

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA E SEU IMPACTO NA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂: ESTUDO DE CASO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA SITUADA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Luann Georgy Oliveira Queiroz ¹
Éberte Valter da Silva Freitas ²
Mariana Altoé Mendes ³
Luiz Guilherme Riva Tonini ⁴
Oureste Elias Batista ⁵

RESUMO

A Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV) no Brasil vem ganhando espaço considerável nos últimos anos, sendo impulsionada, sobretudo, pela necessidade de reduzir a utilização de combustíveis fósseis e pela diversificação da matriz energética nacional. Diante disso, o presente trabalho aborda sobre a potencialidade que o semiárido nordestino apresenta para utilização dessa modalidade de geração de energia elétrica, efetuando um estudo de caso sobre uma usina fotovoltaica localizada no município de Mossoró - RN, Brasil. Por meio desta temática, objetiva-se evidenciar a relação entre o uso da GDFV e a redução nas emissões de Dióxido de Carbono (CO₂). Contando com os dados de geração de energia elétrica da usina fotovoltaica e com os fatores de emissão de CO₂ referentes ao Sistema Interligado Nacional (SIN), adotou-se a metodologia *Bottom-up* para o cálculo das emissões de Dióxido de Carbono, realizando uma análise comparativa entre o Sistema Interligado Nacional e a GDFV. Os resultados obtidos mostraram que, apesar de ser considerada uma fonte limpa e renovável, a energia solar apresenta níveis de emissão de Dióxido de Carbono associados ao seu ciclo de vida, necessitando que os mesmos sejam considerados. Apesar disso, em comparação ao SIN, a usina fotovoltaica ainda apresentou uma maior viabilidade, sendo responsável por uma retenção total de 24,56 toneladas de CO₂ (tCO₂) durante seus primeiros 32 meses de funcionamento, onde, para uma mesma parcela de energia gerada pela usina, o SIN produziria uma quantidade de CO₂ 125% superior.

Palavras-chave: Geração Distribuída Fotovoltaica, Emissão de CO₂, Estudo de Caso, *Bottom-up*, Semiárido Nordeste.

1. INTRODUÇÃO

O processo de geração de energia elétrica pode ser realizado através do uso de diferentes fontes de energia, onde a escolha de uma determinada fonte levará em conta principalmente o potencial que uma determinada região apresenta à sua utilização. Além disso, a busca pela

¹ Doutorando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, luann.queiroz@aluno.ufes.br;

² Mestre pelo Curso Interdisciplinar em Cognição, Tecnologias e Instituições da Universidade Federal Rural do Semiárido - Ufersa, ebertefreitas@ufrn.edu.br;

³ Doutoranda do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, autoemariana@hotmail.com;

⁴ Doutorando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, ltonini@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo- USP, oureste.batista@ufes.br.

diminuição no uso de combustíveis fósseis e pela mitigação de impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica vêm elevando o emprego de fontes renováveis, como a Solar e a Eólica (Gan, Eskeland e Kolshus, 2007).

Dentro do contexto mencionado, novas tecnologias, como a Geração Distribuída (GD), tornaram-se mais populares, ganhando um maior destaque em países como Alemanha, Estados Unidos e Espanha (Salas e Olias, 2009). A GD se caracteriza por ser tipicamente integrada em telhados e coberturas de edificações, apresentando fontes de geração conectadas diretamente à rede e localizadas próximas as unidades de consumo. Além disso, a GD destaca-se por estar quase sempre associada a fontes renováveis de energia elétrica (Ackermann, Andersson e Söder, 2001).

Um grande marco na evolução do uso da GD no Brasil foi a Resolução Normativa nº 482/2012 da Aneel (ANEEL, 2012), que estabeleceu regras para o acesso de microgeração distribuída (potências menores ou iguais a 75 kW) e minigeração distribuída (potência superior a 75 kW e menor ou igual 5 MW) aos sistemas de distribuição e ao sistema de compensação de energia. Essa resolução ocasionou um significativo aumento do uso de GDs no país ao possibilitar ao consumidor, pessoa física ou jurídica, gerar a sua própria energia.

Com o passar dos anos a Resolução Normativa nº 482/2012 vem sofrendo modificações, tornando a GD cada vez mais viável. No ano de 2015, a ANEEL publicou a Resolução Normativa n.º 687/2015 (ANEEL, 2015) com objetivo de reduzir os custos e o tempo para a conexão da microgeração e minigeração. Além disso, em 2017 foi publicada a Resolução Normativa nº 786/2017 (ANEEL, 2017) que alterou os limites de potência correspondentes a minigeração distribuída, passando a ser definida entre 75 kW e 5 MW.

