

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PECCA**

GESTÃO ESTRATÉGICA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E BIOCMBUSTÍVEIS

LUCAS ARI MAZETO

**ANÁLISE DE APLICABILIDADE DE CRÉDITOS DE CARBONO PARA USINAS
FOTOVOLTAICAS**

**CURITIBA
2020**

LUCAS ARI MAZETO

**ANÁLISE DE APLICABILIDADE DE CRÉDITOS DE CARBONO PARA
USINAS FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Gestão Estratégica de Energias
Renováveis e Biocombustíveis, na Universidade
Federal do Paraná

Orientadora: Dr.^a Bruna Nascimento de
Vasconcellos

CURITIBA

2020

A minha família, razão de minha existência.

A Deus.

AGRADECIMENTO

Agradeço a meu orientador pela paciência e grandes ensinamentos.

RESUMO

Com a assinatura do protocolo de Kyoto em 1997, estabeleceu-se um compromisso que os grandes países poluidores reduziram sua emissões de gases de efeito estufa, com o intuito de frear o aquecimento global. Na ocasião foi criado um mercado de créditos de carbono, onde os países que reduzissem a emissão Gases de Efeito Estufa (GEE), teriam direito a créditos de carbono que poderiam ser vendidos para outros países. O presente estudo quantificou as emissões de CO₂ provenientes de uma usina fotovoltaica, o CO₂ não emitido em comparação com a Matriz Elétrica Nacional, passível de ser convertido em créditos de carbono, além do cálculo de quantos créditos poderiam ser gerados. Para o cálculo do crédito de carbono proveniente da energia fotovoltaica no Brasil, foi utilizada a metodologia *Bottom-up*, que consiste em uma equação que compara as emissões da Matriz Energética Brasileira (MEB) com as emissões da unidade fotovoltaica. Quando comparada a usina fotovoltaica objeto desse estudo, com a MEB, a média mensal das emissões ao longo do ano de 2019 foram de 3,9206 tCO₂ e 8,4699 tCO₂ respectivamente. Os totais anual das emissões foram de 47,047 tCO₂ para a usina e 101,63837 tCO₂ para a MEB. Quando subtraído um valor do outro, encontrou-se 54,59137 tCO₂. Que é a quantidade de CO₂ que a UFV deixou de emitir em comparação à mesma quantidade de energia produzida pela MEB. Gerando assim o equivalente à 54 créditos de carbono ao longo do ano de 2019. Os benefício vão além da obtenção dos créditos de carbono, seguindo uma tendência global de investimento em fontes de energia renováveis e maior diversificação da MEB, para a redução do uso de combustíveis fósseis.

Palavras-Chaves: Crédito de carbono, Usina Solar, Emissões de CO₂

ABSTRACT

With the adoption of the Kyoto Protocol in 1997, large polluting countries were committed to reducing greenhouse gas emissions in order to curb global warming. At the time, a carbon credit market was created. Countries that reduced greenhouse gas (GHG) emissions would be entitled to carbon credits that could be sold to other countries. The objective of the present study was to quantify the CO₂ emissions from a photovoltaic plant, the non-CO₂ GHG emissions in comparison with the Brazilian Electricity Matrix, which can be converted into carbon credits, in addition to calculating how many credits could be generated. For the carbon from photovoltaic energy in Brazil, The Bottom-up methodology was used. It consists of an equation that compares the emissions of the Brazilian Energy Matrix (BEM) with the emissions of the photovoltaic unit. When comparing the photovoltaic plant observed in this study, with BEM, the monthly average of emissions throughout 2019 was 3.9206 tCO₂ and 8.4699 tCO₂ respectively. The total annual emissions were 47.047 tCO₂ for the plant and 101.63837 tCO₂ for BEM. When one value was subtracted from the other, 54.59137 tCO₂ was found. This is the amount of CO₂ that UFV avoided emitting in comparison to the same amount of energy produced by BEM, thus generating the equivalent to 54 carbon credits throughout 2019. The benefits go beyond obtaining carbon credits, following a global trend of investment in renewable energy sources and greater diversification of BEM, in order to reduce the use of fossil fuels

Keywords: Carbon Credit, Solar Plant, CO₂ emissions

LISTA DE SIGLAS

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

GEE: gases de efeito estufa

GSF: Geração Solar Fotovoltaica

MDL: mecanismos de desenvolvimento limpo

MCTIC: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

MEB: Matriz Energética Brasileira

UFV: Usina Fotovoltaica



LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01 – Dados Técnicos da Usina:..... | 19 |
| Tabela 02 - Especificações do Equipamentos da Usina: | 20 |
| Tabela 03 - Geração Anual da Usina:..... | 21 |
| Tabela 04 – Fator Médio da Matriz Energética Brasileira: | 22 |
| Tabela 05 - Emissões de CO ₂ na Matriz Energética Brasileira:..... | 23 |
| Tabela 06 - Emissões de CO ₂ na Usina Fotovoltaica:..... | 24 |
| Tabela 07 - Comparativo das Emissões de CO ₂ entre MBE e GSF:..... | 25 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 01 – Comparativo das matrizes elétricas nacional e mundial:..... | 26 |
|--|----|

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|---|----|
| Equação 01 - Metodologia <i>Bottom-up</i> do IPCC:..... | 21 |
|---|----|

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 OBJETIVOS | 2 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 2 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 2 |
| 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO..... | 3 |
| 2.1. O MERCADO DE CARBONO | 3 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 8 |
| 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 12 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |
| 7. REFERÊNCIAS..... | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |

1. INTRODUÇÃO

Em 1997, com o protocolo de Kyoto foi instituído um acordo de cooperação internacional, envolvendo mais de 175 países, em prol do desenvolvimento limpo. Ficou estabelecido, que países com grandes emissões de carbono, com metas de redução das emissões, pudessem adquirir de países em desenvolvimento e com baixas emissões de carbono, os denominados créditos de carbono. Estabelecendo assim um mercado internacional de carbono, visando atingir as metas estabelecidas no protocolo de Kyoto (GODOY e SAES, 2015).

