

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ARTHUR TARANTO VIEIRA

**ANÁLISE DO “*INTERNATIONAL - RENEWABLE ENERGY
CERTIFICATE*” (I-REC) NO BRASIL E UM ESTUDO DE CASO DE
VIABILIDADE NO SISTEMA DE I-REC PARA A GERAÇÃO SOLAR
FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ARTHUR TARANTO VIEIRA

**ANÁLISE DO “*INTERNATIONAL - RENEWABLE ENERGY
CERTIFICATE*” (I-REC) NO BRASIL E UM ESTUDO DE CASO DE
VIABILIDADE NO SISTEMA DE I-REC PARA A GERAÇÃO SOLAR
FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Orientador: Prof. Rubiara Cavalcante
Fernandes, D.Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Vieira, Arthur Taranto
ANÁLISE DO "INTERNATIONAL - RENEWABLE ENERGY CERTIFICATE"
(I-REC) NO BRASIL E UM ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE NO
SISTEMA DE I-REC PARA A GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA
DISTRIBUÍDA / Arthur Taranto Vieira; orientação de
Rubipiara Cavalcante Fernandes. - Florianópolis,
SC, 2022.
61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico
de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. I-REC. 2. Instituto Totum. 3. Energia Renovável.
4. Geração Distribuída. I. Cavalcante Fernandes, Rubipiara.
II. Instituto Federal de Santa Catarina. III.
ANÁLISE DO "INTERNATIONAL - RENEWABLE ENERGY CERTIFICATE"
(I-REC) NO BRASIL E UM ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE
NO SISTEMA DE I-REC.

ANÁLISE DO “INTERNATIONAL - RENEWABLE ENERGY CERTIFICATE” (I-REC) NO BRASIL E UM ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE NO SISTEMA DE I-REC PARA A GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA

ARTHUR TARANTO VIEIRA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de julho de 2022

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
CARLOS ERNANI DA VEIGA
Data: 07/08/2022 10:34:13-0300
CPF: 738.937.149-87
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Carlos Ernani da Veiga, M. Eng.



Documento assinado digitalmente
Pedro Cesar Cordeiro Vieira
Data: 05/08/2022 15:35:58-0300
CPF: 009.885.869-67
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Pedro Cesar Cordeiro Vieira, Dr. Eng.



Documento assinado digitalmente
RUBIPIARA CAVALCANTE FERNANDES
Data: 05/08/2022 08:43:03-0300
CPF: 443.309.799-34
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Rubiara Cavalcane Fernandes, Dr. Eng.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar determinação e resiliência durante esta trajetória.

Ao professor Rubiara Cavalcante Fernandes, pela orientação no trabalho e amizade durante o curso.

Aos meus pais pela presença e amor incondicional na minha vida sempre.

A todo corpo docente do Instituto Federal de Santa Catarina que sempre transmitiram seu saber com muito profissionalismo.

Também a todos os meus colegas de curso, pela oportunidade do convívio e pela cooperação mútua durante esses anos, o meu muito obrigado.

RESUMO

Os acordos internacionais para a redução das emissões de gases poluentes e as formas de comprovação de participação nas causas ambientais estão crescendo ao redor do mundo. No caso do setor de energia elétrica, o sistema de certificados de energia renovável internacional (I-REC) tornou-se um instrumento importante na comprovação de uso de energia renovável para as empresas. Mundialmente, observa-se com mais frequência políticas sobre a diminuição de gases poluentes e o aumento de gerações de energia elétrica de fontes renováveis, as quais levam ao aumento da procura pelos certificados e pelo interesse de participar da diminuição da poluição no meio ambiente. Diante desse contexto, estudos que possam contribuir para a análise do sistema de I-REC são muito pertinentes para a atualidade. Este trabalho tem como foco mostrar o objetivo do certificado e de sua importância, abordando temas periféricos sobre energia renovável, a participação das empresas nas causas ambientais e o funcionamento do sistema de I-RECs como um todo no Brasil. Além disso, foi abordado um estudo de caso para a viabilidade de unidades geradoras de caráter distribuído com base na sua geração e informações do Instituto Totum. Assim, como o mercado de comercialização de I-RECs está crescendo significativamente junto à geração distribuída no Brasil, um estudo de viabilidade, com base nos investimentos necessários para determinar o preço do I-REC, contribui para o mercado de certificados no Brasil. A análise é concretizada com a aplicação da metodologia no estudo de caso, analisando os resultados obtidos e apontando as considerações pertinentes.

Palavras-chave: I-REC. Instituto Totum. Energia Renovável. Geração Distribuída.

ABSTRACT

International agreements for the reduction of polluting gas emissions and forms of proof of participation in environmental causes are growing around the world. In the case of the electric energy sector, the system of international renewable energy certificates (I-REC) has become an important instrument in proving the use of renewable energy for companies. Policies on the reduction of polluting gases and the increase of electricity generation from renewable sources are more frequently observed worldwide, which lead to an increase in the demand for certificates and the interest in participating in the reduction of pollution in the environment. Given this context, studies that can contribute to the analysis of the I-REC system are very relevant today. This work focuses on showing the purpose of this certificate and its importance, addressing peripheral issues on renewable energy, the participation of companies in environmental causes and the functioning of the I-RECs system as a whole in Brazil. In addition, a case study was addressed for the feasibility of distributed generation units based on their generation and information from the Totum Institute. Thus, as the market for commercialization of I-RECs is growing significantly along with distributed generation in Brazil, a feasibility study, based on the investment required to determine the price of the I-RE, contributes to the certificate market in Brazil. The analysis is carried out with the application of the methodology in the case study, analyzing the results obtained and pointing out the pertinent considerations.

Keywords: I-REC. Totum Institute. Renewable energy. Distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do total das emissões de CO ₂ associadas à matriz energética	14
Figura 2 – Emissões de CO ₂ no ano de 2021 na Matriz energética	15
Figura 3 – Emissões de CO ₂ na Produção de Energia Elétrica 2019	16
Figura 4 – Matriz de energia elétrica no Brasil 2022	17
Figura 5 – Crescimento da Energia Eólica em GWh no Brasil	18
Figura 6 – Crescimento da Energia Solar em GWh no Brasil.....	19
Figura 7 – Crescimento das Unidades Consumidoras no ACL	22
Figura 8 – Crescimento de emissão de certificados no Brasil	24
Figura 9 – Total de Usinas registradas no programa IREC no mundo	28
Figura 10 – Usinas Certificadas por Fonte no Brasil	29
Figura 11 – Capacidade Instalada Registrada no I-REC no Mundo	29
Figura 12 – Capacidade Instalada em MW da usina Mogano Energia em 2021.....	36
Figura 13 – Geração em MWh da usina Mogano Energia em 2021	36
Figura 14 – Capacidade Instalada em MW da usina UFV MEGAWATT em 2021	37
Figura 15 – Geração em MWh da usina UFV MEGAWATT em 2021	37
Figura 16 – Capacidade Instalada em MW da usina UFV Nova Aurora em 2020.....	38
Figura 17 – Geração em MWh da usina Nova Aurora em 2020	38
Figura 18 – Solicitado Anual de I-REC para cada caso.....	48
Figura 19 – Custo Registrante para cada caso	49
Figura 20 – Custo Participante para cada caso	50
Figura 21 – Preço do I-REC para cada caso.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento da Geração Elétrica em GWh no Brasil	18
Tabela 2 – Documentação para Cadastro de Registrante	25
Tabela 3 – Documentação para Cadastro de Empreendimento	25
Tabela 4 – Valores de Investimento para o registro do Empreendimento e Emissão de I-RECs	25
Tabela 5 – Documentação para Cadastro de Participante	26
Tabela 6 – Valores de Investimento para registra-se como Participante e Aposentadoria do I-REC	27
Tabela 7 – Rank de Potência Instalada dos Estados Brasileiros de Geração Distribuída	32
Tabela 8 – Geração em MWh das Usinas UFV	43
Tabela 9 – Casos com a variação da demanda e da Margem de Lucro	43
Tabela 10 – Capacidade Mensal de Emissão de I-REC para cada caso	44
Tabela 11 – Solicitado Anual de I-REC para cada caso	45
Tabela 12 – Custo Registrante para cada caso	45
Tabela 13 – Custo Participante para cada caso	46
Tabela 14 – Custo Final para cada caso	46
Tabela 15 – Preço do I-REC para cada caso	47
Tabela 16 – Preço comparativo do I-REC	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL - Ambiente de Contratação Livre
ACR - Ambiente de contratação Regulada
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
BCB - Banco Central do Brasil
BEN - Balanço Energético Nacional
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CO₂ - Dióxido de Carbono
EAESP - Escola de Administração de Empresas de São Paulo
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
ESG - *Environmental, Social and Governance*
GD - Geração Distribuída
GEE - Gases Efeito Estufa
GO - *Guarantee of Origin*
GTD - Geração, Transmissão e Distribuição
IEA - *International Energy Agency*
IEMA - Instituto de Meio Ambiente
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
I-REC - *International Renewable Energy Certificates*
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MME - Ministério de Minas e Energia
MW - Megawatt
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONS - Operador Nacional do Sistema
ONU - Organização das Nações Unidas
PCH - Pequena Central Hidrelétrica
PROGD - Programa de Incentivo à Geração de Energia Solar
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REC - *Renewable Energy Certificates*
SIN - Sistema Interligado Nacional
UFV - Usina de energia fotovoltaica
UN - *United Nations*
UNGC - *United Nations Global*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Justificativa.....	11
1.2	Definição do Problema.....	11
1.3	Objetivo	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivo Específicos	12
1.4	Estrutura do trabalho	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Emissão de CO₂ no setor energético	14
2.2	Energias Renováveis e seu potencial no Brasil	16
2.3	Relação do “ESG” com Energias Renováveis e o I-REC.....	19
2.4	Importância do Mercado Livre de Energia Elétrica	21
2.5	Sistema de I-REC no Brasil.....	23
2.6	Crescimento e Perspectiva do I-REC no Brasil	27
2.7	Geração Distribuída no Sistema de I-REC	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	Geração de energia fotovoltaica	35
3.2	Estudo de Viabilidade	39
3.3	Conclusão	41
4	ESTUDO DE CASO	42
4.1	Dados do Estudo	42
4.1.1	Potência de Energia Elétrica Gerada pelas Usinas.....	42
4.2	Aplicação do Estudo de Viabilidade	44
4.3	Análise dos Resultados	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental tem dado ênfase à sustentabilidade em diversos setores no mundo, desde energéticos a econômicos e sociais, a fim de buscar formas de contornar as alterações climáticas e de preservar os recursos naturais. Com isso, a “*International Energy Agency*” publicou um “*roadmap*” com o interesse de auxiliar os países a reduzirem a emissão de gases poluentes à zero até 2050 e comenta que “o número de países que se comprometeram a chegar a zero líquido em emissões em meados do século ou logo depois continua a crescer.” (IEA, 2021).

Além disso, a Organização das Nações Unidas (ONU), também, fundou, a agenda 2030, que contempla 17 objetivos de interesses mundiais, sendo muitos deles relacionados à sustentabilidade (ONU, 2015). A universidade de Cambridge publicou relatórios, informando a evolução dos países nos objetivos da Agenda 2030 e classificando em um *ranking*, no qual o Brasil está na posição 53º no ano de 2022. (SACHS, 2022)

O acordo de Paris, também foi um marco importante na evolução da sustentabilidade, fez com que 195 países reconhecessem “a necessidade de uma resposta eficaz e progressiva à ameaça urgente de alterações climáticas com base no melhor conhecimento científico disponível.” (UNFCCC, 2015). O Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e apresentou o indicativo de redução de 43%, até 2030. Ambos são comparados aos níveis de 2005 (BRASIL, 2022a). Sendo assim, uma das principais metas do governo brasileiro consiste em aumentar o uso de fontes alternativas de energia.

Diante do atual cenário, o setor de energia elétrica no Brasil também teve a iniciativa de contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) por meio do projeto “Integração dos ODS no Setor Elétrico Brasileiro”, com a intenção de uma visão sobre os ODS específicos para o setor e como as empresas atuam no mercado de geração, transmissão e distribuição (GTD). Desse projeto de integração, definiu-se a priorização de cinco dos dezessete ODS propostos pela ONU a serem trabalhados no setor: ODS 7 - Energia acessível e limpa, ODS 8 - Trabalho decente e crescimento econômico, ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis e ODS 13 - Ação contra a mudança global do

clima. Assim, conta-se com a participação de empresas conceituadas no setor e também organizações setoriais e outras entidades – como o Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (UNGC, 2020).

Nesse sentido, é importante salientar que a tendência no Brasil é explorar ainda outras fontes, principalmente solar e eólica, que evoluíram significativamente nos últimos anos, conforme demonstra o Balanço Energético Nacional (BEN, 2022). Para isso, tanto empresas públicas quanto privadas têm dado ênfase aos recursos renováveis e, por isso, são necessários instrumentos, os quais controlem e validem a utilização de fontes “limpas”.

Graças à sua grande rede hidrográfica, o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. No entanto, há potencial para melhorar ainda mais esse quadro – aprimorando a eficiência energética, promovendo a utilização de energias renováveis de origem solar ou eólica, ou estimulando a substituição de combustíveis fósseis por eletricidade na frota de veículos. (UNGC, 2020).

Nesse contexto de tendência na sustentabilidade energética no âmbito mundial e brasileiro, tem-se a sigla ESG (“*environmental, social and governance*”), três pilares modernos que podem ser explorados pelas empresas para melhorarem em aspectos ambientais, sociais e de governança e, em contrapartida, ganham visibilidade, parceria e destaque nos investimentos e nos negócios.

Logo, as empresas começaram a demandar uma forma de comprovação do uso de energia elétrica proveniente de energias renováveis e, nesse momento, pode-se contar com um instrumento, conhecido como I-REC (*International Renewable Energy Certificates*), um certificado confiável de rastreamento de energia elétrica proveniente de fontes renováveis, sem dupla contabilização e duplo beneficiário, pois são alicerçados pelo sistema de emissão e aposentadoria. No qual, a emissão do certificado é feita com base na comprovação da geração da energia elétrica. Já a aposentadoria significa a utilização do certificado no nome do consumidor de energia elétrica, não permitindo a reutilização desta mesma energia mais de uma vez, nem a utilização por outro consumidor. Sendo assim, por meio dos RECs (*Renewable Energy Certificates*), tem-se um instrumento para a confirmação de que o consumo de energia elétrica é proveniente de fontes de energia limpa.

A partir disso, estabelece-se um novo mercado no setor de energia elétrica, devido ao crescimento do interesse pelo registro de empreendimentos para gerar

certificados, como também da demanda dos consumidores de energia elétrica de adquirirem tal comprovação.

1.1 Justificativa

No mundo atual a preocupação com o meio ambiente está crescendo e o processo de descarbonização dos setores energéticos está em ascensão. Com isso, o setor de energia elétrica assume um papel importante nesse propósito, já que a energia elétrica é considerada o principal vetor para a substituição do uso de combustíveis fósseis, hoje utilizado em diversas atividades e setores da sociedade. A partir disso, surgem instrumentos de comprovação de uso de energia renovável pelos consumidores de energia elétrica, conhecido internacionalmente como *renewable energy certificate*, *Guarantee of Origin (GO)*, ou *International - renewable energy certificate* com o intuito de transformar a rastreabilidade de energia elétrica de fontes não poluentes em um ativo comerciável. Além disso, a perspectiva de crescimento desse mercado no Brasil é promissora, devido à capacidade instalada de energia renovável no país, ainda em expansão e contando que existe um aumento de empresas interessadas em entrarem com políticas sustentáveis, como também do crescimento de consumidores no ambiente de contratação livre (ACL). Por fim, encontra-se uma oportunidade no mercado de comercialização de energia voltado para os RECs, com novos modelos e estudos de precificação e de viabilidade desse mercado para os registrantes, participantes e comercializados do programa.

1.2 Definição do Problema

O problema abordado neste trabalho constitui-se em mostrar o funcionamento do sistema de certificações de energia renovável e sua perspectiva de crescimento no Brasil, como também, fomentar a prática de comprovação de rastreabilidade de energia limpa para os consumidores finais de energia elétrica, com o intuito de acompanhar as práticas de descarbonização de países desenvolvidos e atingir objetivos e metas de descarbonização no país.

Propor também neste trabalho um modelo de precificação inicial para a comercialização dos certificados e um estudo de viabilidade para registrar, participar

e emitir certificados no sistema *I-REC Standard*, utilizando as informações obtidas pelo Instituto Totum, órgão competente no controle de registros dos empreendimentos, participantes do programa e das emissões dos I-RECs. (INSTITUTO TOTUM, 2022)

1.3 Objetivo

Neste capítulo serão descritos os objetivos do trabalho, o geral e também os específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Contribuir para a adequação do mercado de certificados de energia renovável no Brasil, com o intuito de diminuir a emissão de gases efeito estufa e trazer à tona mais uma oportunidade para as empresas do setor de energia elétrica. Propondo um modelo inicial de precificação dos I-RECs para os consumidores finais, e um estudo de viabilidade para unidades de energia solar fotovoltaica distribuída estarem emitindo e comercializando estes certificados no mercado.

1.3.2 Objetivo Específicos

Para especificar melhor a ideia deste trabalho e os processos para alcançar seus fins, os objetivos específicos do trabalho são:

- a) contextualizar os temas periféricos de sustentabilidade relacionados com os certificados de energia renovável;
- b) justificar com informações de redução de emissão de gases efeito estufa, crescimento de energia renovável e de consumidores livre o crescimento do interesse de certificados de energia renovável no Brasil através das tendências globais de sustentabilidade;
- c) mostrar o funcionamento do sistema de I-RECs e suas vantagens e objetivos;
- d) avaliar um modelo inicial de precificação e de viabilidade para registrar, participar e emitir certificados no programa *I-REC Standard* a partir de unidades de geração fotovoltaica de caráter distribuído.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos. Em primeiro momento, o Capítulo 1 trouxe uma introdução em geral em torno do tema, bem como a definição do problema e sua justificativa, além do objetivo geral e específicos.

