



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS

RAMALIANO SANCA

**ANÁLISE DO PROJETO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
IMPLEMENTADO NA UNILAB-CE: SEUS EFEITOS NA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

REDENÇÃO

2021

RAMALIANO SANCA

**ANÁLISE DO PROJETO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
IMPLEMENTADO NA UNILAB-CE: SEUS EFEITOS NA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Energias, na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. UNILAB - Campus do Ceará.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino.

REDENÇÃO

2021

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Sanca, Ramaliano.

S189a

Análise do projeto do sistema solar fotovoltaico implementado na Unilab-CE: seus efeitos na eficiência energética / Ramaliano Sanca. - Redenção, 2021.
55f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino.

1. Sistemas de energia fotovoltaica. 2. Usinas heliotérmicas - Custo-benefício - Ceará. 3. Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.31

RAMALIANO SANCA

**ANÁLISE DO PROJETO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
IMPLEMENTADO NA UNILAB-CE: SEUS EFEITOS NA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Energias, na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. UNILAB - Campus do Ceará.

Aprovado em 20 / 08 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino

Prof^ª. Dr^ª. Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Gustavo Alves de Lima Henn

Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn (Examinador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro

Prof^ª. Dr^ª. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro (Examinadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

À minha querida mãe Domingas Nancassa (NHA DOMINGAS), por todo sacrifício árduo que ela tem feito diariamente para o meu bem-estar socioeconômico e, pelos ensinamentos desde a infância para eu chegar onde estou hoje.

As minhas irmãs (Ivone, Zinaida, Iama, Maira e Mimosa) e meu irmão Ivaldo grato por tudo. Vocês são a razão da minha luta, sempre estiveram ao meu lado dando aquele empurrão para nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus falecidos avós (Baio Quadé e Amelia Caetano), dedico esta conquista para vocês.

À minha orientadora Prof^ª. Dr^ª Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino, pela orientação ao longo deste trabalho. Sempre à disposição para auxiliar no que for preciso.

Agradeço a banca examinadora deste trabalho na pessoa do vice-diretor do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), Prof. Dr^º. Gustavo Alves de Lima Henn e da vice-coordenadora do curso de Engenharia de Energias Prof^ª. Dr^ª. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro, pela disponibilidade e valiosas contribuições para o desenvolvimento final deste trabalho.

À minha orientadora do estágio supervisionado Prof^ª. Dr^ª Rejane Felix Pereira, pelo apoio e atenção durante esta etapa.

Ao meu orientador do Programa de Bolsa de Monitoria, Prof. Dr^º Tales Paiva Nogueira. Pela oportunidade de poder participar pela primeira vez num programa de bolsa de monitoria e iniciação à docência, grato por todo aprendizado.

À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB), pelo suporte e oportunidade concedida ao longo desta graduação.

Aos professores e professoras do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável-IEDS. Meu muito obrigado por tudo que aprendi convosco ao longo desta empreitada.

Por fim, a todos vocês que de alguma forma contribuíram no meu crescimento acadêmico e social.

RESUMO

As sucessivas crises do petróleo acompanhado de outros combustíveis convencionais e da sua ligação direta com problemas ecológicos trouxeram grande desafio para o mundo. Dado a este cenário, o presente trabalho objetivou-se analisar o impacto do uso de usina de minigeração fotovoltaica (FV) na eficiência energética de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES), como forma de reduzir os gastos com energia elétrica e viabilizar a geração para autossuficiência parcial ou integral pela universidade. Ao propósito deste trabalho foi escolhida a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afró-Brasileira (UNILAB), pelo êxito na aprovação do seu projeto na Chamada N° 001/2016 realizada pela ANEEL em parceria com a ENEL distribuidora local desta instituição. O referido projeto foi denominado *Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Sistema Fotovoltaico de Minigeração Distribuída*, que teve a sua implementação no Campus das Auroras na cidade de Redenção-CE, um dos seus três campi. Para tal, realizou-se a pesquisa exploratória através da análise dos dados históricos de consumo de energia entre dois períodos: antes e depois da implementação do projeto na referida instituição. Neste contexto, o primeiro período se refere aos quatro anos (2015 a 2018) como referência, já o segundo (2019 a 2020) em relação à mudança ocorrida com a realização do projeto. No entanto, os resultados revelaram bons indicadores econômicos do projeto implementado na referida universidade.

Palavras Chaves: Eficiência Energética, Instituição Federal de Ensino Superior, Usina de Minigeração Fotovoltaica, Sustentabilidade, Unilab.

ABSTRACT

The successive oil crises, accompanied by other conventional fuels and their direct connection with ecological problems, brought a great challenge to the world. Given this scenario, the present work aimed to analyze the impact of the use of a photovoltaic mini-generation (PV) plant on the energy efficiency of a Federal Institution of Higher Education (IFES), as a way to reduce electricity costs and enable the generation to partial or full self-sufficiency by the university. For the purpose of this work, the University of International Integration of Afro-Brazilian Lusofonia (UNILAB) was chosen for its successful approval of its project in Call No. 001/2016 carried out by ANEEL in partnership with ENEL, the local distributor of this institution. The referred project was called Priority Project of Energy Efficiency and Distributed Mini-generation Photovoltaic System, which had its implementation in the Campus das Auroras in the city of Redenção-CE, one of its three campuses. To this end, an exploratory research was carried out through the analysis of historical data on energy consumption between two periods: before and after the implementation of the project in that institution. In this context, the first period refers to the four years (2015 to 2018) as a reference, while the second (2019 to 2020) refers to the change that occurred with the realization of the project. However, the results revealed good economic indicators of the project implemented in that university.

Keywords: Energy Efficiency, Federal Institution of Higher Education, Photovoltaic Mini-Generation Plant, Sustainability, Unilab.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte	17
Figura 2 - Participação de renováveis na matriz energético	17
Figura 3 - Participação de cada fonte na geração distribuída em 2019	19
Figura 4 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil	22
Figura 5 - Estrutura de módulos e painéis fotovoltaicos	23
Figura 6 - Associação em série e em paralelo de módulos fotovoltaicos	23
Figura 7 - A distribuição das tecnologias usadas na produção industrial de células fotovoltaicas	26
Figura 8 - Sistema isolado (<i>Off-grid</i>)	27
Figura 9 - Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (<i>on-grid</i>)	28
Figura 10 - Imagem em 3D do edifício de Campus de Auroras	33
Figura 11 - Imagem da estrutura do telhado do Campus das Auroras	34
Figura 12 - Árvore solar	36
Figura 13 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auroras	37
Figura 14 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auroras	40
Figura 15 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auroras	41
Figura 16 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auroras	43
Figura 17 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auroras	44
Figura 18 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auroras	46
Figura 19 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auroras	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Representação das parcelas de TE e TUSD no valor global da fatura	21
Tabela 2 - Alternativas para o novo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEEE) para Micro e Minigeração Distribuída. (Certo é compensado pela geração e X- deixa de ser compensada pela geração)	21
Tabela 3 - Valores de eficiência das diversas tecnologias de célula solar fotovoltaica	25
Tabela 4 - Apresentação das especificações técnicas dos módulos solares dos arranjos 1 a 6	35
Tabela 5 - Apresentação das especificações técnicas dos módulos solares do arranjo de árvore solar	35
Tabela 6 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh do Bloco Didático de Campus de Auroras em 2015	39
Tabela 7 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh do Bloco Didático de Campus de Auroras em 2016	39
Tabela 8 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh do Bloco Didático de Campus de Auroras em 2017	42
Tabela 9 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh do Bloco Didático de Campus de Auroras em 2018	44
Tabela 10 - Histórica de consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2019	45
Tabela 11 - Histórica de consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2020	47
Tabela 12 - Histórica de créditos em energia em kWh do Campus das Auroras em 2020	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OCDE- Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico

BEN- Balança Energética Nacional

GD- Geração Distribuída

GC- Geração Centralizada

ANEEL- Agencia Nacional de Energia Elétrica

PRONAF- Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

ROL- Receita Operacional Líquida

IPES- Instituição Pública de Ensino Superior

PEE- Projeto Prioritário de Eficiência Energética

FV- Fotovoltaico

UNILAB-Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afró-Brasileira

MMGD- Micro e Minigeração Geração Distribuída

NET-METERING- Sistema de Compensação de Energia Elétrica

AIR- Avaliação do Impacto Regulatório

TE - Tarifa de Energia

TUSD- Tarifa de Uso de Sistema de Distribuição

CdTe - Telureto de Cádmio

a-Si:H- Silício Amorfo Hidrogenado

CIGS- Disseleneto de Cobre Índio e Gálio

μ C-si- Silício Microcristalino

si-fitas- Silício Crescido em Fita

CA- Corrente Alternada

CC- Corrente Contínua

UCP- Unidade de Condicionamento de Potência

MPPT- Ponto de Máxima Potência

PWM- Modulação por Largura de Pulso

SESu- Secretaria do Ensino Superior

LEDs- *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 METODOLOGIA	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 CONTRIBUIÇÕES DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIAS NA MATRIZ ENERGÉTICA	16
2.3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	22
2.3.1 Sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica (On-grid) e sistema isolado (Off-grid)	26
2.3.1.1 Sistemas isolados (Off-grid)	26
2.3.1.2 Sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica (On-grid)	28
3. ANÁLISE DO USO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO SUPERIOR E OS EFEITOS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	30
3.1 PROJETO PRIORITÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS DAS AURORAS-UNILAB	31
3.1.1 Caracterizações do local de estudo e os dados técnicos do projeto	31
3.1.2 Especificações técnica dos módulos e a usina de minigeração fotovoltaico instalada no campus de auroras	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 ANÁLISE COMPARATIVO DOS HISTÓRICOS DE CONSUMO DE ENERGIA DO PERÍODO DE REFERÊNCIA (2015 A 2018), ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DA USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO CAMPUS DAS AURORAS-UNILAB	38
4.2 ANÁLISE COMPARATIVO DOS HISTÓRICOS DE CONSUMO DE ENERGIA APÓS O INÍCIO DE OPERAÇÃO DA USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NOS ANOS 2019 E 2020 NO CAMPUS DAS AURORAS	45

5 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

As sucessivas crises do petróleo acompanhado de outros combustíveis convencionais e da sua ligação direta com problemas ecológicos trouxeram grande desafio para o mundo. A humanidade se limitou durante vários anos presa a esta fonte de energia não renovável e finita, patentado no campo científico como principal causador de impactos ambientais e aquecimento global. Com o aviso alarmante desta crise, obrigou o homem a repensar e planejar o uso de outras fontes de energias alternativas que diversifica a oferta e atende as demais demandas de energia elétrica que vinham crescendo exponencialmente depois da revolução industrial na segunda metade do século XVIII.

Desse modo, a preocupação da incerteza da disponibilidade de recursos fósseis, do aumento crescente dos seus preços e dos problemas ambientais traz consigo cada vez mais um olhar atento em relação à eficiência energética e as energias renováveis, sendo estes dois pilares que podem trilhar juntos numa política energética sustentável, principalmente nos edifícios que demandam o alto consumo de energias (BARBOSA, 2013).

Em conformidade com o exposto, a contribuição das fontes de energia elétrica na matriz brasileira é dominada pelas renováveis com crescimento satisfatoriamente ao longo dos anos. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN 2020) referente ao ano base 2019, em 2018 as renováveis representam 45,5%, já em 2019 deu um salto para 46,1%, para o resto do mundo teve 13,9% em 2017 e na Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) 10,8%. Ainda no mesmo dado do BEN 2020 a situação energética brasileira em relação à participação de Micro e Minigeração Distribuída representa um total de 828 GWh em 2018 e 2.226 GWh em 2019 correspondendo a um aumento de 169% em relação ao ano anterior. Atrelado a isso, a participação de cada fonte na geração distribuída (GD) em 2019 teve maior predominância de Solar 74,5%, Hidráulica 13,9%, Eólica 1,3%, a Gás Natural 0,7% e outras renováveis 9,5%.

Estes indicadores demonstram que nos últimos tempos se vê a necessidade do grande investimento em novas tecnologias renováveis, principalmente Geração Distribuída (GD) e Geração Centralizada (GC), uma vez que são oriundos principalmente de fontes de energia inesgotável, sustentável e abundante na maior parte do Planeta (Sol). Por outro lado, a consolidação desta tecnologia depende diretamente das medidas de incentivo fiscal ou energética que atrai os consumidores autônomos a idealizar e investir em projeto direcionado a racionalização de consumo de energia convencional.