Em paralelo, diferentes agentes sociais passaram a exercer algum tipo de pressão para que as empresas adotassem um posicionamento mais condizente com esse movimento global de redução da emissão de gases e políticas de desenvolvimento sustentável. Gerando assim um segundo mercado internacional de carbono. As grandes corporações, de forma voluntária, passaram a adquirir créditos de carbono, para minimizarem o impacto ambiental gerado por elas (KPLK e PINKSE, 2007).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), desde 1990, vem alertando quanto aos impactos da queima de combustíveis fósseis e sua expressividade nas emissões dos gases de efeito estufa. Sendo os combustíveis fósseis muito usados mundialmente na geração de energia elétrica. Nesse sentido, uma estratégia promissora foi o investimento em fontes de energias limpas e renováveis, que possibilitem ao segmento obter créditos de carbono (IEA, 2017).

Em 2016 o Acordo de Paris ratificou o já estabelecido no Protocolo de Kyoto, através de um acordo entre 84 países. Ficou estabelecido um aumento médio da temperatura global em 2°C acima dos níveis pré industriais. E proposto um esforço adicional para que não se ultrapassasse 1,5°C. Todos os países participantes entregaram documento que constava de suas intenções, metas e estratégias para o cumprimento do proposto por cada um deles. Continua entre as principais estratégias a utilização de energias renováveis para a redução das

emissões de carbono, bem como para obter uma economia sustentável. Ao se falar em sustentabilidade, é necessário pensar o desenvolvimento econômico apoiado em três pilares: capital econômico, natural e social. Com base na premissa que o desenvolvimento econômico isoladamente não é suficiente para garantir qualidade de vida e evolução da sociedade.

O Brasil figura entre os países com nível relativo reduzido de emissão de carbono. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2019) o Brasil irá cumprir a meta de redução nas emissões de CO₂ no ano de 2020. No entanto, isso não deve justificar a ausência de políticas públicas que impulsionem o crescimento sustentável de baixo carbono. Nesse sentido, a energia fotovoltaica apresenta-se como uma excelente alternativa para a produção de energia limpa e consequente geração de créditos de carbono, pois o Brasil recebe em todo o seu território boa incidência solar.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo avaliar as possibilidades e vantagens do uso da energia fotovoltaica na geração de créditos de carbono. Dessa forma, agregar valor e vantagem competitiva na escolha dessa fonte de energia em detrimento de fontes mais emissoras de CO₂ e outros gases de efeito estufa.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar o funcionamento do mercado de créditos de carbono.
- Quantificar as emissões de CO₂ gerados a partir de fontes fotovoltaicas.

- Calcular os créditos de carbono gerados a partir da Usina Fotovoltaica analisada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O MERCADO DE CARBONO

O Protocolo de Kyoto estabelece metas para os países com maior emissão de gases de efeito estufa. Cada país sabe a sua meta anual de emissão. Cada permissão concede direito a uma tonelada de gás carbônico ou o equivalente em outros gases. Dessa forma, os países que ultrapassam o limite estabelecido, podem negociar um título, denominado crédito de carbono, com países que emitiram abaixo do estabelecido em suas metas. Criando assim um mercado entre quem deseja vender e quem deseja adquirir os créditos de carbono. Outra prática comum é que os países que precisam adquirir créditos de carbono invistam em projetos com tecnologia de baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) de países em desenvolvimento, denominados projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) (BACEN, 2006).

Explana Ribeiro (2006) que o MDL foi instituído com o intuito de auxiliar os países em desenvolvimento na implantação de tecnologias de preservação e recuperação ambiental. O MDL é um facilitador do alcance das metas de redução de emissão de GEE. Em suma, o MDL foi a forma encontrada para quantificar as emissões e as não emissões dos GEE. Cada tonelada de CO₂ que deixar de ser emitida, equivale a 1 crédito de carbono, que poderá ser negociado e vendido.

Créditos de Carbono são certificados eletrônicos, negociados eletronicamente no mercado financeiro. São considerados *commodities*, com preços estabelecidos no mercado internacional. Existe uma tabela de equivalência entre uma tonelada de CO₂ com outros GEE, para que se calcule qual a quantidade de outros gases para gerar um crédito de carbono (ALMEIDA, 2005). Como todas as commodities negociadas em bolsa de valores, os créditos de carbono tem apresentam oscilação em valor de mercado, decorrentes de diversos fatores que influenciam a economia. Considerando o período entre os dias 14 de outubro de 2020 a 14 de setembro do mesmo ano, o valor negociado pela unidade de crédito de carbono foi em média 27,57 euros. Sendo que o valor mais alto foi de 29,95 euros em 14 de setembro e o mais baixo 25,62 euros em 21 de agosto (BOVESPA, 2020)

Discorre Menequin (2012) que os créditos de carbono são comprados por empresas no exterior. Por não conseguir atingir suas metas, essas empresas acabam adquirindo os créditos para que possam manter ou ampliar suas emissões, e com isso suas produtividades.