O Capítulo 2 traz temas importantes para o entendimento do assunto como informações relacionadas com a diminuição da emissão de CO₂ no setor energético, sobre as energias renováveis no Brasil e sua perspectiva, a importância dos investimentos de ESG nas empresas, o crescimento de migração de ACR para ACL, o sistema de I-REC e sua perspectiva e por fim sobre a geração distribuída no I-REC.

Já o capítulo 3 contempla a metodologia para precificação e viabilidade de três empreendimentos de geração de energia fotovoltaica de Santa Catarina com o intuito de verificar a viabilidade de registrar empreendimentos desse porte como também o somatório desses empreendimentos no modelo de agrupamento no sistema *I-REC Standard*.

No Capítulo 4, é realizada a aplicação da metodologia para os casos definidos neste trabalho a partir de tabelas e gráficos e, posteriormente, feita a análise e discussão dos resultados para concluir a ideia do trabalho.

Finalmente, são apresentadas as considerações finais no Capítulo 5, realizando uma conclusão geral sobre o tema trabalhado e do estudo de caso a partir dos cálculos e observações realizadas durante o estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

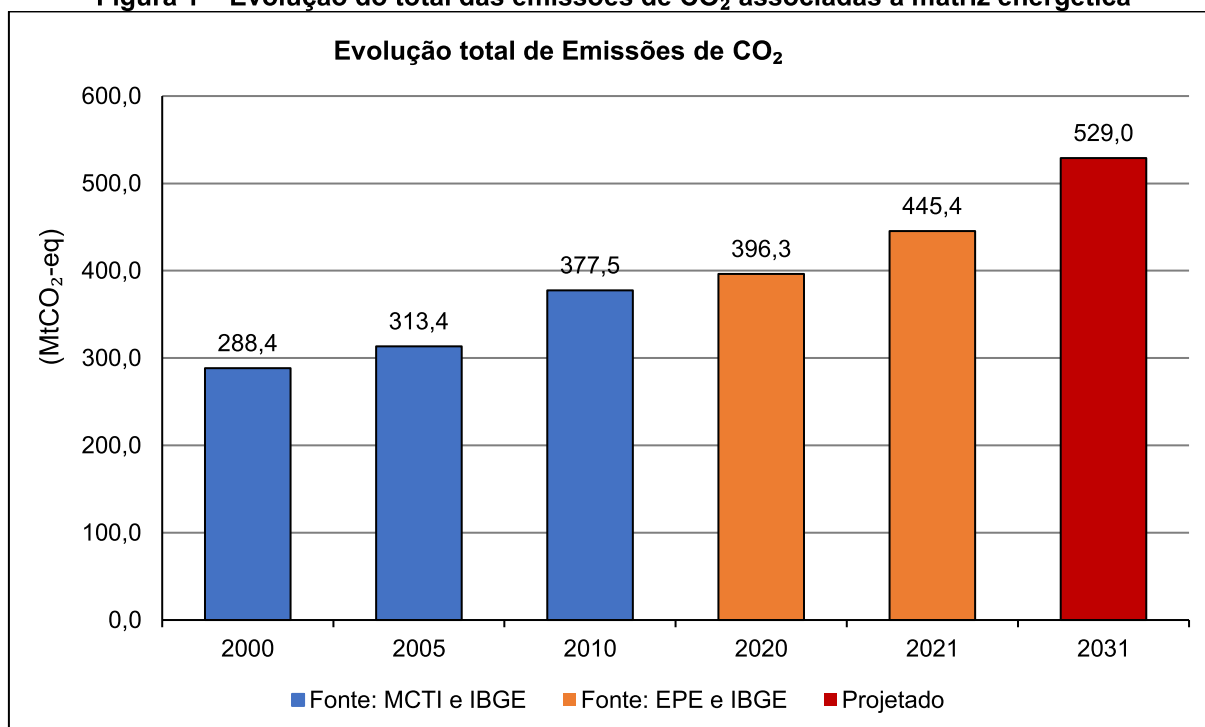
Neste capítulo serão apresentadas informações relevantes para o entendimento do trabalho, como temas relacionados e sobre tema principal dos certificados internacionais de energia renovável.

2.1 Emissão de CO₂ no setor energético

No cenário mundial de geração de energia elétrica, as fontes renováveis evoluíram rapidamente, por conta da crescente preocupação com a poluição através das emissões de gases e pela consequente busca por sustentabilidade, conforme propõe ONU com a Agenda de 2030 (ONU, 2015).

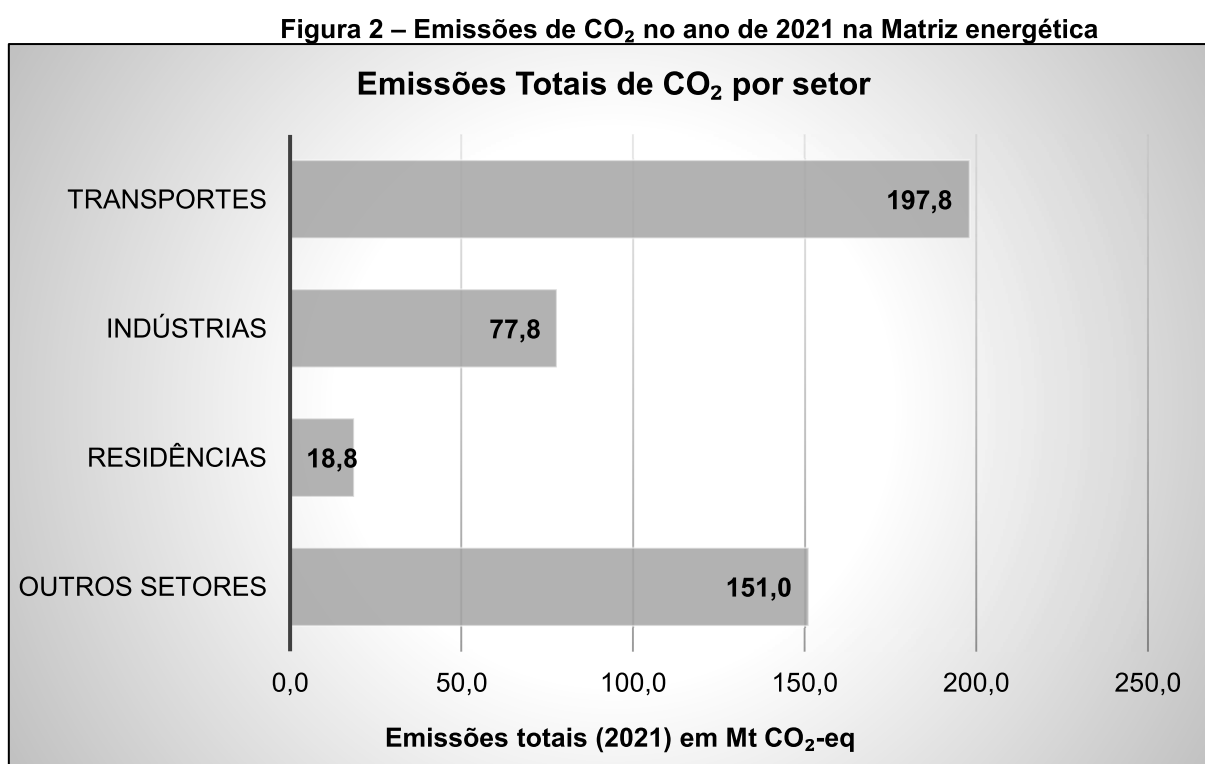
O Brasil é um país em desenvolvimento, e para ampliar sua oferta energética sem contribuir para o aumento da emissão de CO₂ para os próximos anos, seria dando continuidade nos investimentos de geração de energia elétrica por fontes renováveis. A evolução da emissão de CO₂ é visível nos últimos vinte anos, crescimento médio anual foi de 2,1%. O crescimento das emissões pode ser mitigado pela transição energética, substituindo as fontes de energia poluentes por fontes de energias renováveis, no qual foi projetado um crescimento médio anual de 1,7% para o ano de 2021 a 2031 de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Evolução do total das emissões de CO₂ associadas à matriz energética



Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional de 2022 (EPE, 2022).

Dentro dessa estatística de emissão de gases poluentes que englobam toda a matriz energética brasileira, é importante identificar a parcela contribuída pelo setor elétrico, de modo a visualizar melhor o impacto gerado por esse setor. Para isso, no Balanço Energético Brasileiro de 2022 foi feito a segmentação de emissão em MtCO₂-eq (milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente) por setor no Brasil, transportes, indústrias, residências e outros setores. A componente “Outros Setores” inclui: setor agropecuário, serviços, energético e elétrico. Resultando na Figura 2, que mostram os valores emitidos por cada um dos setores durante o período de 2021.

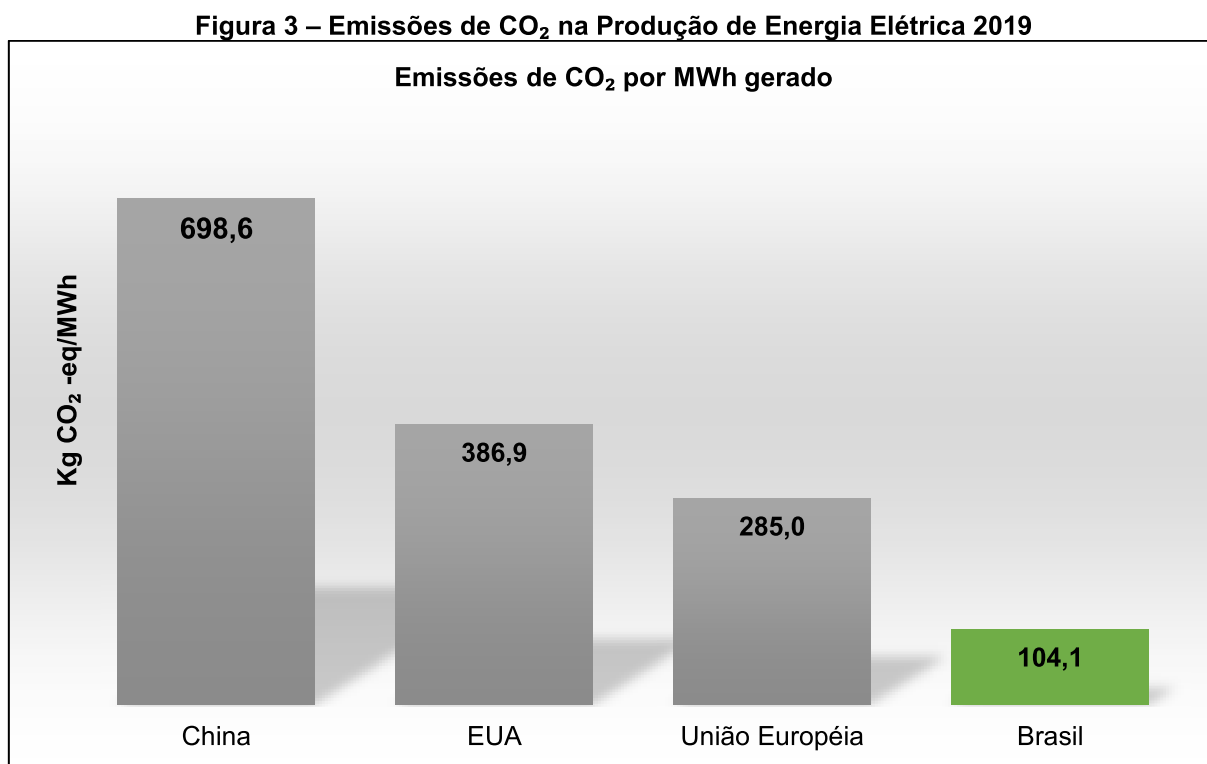


Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional de 2022 (EPE, 2022).

Logo, percebe-se que boa parte da poluição são ocasionadas também pelo setor dos transportes e das indústrias. Para contribuir da forma mais eficiente para diminuição da emissão de CO₂, seria através da transição energética. Para isso, deve-se definir quais dessas atividades utilizam de fontes poluentes, como combustível fósseis, e substituí-los gradativamente por fontes mais renováveis, como a eletricidade, proveniente de fontes limpas.

O Brasil tem destaque na sua capacidade de geração de eletricidade a partir de energias renováveis. Quando o assunto é geração de energia elétrica,

comparando com outros países, o Brasil mostra bons desempenhos com baixa emissão de CO₂, conforme ilustrado Figura 3.



Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional de 2022 (EPE, 2022).

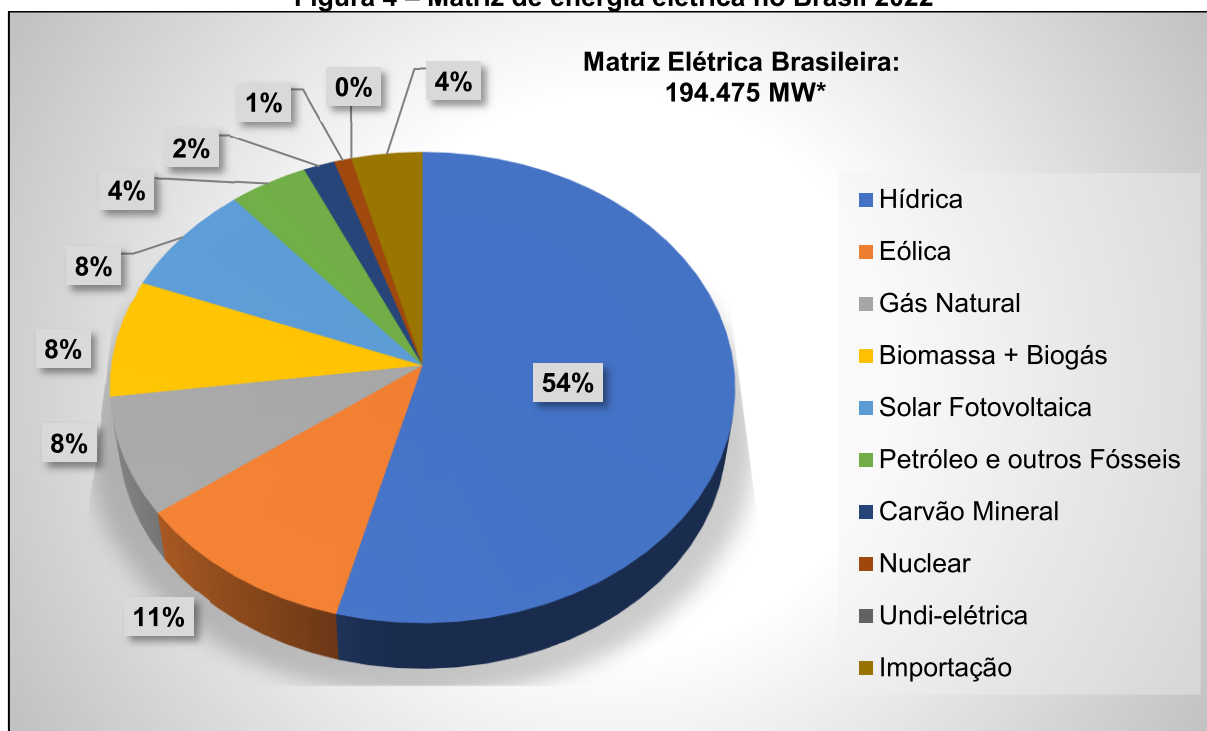
Contudo, o Brasil ainda pode expandir sua oferta de energia elétrica para os próximos anos. Portanto os incentivos à sustentabilidade e da diversificação da matriz elétrica brasileira devem continuar para não comprometer os bons resultados de baixa emissão de gases que o Brasil possui com a geração de energia elétrica.

2.2 Energias Renováveis e seu potencial no Brasil

Diante do contexto descrito sobre a emissão do CO₂ no setor energético, percebe-se que o Brasil deve manter o compromisso ambiental de ampliação e diversificação da matriz elétrica, com o intuito de atender a demanda de energia elétrica com energia renovável, diminuindo a emissão de gases efeito estufa (GEE).

Atualmente, as principais fontes de geração do país são hidrelétricas, que correspondem aproximadamente 54,0% da capacidade instalada em operação do país, seguida de termelétricas e o restante proveniente de eólicas e outras fontes de energia, conforme Figura 4.

Figura 4 – Matriz de energia elétrica no Brasil 2022



Fonte: Adaptado de Infográfico Absolar atualizado em 03/06/2022, nº44 (ANEEL/ABSOLAR, 2022).

É fato que o Brasil possui uma capacidade significativa de energias renováveis em sua matriz elétrica com baixa emissão de CO₂ se comparado outros países, como China e Estados Unidos já que emitem mais gases poluentes por MWh gerado (EPE, 2022). Em contrapartida, o Brasil pode se desenvolver em outros aspectos, por mais que tenha um destaque mundial pelas fontes hidrelétricas do país, têm oportunidades de expandir a capacidade instalada de outras fontes limpas, explorando sua diversidade e seu clima. Deve-se observar que a diversidade de fontes gera maior segurança ao setor elétrico, já que depender majoritariamente de alguma fonte específica limita e traz consequências em casos de mudanças climáticas, como a falta de chuva, por exemplo.