Com isso, Jesus (2018) destaca que o crescimento da GD e GC no país se deve principalmente ao programa da Chamada para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL em 2011, da Resolução Normativa nº. 482/2012 também da ANEEL, do Leilão da Energia de Reserva (LER) do MME em 2014 e da linha específica do PRONAF para energia renovável em 2015. Paralelamente, a Lei nº 9.991 de julho de 2000 regulamentada pela ANEEL que obriga as empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica (as distribuidoras regionais) a contribuírem com pequena parcela da sua Receita Operacional Líquida (ROL) no tocante ao Programa de Eficiência Energética, desde já que a sua venda anual seja superior a 500 GWh (quinhentos gigawatts-hora).

Por meio da segunda e a última lei, a Unilab teve a sua participação na Chamada pública do Projeto Prioritária e Estratégico nº 001/2016 para Instituição Pública de Ensino Superior (IPES), vinculada a política de Eficiência Energética (EE) e Minigeração realizado pela ANEEL em parceria com Enel distribuição Ceará. Nesta ocasião, a universidade conseguiu aprovação do seu projeto implementado campus das Auroras na cidade de Redenção-Ceará, denominado Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Sistema Fotovoltaico de Minigeração Distribuída.

Associado a isso, o presente trabalho objetiva-se analisar os resultados alcançados em termo de eficiência energética e da redução de gastos com aplicação do referido projeto no campus das Auroras da Universidade de Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). Com isso, se justifica pela necessidade desta instituição possuir a capacidade de produzir a sua própria energia elétrica que lhe permite suprir certa demanda interna e aliviar o fluxo de caixa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar os resultados da energia economizada com o Projeto Prioritário de Eficiência Energética (PEE) e o Sistema Fotovoltaico de Minigeração Distribuída implantados no Campus das Auroras (UNILAB). Neste contexto, serão avaliados e comparados os ganhos que foram incorporados na conta desta instituição em relação ao consumo de energia que ocorreria caso fosse mantido o padrão convencional de fornecimento de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar etapas fundamentais da implantação dos dois projetos e os benefícios trazidos;
- b) Averiguar as informações do histórico de consumo de energia no Campus das Auroras, antes e após a realização do projeto;
- c) Analisar e diagnosticar a melhoria da eficiência energética nos edifícios universitários e os ganhos econômico-financeiros;
- d) Destacar a relevância e a contribuição da energia solar para o desenvolvimento sustentável;
- e) Trazer conhecimentos e elementos que possam contribuir na expansão do projeto para demais câmpus;

1.2 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos e a finalidade deste trabalho, a etapa de metodologia se baseou numa pesquisa exploratória através de análise dos dados dos históricos de consumo de energia do campus das Auroras-UNILAB entre os dois períodos: antes e depois da implementação do projeto no referido campus. Neste contexto, o primeiro período se refere aos quatro anos (de 2015 a 2018) como referência e o segundo (de 2019 a 2020) em relação à mudança ocorrida com a realização do projeto. Somado a isso, com intuito de conhecer o suprimento de energia e a eficiência energética do projeto, analisou-se a energia injetada na rede de distribuição e a consumida durante o período da operação da usina solar FV, bem como o fluxo de caixa dos dois períodos acima citados. Com os dados de todos os meses em mãos, utilizou-se a Ferramenta Excel do Pacote Office para realizar os devidos cálculos.

Com isso, o conteúdo do presente trabalho está estruturado da seguinte forma: a seção 2 explora-se o embasamento teórico da contribuição de fontes renováveis na matriz energética nacional e internacional, uma contextualização das medidas de incentivo a consolidação desta tecnologia no mercado brasileiro, e dos princípios físicos fundamentais associados ao sistema de conversão da energia solar fotovoltaica. A seção 3 detalha o projeto da Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Ensino Superior, bem como da implementação do referido projeto no campus das Auroras-Unilab. Na seção 4 são discutidos os resultados alcançados com a realização de tal projeto na referida instituição. E por fim, na seção 5 são apresentadas as conclusões gerais deste trabalho.

1.3 JUSTIFICATIVA

As Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) estão crescendo e ampliando os seus câmpus para acompanhar o desafio de desenvolvimento de política pública, nomeadamente a interiorização das universidades federais e internacionalização. A Unilab é uma destas instituições que tem contribuído bastante neste aspecto com três câmpus: Campus das Curoras, Campus da Liberdade, Campus dos Malês e a Unidade Acadêmica dos Palmares. O terceiro fica situado em São Francisco do Conde no interior do estado da Bahia e os demais no interior do Estado do Ceará.

Atrelado a isso, a demanda de energia vem crescendo exponencialmente ao longo dos anos com gastos na conta da universidade e a sobrecarga na rede elétrica. Segundo a Sbardelotto (2018), a relação socioeconômica em que as universidades se encontram cria certa dificuldade em gerenciar os recursos disponibilizados pelo Governo Federal em manter a estrutura interna, decorrente do aumento crescente de novos ingressos de estudantes e o conseqüente aumento de consumo de energia. Na mesma ótica o Schwartzman et al. (1994), complementa que nesse ambiente a Instituição de Ensino Superior se encontra numa preocupação constantemente em relação a eficiência do ensino e a expansão de vagas, os encargos para manter em plena funcionalidade suas atividades, a boa oferta de qualidade de ensino e a produção acadêmica (apud SBARDELOTTO, 2018).

Em resposta a esta situação, devido ao alto índice de irradiação solar em grande parte do território brasileiro, o sistema de geração fotovoltaica tem sido um bom aliado para atender parcialmente ou integralmente a demanda de energia elétrica nestas instituições.

Dado a este fato notório, a implementação do projeto de geração fotovoltaica na UNILAB oferece grande suporte e segurança no suprimento de energia elétrica, desde o melhoramento da execução de várias atividades de serviço administrativo e acadêmico ao longo do horário de ponta, que por coincidência é o período característico em que a usina de minigeração fotovoltaico atinge o pico a sua geração. Este cenário representa o elemento primordial da necessidade do esforço para criação de novas usinas solar em outros campi, como forma de tirar proveito da disponibilidade desta fonte renovável e, incorporar de forma competitiva na produção de eletricidade pela universidade para diminuir a carga no sistema e contribuir na redução de gastos, tendo em conta as limitações financeiras impostas pelas universidades.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONTRIBUIÇÕES DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIAS NA MATRIZ ENERGÉTICA

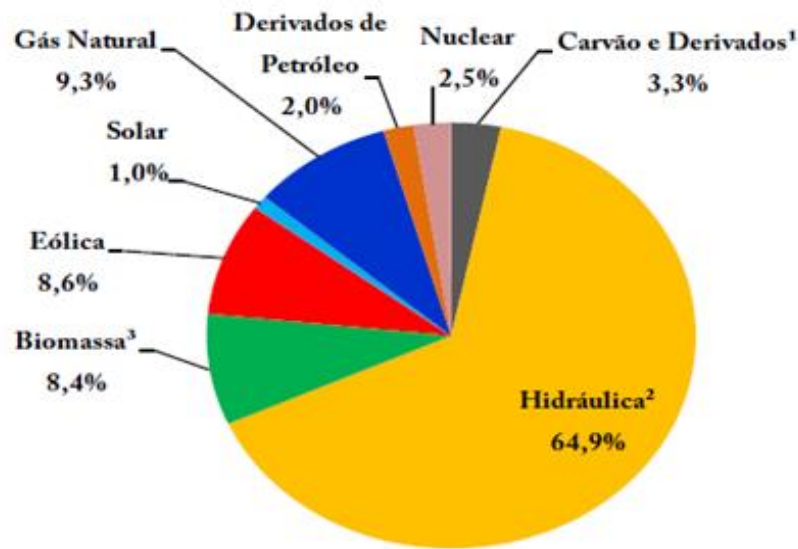
A crise energética vem se alastrando ao longo dos anos, e tem sido uma das temáticas mais debatidas constantemente pela sociedade, mas constitui-se uma das grandes metas a ser superada pela humanidade tendo em conta a redução das reservas petrolíferas mundiais, decorrente do período após a crise do petróleo do ano 70, dos impactos ambientais relacionados a estes recursos de combustíveis fósseis e da sua disponibilidade finita geram alarme da incerteza do futuro energética mundial. Perante esta situação preocupante a nível global, difundiram-se ao longo dos anos metas sustentáveis em relação à política energética que busca a consolidação de fontes alternativas de energia que promovem o uso racional deste recurso e a ampliação de oferta para que todos tenham o acesso (CABRAL, 2012).

Face a esta situação, o Brasil dispõe de grande variedade de recursos energéticos renováveis com destaque para as fontes Hidrelétrica, Biomassa, Eólica e a Solar (PDE, 2020). A matriz elétrica brasileira é predominantemente de fontes renováveis, com destaque para recurso de fonte hídrica com maior representação de 64,9% de oferta interna. As fontes renováveis respondem por 83,0% da oferta interna de eletricidade no país, resultante do total da produção nacional e das importações, que são principalmente renováveis (BRASIL, BEN 2020).

Para além da consolidação do domínio tecnológico da fonte hidráulica no país, a sua alta predominância é decorrente da longa extensão territorial brasileira privilegiada por rios caudalosos e vales com grande potencial deste recurso que facilitam a construção de barragens para o represamento de água e a sua exploração hidráulica em larga escala (ABRAPCH, 2018 apud BARROSO, 2018)

Este dado relevante pode ser observado na figura 1, em que é trazida a ilustração da oferta interna de energia elétrica por fonte que compõem a matriz elétrica brasileira. Como foi destacada anteriormente, a fonte hidráulica representa maior quantidade nesta oferta, resultante de grandes usinas hidrelétricas espalhadas pelo território nacional com maior capacidade de geração de energia elétrica, justificando assim esta representatividade no contexto nacional e internacional.

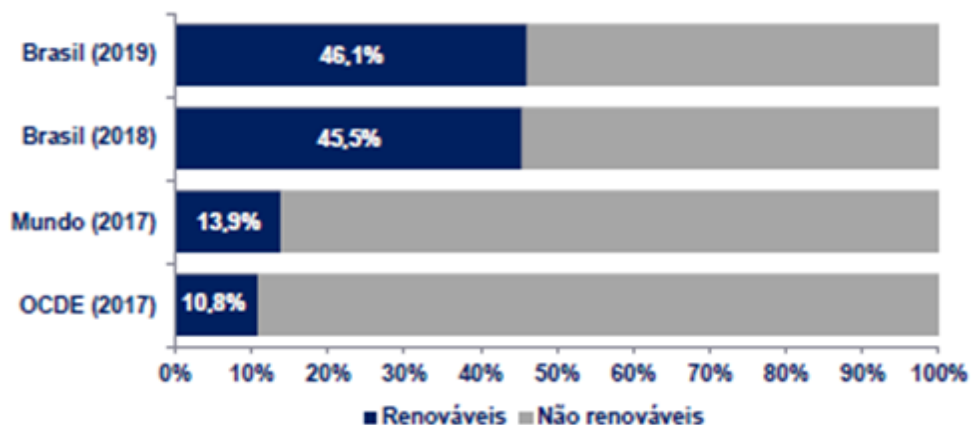
Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte.



Fonte: Relatório final (BEN 2020)

Esses indicadores justificam o bom posicionamento do Brasil em relação ao resto do mundo no tocante à maior participação de fontes renováveis na sua matriz elétrica, como pode ser observado na figura 2. Apesar de a fonte solar apresentar pequena parcela percentual na matriz elétrica, o setor fotovoltaico tem demonstrado boa perspectiva para o futuro, cada vez há maior número de adesão de consumidores residenciais e industriais a esta tecnologia.

Figura 2 - Participação de renováveis na matriz energética.



Fonte: Relatório síntese (BEN 2020)

Entretanto, o crescimento da demanda energética ligado à alta das cargas dos consumidores paralelamente à oscilação da oferta da energia elétrica depende diretamente da capacidade operacional das usinas hidrelétricas, como se destaca na matriz elétrica. Isto é muito preocupante tendo em conta a variação da estação do ano, particularmente do período de seca e nas regiões que possuem estas usinas, mas que não apresentam o período de chuva regular. Isto leva ao aumento da chamada carbonização da matriz elétrica nacional, devido ao acionamento das centrais termelétricas pelo fato destas opera com fontes não renováveis, como diesel e carvão (BARROSO, 2018).

