), conforme a Equação 2.

(2)

$$\text{Emissões evitadas}_{CO_2eq} = \text{Emissões evitadas termo}_{CO_2eq} - \text{Emissões renováveis}_{CO_2eq}$$

As emissões evitadas pelas instalações de energias renováveis antes de 2025 em Cabo Verde não foram consideradas no cálculo. Isto exigiria estimar um cronograma de instalação destas energias, o que não foi feito no presente estudo. São estimadas apenas as emissões que seriam evitadas após a conclusão do plano para ter 50% de energias renováveis em 2025.

3. RESULTADOS

Primeiro, estima-se quanta energia deveria ser gerada por fontes renováveis em 2025, para se alcançar a meta de 50%. Em seguida, apresenta-se os fatores de emissão de GEE encontrados na literatura. Então, calcula-se os GEE que seriam emitidos pelas fontes renováveis ao longo do seu ciclo de vida. Por fim, faz-se o balanço das emissões que seriam evitadas pela substituição das usinas térmicas por fontes renováveis em Cabo Verde, caso seja alcançada a meta proposta pelo governo para 2025.

3.1. Estimativa da energia a ser gerada por fontes renováveis em 2025

Os dados de demanda de energia para o ano de 2025 são apresentados na Tabela 1. Estimou-se que em 2025 a demanda será de 633,34 GWh. Para alcançar o objetivo de gerar 50% da energia elétrica por fontes renováveis em 2025, 316,67 GWh teriam que provir destas fontes.

Tabela 1. Estimativa da demanda de energia em Cabo Verde para o ano de 2025, por ilha.

Ilha	Demanda (GWh)
Boa Vista	54,92
Brava	3,02
Fogo	16,69
Maio	4,00
Sal	131,93
Santiago	304,01
Santo Antão	18,48
São Nicolau	8,44
São Vicente	91,85
Total	633,34

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 2 apresenta os dados da capacidade de geração de energia elétrica em Cabo Verde em 2018. A capacidade total era de 519,73 GWh, dos quais 97,26 GWh de fontes renováveis. Adotando como premissa que estes mesmos 97,26 GWh poderão ser gerados em 2025 pelos parques eólicos e solares já existentes em Cabo Verde, verificou-se que seriam necessários aproximadamente mais 219,41 GWh de energia renovável para se alcançar os 316,67 GWh (a meta de 50%). Ressalta-se que alcançar os 50% de geração renovável significa também deixar parte das usinas termelétricas como reserva para atender alguma sazonalidade, visto que apenas 316,67 GWh dos 422,47 GWh disponíveis serão necessários.

Tabela 2. Capacidade de geração de eletricidade, por ilha e por empresa geradora em 2018.

Ilha	Empresa - Unidade Produtora	Capacidade geração de eletricidade (GWh/ano)		
		Fóssil	Eólica	Solar
Brava	Electra Sul - Favetal	2,80		
Boa Vista	AEB	31,41		
	Cabeólica - PE Boavista		8,85	
Fogo	Electra Sul - São Filipe	14,18		
Maio	Electra Sul - Porto Inglês	3,56		
Sal	APP	26,11		
	Cabeólica - PE Sal		19,45	
	Electra Norte - Palmeira	45,24		3,10
Santiago	Cabeólica - PE Santiago		35,86	
	Electra Sul - Assomada	0,10		
	Electra Sul - Palmarejo	205,89		5,95
Santo Antão	Electra Norte - Porto Novo	15,02		
	Electra Norte - Ribeira Grande			
	Electric Wind - PE Aguada de Janela		1,84	
São Nicolau	Electra Norte - Tarrafal	6,78		
	Cabeólica - PE São Vicente		22,21	
São Vicente	Electra Norte - Matiota	16,11		
	Electra Norte - Lazareto	55,27		
Total		422,47	88,21	9,05

Fonte: Elaborado pelos autores baseado em Electra Norte (2019), Electra Sul (2019), Cabeólica (2018), Águas de Ponta Preta (2019) e dados fornecidos pela Direção Nacional de Indústria, Comércio e Energia de Cabo Verde aos autores em 2019.

Caso todos os projetos prioritários identificados pela Gesto Energia (2011b) fossem instalados, eles teriam a capacidade de gerar 296,60 GWh/ano, valor superior aos 219,41 GWh necessários para o ano de 2025. Optou-se neste trabalho por não considerar alguns dos projetos propostos pela empresa, de modo que a energia gerada por eles se limitasse ao valor necessário. Foram

priorizados os projetos dos parques eólicos e solares, por se tratar de tecnologias que já são utilizadas em Cabo Verde. Deste modo, foram desconsiderados os projetos de centrais de resíduos sólidos urbanos nas ilhas de Santiago e São Vicente, que seriam responsáveis pela geração de 30,70 e 14,60 GWh/ano, respectivamente. Foram desconsiderados também os projetos com pior retorno financeiro na ilha de Santiago: os parques eólicos de Pedra Branca e Rui Vaz. Assim, chegou-se então a uma capacidade de geração de energia de 216,20 GWh/ano, valor inferior ao necessário.