Braga e Veiga (2010) explanam a cerca da atratividade do mercado de carbono. Segundo os autores, as empresas são atraídas para esse mercado por diferentes objetivos. Como por exemplo, gerarem créditos, que além de serem vendidos, ainda conferem uma imagem de “empresa verde” e socialmente responsável. Com isso há o fortalecimento da marca e conseqüentemente valor agregado aos seus produtos. Não se tratando apenas de uma estratégia financeira, mas também em estratégia de marketing. Em contrapartida, as empresas que precisam atingir suas metas, também se beneficiam, por não precisarem reduzir suas produtividades e não precisarem alterar suas infraestruturas. Sendo que muitas das vezes, o investimento em infraestrutura é mais oneroso que a aquisição dos créditos.

Destacam Braga e Veiga (2010) que em menos de uma década, o mercado de créditos de carbono movimentou US\$118 bilhões, apenas no ano de 2008. Ainda segundo os autores, o mercado de carbono não é composto apenas pelo mercado regulado, dos países signatários que aderiram ao Protocolo de Kyoto. Mas também por países que ainda não ratificaram o Protocolo, mas participam de um “mercado voluntário”. No Voluntary Emission Reduction, um crédito também corresponde a uma tonelada de CO₂ ou o equivalente de outro GEE. No entanto os preços praticados nesse mercado são muito inferiores aos praticados no mercado regulado. Porém, no mercado regular, o rigor de seleção dos projetos é muito mais elevado.

Sato (2012) atribui ao mercado voluntário o pleno desenvolvimento do mercado de carbono. Cita o autor que o mercado voluntário movimentou US\$705 milhões em 2008, a um custo médio de US\$7,34 por crédito de carbono. Complementam os autores que a dificuldade dos países desenvolvidos em atingir suas metas consiste no fato que desde a assinatura do protocolo houve crescimento populacional nos países signatários. E com isso necessidade de aumento de produção e conseqüente aumento nas emissões. Com isso, o

mercado de carbono tende a continuar crescendo. Quando observados os geradores dos créditos de carbono, encontramos a China na dianteira, com 48,9% das ofertas. Em seguida a Índia com 20,8%. Toda a América Latina é responsável por apenas 10% da oferta, e o Brasil apenas 4,4%. (BANCO MUNDIAL, 2005).

Medeiros (2016) descreve o processo para a certificação dos créditos de carbono, segundo o parágrafo 5 do artigo 12 do protocolo de Kyoto.

- Participação voluntária dos envolvidos;
- Aprovação do país sede do projeto;
- Apoio aos objetivos de desenvolvimento sustentável do país sede;
- Redução dos GEE;
- Quantificação dos GEE emitidos com a ausência do projeto;
- Apresentar estimativa do impacto da atividade, com consulta comprovada das partes envolvidas;
- Gerar benefícios climáticos mensuráveis a longo prazo.

2.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA E O MERCADO DE CARBONO

Não há como haver desenvolvimento social e econômico sem o crescimento da demanda por energia elétrica e os serviços a ela relacionados. A curva de consumo de energia elétrica sempre vai acompanhar a curva do crescimento econômico. Quando observados as concentrações de carbono constata-se que 78% são oriundos da queima de combustíveis e processos industriais. Em um comparativo entre o ano de 1959 e o ano de 2018, o IPCC (2018) registra o crescimento das emissões de CO₂ mundialmente. Os EUA, que eram os maiores emissores, passaram de 2,82 bilhões de toneladas/ano para 5,4 bilhões de toneladas/ano. A União Européia passou de 2,65 para 3,52 bilhões de toneladas/ano. Em 1959, EUA e União Européia eram juntos, responsáveis por 59% do total das emissões mundiais. Quando observados os países asiáticos,

China e Índia passaram respectivamente de 0,72 e 0,11 bilhões de toneladas/ano para 10,3 e 2,63 bilhões de toneladas/ano. Quando observados esses números em proporção, nota-se que os países ricos, deixaram a posição de protagonismo, passando de 59% para apenas 24% do total mundial das emissões de CO₂. Enquanto China e Índia juntas, passaram de 8,95% em 1959, para 34,78% do total das emissões em 2018. Sendo que a China sozinha, em 2018, foi responsável por 27,71% do total das emissões. Sendo que o setor elétrico e de geração de calor foram responsáveis pela maior parte das emissões dos GEE. Isso ocorre devido ao fato desses setores utilizarem predominantemente combustíveis fósseis, como derivados de petróleo, carvão e gás natural. Nesse sentido, as fontes de energia renováveis se apresentam como excelente alternativa para a substituição dos combustíveis fósseis (IPCC 2018).

No ano de 2017, 179 países estabeleceram metas em políticas para expandir a geração de energia a partir de fontes renováveis. Destes, 57 tem como meta gerar energia exclusivamente de fontes renováveis (REN21, 2016). Para Teixeira (2012), o mercado de créditos de carbono no Brasil é altamente positivo. Destaca o autor que o país está sendo educado através desse mercado. Gerando uma vasta consciência ambiental e faz com que os empresários passem a ver a preservação como algo lucrativo e inteligente. Para o autor, os altos preços por tonelada, geram interesse de cada vez mais empresas em implementar projeto de MDL. Beneficiando o país, que a cada dia se torna mais sustentável na produção de energia. Se tornando referência e modelo para outros países e alvo de investimentos no setor.