Assim sendo, ao acionar térmicas, implica diretamente na redução de geração de energia pelas hidrelétricas e na conservação de águas dos reservatórios. Em contrapartida encarece a conta de luz dos consumidores através da bandeira tarifária (Verde, Amarela e vermelha), principalmente a vermelha, mais cara do sistema tarifário de energia. Com isso, surge a necessidade de solucionar esta questão por intermédio de incentivar outras fontes renováveis com potencial de expansão, tais como Energia Solar Fotovoltaica e a Eólica.

Dada situação acima citada, em novembro de 2015 foi aprovado pela ANEEL ajustes e melhoramentos na Resolução Normativa nº 482/2012, ao qual foi criado o Sistema de Compensação de Energia Elétrica e da permissão de injeção da energia gerada na rede através de Micro e Minigeração Geração Distribuída (MMGD), de tal forma que o consumidor seja gerador da sua própria energia através destas pequenas usinas na sua unidade consumidora e troque a sua produção energética com a distribuidora local com o intuito de reduzir a sua fatura de energia elétrica (ANEEL, 2016).

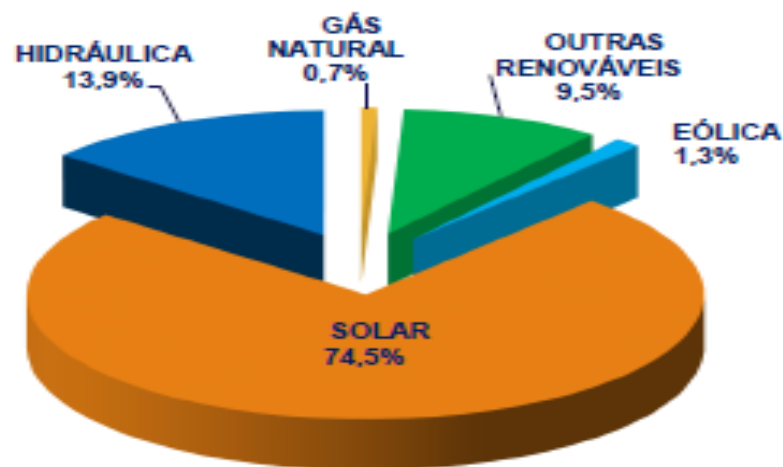
Paralelamente a isso, em situações em que o consumidor gere a energia além da sua necessidade num determinado mês fica com os créditos excedentes daquele período que poderão ser utilizados para diminuir sua fatura no mês seguinte. Além disso, caso o mesmo titular da conta tenha outra unidade consumidora, ele poderá utilizar esse crédito num período de até 60 (sessenta) meses, desde que as referidas unidades estejam na área de jurisdição da distribuidora local (ANEEL, 2016).

Isto permitiu que nos últimos anos a tecnologia solar fotovoltaica segue ritmo de crescimento exponencial em comparação a outras fontes renováveis. Nascimento (2017) destaca que a evolução desta tecnologia está atrelada ao modelo de *net-metering* estabelecido pela resolução da ANEEL nº 482, de 17 de abril 2012, principal instrumento de política de

incentivos à expansão de instalação de geração distribuída no país. Permitiu o acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica como forma de injetar a energia gerada por produtores autônomos na rede que posteriormente é compensada pela energia consumida na unidade do próprio gerador. Diferentemente do modelo *feed-in-tariff* padronizado em alguns países, em que a energia injetada na rede elétrica é remunerada por uma tarifa estabelecida pela legislação local.

De acordo com Balanço Energético Nacional (BEN 2020), resultante destas ações regulatórias em 2019 permitiu que a MGD atingisse 2.226 GWh de energia gerada e com a potência instalada de 2.162 MW, a energia solar fotovoltaica representa a parcela mais significativa com 1.659 GWh e 1.992 MW de geração e potência instalada respectivamente. Estes indicadores podem ser observados na figura 3, que representa a participação de fontes de energia renováveis de GD no país em 2019, com destaque a fonte solar.

Figura 3 - Participação de cada fonte na geração distribuída em 2019.



Fonte: Relatório síntese (BEN 2020).

No entanto, o crescimento da fonte solar no Brasil não está apenas associado à Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, mas também está atrelada a política de isenção de ICMS adotada em alguns estados para a energia solar, da redução dos impostos na compra de materiais e equipamentos técnicos relacionados aos projetos de GD entre outros.

A Resolução Normativa do que se trata acima, foi revisada duas vezes, a primeira aconteceu em 2015 e a última em 2017, estes se deram origens às Resoluções Normativas 687

e 786. Além destas, está em curso novo processo de análise para sua revisão pela ANEEL, que poderá impactar diretamente no atual Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Isto porque, em 2018 a diretoria da ANEEL lançou uma Consulta Pública - CP n° 10/2018, no qual convidou a sociedade a contribuir com subsídio e informações relevantes para esta nova revisão que resultou na criação de um documento denominado de Avaliação do Impacto Regulatório - AIR n° 04/2018, de onde foram abordadas situações possíveis para a alteração do sistema de compensação de energia elétrica (BERNARDINO et. al, 2020).

Os pontos associados à nova revisão estão ilustrados na tabela 1, em que são mostradas as taxas de tarifação pela ANEEL em relação a dois componentes do sistema tarifário. A primeira se refere à Tarifa de Energia (TE), que representa a própria energia consumida, que é de 38% e os 12% são dos encargos adicionais do valor global da fatura. Por último, tem-se a Tarifa de Uso de Sistema de Distribuição (TUSD), que corresponde à taxa de serviços relacionada à geração e transmissão de energia, e estão atrelados às perdas, aos custos de transmissão do Fio A, Fio B e aos encargos setoriais.

No entanto, todos estes componentes de tarifa são adicionados ao valor total da fatura. Mas, de acordo com as últimas revisões da Resolução Normativa n° 482/2012 da ANEEL, quando a compensação de energia se dá na baixa tensão para MMGD, o produtor da energia é isento de realizar qualquer tipo de pagamento relacionado às componentes das duas tarifas mostradas na tabela 1 em contrapartida da sua injeção de energia na rede. Assim sendo, a proposta em análise é composta por cinco alternativas que podem ser verificadas na tabela 2.

Nascimento (2017), alerta que o custo pelo uso da rede é fixo, não podendo deixar de ser pago em detrimento de injeção de energia na rede. Desse modo, a compensação pela energia injetada seja remunerada por via da parcela tarifária correspondente à energia consumida, passando à outra parte a responsabilidade do consumidor gerador pelo uso da rede elétrica. No entanto, embora seja mais eficiente economicamente para o governo, por outro lado diminui os investimentos em geração de energia fotovoltaica, ou seja, é vista como um obstáculo para o desenvolvimento de GD no Brasil.

Tabela 1 - Representação das parcelas de TE e TUSD no valor global da fatura.

TE		TUSD			
Energia	Encargos	Tranf. Fio A	Tranf. Fio B	Perdas	Encargos
38%	12%	6%	28%	8%	8%

Fonte: adaptado de Solarvolt (2019)

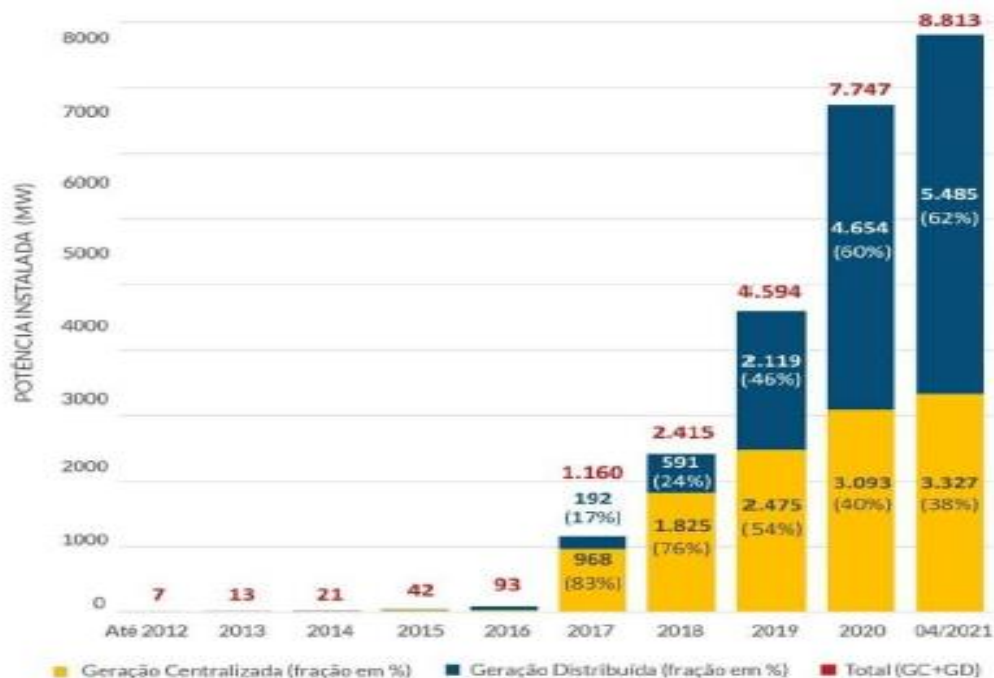
Tabela 2 - Alternativas para o novo sistema de compensação de energia elétrica (SCEEE) para Micro e Minigeração Distribuída. (✓ é compensado pela geração e X- deixa de ser compensada pela geração).

ALTERNATIVA	TE		TUSD			
	Energia	Encargos	Tranf. Fio A	Tranf. Fio B	Perdas	Encargos
1	✓	✓	✓	X	✓	✓
2	✓	✓	X	X	✓	✓
3	✓	✓	X	X	X	✓
4	✓	✓	X	X	X	X
5	✓	X	X	X	X	X

Fonte: adaptado de Solarvolt (2019)

Mediante estas alternativas em análise pela ANEEL, percebe-se que de um lado qualquer uma delas que for aplicada terá impacto muito significativo no avanço da geração distribuída no país, principalmente no tocante à tecnologia solar fotovoltaica em virtude da sua constante evolução no mercado nos últimos anos, como é destacada na figura 4. Uma vez que as outras fontes renováveis não tiveram o mesmo ritmo acelerado, tendo em conta as suas limitações tecnológicas e disponibilidade.

Por outro lado, esse crescimento exponencial pode também estar associado a varia tentativa para modificação do marco regulatório do sistema de compensação de energia elétrica mencionado anteriormente, que permitiu a maior adesão dos consumidores a essa forma de produzir energia para diminuir o valor de faturamento da sua conta. Visto que, a partir do momento em que a nova versão for aprovada e entrar em vigor as novas instalações de usina solar FV não terão isenção reservada da legislação anterior, e para os consumidores que já tiveram os seus cadastros na normativa antiga terão benefícios consagrados.

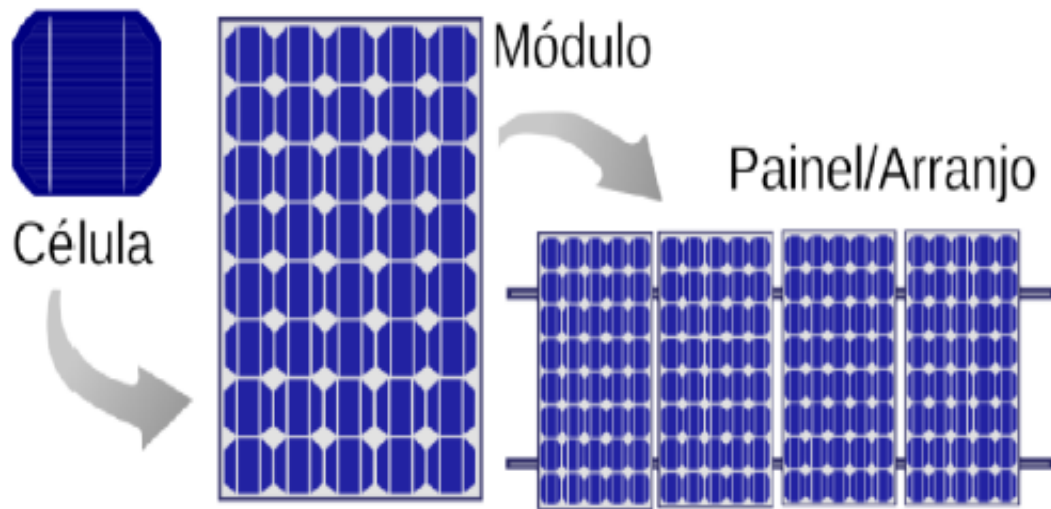
Figura 4 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil

Fonte: Absolar (2021).