Visando alcançar os 219,41 GWh calculados para 2025, fez-se uma alteração em um dos projetos propostos. O plano da Gesto Energia previa instalar 40.000 painéis solares no Parque Solar Achada da Cidade Velha, na ilha de Santiago, o que permitiria a geração de 15,90 GWh/ano. Os estudos de potencial solar mostram que é possível instalar até 73.913 painéis solares neste parque gerador (Gesto Energia 2011b). Considerou-se então que, ao invés de instalar apenas 40.000 painéis, seriam instalados 48.050 painéis, o suficiente para gerar 19,10 GWh/ano e, assim, alcançar um total de 219,41 GWh em 2025. A Tabela 3 apresenta os projetos considerados, detalhando a potência instalada, a geração de energia e a quantidade de painéis solares ou geradores eólicos presentes em cada parque gerador.

Constatou-se então que seria necessária a instalação de 65 geradores eólicos de 850 kW e de 76.742 painéis fotovoltaicos de 225 Wp. Os novos parques eólicos responderiam pela geração de 188,47 GWh/ano e os novos parques solares por 30,94 GWh/ano. Considerando as infraestruturas já existentes, seriam gerados 276,68 GWh/ano de energia eólica e 39,99 GWh/ano de energia solar a partir de 2025. Com estes dados pode-se estimar as emissões de GEE referentes à produção, instalação e operação das centrais de geração de energia renovável.

Tabela 3. Projetos prioritários de geração de energia renovável em Cabo Verde, segundo estudo da empresa Gesto Energia.

Ilha	Projeto	Potência a ser instalada (MW)	Número previsto de geradores eólicos	Número previsto de painéis fotovoltaicos	Geração de energia prevista (GWh/ano)
Santiago	PE de Monte Leão	3,4	4		13,60
	PE Achada da Mostarda	18,7	22		60,80
	PE de Montes Redondos	6,8	8		22,13
	PS Achada da Cidade Velha	10,8		48.050	19,10
Sal	PE da Serra Negro	1,7	2		5,14
Fogo	PE Cova Figueira	1,7	2		5,53
	PS do Fogo	1		4.444	1,80
Santo Antão	PS de Porto Novo	2		8.889	3,64
São Vicente	PE de João de Évora	2,55	3		11,62
	PE Areia Branca	7,65	9		33,80
	PS Salamansa	1		4.445	1,90
São Nicolau	PE da Praia Branca	0,33	1		1,03
	PS da Cacimba	0,4		2.444	1,00
Boa Vista	PE de Mesa	7,65	9		22,90
	PE de Falcão	2,55	3		7,67
Maio	PE da Batalha	0,85	1		1,86
	PS de Esgrovere	0,6		2.667	1,10
Brava	PE da Furna	0,85	1		2,39
	PS da Furna	1,31		5.778	2,40
Total		71,84	65	76.742	219,41

Nota: PE – Parque Eólico; PS – Parque Solar. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Gesto Energia (2011c).

3.2. Emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de usinas eólicas, solares e termelétricas

A determinação das emissões de GEE de turbinas eólicas por meio da ACV depende de diversas variáveis: o tamanho das turbinas (Crawford 2009; Martínez et al. 2009); a velocidade do vento (Padey et al. 2012; Vestas 2011a), a localização geográfica da instalação (Lenzen, Wachsmann 2004; Tremeac, Meunier 2009) e da fabricação (Guezuraga, Zauner, Pölz 2012); o local de instalação (Schleisner 2000), *onshore* ou *offshore*; e até mesmo a orientação das lâminas da turbina (Uddin, Kumar 2014). Munir et al. (2016) destacam ainda a relevância de variáveis como a tecnologia utilizada, a reciclagem dos materiais, o transporte e o material das lâminas das turbinas na ACV de geradores eólicos.

Ardente et al. (2008) utilizaram a ACV para calcular as emissões de GEE de um parque eólico na Sicília, composto por 11 turbinas de 660 kW. Encontraram um fator de emissão entre 8,8 e

18,5 gCO_{2eq}/kWh. Asdrubali et al. (2015) revisaram 20 estudos de casos de ACV para turbinas eólicas e encontraram valores variando entre 6,2 e 46 gCO_{2eq}/kWh. Turconi, Boldrin e Astrup (2013) também fizeram uma revisão de 22 estudos e encontraram uma variação de 3 a 28 gCO_{2eq}/kWh para o fator de emissão de GEE. Hondo (2005) fez uma ACV para diversos tipos de geração de energia no Japão e encontrou um fator de emissão de 29,5 gCO_{2eq}/kWh para a energia eólica. Hondo mostrou ainda que mais de 70% das emissões relacionadas com a energia eólica ocorrem na fase de construção das turbinas. Evans et al. (2009) indicam o fator de 25 gCO_{2eq}/kWh como um valor médio dos fatores de emissões encontrados na literatura sobre energia eólica. Pehnt (2006) constatou um fator de emissão de 10,9 gCO_{2eq}/kWh para uma turbina eólica de 1,5 MW na Alemanha.