Atualmente, a geração distribuída no Brasil engloba cerca de 53.579 consumidores, sendo a energia solar fotovoltaica representante de 99,5% do número total de instalações e 83,7% da potência total (ANEEL, 2019). A utilização da Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV) deve-se principalmente às vantagens oferecidas por essa fonte de energia: redução de impactos ambientais, matéria-prima inesgotável e baixa necessidade de manutenção das usinas (Pinto, Amaral e Janissek, 2016). Além disso, o país apresenta índices elevados de irradiação solar, que ocorrem de forma mais significativa na região Nordeste, tornando essa uma região de alta viabilidade para instalação da modalidade de Geração Distribuída (Pereira *et al.*, 2017).

Diante do aumento da utilização de energia solar no mundo em substituição a fontes de energia que utilizam combustíveis fósseis, estima-se uma redução anual de cerca de 200 a 300 milhões de toneladas de CO₂. Esse valor tende a crescer, visto as diversas políticas de apoio

que vêm sendo empregadas, estimulando o aperfeiçoamento dessa tecnologia e a redução de custos no seu processo de confecção e instalação (IRENA, 2017). Dessa forma, visto que no Brasil a geração de energia elétrica representa uma das maiores fontes de emissão de CO₂ (SEEG, 2017), torna-se de alta relevância o aumento do uso de fontes renováveis de energia e a realização de estudos referentes a essa temática.

Diante das informações discutidas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial da Geração Distribuída Fotovoltaica no estado do Rio Grande do Norte, localizado na região com alguns dos maiores índices de irradiação solar do país. Além disso, através de um estudo de caso, será quantificado a redução na emissão de CO₂ que está relacionada ao uso de uma usina fotovoltaica real situada no semiárido potiguar.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi inicialmente elaborada através de uma análise da Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV) no estado do Rio Grande do Norte, destacando a cidade de Mossoró, situada no semiárido potiguar. Em seguida, foram analisados os impactos da Geração Distribuída sobre as emissões de Dióxido de Carbono (CO₂), expondo os níveis de emissão desse gás associados ao consumo de energia elétrica.

De forma geral, para alcançar os propósitos citados, foi realizado um estudo de caso por meio de dados de geração de energia elétrica correspondentes a uma usina fotovoltaica conectada à rede situada na Universidade Federal Rural do Semiárido (Ufersa) – Campus Mossoró. Através de dados reais divulgados de forma online e pública pela própria instituição, foi possível obter a capacidade de geração da usina desde o seu período inicial de funcionamento (novembro de 2016) até junho de 2019, que serviram para quantificar a redução de CO₂ que a usina proporcionou ao longo do tempo.

2.1 Local de Estudo e Suas Características

A usina fotovoltaica analisada, denominada Mossoró 2, faz parte de um conjunto de usinas presentes no campus central da Ufersa. Devido à falta de dados mais completos referentes as demais usinas, Mossoró 2 foi a única considerada nesta pesquisa. Sua localização se encontra no semiárido potiguar, região com um dos maiores índices de irradiação do país. As principais características técnicas da usina estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais Características Técnicas da Usina Mossoró 2

Número de Módulos	580
Fabricantes e Modelo dos Módulos	Canadian Solar CS69-260P-SD
Potência de Pico do Módulo (Wp)	260
Potência de Pico Total (kWp)	150,8
Área do Arranjo (m ²)	933
Azimute	35°
Ângulo de Inclinação	10°
Tipo de Instalação do Arranjo	Em solo
Número de Inversores	10
Potência dos Inversores (kW)	15
Modelo dos Inversores	Ginlong SOLIS - 15k
Tensão de Operação	380 f-f

Fonte: Ufersa (2019)

Os níveis de geração da usina em estudo estão presentes na Tabela 2 que indica os diferentes valores de energia elétrica que foram produzidos mensalmente desde a sua instalação (novembro de 2016).