2.3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A *célula solar fotovoltaica* é o elemento primordial no processo de conversão da radiação solar incidente em energia elétrica. Cada elemento desta célula tem cerca de 100 mm² e gera aos seus terminais uma tensão entre 0,5 e 1 V, com a corrente típica em curto circuito de algumas dezenas de miliamperes. A sua intensidade de corrente é considerada razoável, mas a tensão é insuficiente para atender as necessidades de aplicação desta tecnologia, por isso as células são montadas em série em painéis solares, de 28 a 36 células gera tensão DC da ordem dos 12 V em condições padrão de iluminação (BRITO; SILVA, 2006). Neste caso, as células fotovoltaicas podem ser interligadas para formar estrutura maior (denominado de módulos fotovoltaicos) para obter um aumento na tensão e corrente gerada a partir desta estrutura. A figura 5 ilustra a diferença destas estruturas.

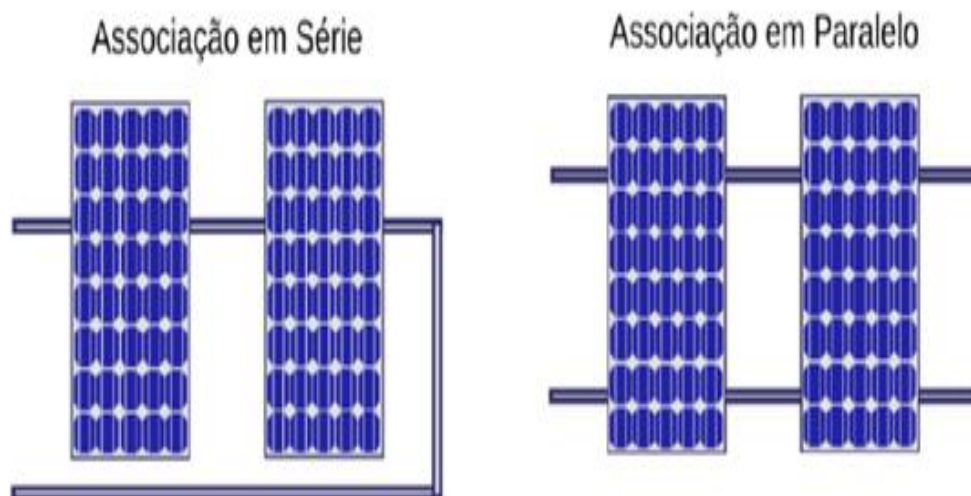
Figura 5 - Estrutura de módulos e painéis fotovoltaicos



Fonte: Albuquerque (2017)

De forma análoga, na modelagem de projetos os módulos podem ser projetados em série ou em paralelo dependendo da necessidade. Uma vez que a intenção é elevar a tensão de saída, a conexão pode ser associada em série, e ou em paralelo caso se deseja aumentar a corrente. Essas representações podem ser observadas na figura 6.

Figura 6 - Associação em série e em paralelo de módulos fotovoltaicos



Fonte: Albuquerque (2017)

A célula fotovoltaica é um dispositivo semicondutor que converte a radiação solar em energia elétrica, de tal forma que o painel é a configuração desses elementos associada em série e/ ou em paralelo, e associação de painéis formam os arranjos fotovoltaicos (LUCCHESI et. al, 2018). Em outras palavras, a célula solar pode ser considerada como diodo de maior superfície, sendo que o material semicondutor é construído de um substrato onde é criado o campo elétrico constante (denominado de junção P-N). Dada à circunstância em que o átomo do semicondutor é atingido por radiação, é liberado o elétron livre que pode ser conduzido pelo campo elétrico interno para os contatos, que contribui na circulação de corrente gerada pela célula fotovoltaica.

Segundo Pinho (2014), nas fabricações dos diferentes tipos células solar fotovoltaica nos últimos 60 anos, o modelo fabricado a partir de lâminas de silício cristalino (monocristalino e policristalino) tem o monopólio do mercado mundial, respondendo por mais de 81% da produção mundial desde o ano 2000, já em 2011 alcançou aproximadamente 88% deste mercado. As outras tecnologias que são comercializadas paralelamente, são baseadas em filmes finos de telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), silício microcristalino ($\mu\text{C-si}$) e silício crescido em fita (si-fitas).

Brito e Silva (2006), reforçam que a razão principal da escolha do silício cristalino está associada às suas características única, entre qual alta abundância no planeta (cerca de 30%, no conjunto dos elementos que constituem a crosta terrestre), a sua não toxicidade, por ser matéria prima da indústria eletrônica que passou por etapas de pesquisa mais rigorosa e das suas vantagens técnicas (hiato apropriado à radiação solar, baixo coeficiente de segregação de metal, facilidade de dopagem, óxido passivante entre outros). A tabela 3 traz a ilustração comparativa em relação à eficiência das diferentes variedades das tecnologias de célula solar fotovoltaica do laboratório ao mercado.

Associado a isso, nos últimos tempos um dos aspectos fundamental na escolha de módulos FV para instalação numa planta é a potência média, por conta disso grande parte dos projetos têm apostado nos módulos FV com maior área possível em detrimento dos ganhos de eficiência. Os módulos de silício de 60 células possuíam cerca de $1,66 \text{ m}^2$ e os de 72 células possuem 2 m^2 . A tecnologia de Telureto de Cádmio (CdTe) tem sido utilizado por pequena fração de projeto, e isso se explica pela sua área de $2,47 \text{ m}^2$ (BRASIL, 2020).

Tabela 3 - Valores de eficiência das diversas tecnologias de célula solar fotovoltaicas

Tecnologia		Eficiência da célula em laboratório	Eficiência dos módulos comerciais
Cristalino	Silício Monocristalino	25,0%	14 – 21%
	Silício Policristalino	21,3%	14 – 16,5%
Filmes finos	Silício Amorfo	13,6%	6 – 9%
	Silício Micromorfo	12%	7 – 9%
	CIGS	18,8%	8 – 14%
	Telureto de Cármio	16,4%	9 – 12%

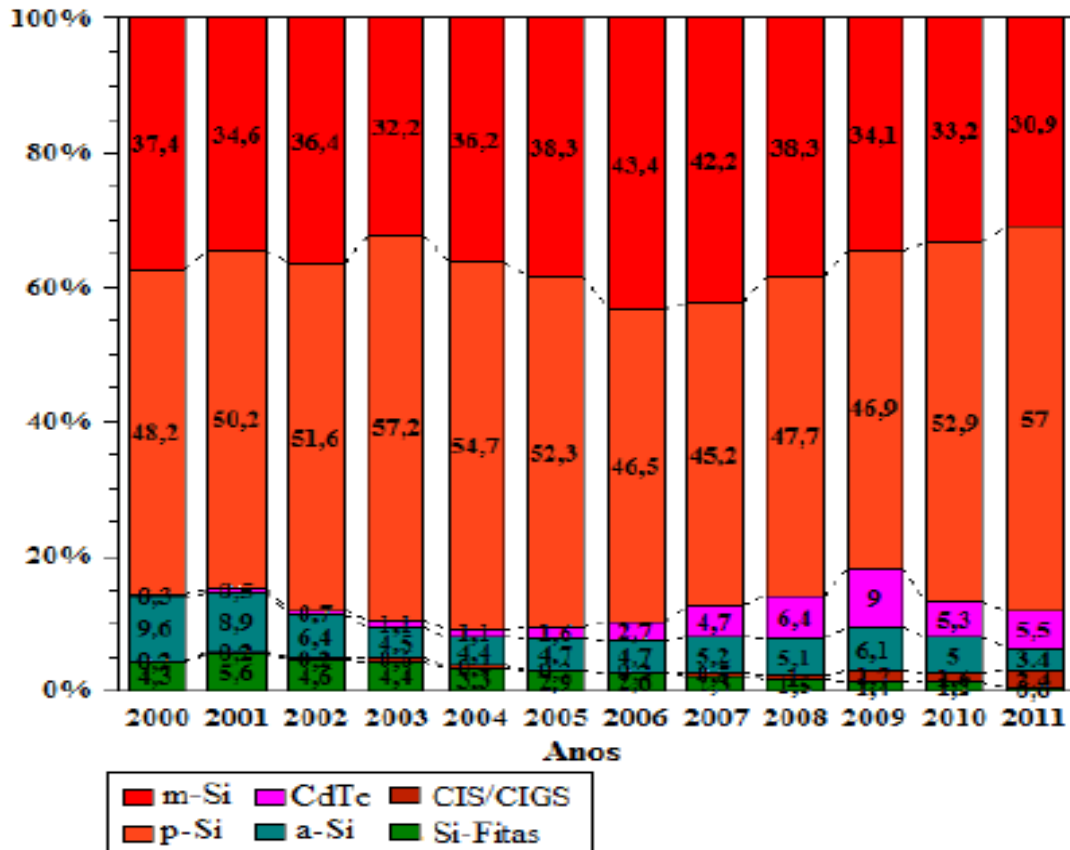
Fonte: adaptado de CSS (2016)

Já em relação à quantidade de células para os módulos de silício cristalino, depois de alguns etapas migratória de módulos de 60 para 72 células, agora é a vez do uso novo modelo de maior quantidade de células correspondente a 144 (*half-cut-cell*), ou seja, a sua estrutura é construída por células cortadas no meio, apesar disso tem a potencia e dimensões iguais ao de 72 células. Entretanto, apresenta correntes mais baixas e conseqüentemente menor perdas resistivas. Por outro lado, apresenta maior tolerância a sombreamento parcial, uma vez que apenas 1/6 da sua potencia total é afetada ao se sombrear a célula, já para os modelos padrão este valor é de 1/3 (BRASIL, 2020).

Contudo, uma das principais desvantagens associada a tecnologias baseada em silício cristalino reside no fato destes exigem a espessura de célula elevadas (cerca de 0,2 mm uma vez que nas células de filmes finos o referido valor é de 0,001 mm) isto impacta diretamente na quantidade de matéria-prima necessária para a construção de painel. A evidência disso está associada ao crescimento desacelerado do mercado fotovoltaico, particularmente nos países como a Alemanha e o Japão levou a um excesso de procura que quase causou a ruptura de stocks de silício cristalino entre 2006 a 2007, mas posteriormente as indústrias conseguiram conter esta demanda (BRITO; SILVA, 2006).

Na figura 7 é demonstrada a distribuição destas tecnologias usadas na produção industrial de células fotovoltaicas, e da queda de produção de silício cristalino influenciada pela baixa disponibilidade de matéria-prima em relação ao ano 2006-2007 e conseqüente crescimento de outras tecnologias no mercado mundial.

Figura 7 - A distribuição das tecnologias usadas na produção industrial de células fotovoltaicas.



Fonte: Pinho (2014)

2.3.1 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (On-grid) e sistema isolado (Off-grid)

2.3.1.1 Sistemas isolados (Off-grid)

O Sistema *Off-grid* ou Isolado não se conecta à rede elétrica, em contrapartida utiliza equipamentos eletrônicos para o armazenamento e conversão de energia elétrica em corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA) para o ponto de entrega de acordo com o tipo de corrente desejada. Neste sistema, normalmente a energia gerada pelos painéis solar é conservada num banco de baterias, que posteriormente é distribuído aos pontos de consumo em situação de pouca radiação solar.

Marques (2009) reforça que tendo em conta a característica intermitente da conversão fotovoltaica, o sistema de armazenamento de energia é indispensável nos sistemas isolados,

mas também contribui no seu encarecimento devido à necessidade de manutenção e da incompatibilidade da sua vida útil com painéis solares, que é seis vezes menor do que este. Por outro lado, estes sistemas geralmente são utilizados para o suprimento de energia na zona remota ou sem acesso à rede elétrica convencional. A figura 8 representa o modelo da estrutura física de um sistema solar fotovoltaico isolado da rede de distribuição.