A empresa dinamarquesa de geradores eólicos Vestas (2011a; 2011b; 2011c; 2015) aplicou a ACV para diversos de seus produtos, obtendo valores para o fator de emissão que variaram entre 7 e 9,7 gCO_{2eq}/kWh. O IPCC (2014) considera em seus modelos fatores de emissão para parques eólicos variando entre 7 e 56 gCO_{2eq}/kWh. Marques et al. (2018) identificaram que o fator de emissões para a energia eólica em Portugal é de 16 gCO_{2eq}/kWh. Oebels e Pacca (2013) indicam um fator de emissão de 7,1 gCO_{2eq}/kWh para geradores eólicos instalados no nordeste do Brasil. Não foram encontrados estudos de ACV para energia eólica em Cabo Verde ou em qualquer país do continente africano. O Quadro 1 apresenta um resumo destes estudos.

Quadro 1. Valores encontrados para o fator de emissão de GEE em estudos de ACV de turbinas eólicas.

Fator de Emissão (gCO _{2eq} /kWh)	Referência	Considerações
8,8 a 18,5	Ardente et al. (2008)	Parque eólico na Sicília
6,2 a 46	Asdrubali et al. (2014)	Revisão da literatura
3 a 28	Turconi, Boldrin e Astrup (2013)	Revisão da literatura
29,5	Hondo (2005)	Parque eólico no Japão
25 (valor médio)	Evans et al. (2009)	Revisão da literatura
10,9	Pehnt (2006)	Parque eólico na Alemanha
7 a 9,7	Vestas (2011a; 2011b; 2011c; 2015)	Parques eólicos que usam geradores produzidos na fábrica da Vestas na Dinamarca
7 a 56	IPCC (2014)	Revisão da literatura
16	Marques et al. (2018)	Parque eólico em Portugal
7,1	Oebels e Pacca (2013)	Parque eólico no Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim como no caso das turbinas eólicas, as emissões de GEE estimadas com base na ACV dos painéis fotovoltaicos dependem de diversas variáveis. Dentre as principais estão: o material

utilizado na fabricação das células fotovoltaicas e a tecnologia associada a cada um destes materiais (Sherwani, Usmani, Varun 2010); o transporte até o local de instalação (Nugent, Sovacool 2014); o local de fabricação (Reich et al. 2011); e a vida útil, diretamente relacionada com a manutenção do equipamento (Veltkamp, Wild-Scholten 2006).

Asdrubali et al. (2014) revisaram 11 artigos que tratavam de 33 estudos de caso de ACV de painéis fotovoltaicos e encontraram fatores de emissão variando de 9,4 a 167 gCO_{2eq}/kWh. Evans et al. (2009) fizeram uma revisão da literatura e encontraram um valor médio de 90 gCO_{2eq}/kWh. Hondo (2005), analisando diversos tipos de geração de energia no Japão por meio da ACV, encontrou um fator de emissão de 53,4 gCO_{2eq}/kWh para a energia solar. O estudo de Hondo indica que, assim como no caso dos geradores eólicos, mais de 70% das emissões de GEE ao longo do ciclo de vida dos painéis solares ocorrem na fase de construção. Pehnt (2006) calculou um fator de 105,1 gCO_{2eq}/kWh para painéis solares instalados na Alemanha. Turconi, Boldrin e Astrup (2013) revisaram 22 estudos de ACV de painéis fotovoltaicos e encontraram valores variando entre 40 e 160 gCO_{2eq}/kWh. Nugent e Sovacool (2014) selecionaram, a partir de uma amostra com 153 estudos de ACV de energias renováveis, 23 estudos de ACV de painéis solares. Basearam a seleção na relevância, atualidade e originalidade dos estudos. Eles encontraram valores para o fator de emissão variando entre 1 e 218 gCO_{2eq}/kWh com um valor médio de 49,9 gCO_{2eq}/kWh.

Veltkamp e Wild-Scholten (2006) analisaram, por meio da ACV, o impacto da vida útil no fator de emissão em painéis de um parque solar na Holanda e calcularam valores para o fator de emissão variando entre 20 e 120 gCO_{2eq}/kWh, de acordo com a vida útil dos painéis. O IPCC (2014) utiliza em seus modelos fatores de emissão variando entre 18 e 180 gCO_{2eq}/kWh para usinas solares. Marques et al. (2018) apontam um valor de 50 gCO_{2eq}/kWh para parques solares em Portugal. Alvim et al. (2010) calcularam um fator de emissão de GEE de 105 gCO_{2eq}/kWh para painéis solares instalados no Brasil. Não foram encontrados estudos de ACV para energia solar em Cabo Verde ou em qualquer outro país da África. O Quadro 2 apresenta um resumo destes estudos.

As emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de usinas termelétricas alimentadas por combustíveis fósseis, como o carvão, o óleo ou o gás natural, se devem principalmente à combustão desses materiais. As demais etapas, como a extração, o refino e o transporte, não são tão representativas (Hondo 2005; Santoyo-Castelazo, Gujba, Azapagic 2011; Turconi, Boldrin, Astrup 2013). Hondo (2005) calculou um fator de emissão de 742,1 gCO_{2eq}/kWh para as usinas

termelétricas a óleo no Japão. Santoyo-Castelazo et al. (2011) analisaram as emissões de GEE da geração de eletricidade do México e chegaram a um fator de emissão de 809 gCO_{2eq}/kWh para as usinas a óleo do país. Turconi, Boldrin e Astrup (2013) revisaram 10 estudos de ACV de usinas termelétricas a óleo e encontraram valores que variavam entre 750 e 900 gCO_{2eq}/kWh. A empresa Vattenfall (2012) avaliou as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de suas usinas na Suécia, Dinamarca e Noruega e encontrou um fator de emissão de 933 gCO_{2eq}/kWh para as usinas a óleo.

Quadro 2. Valores encontrados para o fator de emissão de GEE em estudos de ACV de painéis fotovoltaicos.

Fator de Emissão (gCO _{2eq} /kWh)	Referência	Considerações
9,4 e 167	Asdrubali et al. (2014)	Revisão da literatura
90	Evans et al. (2009)	Revisão da literatura (valor médio)
53,4	Hondo (2005)	Parque solar no Japão
105,1	Pehnt (2006)	Parque solar na Alemanha
13 a 130	Turconi, Boldrin e Astrup (2013)	Revisão da literatura
1 a 218; 49,9 (valor médio)	Nugent e Sovacool (2014)	Revisão da literatura
20 a 120	Veltkamp e Wild-Scholten (2006)	Parque solar na Holanda
18 a 180	IPCC (2014)	Revisão da literatura
50	Marques et al (2018)	Parque solar em Portugal
105	Alvim et al. (2010)	Parque solar no Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores.

Yang et al. (2007) utilizaram a ACV para analisar dados de 1997 a 2002 do setor elétrico de Taiwan e calcularam um fator de emissão de 779 gCO_{2eq}/kWh para as termelétricas a óleo taiwanesas. Garcia et al. (2014) avaliaram o sistema elétrico português e encontraram um valor de 912 gCO_{2eq}/kWh para o fator de emissão das usinas a óleo. As termelétricas a óleo das ilhas Maurício, na África, apresentam um fator de emissão de 754 gCO_{2eq}/kWh, segundo estudo de Brizmohun, Ramjeawon e Azapagic (2015). Kannan et al. (2007), encontraram um fator de emissão de 889 gCO_{2eq}/kWh para as usinas termelétricas a óleo de Singapura. Não foram encontrados na literatura estudos de ACV para as usinas termelétricas de Cabo Verde. Os valores apresentados nos estudos citados não consideram usinas de ciclo combinado, que reaproveitam parte do calor dos gases da queima do combustível utilizado na geração de energia. O Quadro 3 apresenta um resumo destes estudos.

Quadro 3. Valores encontrados para o fator de emissão de GEE em estudos de ACV de usinas termelétricas a óleo.

Fator de Emissão (gCO _{2eq} /kWh)	Referência	Considerações
742,1	Hondo (2005)	Usinas termelétricas no Japão
809	Santoyo-Castelazo, Gujba e Azapagic (2011)	Usinas termelétricas no México
750 a 900	Turconi, Boldrin e Astrup (2013)	Revisão da literatura
933	Vattenfall (2012)	Usinas termelétricas na Suécia, Dinamarca e Noruega operadas pela Vattenfall
779	Yang et al. (2007)	Usinas termelétricas em Taiwan
912	Garcia et al. (2014)	Usinas termelétricas em Portugal
754	Brizmohun, Ramjeawon e Azapagic (2015)	Usinas termelétricas nas ilhas Maurício
889	Kannan et al. (2007)	Usinas termelétricas em Singapura

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3. Cálculo das emissões ao longo do ciclo de vida das fontes renováveis

Considerando a geração de energia por fontes eólicas de 276,68 GWh em 2025 e um fator de emissão de GEE de 56 gCO_{2eq}/kWh e utilizando a equação 1, chega-se a um valor de aproximadamente 15.494 tonCO_{2eq} emitidas ao ano a partir de 2025.