Tabela 2 – Energia Produzida (MWh): Usina Mossoró 2

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,2	19,4
2017	20,9	15,4	19,4	22,6	21,6	20,9	19,7	24,1	21,9	18,1	19,1	18,3
2018	16,1	13,4	16,8	17,0	17,5	11,3	13,3	18,8	11,7	17,8	6,7	18,4
2019	17,9	12,2	15,8	18,4	19,6	16,8	-	-	-	-	-	-

Fonte: Ufersa (2019)

Analisando a Tabela 2 é possível determinar que a usina produz em média 17,5 MWh por mês. A variação existente entre a energia produzida ao longo dos meses ocorre devido a diferentes fatores climáticos que influenciam diretamente os níveis de irradiação, tais como nebulosidade e presença de períodos chuvosos.

2.2 Cálculo da Emissão de CO₂

De acordo com o Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é possível quantificar as emissões de CO₂ utilizando a metodologia *Bottom-up* (IPCC, 2006), que estima os valores de Dióxido de Carbono associados a uma determinada fonte de geração de energia, como descrito na Equação 1.

$$ECO_2 = EP \times FE \quad (1)$$

Em que: ECO₂ = emissão de CO₂ (tCO₂); EP = energia produzida (MWh); e FE = fator de emissão de CO₂ (tCO₂/MWh)

O Fator de Emissão de CO₂ é um parâmetro que relaciona a quantidade de CO₂ emitida em função da geração de energia elétrica. Seu valor varia dependendo do tipo de fonte associada e da época do ano em estudo. O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) divulga mensalmente o FE do Sistema Interligado Nacional (SIN), sistema de produção e transmissão de energia elétrica brasileiro. Na Tabela 3 é possível observar o FE médio entre janeiro de 2016 e junho de 2019.

Tabela 3 –Fatores de Emissão do SIN entre 2016 e 2019

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh) - 2016												Média Anual
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0,096	0,081	0,071	0,075	0,070	0,076	0,072	0,083	0,089	0,092	0,100	0,071	0,0817
Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh) - 2017												Média Anual
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0,056	0,053	0,069	0,081	0,084	0,067	0,096	0,131	0,126	0,136	0,119	0,089	0,0927
Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh) - 2018												Média Anual
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0,064	0,060	0,063	0,052	0,060	0,091	0,107	0,118	0,118	0,080	0,036	0,034	0,0740
Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh) - 2019												Média Anual
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0,035	0,066	0,053	0,051	0,048	0,042	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: MCTIC (2019a)

Observando a Tabela 3 nota-se os diferentes valores de FE ao longo dos anos. Tal variação surge devido as diferentes fontes presentes no SIN, onde o aumento ou diminuição do FE ocorre, respectivamente, devido a maior ou menor participação dos insumos fósseis para geração de eletricidade no país.

Se tratando de fontes renováveis, segundo com Bertoldi *et al.* (2010), ao ser considerada exclusivamente a GDFV como fonte de energia elétrica o FE médio corresponde a 0,035 tCO₂/MWh. Apesar da energia solar não emitir gases poluentes em seu processo de geração de energia, o FE descrito é atribuído aos sistemas fotovoltaicos levando-se em consideração as emissões ao longo de todo o ciclo de vida desses sistemas, que incluem etapas como fabricação e montagem das células fotovoltaicas e de outros componentes do sistema, transporte do material, manutenção, limpeza e descarte ou reciclagem (Peng, Lu e Yang, 2013).

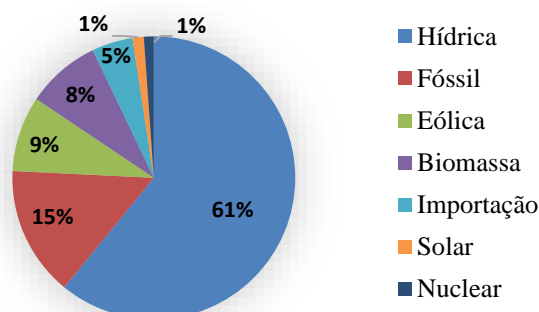
Diante dos valores de fator de emissão apresentados e dos níveis de geração descritos será possível quantificar o valor de emissão de CO₂ correspondente a usina fotovoltaica em análise, bem como, comparar com a quantidade de CO₂ emitida por uma mesma parcela de energia gerada pelo SIN.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Matriz Energética Brasileira e a Energia Solar Fotovoltaica

O sistema de geração de energia elétrica no Brasil está composto quase que totalmente, com exceção de alguns sistemas isolados, dentro do Sistema Interligado Nacional (SIN) que se caracteriza por ser um sistema hidro-termo-eólico, com predominância de usinas hidrelétricas (ONS, 2019). Atualmente, a capacidade total de geração de energia elétrica no Brasil atinge a marca aproximada de 174 GW com participação de diferentes fontes de energia, conforme ilustrado na Figura 1 (ANEEL, 2019).