Os sistemas *off-grid* são compostos pelos seguintes componentes eletrônicos:

- Arranjos fotovoltaicos: constituído por conjunto de módulos fotovoltaicos onde ocorre a geração de energia elétrica;
- Banco de baterias: componente acumulador de energia elétrica gerada para o uso futuro em situação de baixo índice de radiação solar ou período noturno;
- Controlador de cargas: garante a segurança no armazenamento de energia na bateria, evitando assim a sobrecarga e descarga excessiva;
- Inversores: convertem CC em CA, possibilitando a alimentação dos dispositivos eletrônicos e equipamentos eletrodomésticos.

Figura 8 - Sistema isolado (*Off-grid*)



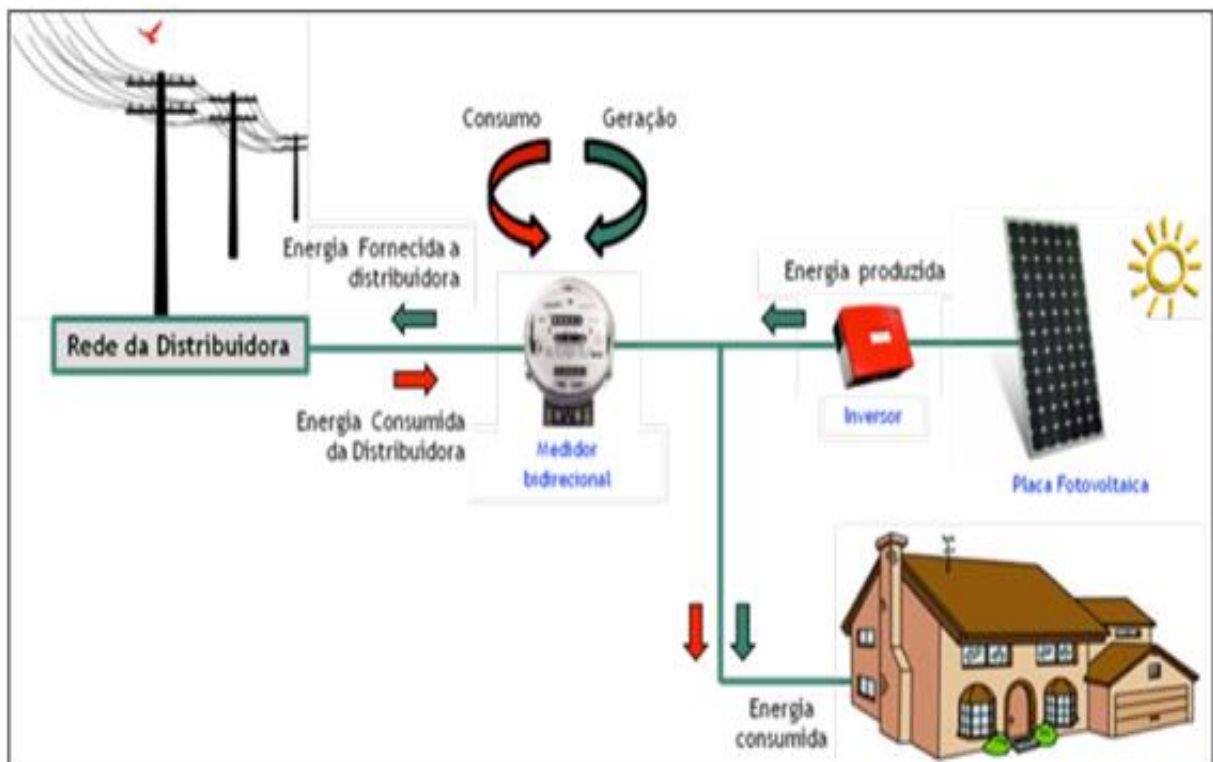
Fonte: Portal solar (2016)

2.3.1.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (*On-grid*)

Os sistemas *on-grid*, ao contrário do *off-grid*, são conectados diretamente à rede elétrica. Neste caso, não precisam dos acumuladores para o armazenamento de energia gerada, uma vez que utilizam a rede elétrica como suporte da sua produção durante o período de dia. Logo, a instalação geradora faz o consumo parcial da energia produzida e os excedentes são injetados na rede. Quando isso ocorre, o consumidor autoprodutor beneficia dos créditos que são abatidos na sua fatura mensal de energia, dependendo de cada país e do tipo de sistema de compensação de energia adotada. Normalmente este tipo de sistema é aplicado na zona urbana próxima à rede elétrica convencional.

Neste tipo de sistema, em situações em que os arranjos são incorporados ao telhado da instalação residencial não ocupam espaço adicional, e atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras (MARQUÊS, 2009). A figura 9 ilustra este tipo de sistema.

Figura 9 - Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (*On-grid*)



Fonte: Viridian (2015)

Segundo Pontes (2021), os sistemas *On-grid* utilizam inversor CC - CA (chamado de Unidade de Condicionamento de Potência-UCP) com finalidade de transformar a corrente contínua (CC) produzida em corrente alternada (CA), de tal forma que seja possibilitada o sincronismo com injeção da energia na rede elétrica. O componente da UCP tem as seguintes funcionalidades:

- Realizar o seguimento do ponto de máxima potência (MPPT), para otimização do sistema de geração de energia;
- Realizar a modulação por largura de pulso (PWM), para auxiliar na conversão de CC em CA;
- Sincronismo com a rede e o monitoramento.

Paralelamente a isso, outro aspecto que merece ser destacado nesta configuração é necessidade do registro de energia entregue pelo sistema e consumida da rede instantaneamente. Para tal se utiliza o instrumento de medição inteligente (medidor bidirecional). Essa nomenclatura surge em virtude da sua capacidade de realizar a medição em ambas as direções, ou seja, tanto o registro da energia que está sendo consumida da rede quanto a sua injeção na rede. Os registros podem ocorrer de forma independente, em que a cada intervalo de tempo a medição é realizada apenas num dos sentidos mediante a diferença entre demanda e a potência produzida pela planta FV.

3. ANÁLISE DO USO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO SUPERIOR E OS EFEITOS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

Atualmente o Brasil possui 69 (sessenta e nove) Universidades Federais (UF) no total das Instituições Públicas de Ensino Superior (IPES). Essas instituições são responsáveis pela promoção da pesquisa, inovação tecnológica, formação de novos cientistas e profissionais da educação em diferentes áreas de conhecimentos. Arelado a isso, a maioria destas instituições têm enfrentado problemas financeiros com a conta de energia elétrica, visto que é uma das suas despesas mensal de maior custo financeiro. A Secretaria do Ensino Superior (SESu) do Ministério da Educação, alerta que apenas em 2015 os gastos com a energia elétrica pela UF equivale a R\$430.000.000,00 (quatrocentos e trinta milhões de reais). Essas despesas se configuram no 3º maior grupo dessas instituições, correspondendo a cerca de 9% dos gastos apurados naquele ano. No entanto, nestes custos com energia elétrica existe uma parcela considerável de gasto atrelado ao uso de equipamentos menos eficientes, acompanhado de cultura de consumismo e o uso irracional de energia elétrica no país (ANEEL, 2016).

Dada esta situação preocupante, a Aneel (2016) entende como fundamental a criação de política pública que promova a eficiência energética dentro destas instituições. Nesta ótica, em 2016 foi tornado público a chamada para seleção de projeto pilotos denominada *Chamada N° 001/2016 Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P & D: "Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Pública de Ensino Superior"*. Essa chamada possibilita não apenas a substituição de equipamentos menos eficientes, a implementação de minigeração de energia elétrica por parte destas instituições, mas também a conscientização de mudança de hábitos aos profissionais da educação e aos estudantes, bem como a criação de nova cultura de eficiência energética na formação de futuros profissionais, tendo em conta as suas relevâncias na sociedade em geral.

Ressalta-se que essa chamada está vinculada a Regulamentação da ANEEL especificada pela Lei n° 9.991, de 24 de Julho de 2000, que determina que as empresas que operam no setor de distribuição de energia elétrica, tais como as concessionárias ou as permissionárias devem contribuir no PEE com pequena parcela da sua Receita Operacional Líquida (ROL). Os recursos provenientes desta receita devem ser alocados para beneficiar preferencialmente os consumidores cativos ou livres do perímetro geográfico destas empresas. No entanto, a contribuição está limitada por um teto de 500 GWh (quinhentos gigawatts-hora)

da sua energia comercializada durante os últimos 12 (doze) meses em operação, caso o valor vendido esteja abaixo deste limite estipulado a empresa deixa de cumprir com este encargo.

Diante disso, de acordo com Assessoria de Imprensa da Aneel (2016), a chamada N° 001/2016 recebeu um total de 27 propostas no âmbito do Projeto Prioritária de Eficiência Energética e Estratégica para IPES. Das 27 (vinte e sete) concorrentes, 11 (onze) tiveram boa aprovação (dentre as quais da UNILAB), 11 (onze) aprovados com recomendações para revisão e os 5 restantes foram reprovados diretamente. Ao todo, o custo total envolvido nesses projetos representa cerca de R\$ 310.000.000,00 (trezentos e dez milhões de reais), com R\$ 18.000.600,00 (dezoito milhões e seiscentos reais) de contrapartidas das IPES. Estima-se também, que a média do investimento por projeto é de R\$ 11.000.400,00 (onze milhões e quatrocentos reais), com a capacidade de 10,9 MWp (dez vírgula nove megawatts-pico) de plantas de geração distribuída nas IPES, 94,2 GWh/ano (noventa quatro vírgula dois gigawatts-hora/ano) de energia economizada e 17 MW (dezassete megawatts) de redução de demanda de ponta.

Com este valor total de R\$ 310.000.000,00 (trezentos e dez milhões de reais) do investimento nos projetos aprovados pela ANEEL, comparado aos gastos com a energia elétrica pelas IPES apenas em 2015, no montante de R \$430.000.000,00 (quatrocentos e trinta milhões de reais) apontado anteriormente pela SESu, percebe-se uma diferença de 120.000.000,00 (cento e vinte milhões de reais) de saldo em relação a estas despesas com a conta de energia pelas IPES neste ano. Isto remete uma reflexão prévia do retorno do investimento e do impacto destes projetos na conta das instituições selecionadas.

3.1 PROJETO PRIORITÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS DAS AURORAS-UNILAB

3.1.1 Caracterizações do local de estudo e os dados técnicos do projeto

O Campus das Auroras, somado ao Campus da Liberdade, Campus dos Malês e da Unidade Acadêmica dos Palmares compõem a estrutura física da Unilab. O primeiro campus faz parte do objeto de estudo deste trabalho, fica localizado na cidade de Redenção no interior do estado do Ceará, a 60 km da capital cearense (Fortaleza). O edifício tem uma área de 16.063,91 m² e, é considerado como o principal campus desta instituição, tendo em conta a relevância dos serviços e atividades acadêmicas dos setores chave que ali se encontram diferente dos demais, entre as quais a instalação de maior número de laboratórios de aula

prática e pesquisa equivalente a 59, 25 salas de aulas, 82 gabinetes de professor, 20 coordenações de cursos e 6 secretarias.

Para além disso, o referido campus tem um restaurante universitário concluído e uma residência estudantil na fase final para entrega. Segundo Secom (2018) a residência de estudante é composta por dois blocos interligados por passarelas, 174 quartos/bloco com capacidade de albergar 348 estudantes, 5 pontos comerciais e uma cozinha comunitária, lavanderia comunitária na cobertura do edifício e 4 elevadores (dois em cada bloco), sendo que cada edificação é construída por 7.615,88 m² de área.

Diante do exposto, destaca-se que o Projeto Prioritário de Eficiência Energética e a Usina de Minigeração Fotovoltaica do Campus das Auroras-Unilab, estão estruturados em duas vertentes: primeiro está vinculado à substituição dos equipamentos menos eficientes denominado de *Retrofit*, por outros equipamentos que desempenham a mesma função, mas com menor consumo de energia elétrica. Com isso, ordenou-se a substituição de cerca de 4.950 lâmpadas fluorescentes de 32 W e 16 W, por outro modelo mais econômico e eficiente do tipo LEDs com 18 W e 9 W de potência, e a retirada de 2.475 reatores eletrônicos das luminárias. Já o segundo componente do projeto, está atrelado à implementação da usina de minigeração fotovoltaica.