Utilizando novamente a equação 1 e considerando uma geração de energia por fontes solares de 39,99 GWh em 2025 e um fator de emissão de GEE de 218 gCO_{2eq}/kWh, foi calculado um valor de aproximadamente 8.718 tonCO_{2eq} emitidas anualmente a partir de 2025.

3.4. Emissões evitadas

Se gerar 50% da energia elétrica por meio de fontes renováveis em 2025, Cabo Verde deixará de gerar aproximadamente 316,67 GWh/ano por meio de combustíveis fósseis. As usinas termelétricas de Cabo Verde utilizam o óleo diesel como combustível (Electra Sul, 2018; Electra Norte, 2018). Utilizando a Equação 1 e considerando um fator de emissão de GEE de 742,1 gCO_{2eq}/kWh para usinas termelétricas a óleo, verifica-se que, se os 316,67 GWh/ano fossem gerados por estas usinas, seriam emitidos aproximadamente 235.001 tonCO_{2eq}/ano.

Considerando que as emissões de GEE referentes à ACV da energia eólica e da energia solar seriam de, respectivamente, 15.494 tonCO_{2eq} e 8.718 tonCO_{2eq}, foi constatado por meio da Equação 2 que, se a geração de 50% da energia elétrica for feita por meio de fontes renováveis, a emissão de 210.789 tonCO_{2eq} seria evitada anualmente a partir de 2025.

4. DISCUSSÃO

Verificou-se neste estudo que deveriam ser instalados 65 geradores eólicos e 76.742 painéis fotovoltaicos, equivalentes a uma potência instalada total de 54,73 e 17,11 MW, respectivamente, para que 50% da geração de eletricidade em Cabo Verde seja oriunda de fontes renováveis em 2025. Apesar de ser capaz de gerar quase 40% da energia que Cabo Verde necessitará em 2025, verifica-se que esta infraestrutura não é grande para os padrões internacionais. Dados do *Global Energy Observatory* (2018) mostram que há inúmeros parques eólicos e solares com capacidade instalada igual ou maior do que essas. Ainda assim, o fato de Cabo Verde ter instalado, ao longo de toda a década de 2010, infraestruturas de geração de energia renováveis capazes de gerar anualmente apenas 82,5 GWh de eletricidade, mostra que o país enfrentará dificuldade para alcançar os 316,67 GWh pretendidos em 2025.

Uma revisão de diversos estudos de caso de ACV de turbinas eólicas e painéis solares indicou valores de referência para o fator de emissão de GEE para a instalação de cada uma destas tecnologias em Cabo Verde. Verifica-se que a variação deste fator na literatura é grande. Para a energia solar, por exemplo, os valores encontrados variavam entre 1 e 218 gCO_{2eq}/kWh. Entende-se que esta variação se deve a dois motivos: os diferentes procedimentos metodológicos adotados em cada estudo e a grande quantidade de variáveis que devem ser consideradas no cálculo do fator de emissão de GEE das energias renováveis.

Os valores encontrados na literatura para o fator de emissão de GEE das usinas termelétricas a óleo apresentou menor variação que o das energias renováveis. Isso ocorre porque, neste caso, as emissões oriundas da queima do combustível são muito mais significativas do que as emissões durante as demais etapas do processo, como a extração ou o transporte do combustível até a usina. Uma vez que as emissões de GEE durante a queima do óleo são praticamente as mesmas independentemente da usina termelétrica a óleo que se está avaliando, os valores tendem a ser mais próximos nos diversos estudos. Destaca-se ainda que usinas termelétricas que operam com base em outros combustíveis fósseis, como o gás natural ou o carvão, apresentam fator de emissão de GEE diferente do das usinas a óleo (Hondo 2005; Turconi, Boldrin, Astrup 2013; Santoyo-Castelazo, Gujba, Azapagic 2011).

O Instituto Nacional de Estatísticas (2013) de Cabo Verde estima que a população do país será de aproximadamente 588 mil habitantes em 2025. Logo, o valor estimado para a redução de emissões de GEE per capita com a implantação de energia renováveis é de aproximadamente 0,36

tonCO_{2eq} per capita em Cabo Verde a partir de 2025. As Ilhas Maurício e Comores, também países insulares africanos, reportaram à ONU metas de reduzir suas emissões de GEE em 1,68 e 0,59 tonCO_{2eq} per capita até 2030, respectivamente (Comores 2016; Mauritius 2015). Verifica-se que o plano de inserção de fontes renováveis na matriz energética elétrica de Cabo Verde tem um potencial de redução condizente com o apresentado por outros países insulares africanos.