No Brasil, empresas cuja a atividade principal não está relacionada à geração de energia, se mobilizam para entrar no mercado de créditos de carbono. São exemplos a Gerdau, Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) e a Corn Internacional, que desenvolveram suas próprias metodologias para inserirem seus projetos no mercado de créditos de carbono (RIBEIRO, 2006). Pereira et. al (2017), destacam as vantagens da Geração Distribuída Fotovoltáica (GDFV). Para os autores, o elevado índice de irradiação solar no país, a redução dos impactos ambientais, a baixa necessidade de manutenção e a matéria prima inesgotável são as características mais significativas. Em

consonância, Irena (2017) expõe que a implementação de energia fotovoltaica no mundo, ocasionou na redução anual de aproximadamente 250 milhões de toneladas de CO₂ emitidos. No entanto, apesar do significativo crescimento da GD de energia FV em todo o mundo, na última década, no Brasil, o potencial dessa fonte de energia ainda é subaproveitado. A ABSOLAR (2017) estimou em 164 GW em GDFV para o Brasil. O potencial fotovoltaico do Brasil é muito próximo da geração nacional, que correspondeu a 168GW em outubro de 2018 (ANEEL, 2018)

Quando avaliado o posicionamento geográfico do Brasil, a proximidade à linha do equador proporciona pouca flutuação da incidência solar ao longo do ano. Apresentando bons níveis de irradiação mesmo no inverno. O que representa uma excelente vantagem para o aproveitamento da energia solar. Se comparado aos países como Alemanha, Espanha, França e Portugal, que são detentores da tecnologia solar, a irradiação solar no Brasil apresenta um alto índice, entre 4,5 e 5,5 kWh/m² dia. De Vries (2007) destaca que a energia solar é maior fonte de energia renovável. A irradiação solar na superfície terrestre, na maioria das regiões do globo, apresenta potencial de geração de energia muito superior do que o consumo de energia primária na mesma região.

Quando consideradas as emissões de CO₂, estima Irena (2017) que com o crescimento da produção de energia fotovoltaica, entre 200 e 300 milhões de toneladas anuais deixaram de ser emitidas. Complementa JRC (2017), que essa redução equivale às emissões de países como Argentina e Polônia. Ou equivale a 62% da emissão anual do Brasil no ano de 2015.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO

O objeto desse estudo de caso é uma usina fotovoltaica com 17455 m² de área, localizada na zona rural na cidade de Jaíba, ao norte de Minas Gerais.

Em julho de 2014, a ANEEL publicou um artigo relatando um projeto de pesquisa e desenvolvimento denominado “Jaíba Solar”. O projeto compõe uma estratégia denominada “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Em parceria com a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), foi escolhida a cidade de Jaíba para sediar o projeto. Dentre alguns fatores, a escolha da cidade se deu em virtude da radiação solar local, que é considerado o município com maior incidência de radiação solar anual do estado. Logo, justifica-se a escolha desta área para o presente estudo (JUNQUEIRA et al., 2014).

3.2 Material utilizado

O presente estudo utilizou dados de uma usina fotovoltaica, cujas informações técnicas podem constar na tabela 01, composta por área, potencia nominal e de pico, bem como os equipamentos utilizados.

Tabela 01 – Dados Técnicos da Usina

| DADOS TÉCNICOS DA USINA | | |
|---|------------|----------|
| Dado Técnico | Quantidade | Unidade |
| Potência Pico | 614,4 | kWp |
| Potência Nominal | 480 | kW |
| Módulos de Silício PoliCristalino 320Wp | 1920 | Unidades |
| Inversores de 60 kW | 8 | Unidades |

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptada das informações da usina

3.2.1 Dados Técnicos – Equipamentos

A tabela 02 apresenta a especificação dos equipamentos componentes da usina, capacidade, fabricantes e modelos.

Tabela 02- Especificações do Equipamentos da Usina

| ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS | | | |
|---|----------------------|-------------------|---------------|
| Equipamentos | Especificação | Fabricante | Modelo |
| Módulo Solar Fotovoltaico Policristalino | 320Wp | Jinko | JKM320P |
| Inversor Solar Fotovoltaico | 60 kW | SMA | SunnyTripower |

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptada das informações da usina

3.2.2 Geração Média Mensal de Energia

Os dados apresentados na tabela 03 foram aferidos no inversor da própria usina. O equipamento possui em suas funções a capacidade de mensurar a energia gerada e lançada na rede elétrica.

Tabela 03- Geração Anual da Usina

| GERAÇÃO ANUAL DA USINA | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Mês - Ano 2019 | Energia Gerada - UFV (MWh) |
| Janeiro | 120,7 |
| Fevereiro | 109,5 |
| Março | 113,2 |
| Abril | 107,8 |
| Mai | 104,8 |
| Junho | 100,5 |
| Julho | 110,6 |
| Agosto | 124,4 |
| Setembro | 119,9 |
| Outubro | 118,9 |
| Novembro | 101,4 |
| Dezembro | 112,5 |
| Média | 112,0167 |
| TOTAL | 1344,2 |

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptada das informações da usina

Trata-se de uma usina denominada *on grid*, ou seja integrada à rede de energia elétrica. Essa modalidade funciona de modo que, toda a energia produzida é lançada na rede elétrica e fica como crédito de energia a ser utilizada. A energia utilizada retorna da concessionária de energia. O inversor é um equipamento que permite mensurar a energia que sai e a energia que retorna para ser utilizada. Os dados gerados pelo inversor ficam contidos em uma plataforma on-line denominada Sunny Portal. Na tabela 3 estão descritos os dados utilizados na elaboração deste estudo, referentes ao ano 2019.