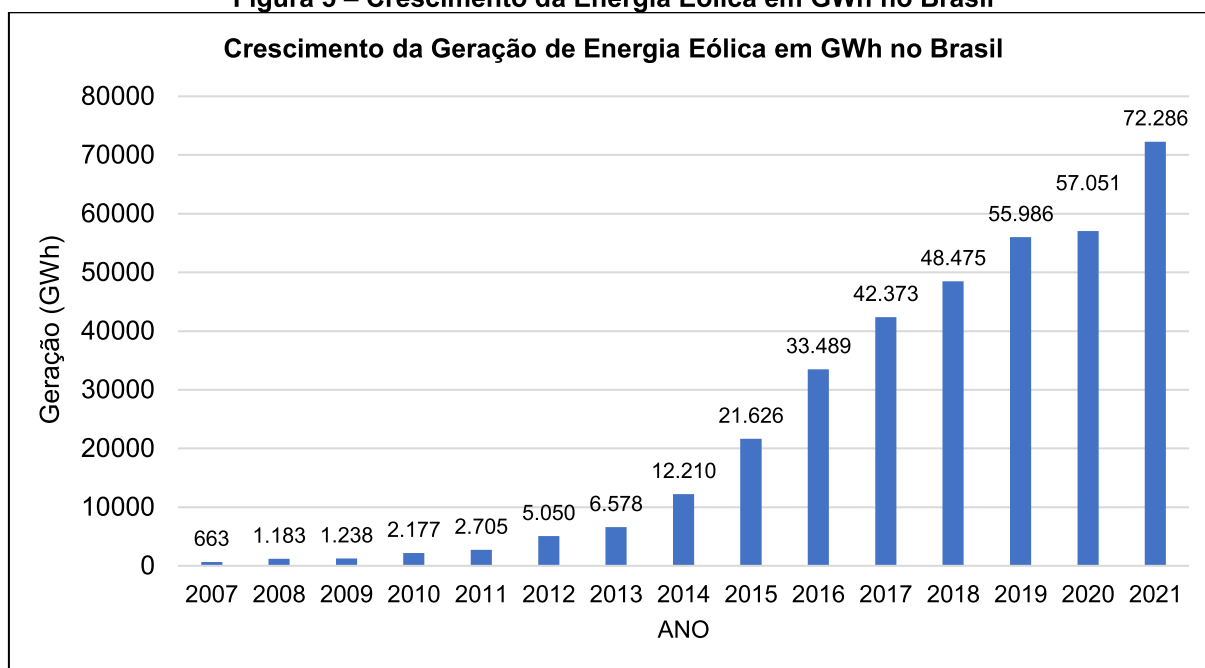
No contexto brasileiro atual, os avanços para as fontes de energia renovável, prioritariamente, são das fontes eólica e solar. O BEN de 2022 (EPE, 2022) destacou o incremento dessas fontes, indicando um crescimento de 26,7% para a energia eólica e 55,9% para energia solar, em GWh, observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Crescimento da Geração Elétrica em GWh no Brasil

Fonte	2020	2021	(Δ) 21/20
Hidrelétrica	396.381	362.818	-8,5%
Gás Natural	59.480	86.957	46,2%
Eólica	57.051	72.286	26,7%
Biomassa	56.168	52.416	-6,7%
Nuclear	14.053	14.705	4,6%
Carvão Vapor	11.946	17.585	47,2%
Derivados do Petróleo	9.013	17.327	92,3%
Solar Fotovoltaica	10.748	16.752	55,9%
Outras	13.925	15.263	9,6%
Geração Total	628.764	656.109	4,3%

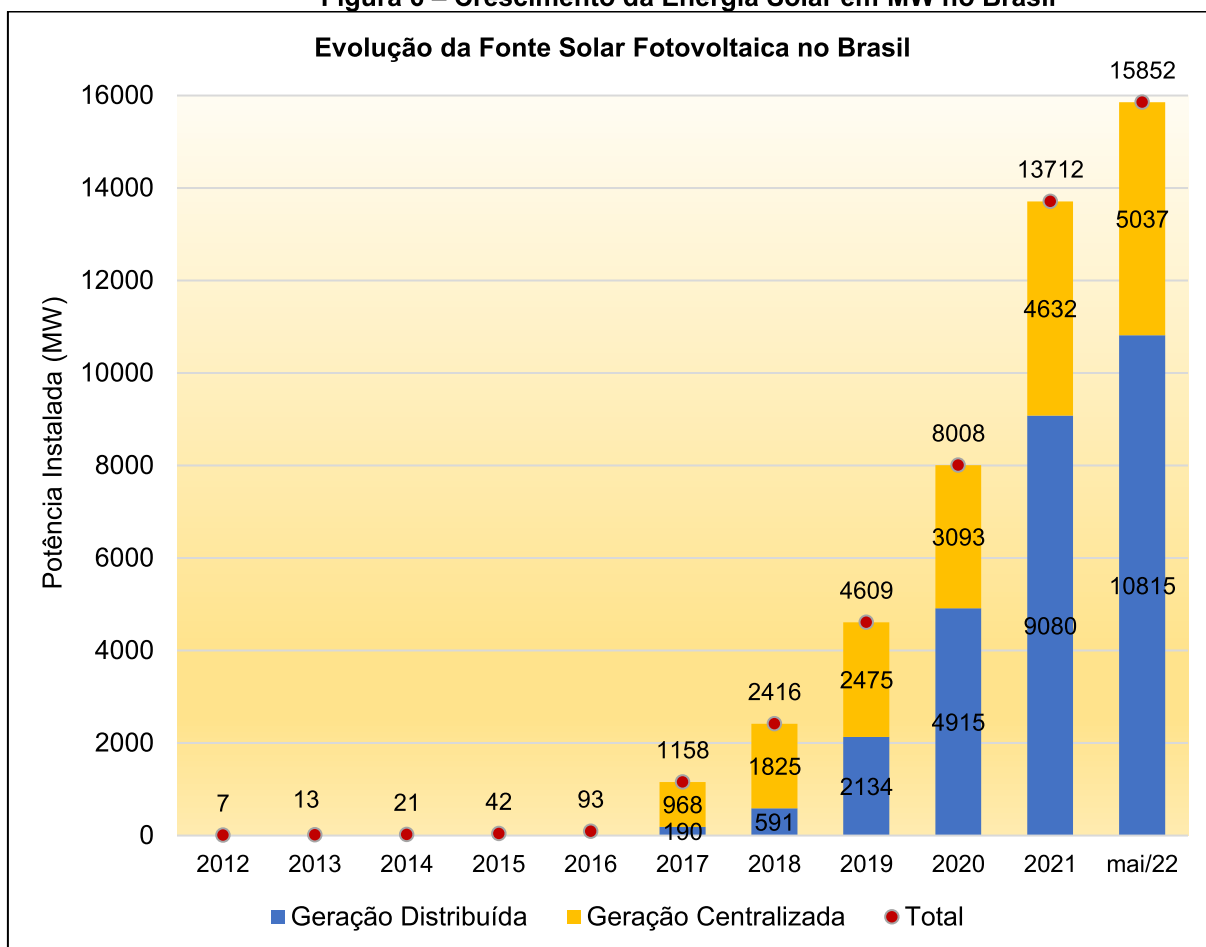
Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional de 2022 (EPE, 2022).

A Energia eólica foi crescendo rapidamente no Brasil desde o ano de 2007 até 2021, apesar do crescimento percentual do ano de 2019 para 2020 ter sido modesto como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Crescimento da Energia Eólica em GWh no Brasil

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional de 2022 (EPE, 2022).

Mas, quando se trata de geração distribuída o destaque vai para a energia solar, que apresenta um crescimento a passos largos desde 2015, crescendo aceleradamente sua capacidade instalada ano após ano, como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Crescimento da Energia Solar em MW no Brasil

Fonte: Adaptado de Infográfico Absolar atualizado em 03/06/2022, nº44 (ANEEL/ABSOLAR, 2022).

A energia solar traz bons resultados pela sua flexibilidade e fácil instalação em centros de consumo, a qual difere da energia eólica, que se concentra e é limitada em grandes parques eólicos com foco na região Sul e Nordeste por questões climáticas.

Em vista disso, com o aumento das políticas de sustentabilidade e da diversificação das fontes de energia elétrica no Brasil, surgem novas oportunidades para consumidores finais de energia, já que o mercado globalizado exige cada vez mais das empresas boas condutas em sustentabilidade, e a boa gestão de emissões de GEE é um dos principais aspectos cobrados nas transações internacionais (EAESP, 2009).

2.3 Relação do “ESG” com Energias Renováveis e o I-REC

Os Investimentos em energias renováveis estão cada vez mais requisitados, não apenas do ponto de vista econômico, mas, também, pela crescente

preocupação ambiental e busca pela sustentabilidade. Em vista disso, o relatório “*Who Cares Wins*”, o qual são recomendações feitas pelas instituições financeiras de modo a encorajar as empresas a investirem em boas práticas socioambientais, demonstra e assume a possibilidade de um mercado de energia mais atrativo para se investir, atrelado a uma sociedade mais sustentável. Isso indica, ao mundo dos negócios e ao mercado capital, a importância do termo “ESG”, sigla que significa “*environmental, social and governance*”, o qual cada palavra representa um pilar importante para as empresas nos dias atuais.

O termo “*Environmental*” ou, em português, “Ambiental”, refere-se a práticas humanas em relação ao meio ambiente. Desenvolve sobre temas como aquecimento global, emissão de carbono, poluição do ar e da água, biodiversidade, desmatamento, eficiência energética, gestão de resíduos de uma determinada atividade, escassez de água, entre outros. Já o “Social”, em inglês ou português, diz respeito à relação das organizações diante das pessoas, ou seja, funcionários, fornecedores, clientes, acionistas e comunidade. O conceito engloba, por exemplo, diversidade da equipe, respeito aos direitos humanos e às leis trabalhistas, foco na satisfação dos clientes e dos acionistas, transparência, relacionamento com a comunidade. Por fim, “*Governance*” ou “governança” refere-se à administração de uma empresa. Tem como exemplo a composição do conselho administrativo, estrutura do comitê de auditoria, conduta corporativa, remuneração dos executivos, relação com órgãos do governo e com políticos, existência de um canal de denúncias aberto aos públicos internos e externos com os quais a organização se relaciona. (ACSP, 2022).

Diante disso, percebe-se que as empresas por muito tempo estavam atreladas apenas ao lucro e distribuição de resultados. Em contrapartida, nos últimos anos, a crescente discussão e importância sobre o uso de fatores ambientais, sociais e de governança trouxeram impactos no mercado capital e energético. Inclusive, atualmente, já existem diversos estudos que utilizam de “*Ratings ESG*” para avaliar se as empresas possuem boas práticas ambientais, sociais e governamentais e se devem receber ou não investimentos.

Dentro do setor de energia elétrica, certamente o termo “*Environmental*” é essencial nas decisões de investidores, tanto que, empresas multinacionais, como a Engie, por exemplo, vendeu a Usina Jorge Lacerda devido ao seu planejamento

estratégico como empresa a fim de diminuir a emissão de gases poluentes e investir mais em recursos renováveis.

Nesse contexto, os incentivos para fomentar o crescimento de energias renováveis aumentam paulatinamente no mundo inteiro e no Brasil, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), Programa de incentivo à geração de energia solar (ProGD) e muitos outros. Sendo assim, as formas de criar cenários mais atrativos para a geração de energia elétrica renováveis surgem de diversas maneiras.

Com isso, a demanda de certificados para comprovação de consumo de energia limpa pelos consumidores de energia elétrica, principalmente consumidores no mercado livre de energia, começou a crescer. A partir de 2013, a certificação de energias renováveis tornou-se atrativa e de muita relevância no mercado mundial e possui grandes perspectivas. A tendência é de expansão do I-REC como instrumento, pois, as empresas se sentem estimuladas pelo aumento dos programas de incentivo e do crescimento dos debates sobre preocupação ambiental e de sustentabilidade, propostos por acordos internacionais, já citados durante este trabalho.

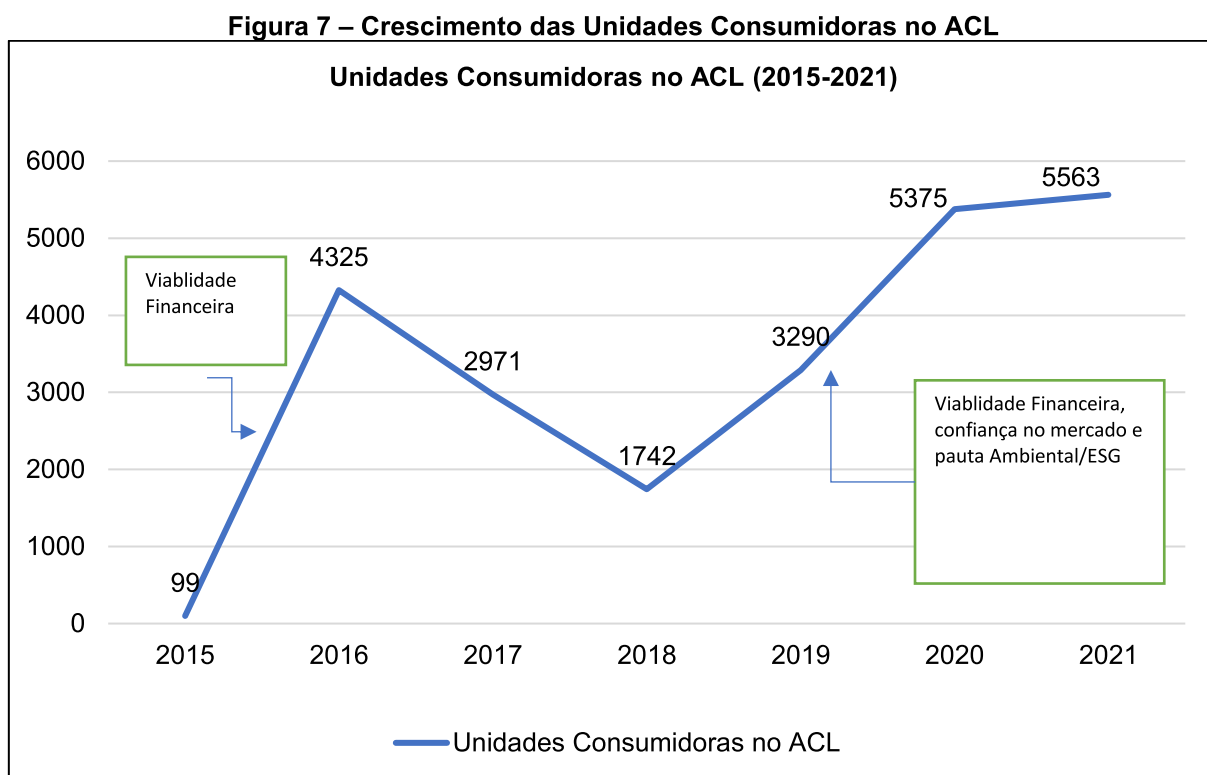
Por fim, os consumidores de energia elétrica tendem a migrar do ambiente de contratação regulada (ACR) para o ambiente de contratação livre (ACL), no qual as oportunidades de escolha livre podem trazer vantagens financeiras e ambientais para estes consumidores. Desta forma, os consumidores passam a ter escolhas em relação ao preço de contratação de energia elétrica, em conjunto, uma proximidade maior para tomar decisões como a de geração própria, na maioria dos casos energia solar fotovoltaica e também facilidade no acesso de aquisição de I-RECs junto a compra de energia.

2.4 Importância do Mercado Livre de Energia Elétrica

No mercado livre, os consumidores têm liberdade para escolher seu fornecedor de energia, adequando o contrato de suprimento às suas necessidades. O desenvolvimento no mercado livre de energia no Brasil tem importância indireta no sistema de I-RECs, tendo em vista que os consumidores de energia elétrica, majoritariamente do ambiente de contratação livre, são os utilizadores dos certificados de energia como forma de comprovação de uso de energia renovável.

Além do crescimento pelo interesse da comprovação de energia elétrica por fontes limpas, paralelamente, tem-se o crescimento dos consumidores no mercado livre de energia, por tendências de abertura de mercado como na portaria Nº 465, de 12 de dezembro de 2019, no qual especifica uma diminuição na carga necessária para a migração do ACR para o ACL, no qual é de 1500 kW em 2021 que diminui para 1000 kW em 2022 e para 500 kW em 2023 (BRASIL, 2019).

Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, o mercado livre de energia elétrica atingiu recorde de migração de unidades no ano de 2021, sendo os principais motivos, energia mais barata, segurança e vantagens ambientais, como demonstra a Figura 7.



Fonte: Adaptado de Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2022b).

O Ambiente de Contratação Livre (ACL) começou a ganhar mais espaço no Brasil a partir de 2015 e hoje conta com 26,6 mil ativos de consumo, crescimento de 2,47 vezes nos últimos cinco anos. Atualmente, o segmento representa 34,5% de toda a energia elétrica consumida no Sistema Interligado Nacional – SIN (CCEE, 2022b).

Todo contrato negociado no ACL tem suas condições de atendimento, preço e demais cláusulas de contratação livremente negociadas entre as partes.

Dentro desse contexto, as contratações de energia no ACL ainda permitem variações contratuais, em que uma delas pode ser a aquisição de I-RECs mediante acordos bilaterais entre as partes, facilitando a comercialização e aumentando a demanda pelos certificados.

2.5 Sistema de I-REC no Brasil

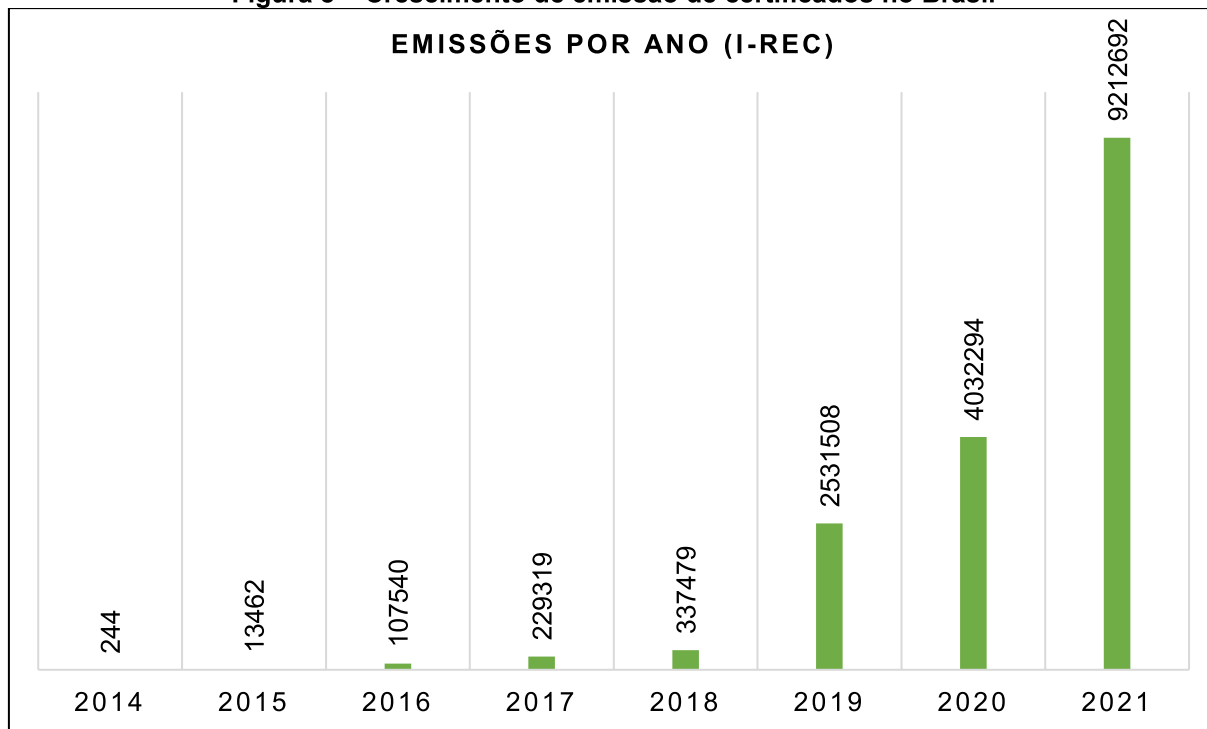
Com a ascensão do uso de fontes de energia renováveis por motivos já discutidos nesse trabalho, o certificado Internacional de Energia Renovável (I-REC) surge para garantir que a origem da energia gerada é sustentável, com respeito às regras e aos procedimentos propostos.