Constatou-se que as emissões que seriam evitadas anualmente estão muito acima do previsto pelo governo de Cabo Verde. Na iNDC enviada à ONU em 2017, o governo previu que o plano de inserção de energias renováveis na matriz energética iria reduzir as emissões anuais de carbono entre 600 e 700 tonCO_{2eq}, ou seja, mais de 300 vezes menos do que o valor de 210.789 tonCO_{2eq} estimado neste artigo. Como o documento enviado à ONU não apresenta os cálculos desta estimativa do governo cabo-verdiano, não é possível identificar porque este resultado foi tão diferente do obtido neste artigo (Cabo Verde 2017).

Levar em consideração as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida das energias renováveis reduziu em aproximadamente 10,3% a estimativa de emissões evitadas, quando comparada a um cálculo que considerasse as energias eólica e solar como não emissoras de GEE. Contudo, esta consideração não é feita em muitos dos estudos de redução de emissões de GEE pela utilização de fontes renováveis, por exemplo, os da *European Environment Agency* (2017).

5. CONCLUSÃO

Foi verificado que o plano cabo-verdiano para substituir fontes fósseis de geração de energia elétrica por fontes renováveis tem o potencial de evitar 210.789 tonCO_{2eq} de emissões de GEE anualmente a partir de 2025. Este valor é significativamente maior do que aquele informado por Cabo Verde à ONU pela iNDC. Contudo, a infraestrutura de geração renovável de energia elétrica instalada em Cabo Verde na década de 2010, indica que a meta proposta, ter 50% da energia elétrica oriunda de fontes renováveis em 2025, só será alcançada caso o processo de instalação destas fontes seja acelerado. Constatou-se ainda que as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida das energias renováveis não são negligenciáveis e, por isso, devem ser consideradas nos cálculos de redução de emissões de GEE por substituição de fontes fósseis por fontes renováveis.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS DE PONTA PRETA, 2019. Números-chave. [em linha]. 2019. [Acesso em 17 abril 2019]. Disponível em: <http://aguaspontapreta.cv/datos-relevantes/>

- ALVIM, Carlos Feu, FERREIRA, Omar Campos, GUIDICINI, Olga Mafra, EIDELMAN, Frida, FERREIRA, Paulo Achtschin e BERNARDES, Marco Aurélio Santos, 2010. Comparação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na geração nuclear de eletricidade no Brasil com as de outras fontes. *Economia & Energia* [em linha]. 2010. vol. 15, no. 79. [Acesso em 4 maio 2020]. Disponível em: https://ecen.com/eee79/eee79p/gases_nuclear.htm
- AOSIS, 2015. AOSIS opening statement for 21st conference of parties to the UNFCCC. [em linha]. 2015. [Acesso em 4 maio 2020]. Disponível em: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/cop21cmp11_hls_speech_aosis_maldives.pdf
- ARDENTE, Fulvio, BECCALI, Marco, CELLURA, Maurizio e LO BRANO, Valerio, 2008. Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 janeiro 2008. vol. 12, no. 1, p. 200–217. DOI [10.1016/j.rser.2006.05.013](https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.013).
- ASDRUBALI, Francesco, BALDINELLI, Giorgio, D'ALESSANDRO, Francesco e SCRUCICA, Flavio, 2015. Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 fevereiro 2015. vol. 42, p. 1113–1122. DOI [10.1016/j.rser.2014.10.082](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.082).
- BRIZMOHUN, Ravina, RAMJEAWON, Toolseeram e AZAPAGIC, Adisa, 2015. Life cycle assessment of electricity generation in Mauritius. *Journal of Cleaner Production*. novembro 2015. vol. 106, p. 565–575. DOI [10.1016/j.jclepro.2014.11.033](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.033).
- CABEÓLICA, 2018. Relatório & Contas 2018. 2018.
- CABO VERDE, 2017. Intended nationally determined contribution of Cabo Verde. [em linha]. 2017. [Acesso em 2 abril 2018]. Disponível em: http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Cabo%20Verde%20First/Cabo_Verde_INDC_.pdf
- COMORES, 2016. Contribution prévues déterminée au niveau national de l'Union des Comores. [em linha]. 2016. [Acesso em 18 abril 2018]. Disponível em: http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Comoros%20First/INDC_Comores_Version_Francaise.pdf
- CRAWFORD, R. H., 2009. Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 dezembro 2009. vol. 13, no. 9, p. 2653–2660. DOI [10.1016/j.rser.2009.07.008](https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.008).
- ELECTRA NORTE, 2019. Relatório e contas: Exercício de 2018. 2019.
- ELECTRA SUL, 2019. Relatório e contas: Exercício de 2018. 2019.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2017. *Renewable energy in Europe – 2017 Update: Recent Growth and knock-on effects*. Luxembourg, Belgium: Publication Office of the European Union.
- EVANS, Annette, STREZOV, Vladimir e EVANS, Tim J., 2009. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 junho 2009. vol. 13, no. 5, p. 1082–1088. DOI [10.1016/j.rser.2008.03.008](https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.008).
- GARCIA, Rita, MARQUES, Pedro e FREIRE, Fausto, 2014. Life-cycle assessment of electricity in Portugal. *Applied Energy*. 1 dezembro 2014. vol. 134, p. 563–572. DOI [10.1016/j.apenergy.2014.08.067](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.067).
- GESTO ENERGIA, 2011a. *Atlas de projectos de energias de Cabo Verde*. Cabo Verde.
- GESTO ENERGIA, 2011b. *Estudo de evolução da procura*. Cabo Verde.
- GESTO ENERGIA, 2011c. *Plano energético renovável Cabo Verde*. Cabo Verde.
- GLOBAL ENERGY OBSERVATORY, 2018. Welcome to the Global Energy Observatory (GEO): A one-stop site for global energy information. [em linha]. 2018. [Acesso em 28 março 2018]. Disponível em: <http://globalenergyobservatory.org/index.php>