3.3 – Metodologia utilizada

Para esse estudo de caso foi utilizada a metodologia *Bottom-up* do IPCC. Que permite calcular a quantidade de CO₂ emitida na produção de energia elétrica à partir de fontes variadas. O Bottom-up consiste na equação 1:

$$ECO_2 = EP \times FE \quad [\text{Eq. 1}]^1$$

Para compor os cálculos do *Bottom-up*, foi utilizado como Fator de emissão de CO₂ da matriz energética nacional, o índice divulgado anualmente pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) em seu site.

O fator de emissão CO₂ do MCTIC varia mensalmente, em virtude das fontes de energia utilizadas no período. Para o FE da usina fotovoltaica, adotou-se o proposto por Bertoldi et al. (2010), que considera o valor de 0,035 tCO₂/MWh para a Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV).

¹ ECO₂ corresponde a uma tonelada de CO₂ emitido;

EP é a energia produzida em MWh

FE é o fator de emissão de CO₂ (tCO₂/MWh).

Para chegar a esse número, analisou-se o ciclo de vida dessa modalidade de sistema: fabricação e montagem, transporte, manutenção, limpeza, descarte e reciclagem (PENG, LU e YANG, 2013).

O estudo se refere ao ano de 2019, com período compreendido de janeiro até dezembro do referido ano. Foi traçada uma análise comparativa entre os números da matriz energética brasileira e a usina fotovoltaica em questão. Buscando aferir a diferença nas emissões de CO₂ das duas linhas de produção, para a mesma quantidade de energia elétrica gerada. Permitindo assim, pela subtração de um número do outro, aferir a diferença na emissão do Dioxido de Carbono entre os métodos.

Na tabela 04 é possível visualizar o fator médio mensal da matriz energética brasileira, de acordo com os retirados do site do MCTIC.

Tabela 04 – Fator Médio da Matriz Energética Brasileira

| Fator Médio da Matriz Energética Brasileira | | | | | |
|--|-----------|----------|---------|----------|----------|
| Fator Médio Mensal (tCO₂/MWh) 2019 | | | | | |
| Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maior | Junho |
| 0,0355 | 0,0667 | 0,053 | 0,0514 | 0,0482 | 0,0426 |
| Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
| 0,0906 | 0,107 | 0,1024 | 0,104 | 0,1078 | 0,0913 |

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptada das informações do MCTIC

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 05 apresenta o resultado do *Bottom-up* aplicado ao FE da Matriz Energética Nacional, considerando a mesma produtividade de energia mensal da usina fotovoltaica.

Como pode ser observado na tabela, tanto o FE quanto o EP variam mês a mês. O FE varia em virtude da Matriz Energética Brasileira, que ao longo do ano altera os percentuais de suas fontes geradoras de energia. Essa oscilação acontece, por ser a matriz energética nacional predominantemente composta por hidrelétricas. Portanto, a produção varia de acordo com a época do ano, sendo maior a proporção no período de chuvas e declinando no período seco. O EP também é sazonal. Sendo o EP relativo à produção na Usina Fotovoltaica, nos períodos do ano de maior irradiação solar, ocorre a maior produtividade. Também declinando nos períodos em que há menor incidência solar.

Tabela 05 - Emissões de CO₂ na Matriz Energética Brasileira

| EMISSIONES DE CO₂ NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA | | | |
|---|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| MEB | FE (t_{CO2}/MWh) | EP - UFV (MWh) | ECO2 (t_{CO2}) |
| Janeiro | 0,0355 | 120,7 | 4,28485 |
| Fevereiro | 0,0667 | 109,5 | 7,30365 |
| Março | 0,053 | 113,2 | 5,9996 |
| Abril | 0,0514 | 107,8 | 5,54092 |
| Mai | 0,0482 | 104,8 | 5,05136 |
| Junho | 0,0426 | 100,5 | 4,2813 |
| Julho | 0,0906 | 110,6 | 10,02036 |
| Agosto | 0,107 | 124,4 | 13,3108 |
| Setembro | 0,1024 | 119,9 | 12,27776 |
| Outubro | 0,104 | 118,9 | 12,3656 |
| Novembro | 0,1078 | 101,4 | 10,93092 |
| Dezembro | 0,0913 | 112,5 | 10,27125 |
| Média | 0,075 | 112,0167 | 8,4699 |
| TOTAL | | | 101,63837 |

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptada das informações do MCTIC

A Tabela 06 apresenta o resultado do *Bottom-up* aplicado ao FE da Usina Fotovoltaica. Quando comparados os FEs das tabelas 05 e 06, fica evidente a diferença entre esses números. Quando observada a Tabela 06, o FE é um índice fixo, com valor estipulado pelo método descrito por Bertoldi et all. (2010), Que é de 0,0350 toneladas de CO₂ emitidos a cada Megawatt/hora produzido, como já descrito na metodologia do presente estudo. Na tabela 1, o menor índice apresentado ainda é mais alto que o índice fixo da Usina Fotovoltaica. Sendo 0,0355 para o mês de janeiro do ano estudado. E o maior 0,1078 para o mês de novembro. A média entre os valores obtidos nos 12 meses do ano de 2019 para a MEB ficou em 0,0750, que é quase o dobro do índice fixo da UFV.