Neste aspecto, uma vez que a usina de minigeração a ser instalado na UNILAB, deve estar projetada no campus que demanda maior consumo de energia elétrica por um período longo de tempo e conseqüentemente com maior incidência de radiação solar e pouca interferência externa, se fez a escolha do Campus das Auroras. Como também, em razão da sua área extensa e da maior viabilidade para instalação de usina solar FV na sua estrutura física já existente, permitindo que os conjuntos de módulos FV sejam plenamente incorporados nesta edificação (MACIEL FILHO, 2017).

Em conformidade com este dado, a área da cobertura da edificação do bloco de Campos de Auroras é representada na figura 10 em 3D com de 5.614,94 m², é composto por quatro blocos e uma área de conveniência centralizada entre eles. O empreendimento apresenta melhor condição para implementação do projeto em relação outros campi, somando-se as seguintes características geográfica e ambiental:

- Tem boa variação de incidência solar durante boa parte dos meses do ano;

- O local está afastado das edificações urbano e vegetação, com isso sofre menor interferência de sombreamento ao longo do dia;
- A variação de temperatura local tem menor impacto na eficiência dos módulos.

Patri-Son (2018) complementa que para além destas características do local, o edifício se encontra na latitude de 4,22 ao sul, o telhado possui inclinação de 2,86° com orientação azimutal de 322° e 142° em relação ao norte geográfico.

Somado a essa informação, reforçam a evidência do bom posicionamento dos módulos FV em relação ao ângulo do plano horizontal da instalação do edifício.

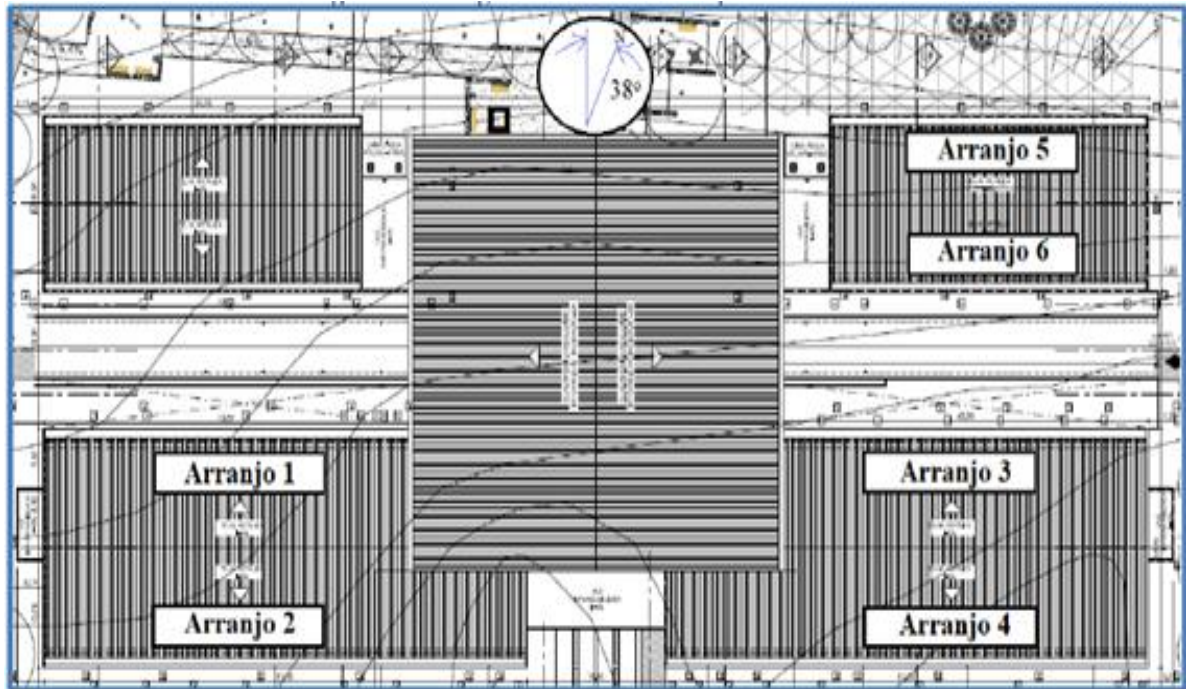
Figura 10 - Imagem em 3D do edifício de Campus de Auroras.



Fonte: Proplan-Unilab (2018)

Na figura 11, é apresentada a parte superior da estrutura física deste edifício, com os seis arranjos de módulo FV instalados e calçados por suportes de sustentação fixados no telhado dos blocos.

Figura 11 - Imagem da estrutura do telhado do Campus das Auroras



Fonte: Proplan-Unilab, Adaptado por Patri-Son (2018)

3.1.2 Especificações técnica dos módulos e a usina de minigeração fotovoltaico instalada no campus de auroras.

Na tabela 4, são apresentadas as especificações técnicas dos painéis solar dos 6 arranjos da marca Canadian Solar, do tipo Policristalino Classificação A. Os modelos foram fornecidos pela empresa Canadian Solar Brasil Comercialização, Importação e Exportação de Painéis Solares Ltda. Além disso, é bom salientar que para além dos 6 arranjos instalados no telhado do edifício, existe um pequeno arranjo da árvore solar construída na dependência do campus, como ilustra a figura 12 e com a sua característica técnica na tabela 5.

A ramificação da estrutura da referida árvore é constituída por dez folhas, cada uma com a sua respectiva mini placa solar FV embutida. A área total ocupada por este pequena usina solar corresponde aproximadamente 20 m² e sua altura em relação ao solo é de 11 m. Apesar deste equipamento complementa a geração dos 6 arranjos mencionados anteriormente, mas também é projetado como um minilaboratório de energia renovável para os estudantes do curso de Engenharia de Energias.

Tabela 4 - Apresentação das especificações técnicas dos módulos solares dos arranjos 1 a 6.

Descrição do módulo	CANADIAN SOLAR CS6U-330P
Célula	MultiSi
Área do módulo	1,94 m ²
Temperatura nominal da operação da célula	± 43°
Potência	330 W (CC)
Eficiência	16,99%
Tensão no ponto máximo de potência	37,2 V (Vmp)
Corrente no ponto máximo de potência	8,88 A (Imp)
Tensão do circuito aberto	45,6 V (Voc)
Corrente de curto circuito	9,45 A (Isc)
Coeficiente de temperatura de Voc	-0,31 %/°C
Coeficiente de temperatura de temperatura Isc	0,05 %/°C
Coeficiente de temperatura Mpp	-0,4 %/°C
Número de células em serie	72

Fonte: adaptado de Patri-Son (2018)

São 762 do total dos módulos que compõem a estrutura da usina de minigeração FV, com 330 Wp (potência de pico cada) e os 275 Wp dos 10 painéis instalados na árvore solar.

Tabela 5 - Apresentação das especificações técnicas dos módulos solares do arranjo de árvore solar.

Descrição do módulo	CANADIAN SOLAR CS6K-260P
Célula	MultiSi
Área do módulo	1,64 m ²
Temperatura nominal da operação da célula	45±2°
Potência	260 W (CC)
Eficiência	15,88%
Tensão no ponto máximo de potência	30,4 V (Vmp)
Corrente no ponto máximo de potência	8,56 A (Imp)
Tensão do circuito aberto	37,5 V (Voc)
Corrente de curto circuito	9,12 A (Isc)
Coeficiente de temperatura de Voc	-0,31 %/°C
Coeficiente de temperatura de temperatura Isc	0,053 %/°C
Coeficiente de temperatura Mpp	-0,41 %/°C
Número de células em serie	60

Fonte: adaptado de Patri-Son (2018)

Figura 12 - Árvore solar

Fonte: Patri-Son (2018)

Dos seis arranjos mencionados anteriormente, cada um comporta 127 módulos FV com a sua respectiva potência instalada individual de 41,28 kWp, totalizando 247,68 kWp de potência instalada nesta Usina FV. Cada um desses arranjos forma um par ligante com um inversor solar que converte a energia gerada pela minigeração FV de corrente contínua/corrente alternada (CC/CA), de modo que essa seja injetada diretamente na rede elétrica de distribuição e no ponto de consumo.

Em outras palavras, a minigeração distribuída instalada no campus das auroras é um sistema *on-grid*, com isso dispensa o uso de acumulador de carga (baterias), pois a rede elétrica funciona como um *Back-up*. Atrelado ao sistema de compensação de energia elétrica (*net-metering*) adotado pela ANEEL, a UNILAB pode em certo momento, retornar a energia excedente à rede de distribuição na forma créditos acumulados em kWh, e isso será compensado na sua fatura do mês seguinte. Na figura 13 são apresentados os referidos inversores da fabricante ABB, modelo PRO 33.0-TL-OUTD-SX-400-Trifásico 380 V.

Figura 13 - Inversor da usina de minigeração do Campus das Auras



Fonte: Autor (2021)

De Oliveira Junior (2017) acrescenta que, primeiramente a compensação é realizada no posto tarifário em que houve o excesso de produção de energia, e caso não haja a demanda para o mesmo posto, existe a possibilidade deste crédito ser alocado para outro posto tarifaria desde já que a modalidade tarifaria do respectivo consumidor permita.

Paralelamente a isso, caso houver o excedente após a compensação no posto tarifário em que houve o excesso de geração de energia, o restante poderá ser aplicado para compensar outro posto tarifaria ao longo do mesmo ciclo de faturamento, e se a situação continua persistindo esses poderão ser utilizados em ciclos de faturamentos futuros em conformidade com a sua validade de 60 meses.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE COMPARATIVA DOS HISTÓRICOS DE CONSUMO DE ENERGIA

Salienta-se que todos os dados tabelados e plotados nos gráficos são reais, e foram adquiridos com base nas informações coletadas do histórico de consumo de energia elétrica da referida universidade em cada doze meses do período analisado. Este documento reúne série histórica de toda contabilidade dos valores de faturamento mensal da energia em (kWh), em moeda brasileira (R\$) e a demanda (kW).

Os cálculos envolvem os componentes do consumo de energia tais como, Consumo Fora Ponta, Consumo na Ponta, Demanda Ativa, Demanda Ativa sem ICMS, Reativo Excedente Fora Ponta, Reativo Excedente na Ponta entre outros e subtraindo-se a Retenção de Tributos Federais. Os cálculos de cada uma dessas parcelas são incorporados na fatura mensal de energia pela ENEL, com base nos dados recolhidos mensalmente, ou seja, nem sempre todas as parcelas são incluídas no faturamento mensal de energia. Arelado a isso, ao longo do período de referência até o primeiro semestre de 2018, a instituição pagava pela TE, TUSD, encargos setoriais e tributos.

Diante disso, os dois primeiros anos de referência (2015 e 2016) foram escolhidos para analisar o histórico de consumo de energia elétrica antes da implementação da usina de minigeração distribuída, visto que os dois representam o início da ocupação gradual do Campus de Auroras. Nesta época a representação é menos significativa em relação aos demais, e foram os anos em que se fez o levantamento de carga nesta unidade consumidora para analisar a viabilidade do projeto da usina de minigeração FV pela Coordenação de Infraestrutura e Desenvolvimento (CIED).

Na tabela 6 são apresentados os dados de histórico de consumo de energia referente ao ano 2015, já na tabela 7 apresentou-se dados de 2016. Nestas tabelas são estruturadas as demandas de consumo ponta e fora ponta de energia elétrica em kWh (kilowatts-hora) e em R\$ (real), de mês a mês durante cada período estudado. Percebe-se uma oscilação do consumo ao longo dos meses até o último mês de cada ano em análise, isto está atrelado à demanda pontual dos períodos letivos em que ocorre maior fluxo de estudantes, professores e servidores técnicos na referida instituição.