- GUEZURAGA, Begoña, ZAUNER, Rudolf e PÖLZ, Werner, 2012. Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines. *Renewable Energy*. 1 janeiro 2012. vol. 37, no. 1, p. 37–44. DOI [10.1016/j.renene.2011.05.008](https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.008).
- HONDO, Hiroki, 2005. Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy*. 1 agosto 2005. vol. 30, no. 11, p. 2042–2056. DOI [10.1016/j.energy.2004.07.020](https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.07.020).
- HUNT, Robert G. e FRANKLIN, William E., 1996. LCA: How it came about. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 1 março 1996. vol. 1, no. 1, p. 4–7. DOI [10.1007/BF02978624](https://doi.org/10.1007/BF02978624).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2013. Projeções demográficas de Cabo Verde 2010-2030. [em linha]. 2013. [Acesso em 6 maio 2020]. Disponível em: http://ine.cv/wp-content/uploads/2016/10/Retro-Projeccao-2000-2010eProjeccoesDemograficasCABOVERDE_2010-2030.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2017. Anuário estatístico: Cabo Verde 2016. [em linha]. 18 dezembro 2017. [Acesso em 6 maio 2020]. Disponível em: <http://ine.cv/publicacoes/anuario-estatistico-cabo-verde-2015/>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. [em linha]. 2014. [Acesso em 6 maio 2020]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- KANNAN, R., LEONG, K. C., OSMAN, R. e HO, H. K., 2007. Life cycle energy, emissions and cost inventory of power generation technologies in Singapore. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 maio 2007. vol. 11, no. 4, p. 702–715. DOI [10.1016/j.rser.2005.05.004](https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.05.004).
- LENZEN, Manfred e WACHSMANN, Ulrike, 2004. Wind turbines in Brazil and Germany: an example of geographical variability in life-cycle assessment. *Applied Energy*. 1 fevereiro 2004. vol. 77, no. 2, p. 119–130. DOI [10.1016/S0306-2619\(03\)00105-3](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00105-3).
- MARQUES, Pedro Augusto, KABAYO, Jeremiah, GARCIA, Rita e FREIRE, Fausto, 2018. Avaliação Ambiental de Ciclo de Vida dos principais sistemas de geração de eletricidade em Portugal. *LALCA - Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*. 19 novembro 2018. vol. 2, no. n. esp., p. 110–127. DOI [10.18225/lalca.v2iEspec.4467](https://doi.org/10.18225/lalca.v2iEspec.4467).
- MARTÍNEZ, E., SANZ, F., PELLEGRINI, S., JIMÉNEZ, E. e BLANCO, J., 2009. Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine. *Renewable Energy*. 1 março 2009. vol. 34, no. 3, p. 667–673. DOI [10.1016/j.renene.2008.05.020](https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.020).
- MAURITIUS, 2015. *Intended nationally determined contribution for the Republic of Mauritius* [em linha]. UNFCCC. [Acesso em 4 abril 2018]. Disponível em: <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Mauritius%20First/Final%20INDC%20for%20Mauritius%2028%20Sept%202015.pdf>
- MINISTÉRIO DE ECONOMIA, CRESCIMENTO E COMPETITIVIDADE [CABO VERDE], 2008. *Política energética de Cabo Verde*. Praia, Cabo Verde.
- MUNIR, Nazia Binte, HUQUE, Ziaul e KOMMALAPATI, Raghava R., 2016. Impact of Different Parameters on Life Cycle Analysis, Embodied Energy and Environmental Emissions for Wind Turbine System. *Journal of Environmental Protection*. 2016. vol. 07, no. 07, p. 1005–1015. DOI [10.4236/jep.2016.77089](https://doi.org/10.4236/jep.2016.77089).
- NUGENT, Daniel e SOVACOOOL, Benjamin K., 2014. Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*. 1 fevereiro 2014. vol. 65, p. 229–244. DOI [10.1016/j.enpol.2013.10.048](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.048).
- OEBELS, Kerstin B. e PACCA, Sergio, 2013. Life cycle assessment of an onshore wind farm located at the northeastern coast of Brazil. *Renewable Energy*. maio 2013. vol. 53, p. 60–70. DOI [10.1016/j.renene.2012.10.026](https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.026).
- PADEY, Pierryves, BLANC, Isabelle, BOULCH, Denis Le e XIUSHENG, Zhao, 2012. A Simplified Life Cycle Approach for Assessing Greenhouse Gas Emissions of Wind Electricity. *Journal of Industrial Ecology*. 2012. vol. 16, no. s1, p. S28–S38. DOI [10.1111/j.1530-9290.2012.00466.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00466.x).
- PEHNT, Martin, 2006. Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*. 1 janeiro 2006. vol. 31, no. 1, p. 55–71. DOI [10.1016/j.renene.2005.03.002](https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.002).