Tabela 06 - Emissões de CO₂ na Usina Fotovoltaica

| EMISSIONES DE CO₂ NA USINA FOTOVOLTAICA | | | |
|---|---------------------------------|-----------------------|--|
| GSF | FE (tCO₂/MWh) | EP - UFV (MWh) | ECO₂ (tCO₂) |
| Janeiro | 0,035 | 120,7 | 4,2245 |
| Fevereiro | 0,035 | 109,5 | 3,8325 |
| Março | 0,035 | 113,2 | 3,962 |
| Abril | 0,035 | 107,8 | 3,773 |
| Mai | 0,035 | 104,8 | 3,668 |
| Junho | 0,035 | 100,5 | 3,5175 |
| Julho | 0,035 | 110,6 | 3,871 |
| Agosto | 0,035 | 124,4 | 4,354 |
| Setembro | 0,035 | 119,9 | 4,1965 |
| Outubro | 0,035 | 118,9 | 4,1615 |
| Novembro | 0,035 | 101,4 | 3,549 |
| Dezembro | 0,035 | 112,5 | 3,9375 |
| Média | 0,035 | 112,0167 | 3,9206 |
| TOTAL | | | 47,047 |

Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos resultados do Bottom-up

Quando avaliadas as médias dos 12 meses do ano de 2019 da produção de CO₂ da MEB e da GSF, o valores aferidos foram de 8,4699 tCO₂ e 3,9206 tCO₂ respectivamente. Sendo a média da GSF correspondente a 46,28% da emissão de CO₂ da MEB. Esse dado é bastante relevante, levando-se em consideração que a MEB já é uma matriz limpa, com predominância de energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis.

A tabela 07 apresenta os resultados mês a mês das emissões de CO₂ da MEB subtraído do valor obtido na GSF. A soma de todos esses valores resultou no total acumulado de 54,59 tCO₂. Que é a quantidade de CO₂ emitida a menos pela Usina Fotovoltaica estudada, quando comparada à Matriz Energética Nacional. Esse número corresponde à 53,72% de CO₂ emitido a menos. As 54,59 tCO₂ correspondem a 54 créditos de carbono, que se devidamente certificados, podem ser comercializados.

Tabela 07 - Comparativo das Emissão de CO₂ entre MBE e GSF

| COMPARATIVO DAS EMISSÕES DE CO2 | |
|--|------------------------|
| Mês | Diferença(tco2) |
| Janeiro | 0,06035 |
| Fevereiro | 3,47115 |
| Março | 2,0376 |
| Abril | 1,76792 |
| Mai | 1,38336 |
| Junho | 0,7638 |
| Julho | 6,14936 |
| Agosto | 8,9568 |
| Setembro | 8,08126 |
| Outubro | 8,2041 |
| Novembro | 7,38192 |
| Dezembro | 6,33375 |
| TOTAL ANUAL | 54,59137 |

Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos resultados do Bottom-up

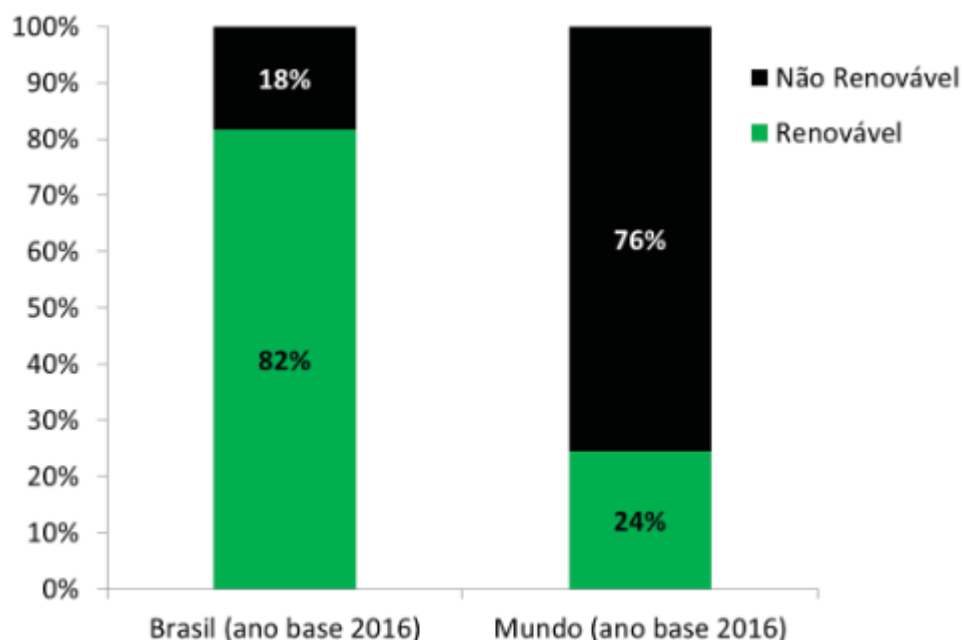
Queiroz et al (2019) em estudo de caso realizado em uma usina fotovoltaica na cidade de Mossoró, no Rio Grande do Norte, também utilizaram a metodologia Bottom-up. Comparando os números aferidos entre a referida usina e a matriz energética nacional, iniciando em janeiro de 2016 até junho de 2019. Concluíram os autores que a usina de Mossoró emitiu em média 0,77 toneladas de CO₂ mensais a menos que a Matriz Energética Nacional. Em seu primeiro ano um total de 15,21 tCO₂ e 24,56 tCO₂ em todo o período estudado. Os autores ainda fizeram uma projeção com base na média mensal de 0,77 tCO₂, que em 10 anos a referida usina deixaria de emitir 92,40 tCO₂ nos já mencionados parâmetros.