Nesse contexto, no Brasil o sistema de certificados de energia limpa surgiu em 2013 com o Instituto Totum em parcerias com as empresas AbeEólicas e Abragel com apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Ministério de Minas e Energia (MME) e do Governo Federal. Desde 2014, o instituto totum passou a emitir REC's no sistema brasileiro, iniciou com uma carteira de empreendimentos de apenas 1 parque eólico e 3 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), porém com evoluções significativas ano após ano. Em 2016, houve a entrada da participação da CCEE e da adequação com o *I-REC STANDARD*, padrão utilizado internacionalmente para certificar a origem renovável da eletricidade (ABREN, 2020). O I-REC é usado em diversos países, nos quais o registro de eletricidade verde segue regras semelhantes às Garantias de Origem na Europa ou Certificados de Energia Renovável (REC) na América do Norte. O Instituto Totum realizou adequações com o sistema *I-REC STANDARD* para oficialmente tornar-se o órgão emissor de certificados de energia renovável reconhecidos no padrão internacional. Em 2016 o programa já estava com 4 parque eólicos, 2 PCHs e 1 usina fotovoltaica. Apesar de poucos empreendimentos em 2016, a quantidade de RECs emitidas já era de aproximadamente 107mil, um crescimento expressivo comparado com 2014, que existiam apenas 244 RECs emitidos, como demonstrado na Figura 8 (INSTITUTO TOTUM, 2022). Em 2020 o Instituto Totum contava com a empresa Abiogás e Abren, atingindo potenciais ainda maiores de emissões de certificados. (ABREN, 2020)

Diante disso, a evolução de emissão de certificados no Brasil foi rápida, já que o país tem um grande potencial de geração de energia renovável. Após grandes saltos no número de I-REC nos primeiros anos do programa, continuou essa

ascensão, a exemplo de 2020 para 2021, no qual mais que dobrou a emissão de certificados, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Crescimento de emissão de certificados no Brasil



Fonte: Adaptado de BENCHMARKING I-REC E REC BRAZIL 2021. (INSTITUTO TOTUM, 2021)

O sistema de REC é também uma forma de incentivar o investimento das geradoras e comercializadoras de energia elétrica, pois o mercado de RECs tem um valor não apenas monetário, mas, também, de participação e preocupação ambiental, o que torna os certificados cada vez mais valiosos para as empresas, pois garante credibilidade, parcerias e novos negócios.

Para iniciar o processo de emissão de I-RECs é preciso entender o conceito de “Registrante” na plataforma.

Os proprietários de dispositivos de produção ou entidades que atuam em seu nome devem se registrar como 'registrante' junto ao emissor responsável pela emissão de I-RECs no país relevante. Um Registrante é a única parte que pode registrar um dispositivo de produção com o emissor local e solicitar a emissão de I-RECs. (INSTITUTO TOTUM, 2022).

No caso do Brasil, o Instituto Totum é o órgão responsável pelo controle e registros cabíveis para as emissões dos certificados de energia por uma usina com base na contabilização da CCEE. O Instituto Totum conta com alguns requisitos para o cadastro para iniciar a emissão dos I-RECs, sendo o primeiro passo efetuar o

cadastro como registrante enviando as documentações citadas na Tabela 2 para o email rec@institutototum.com.br.

Tabela 2 – Documentação para Cadastro de Registrante

-
- 1 Contrato Social do Registrante atualizado;
 - 2 Preenchimento de formulário CSD01 (**Formulário de adesão ao Registro I-REC**);
 - 3 Assinatura do contrato junto ao Totum;
-

Fonte: Adaptado de Instituto Totum 2022.

Para o segundo passo, efetuar o cadastro do empreendimento, seja de energia eólica, de energia Solar, de energia PCH ou de energia a Biomassa, enviando as documentações citadas na Tabela 3 para o email rec@institutototum.com.br.

Tabela 3 – Documentação para Cadastro de Empreendimento

-
- 1 Contrato Social da usina atualizado;
 - 2 Modelo de Declaração Certificações;
 - 3 Modelo de Declaração atividades fraudulentas;
 - 4 Formulário CSD02 preenchido e assinado; (Formulário de inscrição de dispositivo de produção de energia (empreendimento));
 - 5 Código CEG – Código Único de Empreendimento de Geração;
 - 6 Termo Autorizativo CCEE preenchido e assinado pelo responsável pelo empreendimento junto a CCEE;
 - 7 Portaria de Outorga, publicada no Diário Oficial da União;
 - 8 Anexo 3 – Declaração de geração de atributos e posse (se necessário).
-

Fonte: Adaptado de Instituto Totum 2022.

Para o registro e emissão dos certificados é necessário um investimento inicial para o registro, válido por 5 anos, e um valor de emissão para cada certificado emitido. Esse valor está explícito no site do Instituto Totum, no qual os valores extraídos durante a elaboração deste projeto estão especificados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de Investimento para o registro do Empreendimento e Emissão de I-RECs

Adesão R\$ 7.020,00 a cada 5 anos;
Emissão R\$ 0,184 por REC.

Fonte: Adaptado de Instituto Totum 2022.

Após esse processo de registro, é possível emitir esses certificados através do sistema do I-REC Standard, os quais podem ser comercializados com os participantes da plataforma que os adquirem para comercializar entre outros participantes ou com os consumidores finais. Portanto, os certificados de energia renovável podem ser comercializados entre os registrantes e os participantes e aposentados para os consumidores finais através de um participante, como as comercializadoras de energia elétrica.

O programa conta com um sistema de aposentadoria de RECs para a utilização do benefício ambiental ao consumidor final. Utilizado para evitar a dupla contabilização e o uso de duplo beneficiário na declaração de uso de energia renovável. A aposentadoria funciona como um sistema de uso único do REC, o certificado se torna aposentado no mesmo momento em que o participante faz a venda do título para o consumidor final. Logo, o consumidor que compra o REC já está sendo considerado que o certificado foi declarado por ele, não havendo a possibilidade de um consumidor final comercializar um RECs aposentados.

Para iniciar o processo de aposentadoria de I-RECs na conta de um consumidor final é preciso entender o conceito de “Participante” na plataforma.

Participante é um Market Player, trader ou consumidor com uma conta no Registro do Code Manager. Eles podem resgatar certificados em seu próprio nome ou em nome de seus clientes e podem negociar certificados de sua conta principal para a conta principal de outro participante do mercado. (INSTITUTO TOTUM, 2022).

Para participar do sistema do I-REC Standard como participante, o primeiro passo seria efetuar o cadastro como participante enviando as documentações citadas na Tabela 5 para o email rec@institutototum.com.br.

Tabela 5 – Documentação para Cadastro de Participante

-
- | | |
|---|--|
| 1 | Contrato Social do Registrante atualizado; |
| 2 | Demonstração financeira dos últimos 12 meses; |
| 3 | Preenchimento de formulário CSD01 (Formulário de adesão ao Registro I-REC); |
| 4 | Assinatura de contrato junto a Evident Brasil; |
-

Fonte: Adaptado de Instituto Totum 2022.

Para torna-se um participante é necessário um investimento inicial para a adesão ao sistema e realizar o pagamento da taxa de anuidade, permitindo

comercializar os I-RECs com outros participantes e com os consumidores finais. Além disso, existe um custo por certificado aposentado. Esses valores estão explícitos no site do Instituto Totum, no qual os valores estão especificados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de Investimento para registrar-se como Participante e Aposentadoria de I-RECs

Adesão	€500,00
Anuidade	€2.000,00
Custo por Certificado aposentado	€0,06

Fonte: Adaptado de Instituto Totum 2022.

O Instituto Totum, especifica também no site próprio que “Os valores de investimento têm o Euro como base, porém, os pagamentos são feitos em Real quando o contrato é firmado com a Evident Brazil.” (INSTITUTO TOTUM, 2022).

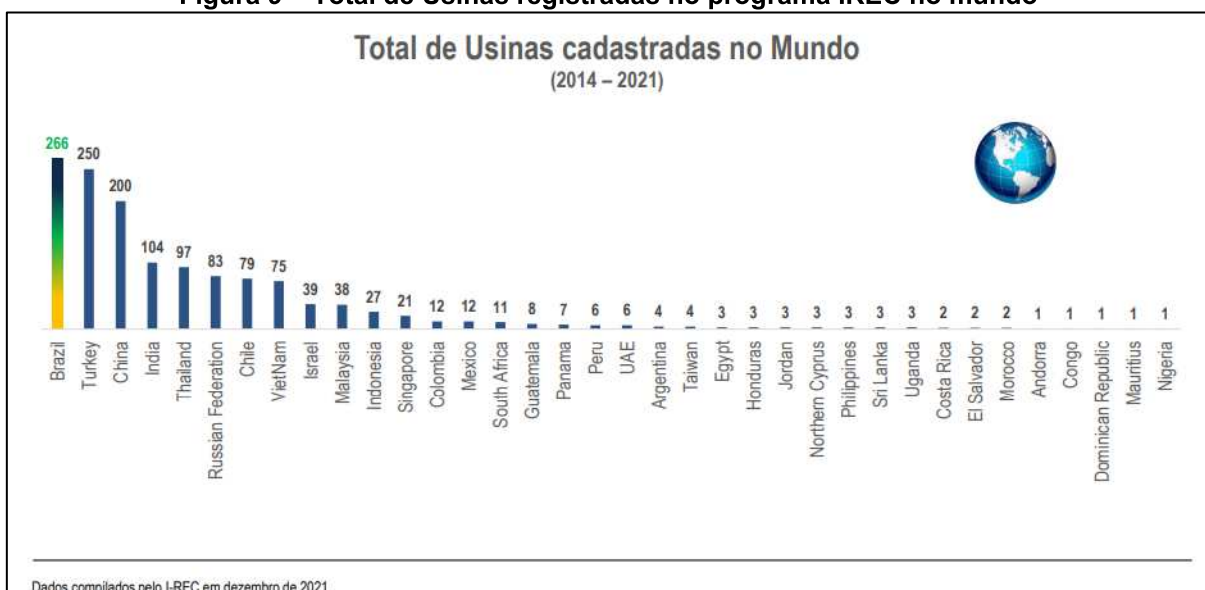
A partir desse sistema de emissão e aposentadoria de certificados é importante averiguar a viabilidade de Registrar e Participar do programa, já que os investimentos iniciais podem comprometer o lucro, tornando o sistema menos atrativo para algumas empresas, tendo em vista que o valor do I-REC pode variar para o consumidor final em livre negociação entre R\$1,50 a R\$5,00, de acordo com a fonte de geração, montante e disponibilidade, sendo a fonte hídrica a mais barata. (MIGRATIO ENERGIA, 2020)

2.6 Crescimento e Perspectiva do I-REC no Brasil

O Brasil tem perspectivas relevantes para o sistema de I-RECs no mundo, por ser um país continental e por já possuir historicamente uma matriz elétrica renovável mostra-se apto a ser um grande emissor de certificados, tanto para o mercado interno como para o externo.

Para demonstrar a capacidade do Brasil no sistema de emissão de certificados de energia renovável com o mundo, a Figura 9 mostra a quantidade de usinas registradas até o ano de 2021 no sistema de I-REC por país, mostrando o Brasil com a maior quantidade, com 266 usinas registradas.

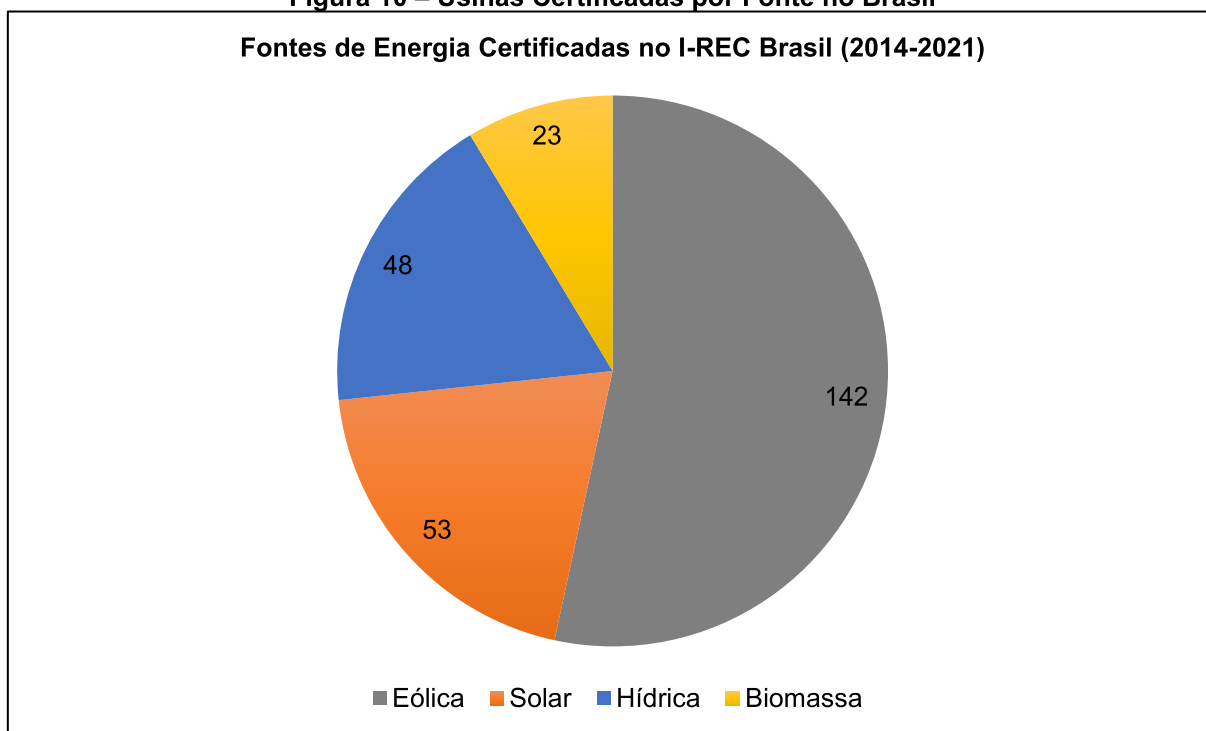
Figura 9 – Total de Usinas registradas no programa IREC no mundo



Fonte: BENCHMARKING I-REC E REC BRAZIL 2021. (INSTITUTO TOTUM, 2021)

Da participação desses empreendimentos no sistema, temos que as usinas eólicas possuem uma participação mais significativa, por possuírem grandes desempenhos pelo clima brasileiro, seguida pela energia solar que, de modo geral, possuem uma capacidade instalada menor do que o restante das fontes renováveis, além de serem empreendimentos menores, em sua maioria. Com isso a Figura 10 mostra a quantidade por fonte renovável registrada no sistema no Brasil no ano de 2021.

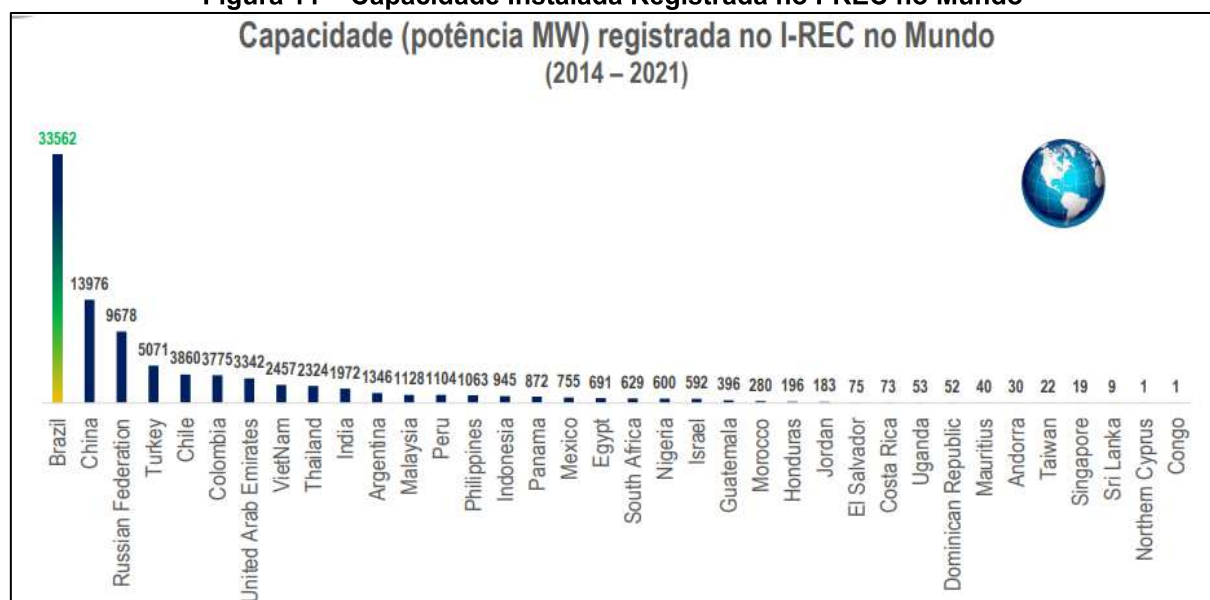
Figura 10 – Usinas Certificadas por Fonte no Brasil



Fonte: Adaptado de BENCHMARKING I-REC E REC BRAZIL 2021. (INSTITUTO TOTUM, 2021)

Para visualizar melhor a participação do Brasil no sistema de I-REC a Figura 11 elucida a Capacidade Instalada em Potência em MW registrada no sistema, comparando também com os outros países do mundo.