- REICH, N. H., ALSEMA, E. A., SARK, W. G. J. H. M. van, TURKENBURG, W. C. e SINKE, W. C., 2011. Greenhouse gas emissions associated with photovoltaic electricity from crystalline silicon modules under various energy supply options. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 2011. vol. 19, no. 5, p. 603–613. DOI [10.1002/pip.1066](https://doi.org/10.1002/pip.1066).
- SANTOYO-CASTELAZO, E., GUJBA, H. e AZAPAGIC, A., 2011. Life cycle assessment of electricity generation in Mexico. *Energy*. 1 março 2011. vol. 36, no. 3, p. 1488–1499. DOI [10.1016/j.energy.2011.01.018](https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.018).
- SCHLEISNER, L, 2000. Life cycle assessment of a wind farm and related externalities. *Renewable Energy*. 1 julho 2000. vol. 20, no. 3, p. 279–288. DOI [10.1016/S0960-1481\(99\)00123-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(99)00123-8).
- SHERWANI, A. F., USMANI, J. A. e VARUN, 2010. Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 janeiro 2010. vol. 14, no. 1, p. 540–544. DOI [10.1016/j.rser.2009.08.003](https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.003).
- STEFFEN, Will, SANDERSON, Angelina, TYSON, Peter, JÄGER, Jill, MATSON, Pamela, MOORE, Berrien, OLDFIELD, Frank, RICHARDSON, Katherine, SCHELLNHUBER, H. John, TURNER, B. L. e WASSON, Robert J., 2005. *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure* [em linha]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [Acesso em 6 maio 2020]. Global Change – The IGBP Series. ISBN 978-3-540-26594-8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/b137870>
- TREMEAC, Brice e MEUNIER, Francis, 2009. Life cycle analysis of 4.5MW and 250W wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 outubro 2009. vol. 13, no. 8, p. 2104–2110. DOI [10.1016/j.rser.2009.01.001](https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.001).
- TURCONI, Roberto, BOLDRIN, Alessio e ASTRUP, Thomas, 2013. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 dezembro 2013. vol. 28, p. 555–565. DOI [10.1016/j.rser.2013.08.013](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.013).
- UDDIN, Md. Shazib e KUMAR, S., 2014. Energy, emissions and environmental impact analysis of wind turbine using life cycle assessment technique. *Journal of Cleaner Production*. abril 2014. vol. 69, p. 153–164. DOI [10.1016/j.jclepro.2014.01.073](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.073).
- VATTENFALL, 2012. *Life cycle assessment: Vattenfall's electricity generation in the Nordic countries*.
- VELTKAMP, A. C. e WILD-SCHOLTEN, Mariska de, 2006. Dye sensitised solar cells for large-scale photovoltaics: the determination of environmental performances. Em: *Proceedings of the Renewable Energy 2006* [em linha]. Chiba, Japan. 2006. [Acesso em 6 maio 2020]. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/c5d1/5a572ee21ab4298641e20917c656859c9df6.pdf>
- VESTAS, 2011a. *Life cycle assessment of electricity production from a V90 – 2.0 MW Gridstreamer wind plant*. Aarhus, Denmark: Vesta.
- VESTAS, 2011b. *Life cycle assessment of electricity production from a V100 – 1.8 MW Gridstreamer wind plant*. Aarhus, Denmark: Vesta.
- VESTAS, 2011c. *Life cycle assessment of electricity production from a V112 turbine wind plant: Final report*. Aarhus, Denmark: Vesta.
- VESTAS, 2015. *Life cycle assessment of electricity production from an onshore V110 – 2.0 MW wind plant*. Aarhus, Denmark: Vesta.
- YANG, Ying-Hsien, LIN, Sue-Jane e LEWIS, Charles, 2007. Life Cycle Assessment of Fuel Selection for Power Generation in Taiwan. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 1 novembro 2007. vol. 57, no. 11, p. 1387–1395. DOI [10.3155/1047-3289.57.11.1387](https://doi.org/10.3155/1047-3289.57.11.1387).