Dantas et al. (2019) apresentaram em um estudo de caso em uma usina fotovoltaica de 45kwp em Cuiabá-MT também traçou um comparativo das emissões de CO₂ pela energia elétrica produzida pela usina em comparação a mesma quantidade de energia produzida pela matriz energética nacional. Os autores também utilizaram a metodologia *Bottom-up* desenvolvida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). O estudo foi desenvolvido com dados do mês de maio de 2018, que teve como FE o valor de 0,0607. Relatam os autores que a usina gerou no mês estudado o total de 5.239,4 kwh, que corresponde a um total de 183,38 kgCO₂. Se a mesma quantidade de energia fosse gerada pela matriz energética nacional, resultaria em uma emissão de 269,89 kgCO₂. Uma diferença de 86,51kgCO₂, e um percentual de 32,05% de redução de emissão pela usina de Cuiabá.

Destacam os autores que esse percentual de 32,05% parece baixo. Porém, para o referido mês, a matriz energética brasileira utiliza predominantemente energia oriunda de fontes hídricas. Uma energia renovável e também considerada limpa quando comparada à energia gerada à partir de combustíveis fósseis. Fazendo com que o FE da energia gerada via hidrelétrica também possua FE baixo. Reduzindo assim a proporção do nível de emissão de CO₂, que seria maior em outros comparativos. Como por exemplo em um mês onde houvesse maior utilização de outras fontes energéticas na matriz nacional.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), a matriz elétrica brasileira é composta 65,2% de fontes hidráulicas, 8,2% de biomassa, solar e eólica juntas correspondem a 6,9% e 2,6% nuclear. Totalizando 82,9% de energia produzida de forma limpa, com baixas emissões de CO₂. Os 17,1% restantes se completam com combustíveis fósseis: gás natural, carvão e petróleo e derivados. Quando comparada à matriz elétrica mundial, composta em 16,6% de fonte hidráulica, 10,4% nuclear, 5,6% solar e eólica e 2,3% biomassa. Somando apenas 34,9% de energia limpa. O restante oriundo de combustíveis fósseis, altamente poluentes e emissores de gases de efeito estufa. Esses números são apresentados no gráfico 01, que compara as matrizes elétricas nacional e mundial, no que tange à energia renovável e não renovável.

Gráfico 01 – Comparativo das matrizes elétricas nacional e mundial



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado do EPE

Cruzando os dados da MEB com a metodologia do *Bottom-up* utilizada para calcular os créditos de carbono na geração de energia elétrica no Brasil, evidencia-se que a predominância de fontes renováveis na MEB influencia no cálculo dos créditos de carbono não apenas da UFV objeto desse estudo. Mas em qualquer projeto de geração elétrica de fonte renovável no país. De modo que, caso esses projetos venham a crescer em proporções significativas, alterando a MEB, a equação do *Bottom-up* terá como resultado um valor ainda menor. Ou seja: quanto maior a participação das iniciativas privada e governamental em projetos de energia limpa, como o apresentado neste estudo, menores serão as quantidades de créditos de carbono gerados para a mesma quantidade de energia produzida.

Quando avaliada a irradiação solar na cidade de Jaíba, considerando-se que quanto maior a irradiação, maior a quantidade de energia gerada nas células fotovoltaicas. Pode-se concluir que em localidades como Jáiba, onde há grande irradiação, são necessárias menos placas, e ainda menor quantidade dos demais equipamentos que compõem um sistema elétrico fotovoltaico. Visto que a quantidade dos demais equipamentos variam em virtude da quantidade de

placas suportadas por eles. Nesse sentido, a mesma quantidade de energia gerada, necessitando menos equipamentos, conseqüentemente menos matérias primas e redução de todo o processo de vida do equipamento, até o seu descarte ou reciclagem. Nessa linha de racíono, o FE de 0,035 atribuído por Bertoldi et al. (2010) passa a ser um índice não tão efetivo. Visto que é uma média da geração elétrica fotovoltaica para, com maiores e menores irradiações solares. Sendo necessário o desenvolvimento de outra metodologai que afira de forma mais precisa o FE de usinas em localidades com altos índices de irradiação, como ocorre na cidade de Jáiba. Fazendo com que o resultado final dos GEE não emitidos seja maior e gere mais créditos de carbono que a atual equação apresentada nesse estudo de caso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo de caso apresentou um panorama do mercado de carbono no Brasil e no mundo. Explanando a cerca da possibilidade de utilização

da energia elétrica gerada à partir de fontes fotovoltaicas ser utilizada para a aquisição de créditos de carbono que podem ser comercializados com os países mais poluidores. Foi demonstrado que para cada tonelada de CO₂ não emitida, é possível, através de processo de certificação específico, gerar um crédito de carbono.

Quanto às emissões de CO₂ gerados pelas fontes fotovoltaicas, foi apresentado um índice fixo, que consiste em uma estimativa média de análise de todo o ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos. Desde a matéria prima ao descarte ou reciclagem dos equipamentos. O índice apresentado corresponde à quantidade de CO₂ emitida para a geração de cada MWh de energia de fonte fotovoltaica.

A usina de Jaíba, objeto desse estudo, de acordo com a metodologia de cálculo utilizada, apresentou redução nas emissões de CO₂ no comparativo com a MEB. Além da geração dos créditos de carbono, evidenciou-se os benefícios para o desenvolvimento do Brasil, visto que é uma tendência mundial a adoção de fontes de energia renováveis e também a necessidade de diversificação das fontes de energia renováveis na MEB, para a redução e em um longo prazo, eliminação da utilização dos combustíveis fósseis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR. **Sessão Especial III: A Expansão do Mercado Solar Fotovoltaico no Brasil**, Salvador-

BA, Brasil, 2017. Disponível em: <http://viex-americas.com/2016/wp-content/uploads/2017/12/Rodrigo_Sauaia-IIIABSOLAR.pdf>. Acessado em: 22 de maio de 2020.