Tabela 6 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2015

Histórico de Consumo Mensal em 2015				
Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Hora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Valor Pago (R\$)
Janeiro	15.838,0	1.508,0	17.346,0	4.313,73
Fevereiro	16.557,0	1.291,0	17.848,0	4.654,04
Março	14.852,0	1.037,0	15.889,0	4.401,27
Abril	22.363,0	1.742,0	24.105,0	13.887,69
Mai	22.860,0	1.561,0	24.421,0	16.846,71
Junho	23.072,0	1.464,0	24.536,0	18.773,10
Julho	20.865,0	1.540,0	22.405,0	18.566,68
Agosto	22.301,0	1.780,0	24.081,0	19.150,68
Setembro	24.475,0	1.992,0	26.467,0	19.883,45
Outubro	29.703,0	2.049,0	31.752,0	21.223,34
Novembro	23.530,0	2.653,0	26.183,0	22.902,61
Dezembro	37.000,0	3.346,0	40.346,0	24.003,45
TOTAL	273.416,0	21.963,0	295.379,0	188.606,75
MÉDIA	22.784,7	1.830,3	24.614,9	15.717,23

Fonte: adaptado do Maciel Filho (2017)

Tabela 7 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh de Campus das Auroras em 2016

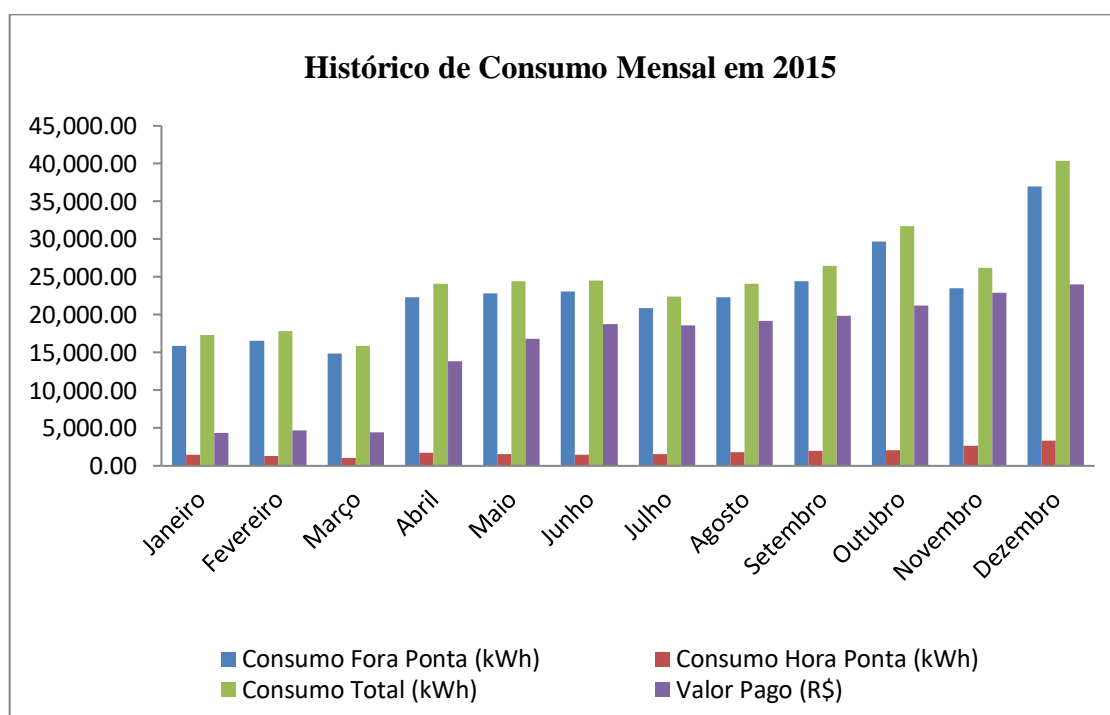
Histórico de Consumo Mensal em 2016				
Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Hora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Valor Pago (R\$)
Janeiro	27.206	2.338	29.544	20.794,16
Fevereiro	29.668	2.558	32.226	29.715,63
Março	38.828	3.015	41.843	32.674,39
Abril	44.167	3.531	47.698	35.337,44
Mai	37.917	3.189	41.106	33.491,21
Junho	38.007	3.050	41.057	34.121,38
Julho	38.162	3.599	41.761	35.583,02
Agosto	34.554	2.560	37.114	20.344,60
Setembro	31.927	2.404	34.331	19.747,77
Outubro	34.848	2.747	37.595	21.787,19
Novembro	38.754	2.402	41.156	22.998,62
Dezembro	35.920	2.895	38.815	22.712,01
TOTAL	429.958,0	34.288,0	464.246,0	329.307,42
MÉDIA	35.829,8	2.857,3	38.687,2	27.442,29

Fonte: adaptado do Maciel Filho (2017)

Nota-se que a demanda de energia elétrica no campus das auroras está em função de quatro variáveis principais: ocupação gradual do campus, desenvolvimento de novas estruturas acadêmico-administrativas, período letivo e recesso acadêmico, estes quatro componentes correspondem ao crescimento e descimento de carga. As evidências atreladas a primeira variável podem ser analisadas com a ilustração dos dados da tabela 6 na figura 14, que representa o primeiro ano (2015) de crescimento gradual da ocupação nesta unidade consumidora e da figura 15 que corresponde ao ano 2016.

Percebe-se uma homogeneidade do menor consumo no primeiro trimestre do ano 2015, e no início do segundo trimestre teve uma leve oscilação somando a demanda de ponta e fora de ponta equivale 24.105 kWh/mês a 32.752 kWh/mês da energia consumida até o início do último trimestre do ano. Já o mês de dezembro representa o maior consumo de energia deste ano, correspondendo a 40.346 kWh/mês devido ao início de algumas atividades nos laboratórios e salas de aulas. A média mensal consumida fora e na ponta são respectivamente 22.784,7 kWh/mês e 1.830,3 kWh/mês, e a energia total consumida neste ano corresponde 29.537,7 kWh/mês, equivalente ao montante de R\$ 188.606, 76.

Figura 14 - Consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2015

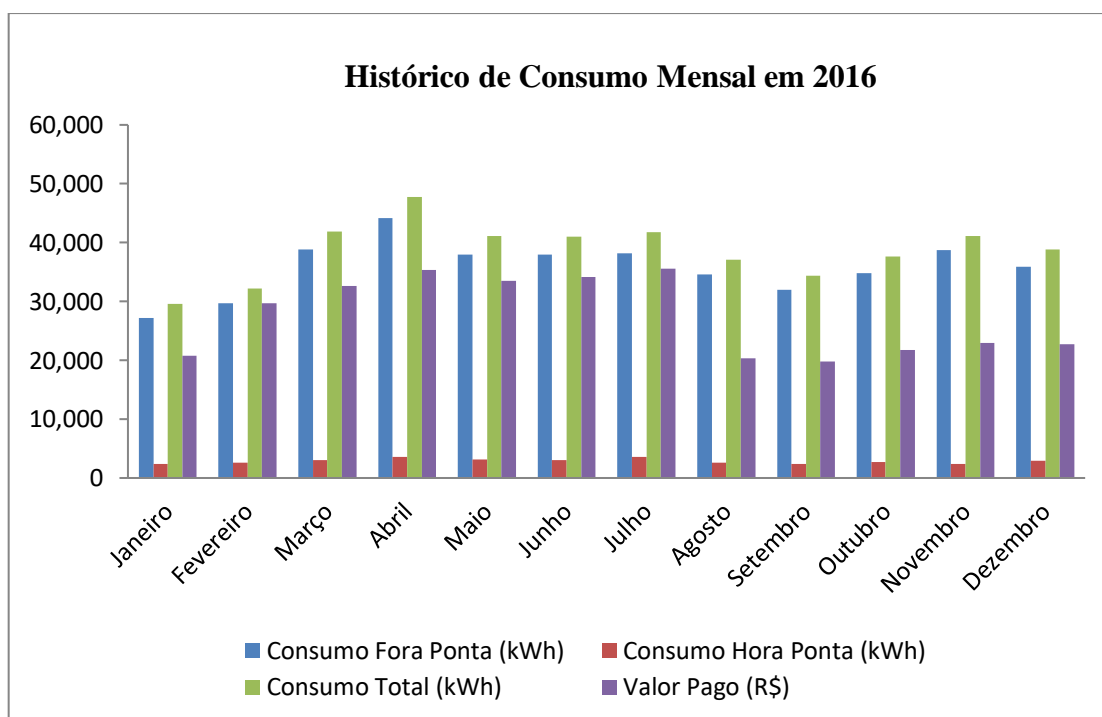


Fonte: Autor (2021)

Ao contrário do ano anterior, 2016 teve maior oscilação de taxa de ocupação no bloco didático que é visivelmente notável na tabela 7 e na figura 15 com a variação da demanda consumida. Alguns institutos de graduação, pós-graduação e setores administrativos começaram a ocupar as suas salas de serviços, acompanhado demanda de carga de laboratório atrelado ao uso de máquinas elétricas.

A média mensal consumida neste período, para os horários fora e na ponta corresponde a 35.829,8 kWh/mês e 2.857,3 kWh/mês, e a total da energia consumida neste ano equivale 46.424,6 kWh/mês, numa montante de R\$ 329.307, 42 desembolsada na conta da universidade.

Figura 15 - Consumo de energia elétrica em kWh de Campus das Auroras em 2016



Fonte: Autor (2021)

Destaca-se que em todos os períodos de referência (2015 e 2016), a demanda fora de ponta é muito superior que a demanda na ponta. No entanto, isto não está associado à estratégia de eficiência energética nesta instituição, ou seja, na maioria dos casos em que o consumidor tenta reverter o alto valor pago pela fatura de energia deslocando-se carga para os horários fora de ponta (caracterizada pelo baixo valor cobrado pela concessionária pelo consumo em kWh de energia). Neste caso específico da UNILAB, está atrelada a maior

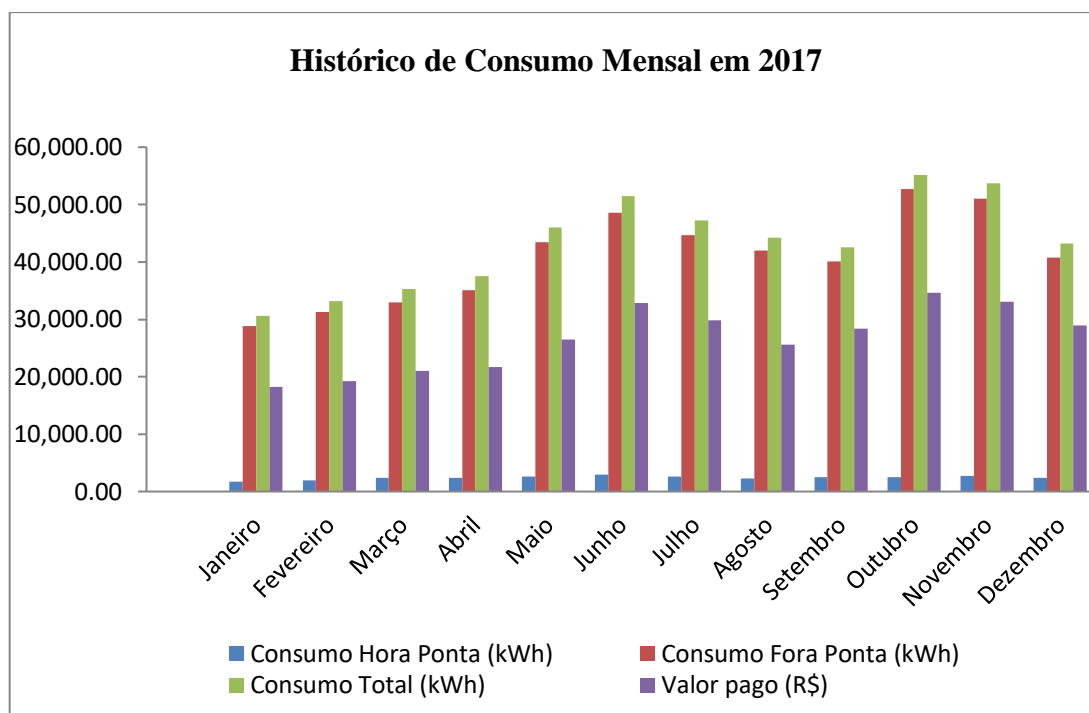
quantidade das atividades acadêmicas realizadas neste horário, ou seja, fora do horário de pico das 17h30 às 20h30 (dezessete horas e trinta minutos às vinte horas e trinta minutos) definidas pela ENEL distribuidora local.

Já a partir de 2017, o campus começou a ter maior taxa de ocupação gradual ao longo dos anos subsequentes tendo em vista a intensificação do deslocamento e mudanças para referida localidade, seguido de desenvolvimento de novas estruturas universitárias. Estes indicadores se refletem no aumento de consumo de energia como são ilustradas na tabela 8, tabela 9 como também nas suas respectivas figuras e nas demais que serão vistas no decorrer desta parte. Resultante desses indicadores, 2017 foi o último ano em que o campus das auroras funcionou sem a usina de minigeração FV e teve aumento de 12% no consumo de energia em comparação a 2016. Sendo que 491.287,00 kWh/mês da média consumida Fp, 28.906,00 kWh/mês Hp e o total anual de 520.193,00 kWh.