Figura 11 – Capacidade Instalada Registrada no I-REC no Mundo



Fonte: BENCHMARKING I-REC E REC BRAZIL 2021. (INSTITUTO TOTUM, 2021)

Tendo em vista que ainda terá a expansão da matriz da energia elétrica no país pelo aumento da demanda para os próximos anos, na qual crescerá em média

3,7% ao ano até 2030 segundo o Caderno de Demanda de Eletricidade (EPE, 2020), o Brasil terá uma evolução significativa em fontes renováveis com foco em energia eólica e solar e, por consequência, na emissão de IRECs.

O programa tende a expandir ainda em questão de número de participantes e, também, no interesse na comercialização dos certificados. A crescente lista de participantes é disponibilizada e atualizada pela IREC STANDARD (2022), no qual o Brasil conta com uma quantidade significativa, portanto demonstra cada vez mais interesse na emissão e na comercialização de certificados. Nesse aspecto, é novidade a comercialização de certificados para muitas geradoras e comercializadoras de energia com perspectivas de crescimento e já existem casos bem expressivos de comercialização de I-REC no Brasil.

No ano de 2020, a Enel Trading (Comercializadora) da empresa Enel Brasil, chegou a comercializar um montante de 1,39 milhões de I-RECs, sendo que no início de 2021 fechou a venda de 1,5 milhões logo no primeiro trimestre. Além disso, o volume de 1,39 milhão de IRECs negociados representou um aumento de 55,1% em relação aos 896,1 mil IRECs vendidos em contratos em 2019, o qual, por sua vez, foi superior aos 11 mil IRECs comercializados em 2018. Essa quantia de I-RECs negociados pela Enel Brasil, emitidos pelo Instituto Totum, são oriundos da hidrelétrica Cachoeira Dourada, da usina eólica Modelo I, e do parque solar Fontes Solar. Além dessas usinas a empresa está registrando outros projetos no sistema de I-RECs, indicando o crescimento da procura por esses certificados por parte dos consumidores. (CANALENERGIA, 2021)

Para a comercialização de I-RECs as comercializadoras já consideram a possibilidade de comercializar o certificado de energia renovável de forma agregada, ou seja, junto a compra de energia através de contratos bilaterais, desta forma o consumidor adquirir I-RECs da unidade geradora que firmou o contrato ou, também, a possibilidade de compra de I-RECs com base na energia consumida.

Essa é uma prática interessante e que será adotada com mais frequência para estimular a boa prática da compra de energia junto ao certificado, já que o sistema de I-RECs permite firmar o contrato de compra de energia com uma comercializadora e adquirir os I-RECs em outra geradora. Apesar do sistema de I-RECs permitir esse tipo de prática, não é aconselhável pois o sistema deve cumprir o

seu papel de rastrear a energia da forma mais correta, mesmo que não exista a ligação do meio contratual com o meio físico.

A compra de I-RECs também pode acontecer de forma desagregada, ou seja, o consumidor final pode optar por comprar o certificado de energia renovável independente do contrato de energia firmado. Nesses casos o consumidor pode ter o contrato de energia vinculado a uma fonte de energia eólica e comprar certificados de uma usina de energia solar, por exemplo. Esta prática acontece, pois nem todas as geradoras são registradas para emitir os certificados e os consumidores de energia elétrica nem sempre conseguem adquirir os certificados com a comercializadora que firmaram o contrato.

2.7 Geração Distribuída no Sistema de I-REC

Geração Distribuída (GD) é uma modalidade de geração de energia elétrica gerada no local de consumo ou próximo a ele, conforme enquadramento da Lei 14300/2022 (BRASIL, 2022b). As centrais geradoras de energia que se enquadram em Geração Distribuída são denominadas como microgeração distribuída, quando a central geradora tem potência instalada até 75 KW e minigeração distribuída para aquelas com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW. Nessa modalidade incluem-se principalmente instalações de painéis fotovoltaicos e geração por biogás.

No Brasil, a geração distribuída tem apresentado crescimento, principalmente de painéis fotovoltaicos. Isso ocorre devido a diversas vantagens como: acessibilidade a grande parte dos consumidores, baixo investimento comparado com as outras fontes e o fato de poder ser projetado em inúmeras proporções, além da facilidade de instalação. Desse modo, percebe-se que o consumidor de energia elétrica, demonstra uma participação mais ativa no setor de energia, já que passou a contribuir no sistema de geração de energia elétrica ao invés de apenas consumir energia vinculado à distribuidora.

Diante desse contexto, as emissões de certificados podem se tornar até uma possibilidade para os consumidores que também produzem parte de sua energia através de geração distribuída. Contudo, é necessário um estudo de viabilidade para registrar um empreendimento de geração, pois grande parte da geração distribuída

possui baixa capacidade de geração de energia elétrica comparada com grandes usinas. Por isso, muitas vezes, o sistema de emissão de I-RECs torna-se inviável, já que existe um preço relacionado ao registro, pagamento de anuidades e na emissão por certificado.

O regulamento do Instituto Totum permite o agrupamento de vários CNPJs ou CPFs de várias instalações de geração distribuída para registro único (até o limite somado de 5 MW) no “Formulário CSD02”, no qual o documento fornece no Anexo 4 – Formulário de registro para Grupo de Produção de Energia (INSTITUTO TOTUM, 2022). Assim, é importante ressaltar que todas as instalações devem ser do mesmo tipo de fonte de energia e recomenda-se que estejam homologadas junto a mesma distribuidora de energia elétrica.

O crescimento de geração distribuída é significativo no Brasil, como foi mostrado na Figura 6, no qual a geração solar fotovoltaica distribuída cresce exponencialmente ao longo dos últimos anos. Contudo, a capacidade instalada no Brasil ainda é menor quando comparado com a fonte hídrica. Logo, é importante observar se há capacidade instalada suficientes de geração distribuída nos estados para utilizar do agrupamento. Segundo o Ranking estadual de geração distribuída, desenvolvido pela ANEEL em conjunto com ABSOLAR, mostra-se a Tabela 7, listando os principais estados com suas respectivas capacidades instaladas e o percentual desse valor para a geração distribuída.

Tabela 7 – Rank de Potência Instalada dos Estados Brasileiros de Geração Distribuída

Estado	Rank	Potência Instalada (MW)	(%)
Minas Gerais	1º	1.730,2	16,8
São Paulo	2º	1.323,1	12,8
Rio Grande do Sul	3º	1170,1	11,3
Mato Grosso	4º	690,3	6,7
Paraná	5º	514,8	5,0
Santa Catarina	6º	503,7	4,9
Goiás	7º	498,1	4,8

Fonte: Adaptado de ANEEL/ABSOLAR, 2022.

Logo, na metodologia será mostrado um exemplo de cálculo teórico para exemplificar casos de geração distribuída no sistema de I-RECs, promovendo um estudo de precificação e de viabilidade. É considerado no estudo a simulação para unidades de geração solar fotovoltaica distribuída independentes de um mesmo estado, e também utilize o regulamento do agrupamento para simular o somatório das unidades como um único registro.

3 METODOLOGIA

O sistema de I-REC é uma proposta não muito conhecida ainda no Brasil, por esse motivo foi realizada uma pesquisa bibliográfica em torno do tema para explicar sua origem, importância e vantagens.

A busca iniciou pelo Instituto Totum, entidade certificadora, responsável pelos registros e certificações dos I-RECs, a qual contribuiu com informações de dados históricos, documentações necessárias para participar do programa e os custos de investimento.

Avaliando as informações fornecidas do Instituto, no qual mostrou a alta perspectiva de crescimento desse instrumento, foi realizada uma busca sobre o interesse e a capacidade do Brasil de progredir nesse mercado.

Logo, as pesquisas foram realizadas sobre os temas relacionados ao certificado, como acordos internacionais de redução de emissões de gases efeito estufa, acordo de Paris e Agenda ambiental da ONU. Para agregar informações ao trabalho, pesquisou-se sobre os pilares ESG, que estão diretamente interligados com os interesses ambientais das empresas. Além disso, a busca de informações sobre a energia renovável no Brasil nas principais fontes como o ONS e a CCEE em meios eletrônicos.

Para finalizar, foi observado durante o estudo que o certificado de energia renovável é um ativo ambiental que possui valor monetário, podendo variar para cada tipo de geração, possuindo preços diferentes para o consumidor final. Por isso, neste estudo com base nas informações oferecidas do Instituto Totum foram construídas equações para determinar um preço justo para o preço do ativo. Para a simulação do preço do I-REC foi optado por utilizar unidades geradoras de geração distribuída de fonte fotovoltaica, já que é uma das formas de geração de energia elétrica que possui perspectiva de crescimento elevado no Brasil. Sendo assim, foi pesquisado sobre a geração distribuída no Brasil e informações de geração de três unidades geradoras de energia fotovoltaica dos dados históricos do ONS para utilizar neste estudo.

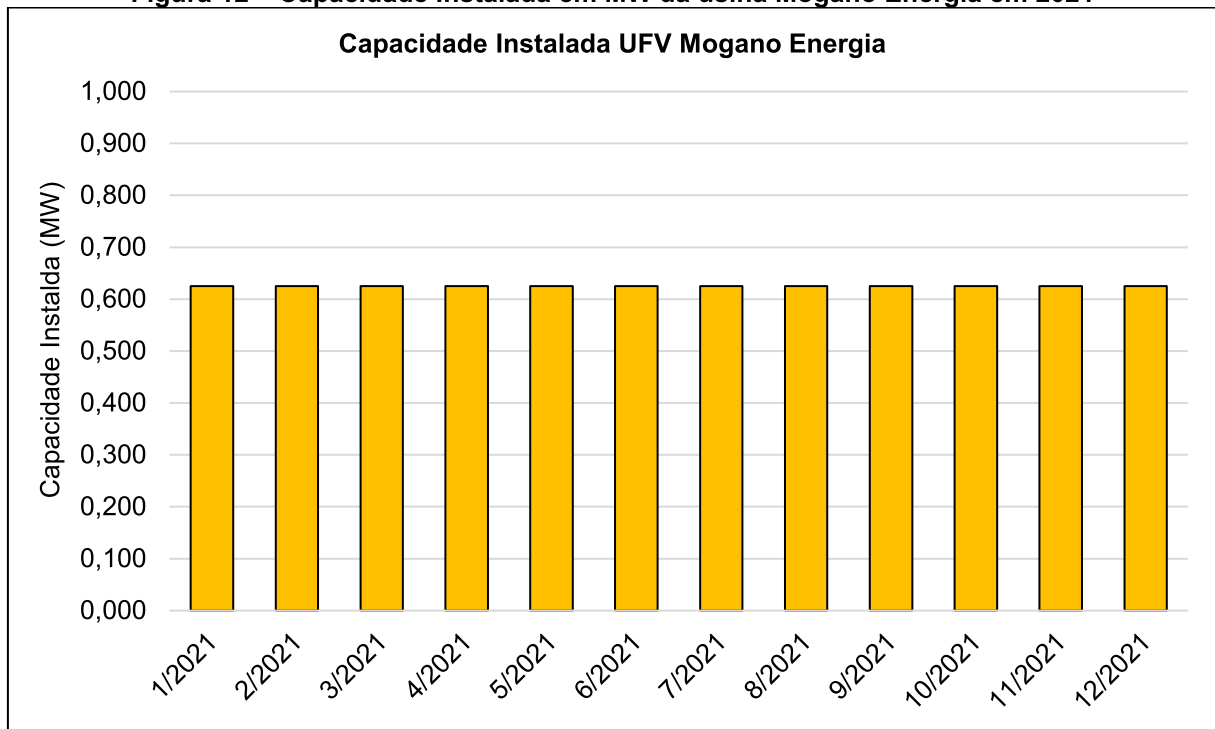
Considerando que o I-REC não possui um preço fixo de mercado e que pode variar mediante ao valor do investimento, fonte de energia e da procura, e neste trabalho será elaborado um estudo de caso para avaliar o preço de comercialização

do I-REC para o consumidor final. Para esse estudo, serão utilizados, como modelo, três empreendimentos de geração de energia fotovoltaica, caracterizados como de geração distribuída e com valores distintos de potência instalada entre si. A partir da geração em MWh dessas usinas durante o ano de análise, será possível determinar um preço viável para o I-REC, visando obter uma margem de lucro aceito pelo mercado, tendo em vista que o preço do I-REC deveria custar entre R\$1,50 a R\$5,00, conforme a publicação de Migratio Energia (2020).

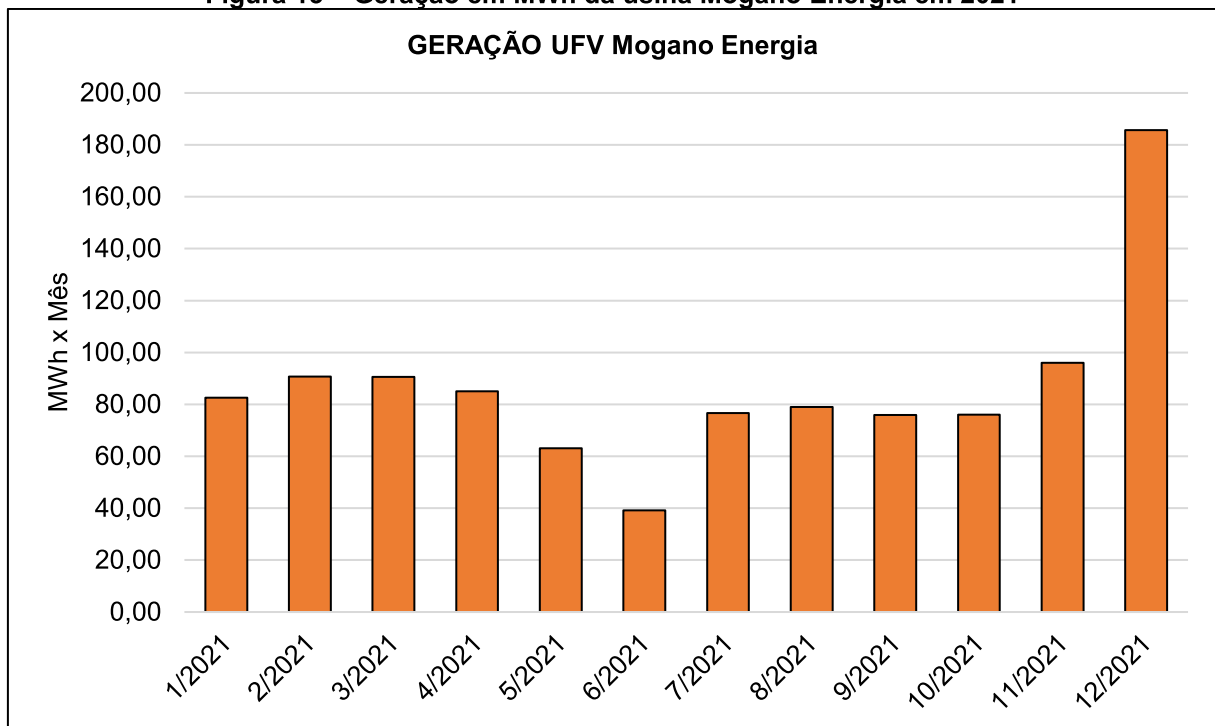
Conclui-se com o estudo que, para a viabilidade de ingressar no mercado de certificados, é necessário avaliar a capacidade de emissão para a unidade geradora registrada e a quantidade solicitada pelos consumidores ao longo do ano. Avaliar, também, o retorno considerando tanto os valores de investimento para registrar o empreendimento e de se tornar participante como os custos de emissão de e de aposentadoria dos I-RECs, de acordo com a quantidade demandada durante o período de análise.

3.1 Geração de energia solar fotovoltaica

Essa etapa consiste em mostrar algumas fontes geradoras de energia fotovoltaica do país para a aplicação da metodologia deste trabalho no sistema de I-RECs. A partir de informações do Operador Nacional do sistema (ONS), foi possível obter valores de geração em MWh de Usinas de Energia Fotovoltaica (UFV) de Santa Catarina como, também, a sua capacidade instalada pelos dados fornecidos pela CCEE para o período desejado. Os dados de geração em MWh são utilizados para determinar a capacidade de emissão de certificados para cada unidade geradora, já a sua capacidade instalada é utilizada para mostrar que o fator que determinará a capacidade de emissão de I-RECs é a potência fornecida e contabilizada pela rede e não a sua capacidade. Neste estudo também será visto o caso de agrupamento de unidades geradoras, no qual é permitido agrupar unidades que totalizem seu somatório em até 5 MW de potência instalada. A primeira usina é a UFV Mogano Energia, com sua capacidade instalada demonstrada na Figura 12 e sua geração em MWh na Figura 13.