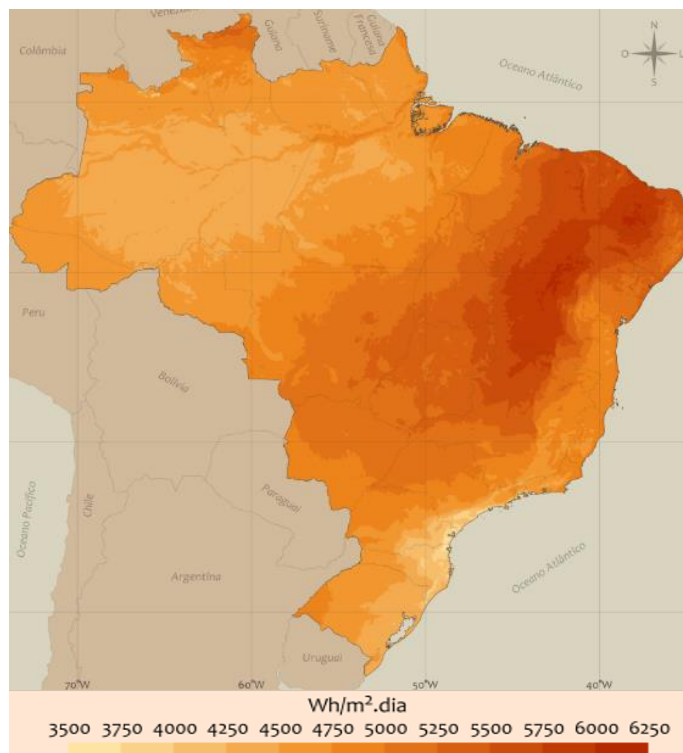
Figura 1 – Matriz de Energia Elétrica Brasileira



Fonte: ANEEL (2019)

Apesar da expressiva participação das fontes hídrica e fóssil na matriz energética brasileira (Figura 1), o aumento significativo da demanda de energia elétrica que vem ocorrendo nos últimos anos e a busca por uma menor dependência de combustíveis fósseis promovem a elevação do uso de fontes renováveis de energia (Villalva, 2012). Nessa conjuntura, a energia solar, ainda que possua um baixo aproveitamento quando comparado a outras fontes, se apresenta como uma alternativa de grande importância ambiental, econômica e social para o desenvolvimento sustentável. Além disso, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2017), o Brasil apresenta vantagens significativas que impulsionam a utilização desse tipo de energia, possuindo altos índices de irradiação em todo seu território, como pode ser constatado na Figura 2.

Figura 2 – Total Diário da Irradiação Solar (Média Anual)



Fonte: Pereira *et al.* (2017)

De acordo com a Figura 2 fica evidente os índices elevados de irradiação presentes no Brasil, com destaque para região Nordeste que possui valores próximos a 6,3 kWh/m² em certas localidades de clima semiárido, favorecendo a utilização da energia solar fotovoltaica nessa região.

3.2 Geração Distribuída Fotovoltaica no Rio Grande do Norte

Apesar de ainda não ser referência no uso da GDFV no Brasil, o Rio Grande do Norte (RN), assim como ficou claro na seção 3.2, apresenta um dos índices mais elevados de irradiação solar do país, visto que o mesmo possui um clima semiárido em grande parte do seu território. Dessa forma, o estado possui um forte potencial para o investimento e utilização de usinas fotovoltaicas, principalmente através da Geração Distribuída.

Segundo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Rio Grande do Norte possui atualmente cerca de 1.690 unidades consumidoras que utilizam a modalidade de Geração Distribuída, apresentando uma potência instalada total de 24.538,96 kW. Desse total, 1.683 das usinas utilizam a energia solar como fonte primária e apenas 7 delas a energia cinética do vento. Dessa forma a Geração Distribuída Fotovoltaica destaca-se, representando mais de 95% da potência instalada (ANEEL, 2019).

A cidade de Mossoró, localizada no semiárido potiguar e possuindo cerca de 259.815 habitantes, apresenta um nível de irradiação anual médio de 5,8 kWh/m². Dentre o total de unidades consumidoras que utilizam a modalidade de GDFV no estado, 350 (20,1%) estão presentes na cidade, incluindo a usina Mossoró 2 analisada nesse estudo (ANEEL, 2019).