ALMEIDA, H. N. N. **Créditos de carbono: Natureza jurídica e tratamento tributário**. Jus Navigandi, Teresina, ano 9, n. 809, 20 set. 2005.

AMADEU, Maria Simone Utida dos Santos; MENGATTO, Angela Pereira de Farias; STROPARO, Eliane Maria; ASSIS, Telma Terezinha Stresser de. **Manual de Normalização de Documentos Científicos**. Curitiba: UFP, 2017. Sistema de Bibliotecas. Universidade Federal do Paraná, 2017. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45654/Manual_de_normalizacao_UFPR.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em: 20 de maio de 2020

BANCO MUNDIAL. **Banco Mundial e as mudanças climáticas**. 2005. Disponível em: <<http://www.bancomundial.org/temas/resenas/clima.htm>>. Acesso em: 22 de maio de 2020.

BANCO CENTAL (BACEN). **Boletim Responsabilidade Social e Ambiental do Sistema Financeiro**. Ano 1, nº 3, fevereiro de 2006. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/pre/boletimrsa/BOLRSA200602.pdf>. Acessado em: 19 de maio de 2020.

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

BMF&Bovespa. **Leilões de Créditos de Carbono**. Disponível em: http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/leiloes/credito-de-carbono/. Acessado em: 23 de maio de 2020.

BOVESPA . **ICO2 - Cotação Carbon Efficient**. Disponível em: <https://br.advfn.com/bolsa-de-valores/bovespa/carbon-efficient-ICO2/cotacao>. Acessado em 14 de setembro de 2020

BRAGA, G. L; VEIGA, V.F, **Responsabilidade Social e Ambiental do Sistema Financeiro**. (2010). Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pre/boletimrsa/BOLRSA201012.pdf>. Acessado em: 02 de maio de 2020

DANTAS, O. L.; APOLÔNIO, R.; JUNIOR, A. A. **Potencial da geração distribuída e seu impacto na redução de emissões de CO₂: Estudo de uma micro usina fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica.** Cuiabá: UFMT . ENGEVISTA, V. 21, n.2, p.329-340, Maio 2019. Universidade Federal de Mato Grosso 2019

DE VRIES, B.J.M.; VAN VUUREN, D.P.; HOOGWIJK, M.M. **Renewable energy sources: their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: an integrated approach.** Energy Policy, 2007.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica.** 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acessado em 18 de maio de 2020

GODOY, S.G.M.; SAES, M. S. M. **Cap-and-trade e Projetos de Redução de Emissões: Comparativo Entre Mercados de Carbono, Evolução e Desenvolvimento.** Sao Paulo:2015. Ambiente & Sociedade n São Paulo v. XVIII, n. 1 n p. 141-160 n jan.-mar. 2015

IPEA, Caderno Objetivo de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=35104&Itemid=9. Acessado em: 10 de setembro de 2020

IPCC 2018. Global Warming of 1.5 °C. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

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: 19 de maio de 2020.

JUNQUEIRA, R.; OLIVEIRA, L. G. M.; GODOY, N. R. D.; CARNEIRO, M. T. Diniz; VILLOZ, M. P.; GALDINO, M. A. **Projeto Jaíba Solar: Objetivos, Metodologia Para Definição do Local de Instalação, Tecnologias e Simulações Computacionais Através do PVSYST.** Revista Brasileira de Energia Solar Volume V Número1 Julho de 2014 p. 34 -43 34. Centro de Pesquisas de Energia

Elétrica / ELETROBRÁS. 2014. Disponível em <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/106/106>. Acesso em: 23 de maio de 2020

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Fator Médio: Inventários Corporativos**. 2019. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html. Acessado em 18 de maio de 2020.

MEDEIROS, V. L. A. **Geração de Energia Elétrica Por Fonte Híbrida: Análise de Custos e Retorno de Créditos de Carbono em Usinas Hidrelétricas Complementadas Por Células Fotovoltaicas**. Brasília: UNB, 2016. Monografia de Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Brasília, 2016.

MIGUEZ, J. D. G. **Procedimentos para Submissão de Projeto de MDL à Comissão Interministerial de Mudanças Global do Clima**. Secretaria Executiva da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. Outubro de 2005.

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.

QUEIROZ, Luann Georgy Oliveira; FREITAS, Éberte Valter da Silva; MENDES, Mariana Altoé; TONINI, Guilherme Riva; BATISTA, Ourestes Elias. **Geração Distribuída Fotovoltaica e Seu Impacto Na Redução de Emissões de CO₂: Estudo de Caso de Uma Usina Fotovoltaica Situada no Semiárido Potiguar**. Vitória: UFES. CONIMAS - I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade. Novembro 2019. Universidade Federal do Espírito Santo 2019.

REN21. Renewables 2013, **Global Status Report**. REN21. Paris - França. 2016.

RIBEIRO, M S. **Os créditos de carbono e seus efeitos contábeis**. Ribeirão Preto: USP, 2006. Tese (Livre docência apresentada à Faculdade de Economia), FEA, Universidade de São Paulo, 2006.

SATO, P. **Como funcionam os Créditos de Carbono?** In: Revista Nova Escola. Disponível em: <http://revistaescola.abril.com.br/ciencias/fundamentos/como-funcionam-creditos-carbono-471948.shtml>. Acesso em: 26 mai 2012.

TEIXEIRA, G. V. **A efetividade da comercialização de créditos de carbono.** Observatório do Governo Eletrônico, Santa Catarina. Setembro, 2012.

<https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2f>. Acessado em 18 de maio de 2020