Figura 12 – Capacidade Instalada em MW da usina Mogano Energia em 2021

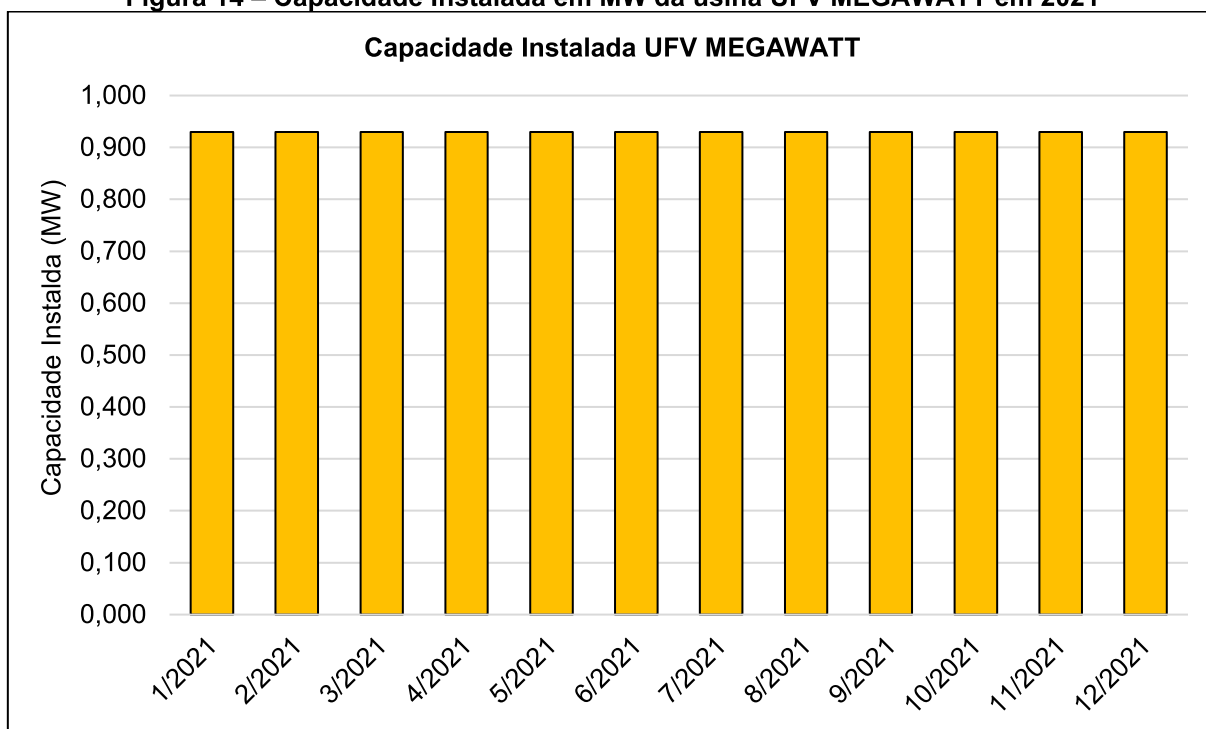
Fonte: Adaptado de Dados e Análises de Geração (CCEE, 2022a).

Figura 13 – Geração em MWh da usina Mogano Energia em 2021

Fonte: Adaptado de Dados Históricos da Geração (ONS, 2022).

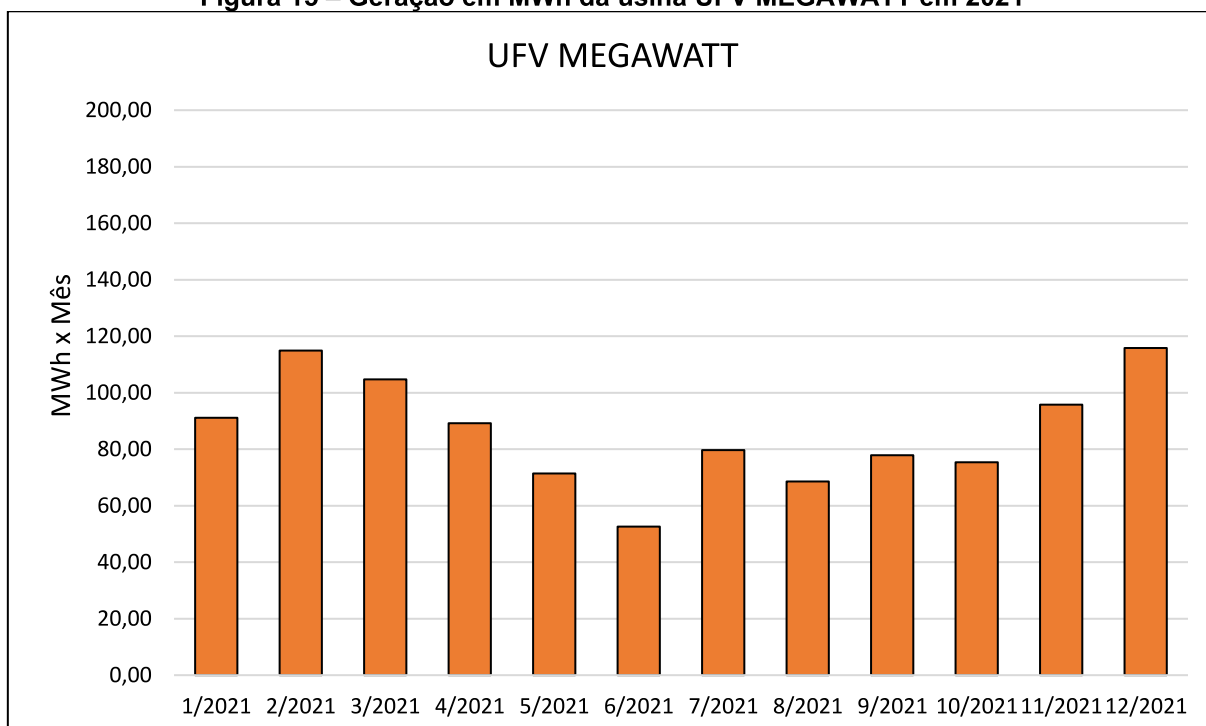
A segunda usina é a usina UFV Megawatt, no qual a **Figura 14** mostra sua capacidade Instalada e na **Figura 15** sua geração em MWh durante o ano de 2021.

Figura 14 – Capacidade Instalada em MW da usina UFV MEGAWATT em 2021



Fonte: Adaptado de Dados e Análises de Geração (CCEE, 2022a).

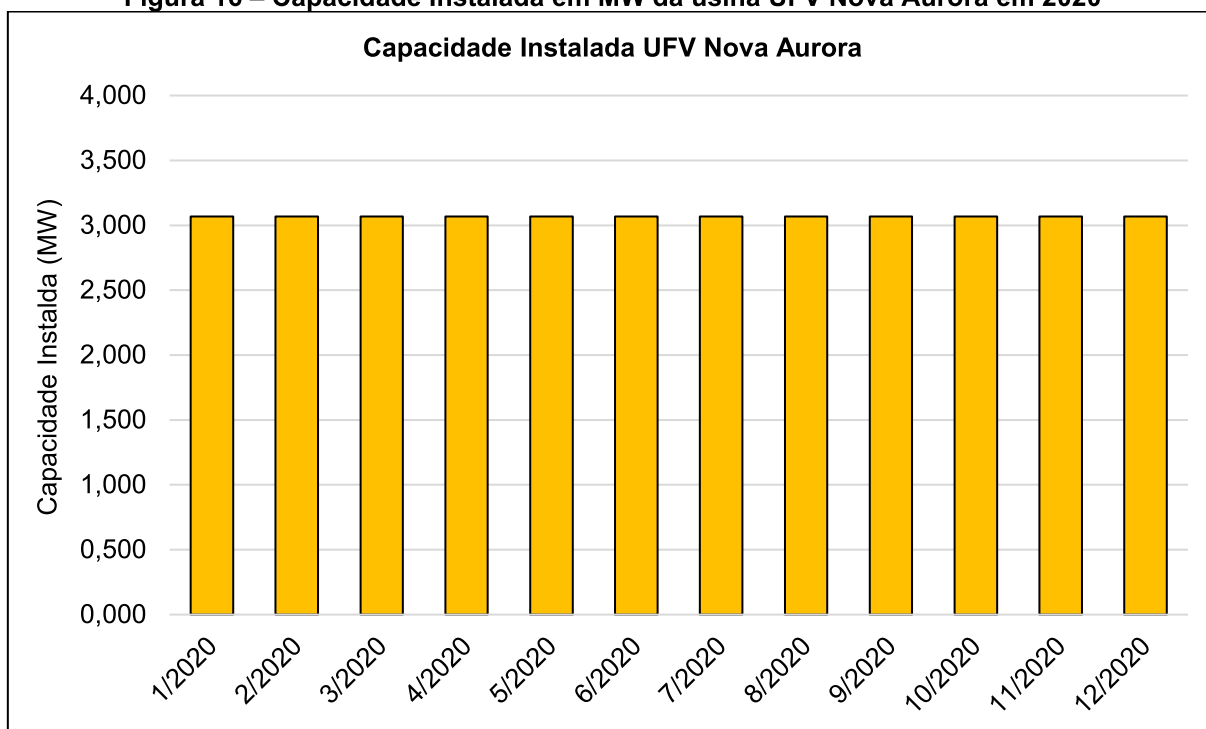
Figura 15 – Geração em MWh da usina UFV MEGAWATT em 2021



Fonte: Adaptado de Dados Históricos da Geração (ONS, 2022).

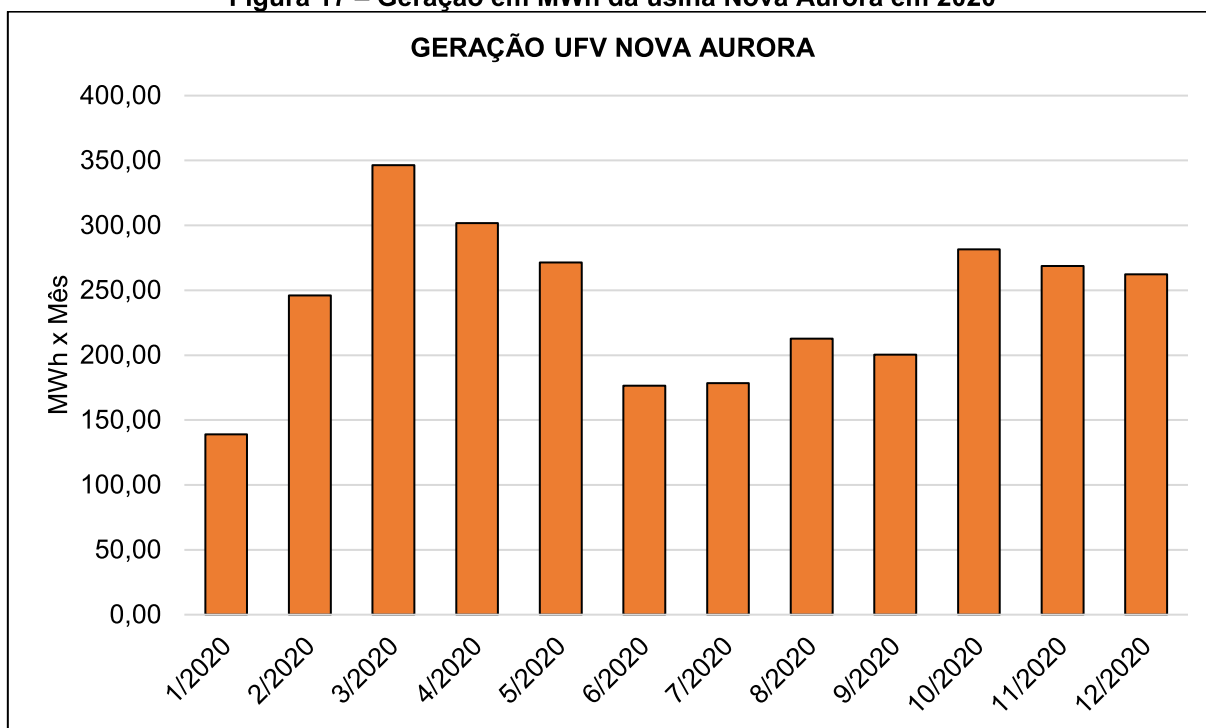
Por fim, a terceira usina é a UFV Nova Aurora, no qual a **Figura 16** mostra a capacidade Instalada e na **Figura 17** sua geração em MWh durante o ano de 2020.

Figura 16 – Capacidade Instalada em MW da usina UFV Nova Aurora em 2020



Fonte: Adaptado de Dados e Análises de Geração (CCEE, 2022a).

Figura 17 – Geração em MWh da usina Nova Aurora em 2020



Fonte: Adaptado de Dados Históricos da Geração (ONS, 2022).

No caso da Usina Nova Aurora, foi optado por utilizar o período do ano de 2020 pois no ano de 2021 houve inconsistências nos dados extraídos da ONS.

Com base na geração das usinas fotovoltaicas fornecidas pelo ONS serão calculadas as quantidades de certificados que podem emitir durante o ano de análise para utilizar no estudo de viabilidade.

3.2 Estudo de Viabilidade

Neste trabalho será efetuado um estudo de viabilidade de elaboração própria e concluir o estudo com as análises e resultados conforme a metodologia.

Para o estudo de viabilidade de registro de um empreendimento no sistema de I-REC, serão utilizadas as informações de geração das unidades geradoras de energia elétrica Mogano Energia, Megawatt e Nova Aurora de forma independente para definir o preço de um I-REC para este tipo de fonte e verificar se atualmente existe ou não uma viabilidade financeira para esse mercado para unidades de geração distribuída. Por fim, será feito um processo de agrupamento destas unidades em um registro único (até o limite somado de 5 MW) e verificar também a sua viabilidade, já que é permitido o agrupamento até uma determinada potência pelo Instituto Totum.

Dessa forma, o cálculo será feito a partir das seguintes etapas apresentadas. Em primeiro momento será calculada a quantidade de certificados que podem ser emitidos por mês conforme a energia gerada da usina. Logo, será feito um cálculo a partir da energia gerada da usina dividido pela “Energia de emissão I-REC” que é equivalente a 1 MWh, representada pela Equação 1:

$$Cap_{Mês} = \frac{Energia\ gerada\ (MWh)}{Energia\ de\ emissão\ I-REC\ (MWh)} \quad (1)$$

Após definir a capacidade de emissão de I-REC para cada mês da unidade geradora, será informado um valor em percentual de demanda, representado pela variável Δd , simulando a quantidade de I-RECs solicitada pelos consumidores finais com base na capacidade mensal da usina, utilizando a Equação 2:

$$Solicitado_{Mês} = Cap_{Mês} \times \Delta d \quad (2)$$

Após definido o Solicitado mensal para cada mês do ano, será calculado o somatório anual desta solicitação, pois utilizar a quantidade anual solicitada permite

uma avaliação mais concisa do preço do I-REC já que os investimentos para registro do empreendimento são em base anual, utilizando a Equação 3:

$$Solicitado_{Anual} = \sum_{i=1}^n Solicitado_{Mês_i} = Solicitado_{Mês_1} + Solicitado_{Mês_2} + \dots + Solicitado_{Mês_n} \quad (3)$$

Com o Solicitado anual de I-RECs é possível calcular o Custo Registrante que contempla os investimentos relacionados ao registro do empreendimento junto as emissões solicitadas, sendo que para o Custo de Adesão o valor atribuído na equação é dividido por 5, já que o registro do empreendimento é válido por 5 anos e o período de análise desta metodologia é com base anual, utilizando a Equação 4:

$$Custo Registrante = \frac{Custo de Adesão da Unidade}{5} + Solicitado_{Anual} \times Custo de Emissão \quad (4)$$

Sendo assim, é possível determinar o Custo Registrante para a emissão do I-REC. Porém, para definir uma base de quanto deve ser o preço de um I-REC para o consumidor final deve-se levar em conta os custos de adesão ao sistema de participante e de aposentadoria do I-REC.

Portanto, para chegar no preço final do I-REC para um consumidor final é preciso encontrar o valor do Custo Participante, que seria o valor para a adesão, taxa de anuidade e o valor de aposentadoria por I-RECs solicitados pelo consumidor final. Para este estudo, está sendo considerado que o participante irá comercializar no sistema de I-RECs, no mínimo, pelos próximos cinco anos, já que o empreendimento registrado tem a validade de cinco anos para a emissão de I-RECs. Isso leva o Custo de Adesão ao Participante ser dividido por cinco para essa análise. Os custos relacionados ao Participante são atrelados ao Euro e é preciso realizar a conversão para o real para determinar o valor do Custo Participante descrito na Tabela 6, utilizando a Equação 5:

$$Custo Participante = \frac{Custo de Adesão ao Participante}{5} + Taxa de Anuidade + Solicitado_{Anual} \times Custo de Aposentadoria \quad (5)$$

Por fim, para calcular o preço do I-REC para o consumidor final é considerado que a unidade geradora que faz o registro, também se torna participante para comercializar os I-REC. Portanto utiliza-se a soma do Custo Registrante com o Custo Participante, chegando a um Custo Total que representa todo o valor de

investimento necessário para emitir e aposentar I-RECs para um consumidor final durante um ano, utilizando a Equação 6:

$$Custo\ Total = Custo\ Registrante + Custo\ Participante \quad (6)$$

Logo, o Preço do I-REC na proposta para um consumidor final será o Custo Total somado a ele mesmo multiplicado pela margem de lucro em percentual, dividido pelo Solicitado Anual, determinado pela Equação 7:

$$Preço\ do\ I - REC = \frac{Custo\ Total + (1 + Margem\ de\ Lucro)}{Solicitado_{Anual}} \quad (7)$$

3.3 Conclusão do estudo de viabilidade

Conclui-se com o estudo de viabilidade que é possível definir um preço base para o I-REC a partir dos custos anuais envolvidos junto a quantidade solicitada, a qual é limitada pela capacidade de cada usina. Os valores do I-REC não possuem uma forma de cálculo definida e, por isso, este trabalho permite com essa metodologia encontrar um valor aceitável, considerando a geração, os custos ao longo de um ano e uma margem de lucratividade que se almeja obter com a comercialização deste produto.

Assim, esse estudo de viabilidade se resume em definir o custo real para o consumidor final através de sua solicitação de obter a I-RECs. Dessa forma, essas equações serão utilizadas no estudo de caso para as usinas fotovoltaicas propostas nesse trabalho.

Portanto, a metodologia será aplicada neste estudo de caso para os empreendimentos de geração distribuída, determinando a quantidade de I-RECs para cada unidade geradora. E, também, realizar um agrupamento das unidades e verificar o quanto a capacidade de emitir e aposentar a I-RECs pode influenciar os preços de comercialização dos certificados.