3.3 Emissões de CO₂ na Matriz Energética Brasileira

O setor energético representa a segunda maior fonte de emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) no Brasil com valores menores apenas do que a Agropecuária. Conforme o Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene), até o ano de 2010 as emissões de CO₂ proveniente do setor de energia quantificavam em 371.095,80 Gg, equivalente a 29,2% das emissões totais (MCTIC, 2019b). Além disso, pesquisas mais recentes mostram que no ano de 2017 as emissões de CO₂ do Brasil oriundas da produção de energia elétrica totalizaram 43,14 mil Gg, provenientes sobretudo devido o uso de combustíveis fósseis, como diesel, óleo combustível, gás natural e carvão (EPE, 2018).

Se tratando do estado do Rio Grande do Norte, estima-se que em 2017 o setor energético foi responsável por 42% das emissões de CO₂, se constituindo como a principal fonte de emissões e relacionando-se diretamente com o constante aumento na demanda de energia elétrica (OC, 2019).

Diante dos dados apresentados torna-se pertinente o estudo de alternativas sustentáveis que promovam a diminuição das emissões de CO₂ no Brasil. A utilização da energia

fotovoltaica se enquadra nesse perfil, possibilitando ganhos ambientais expressivos frente o atual cenário energético.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o valor médio do Fator de Emissão de CO₂ relacionado ao sistema fotovoltaico e frente a quantidade de energia elétrica produzida pela usina Mossoró 2 ao longo dos seus primeiros 32 meses de funcionamento, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 4 que indicam os diferentes níveis de emissão gerados ao longo desse período.

Tabela 4 – Emissão de CO₂ (tCO₂): Geração Distribuída Fotovoltaica (Mossoró 2)

Toneladas de CO ₂ Emitidas (tCO ₂)												
Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,706	0,678
2017	0,734	0,539	0,677	0,790	0,755	0,730	0,689	0,844	0,765	0,634	0,668	0,641
2018	0,563	0,470	0,588	0,596	0,613	0,397	0,465	0,659	0,409	0,623	0,237	0,643
2019	0,628	0,428	0,554	0,642	0,685	0,587	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria

Diante dos valores exibidos na Tabela 4, estima-se que a usina Mossoró 2 foi responsável por emitir um total de 19,6 tCO₂ durante o período analisado (nov/2016-junho/2019), equivalente a uma média de 0,613 tCO₂ por mês. Vale salientar que tais emissões são consideradas levando-se em conta apenas o ciclo de vida associado aos componentes da usina fotovoltaica, visto que não há emissão de gases durante a produção de energia elétrica.

Considerando que o mesmo valor de energia gerada pela usina Mossoró 2 fosse produzido por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN) são indicados na Tabela 5 os valores mensais de emissão de Dióxido de Carbono.

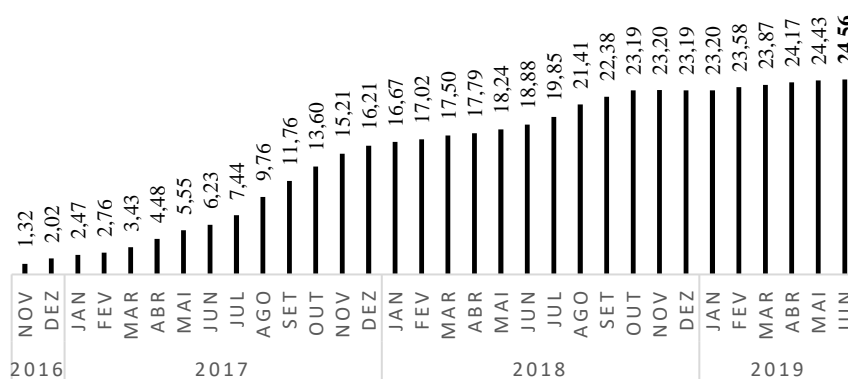
Tabela 5 – Emissão de CO₂ (tCO₂): Sistema Interligado Nacional

Toneladas de CO ₂ Emitidas (tCO ₂)												
Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,022	1,383
2017	1,187	0,825	1,347	1,840	1,828	1,411	1,900	3,165	2,763	2,477	2,277	1,634
2018	1,029	0,817	1,066	0,891	1,062	1,039	1,430	2,222	1,381	1,428	0,248	0,630
2019	0,637	0,816	0,839	0,943	0,943	0,715	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria

De acordo com a Tabela 5, para a produção da mesma parcela de energia gerada pela usina fotovoltaica, o SIN emitiria um total de 44,19 tCO₂, significando uma média de 1,38 tCO₂ mensais e um aumento total de emissões de 125%. Adicionalmente, a Figura 3 busca expor como essa redução se deu ao longo do tempo, onde os valores indicados em cada mês representam a redução total de CO₂ naquele período somada com a redução obtida no mês anterior.