4 ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso deste trabalho são realizadas simulações para o preço do I-REC para as usinas fotovoltaicas com os dados já descritos na metodologia. Esse estudo é realizado efetuando a aplicação das equações propostas para dez casos de demanda e com a margem de lucro fixa. O estudo de viabilidade proposto na metodologia, como já descrito, leva em conta informações disponibilizadas pelo Instituto Totum e informações da geração das usinas provenientes do ONS e da CCEE.

As usinas possuem capacidades instaladas diferentes, no qual a UFV Mogano possui 0,625 MW, a UFV Megawatt 0,930 MW e, por fim, a UFV Nova Aurora com 3,068 MW. Nesse estudo, também, será levado em consideração um caso com tais usinas somadas, resultando em um empreendimento com três unidades geradoras com a capacidade instalada de 4,623 MW.

4.1 Dados do Estudo

Neste capítulo serão mostrados os dados utilizados para realizar o estudo de caso e suas análises.

4.1.1 Potência de Energia Elétrica Gerada pelas Usinas

Para esse estudo é importante utilizar usinas com capacidades instaladas diferentes para poder avaliar os preços de I-RECs de acordo com a capacidade de geração de cada umas delas. Sendo assim, será descrita na Tabela 8 as informações de geração de MWh para cada uma das usinas e também a capacidade delas somadas.

Tabela 8 – Geração em MWh das Usinas UFV

Data	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
Jan	82,54	91,07	138,95	312,56
Fev	90,75	114,86	245,9	451,51
Mar	90,59	104,76	346,47	541,82
Abr	85,02	89,22	301,68	475,92
Mai	63,05	71,45	271,52	406,02
Jun	39,15	52,55	176,35	268,05
Jul	76,66	79,66	178,33	334,65
Ago	79	68,56	212,81	360,37
Set	75,94	77,82	200,41	354,17
Out	76,06	75,34	281,54	432,94
Nov	96,04	95,78	268,7	460,52
Dez	185,67	115,81	262,21	563,69

Fonte: Elaboração própria.

Para efetuar o estudo é importante também definir uma variação para o valor da demanda de I-REC, demonstrado pela variável Δd e também a *Margem de Lucro*(%) para definir o preço dos certificados de acordo com a metodologia aplicada. Na **Tabela 9** são descritos 10 casos com variável Δd com uma variação de 10% e uma Margem de Lucro fixa de 10% para cada um dos casos.

Tabela 9 – Casos com a variação da demanda e da Margem de Lucro

Casos	Δd	Margem de Lucro
1º	10%	10%
2º	20%	
3º	30%	
4º	40%	
5º	50%	
6º	60%	
7º	70%	
8º	80%	
9º	90%	
10º	100%	

Fonte: Elaboração própria.

Com base nessas informações é possível utilizar os recursos descritos na metodologia e encontrar um preço para o I-REC para os 10 casos especificados na tabela 9 para cada uma das usinas.

4.2 Aplicação do Estudo de Viabilidade

Para iniciar a aplicação do estudo é necessário encontrar a capacidade mensal de emissão de I-RECs para cada unidade geradora.

Com base nas informações da Tabela 8 é possível utilizar a Equação 1 descrita no estudo de viabilidade e determinar a capacidade de emissão de I-REC de cada usina, pois cada MWh gerado é possível emitir 1 I-REC. Logo, é considerado que a Potência de emissão I-REC(MWh) = 1 MW, pois é o valor equivalente a 1 I-REC. O resultado contempla números inteiros já que o certificado é em unidades e não fracionado como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Capacidade Mensal de Emissão de I-REC para cada caso

Data	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
Jan	82	91	138	312
Fev	90	114	245	451
Mar	90	104	346	541
Abr	85	89	301	475
Mai	63	71	271	406
Jun	39	52	176	268
Jul	76	79	178	334
Ago	79	68	212	360
Set	75	77	200	354
Out	76	75	281	432
Nov	96	95	268	460
Dez	185	115	262	563

Fonte: Elaboração própria.

Para esse estudo de caso leva-se em consideração que o consumidor final opta por uma quantia percentual de emissão para a variável Δd descrita na Tabela 9. Com essas informações é possível determinar o $Solicitado_{Mês}$, utilizando a Equação 2, descrita no estudo, e em sequência realizar o seu somatório com a Equação 3 definindo o $Solicitado_{Anual}$ tendo em vista que os valores devem ser números inteiros, resultando na Tabela 11 o solicitado anual para cada caso da Tabela 9.

Tabela 11 – Solicitado Anual de I-REC para cada caso

Casos	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
1º	103	103	287	495
2º	207	206	575	991
3º	310	309	863	1486
4º	414	412	1151	1982
5º	518	515	1439	2478
6º	621	618	1727	2973
7º	725	721	2014	3469
8º	828	824	2302	3964
9º	932	927	2590	4460
10º	1036	1030	2878	4956

Fonte: Elaboração própria.

A partir do solicitado Anual para cada caso é possível determinar o Custo Registrante utilizando a Equação 4 para cada um dos casos demonstrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Custo Registrante para cada caso

Casos	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
1º	R\$ 1.422,95	R\$ 1.422,95	R\$ 1.456,81	R\$ 1.495,08
2º	R\$ 1.442,09	R\$ 1.441,90	R\$ 1.509,80	R\$ 1.586,34
3º	R\$ 1.461,04	R\$ 1.460,86	R\$ 1.562,79	R\$ 1.677,42
4º	R\$ 1.480,18	R\$ 1.479,81	R\$ 1.615,78	R\$ 1.768,69
5º	R\$ 1.499,31	R\$ 1.498,76	R\$ 1.668,78	R\$ 1.859,95
6º	R\$ 1.518,26	R\$ 1.517,71	R\$ 1.721,77	R\$ 1.951,03
7º	R\$ 1.537,40	R\$ 1.536,66	R\$ 1.774,58	R\$ 2.042,30
8º	R\$ 1.556,35	R\$ 1.555,62	R\$ 1.827,57	R\$ 2.133,38
9º	R\$ 1.575,49	R\$ 1.574,57	R\$ 1.880,56	R\$ 2.224,64
10º	R\$ 1.594,62	R\$ 1.593,52	R\$ 1.933,55	R\$ 2.315,90

Fonte: Elaboração própria.

A partir do solicitado Anual para cada caso é possível determinar também o Custo Participante utilizando a Equação 6, lembrando que o valor é dado em Euros. Desse modo é necessário transformar o valor para real. Nesse caso, foi utilizado o Valor Comercial de Venda do Euro na data de 31/12/2021 com um valor de R\$ 6,3210 (BCB, 2022). Para cada um dos casos foram demonstrados o Custo Participante na Tabela 13.

Tabela 13 – Custo Participante para cada caso

Casos	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
1º	R\$ 13.313,16	R\$ 13.313,16	R\$ 13.382,95	R\$ 13.461,83
2º	R\$ 13.352,61	R\$ 13.352,23	R\$ 13.492,17	R\$ 13.649,95
3º	R\$ 13.391,67	R\$ 13.391,29	R\$ 13.601,40	R\$ 13.837,68
4º	R\$ 13.431,11	R\$ 13.430,36	R\$ 13.710,63	R\$ 14.025,79
5º	R\$ 13.470,56	R\$ 13.469,42	R\$ 13.819,86	R\$ 14.213,91
6º	R\$ 13.509,62	R\$ 13.508,48	R\$ 13.929,08	R\$ 14.401,64
7º	R\$ 13.549,06	R\$ 13.547,55	R\$ 14.037,93	R\$ 14.589,75
8º	R\$ 13.588,13	R\$ 13.586,61	R\$ 14.147,16	R\$ 14.777,49
9º	R\$ 13.627,57	R\$ 13.625,67	R\$ 14.256,38	R\$ 14.965,60
10º	R\$ 13.667,01	R\$ 13.664,74	R\$ 14.365,61	R\$ 15.153,71

Fonte: Elaboração própria.

Para finalizar os cálculos referente aos custos basta efetuar a soma do Custo Registrante com o Custo Participante para determinar o Custo Final a partir da Equação 6, resultando na Tabela 14.

Tabela 14 – Custo Final para cada caso

Casos	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
1º	R\$ 14.736,12	R\$ 14.736,12	R\$ 14.839,76	R\$ 14.956,91
2º	R\$ 14.794,69	R\$ 14.794,13	R\$ 15.001,97	R\$ 15.236,29
3º	R\$ 14.852,71	R\$ 14.852,15	R\$ 15.164,19	R\$ 15.515,10
4º	R\$ 14.911,29	R\$ 14.910,16	R\$ 15.326,41	R\$ 15.794,48
5º	R\$ 14.969,87	R\$ 14.968,18	R\$ 15.488,63	R\$ 16.073,86
6º	R\$ 15.027,88	R\$ 15.026,19	R\$ 15.650,85	R\$ 16.352,67
7º	R\$ 15.086,46	R\$ 15.084,21	R\$ 15.812,51	R\$ 16.632,05
8º	R\$ 15.144,48	R\$ 15.142,23	R\$ 15.974,72	R\$ 16.910,86
9º	R\$ 15.203,06	R\$ 15.200,24	R\$ 16.136,94	R\$ 17.190,24
10º	R\$ 15.261,64	R\$ 15.258,26	R\$ 16.299,16	R\$ 17.469,62

Fonte: Elaboração própria.

Com todas as informações de custo obtidas e a solicitação obtida para cada caso e utilizada margem de lucro proposta de 10%, definida no estudo do caso, é possível determinar o Preço do I-REC para o consumidor final, utilizando a Equação 7 e, assim, demonstra-se os Preços do I-REC para cada caso e para cada usina na Tabela 15.

Tabela 15 – Preço do I-REC para cada caso

Casos	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
1º	R\$ 157,38	R\$ 157,38	R\$ 56,88	R\$ 33,24
2º	R\$ 78,62	R\$ 79,00	R\$ 28,70	R\$ 16,91
3º	R\$ 52,70	R\$ 52,87	R\$ 19,33	R\$ 11,48
4º	R\$ 39,62	R\$ 39,81	R\$ 14,65	R\$ 8,77
5º	R\$ 31,79	R\$ 31,97	R\$ 11,84	R\$ 7,14
6º	R\$ 26,62	R\$ 26,75	R\$ 9,97	R\$ 6,05
7º	R\$ 22,89	R\$ 23,01	R\$ 8,64	R\$ 5,27
8º	R\$ 20,12	R\$ 20,21	R\$ 7,63	R\$ 4,69
9º	R\$ 17,94	R\$ 18,04	R\$ 6,85	R\$ 4,24
10º	R\$ 16,20	R\$ 16,30	R\$ 6,23	R\$ 3,88

Fonte: Elaboração própria.

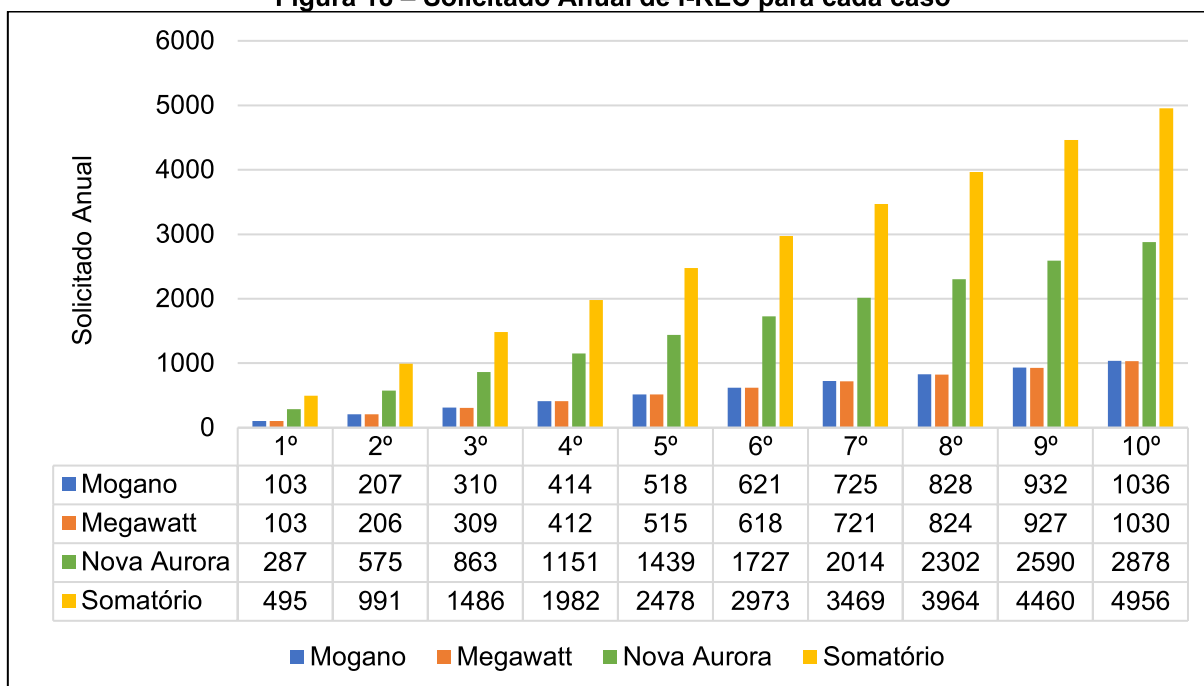
Após aplicar a metodologia do estudo de viabilidade para determinar um preço adequado para o I-REC para cada um dos casos, levando em consideração critérios como custos, demanda e margem de lucro, foi possível obter os resultados finais dos valores na Tabela 15. A partir disso será feito uma análise final de acordo com os valores obtidos.

4.3 Análise dos Resultados

A partir do estudo de caso e os resultados obtidos através da aplicação do estudo de viabilidade proposto, serão feitas análises comparativas entre as usinas, além de reflexões em torno do tema e dos critérios utilizados nas equações para chegar ao preço do I-REC.

Em primeiro momento, é interessante observar que, quanto maior a capacidade instalada da usina, maior a capacidade de emissão de I-RECs. De acordo com o estudo proposto, o Solicitado Anual reflete a quantidade de I-RECs solicitada durante o ano com base na capacidade de emissão e o percentual de demanda, descrito para cada caso na Tabela 9. Sendo assim, é possível observar a Figura 18 que demonstra o solicitado anual para cada caso e cada usina, inclusive do somatório entre elas.

Figura 18 – Solicitado Anual de I-REC para cada caso



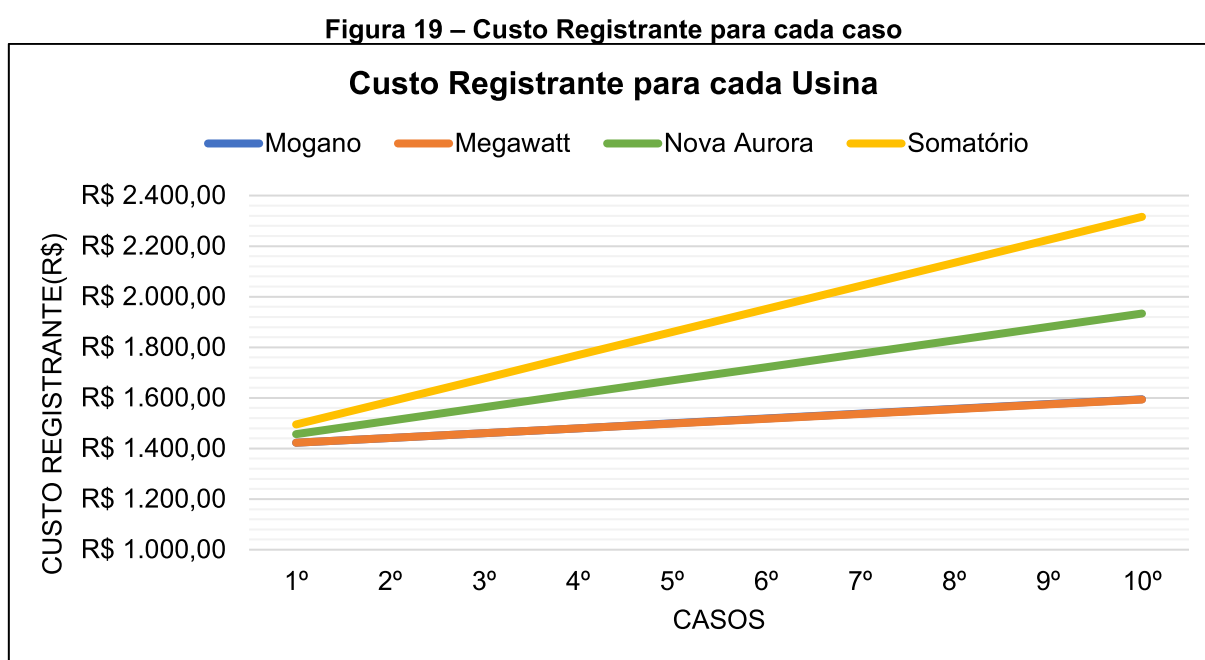
Fonte: Elaboração própria.

Analisando a Figura 18 percebe-se que o crescimento do Solicitado Anual para cada usina e cada caso foi proporcional, já que foi utilizado um crescimento de 10% de demanda solicitada para cada caso. Com isso, conclui-se que, quanto maior a capacidade de geração da usina e a quantidade solicitada, maior a emissão de I-RECs para a usina.

No caso da Usina Mogano e da Usina Megawatt, ambas tiveram a quantidade de emissões muito parecidas. Apesar da diferença de capacidade instalada entre as unidades geradoras serem relevantes, a usina Megawatt possui uma capacidade instalada 48,8% superior a usina Mogano, no entanto, a geração mostrou-se equivalente. Isso pode ser explicado por diversas hipóteses tanto pela característica da instalação como pela posição dos painéis solares, o sombreamento da região, entre outros motivos.

Logo, é importante salientar que a capacidade instalada não é garantia de capacidade de emissão do I-REC e sim a geração efetiva da usina. A usina Nova Aurora possui uma capacidade instalada de 3,068 MW e trouxe um retorno de capacidade instalada suficiente para emitir um valor equivalente a 2878 certificados durante o ano de 2020, praticamente três vezes a capacidade de emissão das outras unidades.

No estudo de caso também foram verificados os custos relacionados ao registro do empreendimento e a emissão de I-REC, demonstrados pelo Custo Registrante com base na Equação 4. Diante disso, é possível mostrar graficamente na Figura 19 o crescimento desse custo junto ao crescimento da quantidade emitida de I-RECs para cada usina.



Fonte: Elaboração própria.

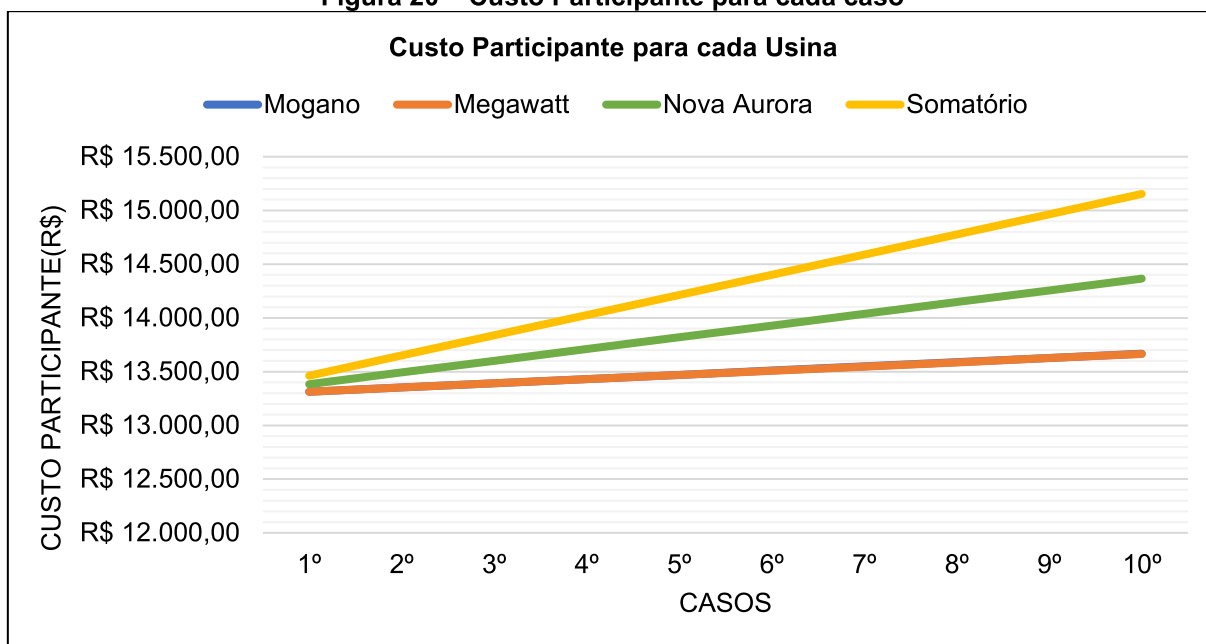
Percebe-se que o Custo Registrante cresce para todas as usinas, de acordo com a evolução dos casos, os quais são definidos pelo aumento de emissões de certificados a partir da capacidade de cada usina e da demanda solicitada.

É essencial observar o aumento da diferença de Custo Registrante com a evolução dos casos, pois a função é determinada por um custo fixo de Custo de Adesão da Unidade somado ao custo por emissão de certificados. Logo, comparando o Custo Registrante da Usina Nova Aurora com a Usina Mogano no 1º caso a diferença é de 2,38% e no 10º caso a diferença é de 21,25%, isso porque a emissão de I-RECs da Usina Nova Aurora na sua capacidade máxima anual é muito superior a Usina Mogano.

Para determinar o Custo Final da metodologia proposta também foi avaliado o Custo Participante com base na Equação 5, com isso é possível mostrar graficamente na

Figura 20 o crescimento desse custo junto ao crescimento da quantidade aposentada de I-RECs para cada usina.

Figura 20 – Custo Participante para cada caso



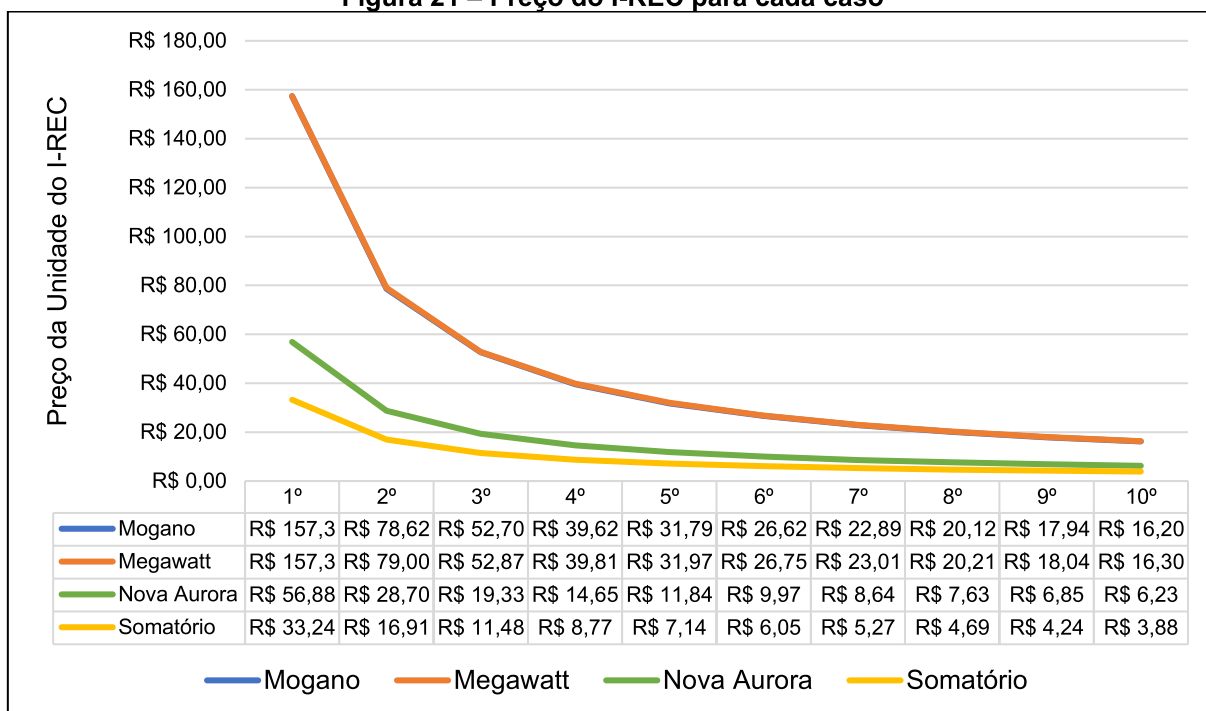
Fonte: Elaboração própria.

Observando a

Figura 20, percebe-se a similaridade com a Figura 19, pois as funções utilizadas para obter os resultados possuem comportamentos equivalentes. Contudo o Custo Fixo de Adesão ao Participante somado a Taxa de Anuidade possui um valor absoluto superior ao Custo de Adesão do Registrante, tornando o investimento do Participante maior quando comparado ao do Registrante. Ao analisar e comparar o Custo Participante da Usina Nova Aurora em relação à Usina Mogano no 1º caso a diferença é de 0,52% e no 10º caso a diferença é de 5,11%. Apesar do aumento da diferença devido a quantidade de I-RECs aposentados para cada Usina, a diferença é inferior em níveis percentuais quando comparada com o Custo Registrante, tendo em vista o valor superior de Custo Fixo para o Participante. Assim, isso torna a variação de quantidade de I-RECs menos significativa.

Para concluir a análise é importante analisar o comportamento do Preço do I-REC calculado para cada caso e usina especificada no estudo, utilizando a Equação 7, demonstrados na Figura 21.

Figura 21 – Preço do I-REC para cada caso



Fonte: Elaboração própria.

Para finalizar esse estudo, é pertinente avaliar os preços do I-REC obtidos durante o estudo para as usinas e comparar com a indicação de preço entre R\$1,50 a R\$5,00, proposta por Migratio Energia (2020). Contudo, a metodologia utilizada nesse estudo visa obter um lucro efetivo no preço atribuído a cada I-REC e torná-lo um produto viável economicamente, principalmente, para o caso de usinas fotovoltaicas de geração distribuída.

Ao realizara a análise da Figura 21 é notável que o Preço do I-REC diminui de acordo com o aumento do Solicitado anual de I-RECs e, isso, reflete o aumento da quantia de I-REC emitida e aposentada para cada situação. O comportamento da curva que define o preço do I-REC proposto nesse estudo possui um comportamento decrescente com o aumento de quantidade de I-RECs, tendo variações relevantes no preço para cada uma das usinas e casos observados.

Ao avaliar a diferença de preço entre as usinas já no caso 1º é bastante significativa: segundo esse estudo, enquanto uma usina de aproximadamente 1 MW de capacidade Instalada deveria cobrar um preço de R\$ 157,38, a Usina Nova Aurora poderia cobrar um preço de R\$ 56,88, já que a Solicitação Anual da última é maior.

No 2º caso observa-se uma diminuição relevante no preço do I-REC, quase a metade, já que a demanda dobrou em comparação com o caso 1. Segundo o estudo,

a Usina Nova Aurora deveria cobrar um preço de R\$ R\$ 28,70. Por fim, será feito um comparativo do preço de todas as Usinas e somatório de todos os casos com o preço máximo proposto pela Migratio Energia (2020) equivalente a R\$5,00, tem-se a Tabela 16.

Tabela 16 – Preço comparativo do I-REC com valor base de 5,00

Casos	Mogano	Megawatt	Nova Aurora	Somatório
1º	31,48x	31,48x	11,38x	6,65x
2º	15,72x	15,80x	5,74x	3,38x
3º	10,54x	10,57x	3,87x	2,30x
4º	7,92x	7,96x	2,93x	1,75x
5º	6,36x	6,39x	2,37x	1,43x
6º	5,32x	5,35x	1,99x	1,21x
7º	4,58x	4,60x	1,73x	1,05x
8º	4,02x	4,04x	1,53x	0,94x
9º	3,59x	3,61x	1,37x	0,85x
10º	3,24x	3,26x	1,25x	0,78x

Fonte: Elaboração própria.

Conclui-se, a partir da Tabela 16, que os preços do I-REC para todas as usinas do estudo possuem um valor relativamente alto devido à baixa capacidade de geração individual, demonstrando que os empreendimentos em estudo possuem baixa capacidade de negociação no mercado. Com isso, era esperado que usinas de geração distribuída, por possuírem capacidade instalada inferior, quando comparadas a usinas centralizadas, principalmente, de outras fontes como eólica e hídrica, teriam o preço do I-REC mais elevado. Todavia, nesse caso de gerações distribuídas que não ultrapassam o 5 MW de capacidade instalada pode-se utilizar do agrupamento dessas unidades para obter um resultado mais satisfatório, demonstrado pelo somatório de todas as usinas do estudo aplicado.

Percebe no somatório das três usinas do estudo, a obtenção dos preços do I-REC abaixo de R\$5,00 com uma margem de lucro de 10% nos casos 8º, 9º e 10º, no qual a demanda solicitada pelos consumidores finais representam 80%, 90% e 100%, respectivamente.

Portanto, a análise do resultado do estudo de caso que as usinas de energia fotovoltaicas de caráter distribuído possuem uma dificuldade de negociação de I-RECs quando comparada com usinas de grande porte. Podem ser competitivas no mercado quando agrupadas e próximas de 5 MW de capacidade instalada, como

representado nesse estudo somando-se a capacidade de 4,623 MW das três usinas. Logo, as unidades de geração distribuída podem ser registradas no sistema de I-REC, mas tendo desvantagens no preço de negociação, por isso seria interessante o agrupamento para obter resultados mais eficientes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, a partir do estudo realizado, que o sistema de I-RECs no Brasil é relativamente novo e apresenta crescimento ao longo dos últimos anos. Foi observado, durante o trabalho, que o Brasil possui todas as características para explorar o sistema de comprovação de energia limpa, como o contínuo crescimento de fontes de energia renovável, com destaque para a fonte eólica e solar.

Além disso, é perceptível, com as informações abordadas, a evolução da preocupação ambiental ao redor do mundo, a qual resultou na participação mais ativas das empresas nas causas do meio ambiente o que aumentou a demanda e o interesse por ativos ambientais. Nesse sentido, o sistema de I-RECs supre a necessidade do setor de energia elétrica com o intuito de comprovação de uso de energia elétrica proveniente de fonte renovável tanto para os consumidores de energia como para as empresas de geração e comercialização, já que o certificado é um ativo negociável e torna-se lucrativo para essas empresas.

A partir das informações do trabalho, foi possível realizar um estudo de caso para determinar o custo final do I-REC para os consumidores finais a partir da emissão de unidades geradoras fotovoltaica de caráter distribuído. Na aplicação do estudo proposto, foi concluído que unidades geradoras de pequeno porte podem apresentar dificuldades na venda dos certificados. Isso ocorre pelo fato de que os custos de investimento de registro do empreendimento e de se tornar participante no sistema do I-REC Standard são elevados. Dessa forma, foi optado por agrupar as unidades geradoras do estudo em um único empreendimento e notou-se que o preço do I-REC pode se tornar mais competitivo pela capacidade de emissão da usina atrelado a uma demanda significativa. Assim, as unidades geradoras de caráter distribuído podem ser exploradas para contribuir no sistema de emissão de I-RECs, mas é importante avaliar a viabilidade por meio de uma metodologia de precificação para o certificado, como proposto nesse trabalho.

Por fim, o I-REC é um instrumento de suma importância para registrar a diminuição de emissão de gases de efeito estufa no setor de energia elétrica. Além disso, com o aumento da necessidade de redução da poluição na atmosfera pelas

diretrizes mundiais, o mercado de certificados torna-se promissor para os próximos anos e o Brasil uma possível referência nesse mercado mundial.

Complementa-se que sistema de certificados é bastante amplo e pode ser explorado com outras formas de abordagens como: Outros tipos de fonte e características de unidades geradoras, no âmbito contratual, a aquisição de I-RECs em tempo real para consumidores livres e especiais, análise de risco para aquisição dos certificados por meio de contratos, entre outros temas que podem ser elaborados em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABREN, Apresentação IREC. Direção e produção: Instituto Totum. 1 vídeo (100 min). Brasil, 05 de novembro de 2020. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=v-JceLuQ1EM>. Acesso em: 06 jun. 2022.

ACSP. Associação Comercial de São Paulo. **ESG: o que significa e qual é a importância desse conceito?** São Paulo, [2022?]. Disponível em:

<https://acsp.com.br/publicacao/s/esg-o-que-significa-e-qual-e-a-importancia-desse-conceito>. Acesso em: 01 jul. 2022.

ANEEL/ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR**. Brasil, junho de 2022. Disponível em:

<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

BCB. Banco Central Brasileiro. **Cotações e Boletins**. Brasil, 2022. Disponível em:

<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>. Acesso em: 20 jun. 2022.

BRASIL. Acordo de Paris. **NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC)**.

Brasília, 21 março 2022a. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 21 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022b**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 465, de 12 de dezembro de 2019**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica para consumidores. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-465-de-12-de-dezembro-de-2019.-233554889>. Acesso em: 25 mai. 2022.

CANALENERGIA. **Enel fecha venda de 1,5 mi de I-RECs no primeiro trimestre**.

Brasil, maio de 2021. Disponível em:

<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53173212/enel-fecha-venda-de-15-mi-de-i-recs-no-primeiro-trimestre>. Acesso em: 01 jun. 2022.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Dados e Análises: GERAÇÃO**. Brasil, 2022a. Disponível em:

<https://www.ccee.org.br/en/web/guest/dados-e-analises/dados-geracao>. Acesso em: 20 jun. 2022.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Mercado livre de energia bate recorde de migração de unidades consumidoras em 2021**. Brasil, Janeiro de 2022b. Disponível em:

<https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/mercado-livre-de-energia-bate-recorde-de-migracao-de-unidades-consumidoras-em-2021>. Acesso em: 20 jun. 2022.

EAESP. Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. **Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de gases do efeito estufa (GEE)**. São Paulo: FGV, 2009. Disponível em:

https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/cartilha_ghg_online.pdf. Acesso em: 26 mai. 2022.

EPE. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2022**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 19 jun. 2022.

EPE. Ministério de Minas e Energia. **Demanda de Eletricidade**. Brasil, julho de 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 28 jun. 2022.

IEA. **Internacional Energy Agency. Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector**. 2021. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf. Acesso em: 21 mai. 2022.

IEMA. Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Regulação ambiental da termoeletricidade no Brasil – Controle de Emissão de Poluentes**. Brasil, 2015. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/01/RegulacCCA7aCC83o-emissoes-2015-07-26-versaCC83o-site.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

INSTITUTO TOTUM. Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/>. Acesso em: 19 mai. 2022.

INSTITUTO TOTUM. Benchmarking. **BENCHMARKING I-REC E REC BRAZIL**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/noticias/28-programa-de-certificacao-de-energia-renovavel/506-benchmarking>. Acesso em: 19 mai. 2022.

IREC STANDARD. The International REC Standard. **Participant contact list**. 21 de junho de 2022. Disponível em: <https://www.irecstandard.org/participants/#/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

MIGRATIO ENERGIA. **I-REC e suas vantagens**. Brasil, 10 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.migratio.com.br/post/i-rec-e-suas-vantagens>. Acesso em: 06 jun. 2022.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrica. **Histórico da Operação**. Geração de Energia, 2022. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx. Acesso em: 20 jun. 2022.

ONU. Transformando Nosso Mundo: **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SACHS, J. *et al.* **Sustainable Development Report 2022**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://dashboards.sdgindex.org/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **The Paris Agreement**. Paris, 2015. Disponível em:

https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf. Acesso em: 21 mai. 2022.

UNGC. Rede Brasil do Pacto Global. **INTEGRAÇÃO DOS ODS NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: INDICADORES E METAS**. Brasil, 2020. Disponível em: <https://materiais.pactoglobal.org.br/ods-no-seb-indicadores-e-metas>. Acesso em: 18 mai. 2022.

UNGC. United Nations Global Compact. **Who Cares Wins Connecting Financial Markets to a Changing World**. 2004. Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_report_whocareswins_wci_1319579355342. Acesso em: 18 mai. 2022.