Figura 3 – Acúmulo da Redução de CO₂ no Decorrer dos Meses (tCO₂)



Fonte: Autoria própria

Percebe-se através da Figura 3 que a usina Mossoró 2 possibilitou uma redução de 15,21 tCO₂ em seu primeiro ano de funcionamento (até novembro de 2017) e de 23,20 tCO₂ em seu segundo ano (novembro de 2018). Além disso, reduzindo em média cerca de 0,77 tCO₂ mensais a usina garantiu uma retenção total de 24,56 tCO₂ até junho de 2019.

Efetuando uma análise futura, ao considerar a redução média mensal de 0,77 tCO₂, foi possível estimar também que nos próximos 10 anos a usina em análise será responsável por reduzir a emissão de um total de 92,40 tCO₂ (considerando que o Fator de Emissão do SIN nos próximos anos não se distancie de forma significativa dos apresentados nessa pesquisa).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou evidenciar o alto nível de irradiação solar presente no semiárido nordestino, analisando o potencial da Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV) nessa região e a relação direta entre essa modalidade de produção de energia e a diminuição nas emissões de CO₂.

Inicialmente foi mostrado que a energia solar fotovoltaica, apesar de ser considerada uma energia renovável e limpa durante seu processo de geração de energia elétrica, apresenta níveis de emissão de CO₂ associados ao seu ciclo de vida, constatando-se um fator de emissão não nulo.

Posteriormente, através de um estudo comparativo, os resultados apresentados nessa pesquisa mostraram que, apesar dos níveis de emissão relacionados a GDFV, a mesma apresenta uma produção de CO₂ menos significativa quando comparada ao Sistema Interligado Nacional. Com a implantação da usina Mossoró 2 cerca de 24,56 tCO₂ deixaram de ser emitidos na atmosfera até junho de 2019.

Além disso, foi possível prever que em seus próximos 10 anos de funcionamento Mossoró 2 irá proporcionar uma redução de 92,40 tCO₂. No entanto, vale salientar que esse valor é apenas uma estimativa, visto que ao longo dos meses o Fator de Emissão do SIN varia de acordo com a presença de combustíveis fósseis na produção de energia elétrica, podendo tornar mais ou menos significativa a colaboração da Geração Distribuída Fotovoltaica nesse cenário.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: A definition. **Electric Power Systems Research**, v. 57, n. 3, p. 195–204, 2001.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482 de 2012**. 2012.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 687 de 2015**. 2015.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 786 de 2017**. 2017.

ANEEL. **Banco de Informações de Geração (BIG)**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: Agosto de 2019.

BERTOLDI, P. *et al.* **How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) - Guidebook**. p. 120, 2010.

EPE, E. DE P. E. **Anuário estatístico de energia elétrica 2018, ano base 2017**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>>

GAN, L.; ESKELAND, G. S.; KOLSHUS, H. H. Green electricity market development: Lessons from Europe and the US. **Energy Policy**, v. 35, n. 1, p. 144–155, 2007.

IPCC, I. P. ON C. C. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v.

2, 2006.

IRENA, The International Renewable Energy Agency. **Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency.** Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

MCTIC, Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações. **Fatores de Emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional do Brasil.** Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acesso em: 20 set. 2008a.

MCTIC, Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações. **Sirene - Sistema de Registro Nacional de Emissões.** Disponível em: <<https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/index.html>>.

OC, Observatório do Clima. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases.** Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br>>.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O Sistema Interligado Nacional.** Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>.

PENG, J.; LU, L.; YANG, H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 255–274, 2013.

PEREIRA, E. B. *et al.* Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. **Inpe**, p. 80, 2017.

PINTO, J. T. M.; AMARAL, K. J.; JANISSEK, P. R. Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing. **Solar Energy**, v. 133, n. 2016, p. 73–84, 2016.

SALAS, V.; OLIAS, E. Overview of the photovoltaic technology status and perspective in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 1049–1057, 2009.

SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br>>. Acesso em: 20 set. 2008.

UFERSA. **Usinas Solares da UFERSA.** Disponível em: <<https://usinasolar.ufersa.edu.br>>.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica.** 1. ed. São Paulo. 2012.