Tabela 8 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh de Campus das Auroras em 2017

Histórico de Consumo Mensal em 2017				
Mês	Consumo Hora Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Valor pago (R\$)
Janeiro	1.715,00	28.857,00	30.572,00	18.227,23
Fevereiro	1.961,00	31.236,00	33.197,00	19.182,82
Março	2.382,00	32.944,00	35.326,00	20.971,94
Abril	2.444,00	35.053,00	37.497,00	21.711,15
Maiο	2.591,00	43.452,00	46.043,00	26.431,84
Junho	2.894,00	48.625,00	51.519,00	32.805,60
Julho	2.569,00	44.621,00	47.190,00	29.782,68
Agosto	2.248,00	41.953,00	44.201,00	25.649,13
Setembro	2.470,00	40.132,00	42.602,00	28.327,48
Outubro	2.450,00	52.654,00	55.104,00	34.596,89
Novembro	2.774,00	50.988,00	53.762,00	33.101,95
Dezembro	2.408,00	40.772,00	43.180,00	28.924,63
TOTAL	28.906,00	491.287,00	520.193,00	319.713,34
MÉDIA	2.408,83	40.940,58	43.349,42	26.642,78

Fonte: Autor (2021)

Figura 16 - Consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2017

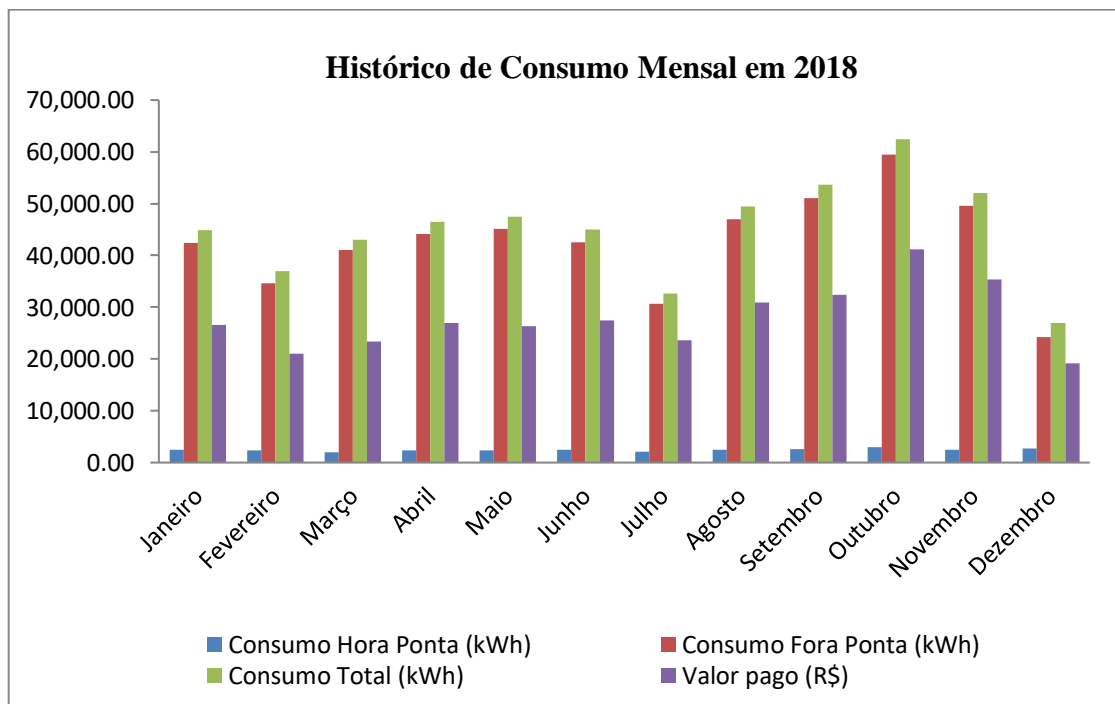
Fonte: Autor (2021)

Por outro lado, em 2018 a referida unidade consumidora funcionou parcialmente com a geração fotovoltaica de 247,68 kWp de potência instalada e os 2,75 kWp de árvore solar. Tanto que tiveram apenas aproximadamente 4% crescimento de energia consumida, equivalente a um terço de 2017 em relação a 2016 respectivamente. A média mensal fora de ponta em 2018 foi de 42.662,17 kWh, consumo médio na ponta corresponde 2.440,33 kWh e o total consumido durante este ano equivale 541.230 kWh.

Tabela 9 - Tabela de consumo de energia elétrica em kWh de Campus das Auroras em 2018

Histórico de Consumo Mensal em 2018				
Mês	Consumo Hora Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Valor pago (R\$)
Janeiro	2.445,00	42.438,00	44.883,00	26.611,86
Fevereiro	2.303,00	34.654,00	36.957,00	21.052,02
Março	2.041,00	41.038,00	43.079,00	23.353,79
Abril	2.338,00	44.159,00	46.497,00	26.995,52
Maio	2.344,00	45.135,00	47.479,00	26.356,61
Junho	2.462,00	42.535,00	44.997,00	27.391,17
Julho	2.052,00	30.645,00	32.697,00	23.584,61
Agosto	2.490,00	46.965,00	49.455,00	30.880,89
Setembro	2.597,00	51.019,00	53.616,00	32.404,00
Outubro	2.990,00	59.508,00	62.498,00	41.156,92
Novembro	2.491,00	49.565,00	52.056,00	35.406,08
Dezembro	2.731,00	24.285,00	27.016,00	19.176,44
TOTAL	29.284,00	511.946,00	541.230,00	334.369,91
MÉDIA	2.440,33	42.662,17	45.102,50	27.864,16

Fonte: Autor (2021)

Figura 17- Consumo de energia elétrica em kWh de Campus das Auroras em 2018

Fonte: Próprio Autor (2021)

Assim sendo, o valor de faturamento de energia ao longo dos quatro anos considerados de referências tem aumentado progressivamente em virtude dos fatores já mencionado anteriormente. No entanto, observa-se na figura 17 que o mês de dezembro teve maior redução de aproximadamente 40% da média mensal do consumo total para este ano, e isso se deve ao início da operação da usina de minigeração FV neste último mês do ano.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS HISTÓRICOS DE CONSUMO DE ENERGIA APÓS O INÍCIO DE OPERAÇÃO DA USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA.

De 2019 a 2020 todos os Institutos de Graduação, Pós-Graduação, junto com a maior parte dos departamentos administrativos e Biblioteca instalaram-se neste campus. A cada ano a demanda de energia cresce progressivamente nesta unidade consumidora, como foi dito anteriormente. No entanto, de acordo com a tabela 10 e o figura 18 onde são apresentados os dados de histórico de consumo de 2019 depois que a minigeração FV entrou em operação, em cada doze meses após a sua de produção da energia, o consumo em kWh e em R\$ tem diminuído gradativamente em comparação aos anos anteriores (2016 a 2018).

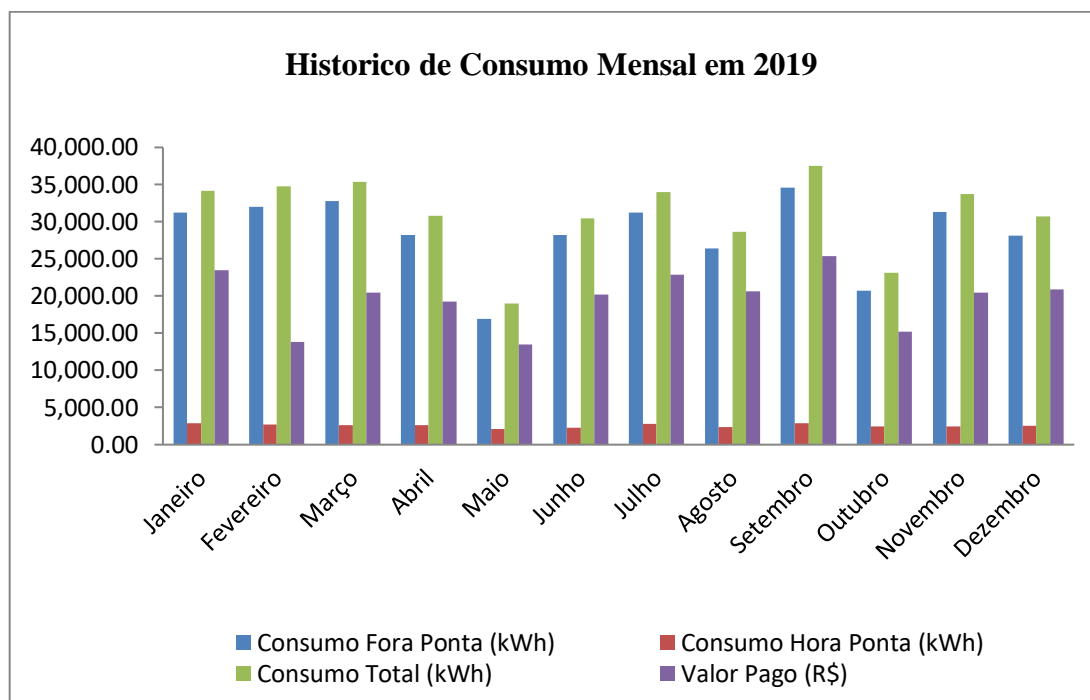
Tabela 10 - Consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2019

Histórico de Consumo Mensal em 2019				
Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Hora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Valor Pago (R\$)
Janeiro	31.251,00	2.926,00	34.177,00	23.443,34
Fevereiro	32.020,00	2.715,00	34.735,00	13.797,02
Março	32.791,00	2.616,00	35.407,00	20.450,40
Abril	28.247,00	2.594,00	30.841,00	19.229,02
Maiο	16.919,00	2.081,00	19.000,00	13.440,81
Junho	28.188,00	2.278,00	30.466,00	20.197,40
Julho	31.226,00	2.758,00	33.984,00	22.897,97
Agosto	26.362,00	2.324,00	28.686,00	20.589,24
Setembro	34.627,00	2.902,00	37.529,00	25.400,77
Outubro	20.688,00	2.472,00	23.160,00	15.195,97
Novembro	31.285,00	2.467,00	33.752,00	20.433,73
Dezembro	28.157,00	2.572,00	30.729,00	20.852,68
TOTAL	341.761,00	30.705,00	372.466,00	235.928,35
MÉDIA	28.480,08	2.558,75	31.038,83	19.660,70

Fonte: Próprio Autor (2021)

Na tabela 10, a média de consumo mensal no posto tarifário fora ponta (FP) é de 28.480,08 kWh, já para o posto tarifário hora ponta (HP) 2.558,75 kWh e o total da energia consumida para este ano corresponde a 372.466 kWh faturada em R\$ 235.928,35.

Figura 18 - Consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2019



Fonte: Próprio Autor (2021)

Nota-se uma queda significativa de consumo de energia a ser faturado na conta da universidade entre o mês de janeiro e fevereiro de 2019. Isto se deve ao primeiro mês (fevereiro) em que a energia produzida pela Geração Distribuída (GD) ultrapassa a necessidade das cargas instaladas no campus das auroras, e com isso foi injetada na rede elétrica 25.443 kWh no posto tarifário fora ponta (Fp), e ao longo deste ano a média injetada mês após mês equivale 7.710,92 kWh que são respectivamente compensado no posto tarifário hora ponta (Hp), visto que durante a noite a usina não produz energia. Além disso, a energia injetada na rede de distribuição durante este primeiro ano de funcionamento corresponde a 92.531 kWh, que é o total de créditos em energia compensada pela concessionária local (Enel) a universidade.

Atrelado a isso, são 34.177 kWh da quantidade de energia total consumida apenas em janeiro e 34.735 kWh em fevereiro, percebe-se que o consumo total destes meses é aproximadamente igual, mas o valor pago teve uma diferença de 58,85% do segundo em

relação ao primeiro mês. Ou seja, apenas no primeiro mês em que a universidade começou a injetar energia na rede já usufruiu desta redução na sua conta.

Com isso, constata-se que a partir do primeiro período em que a UNILAB começou a gerar a sua própria energia, conseguiu produzir quantidade enorme de energia que ultrapassa a sua necessidade de cargas instaladas, apesar de não ter conseguido saldo de crédito em kWh em cada mês ao longo deste período. Mas, a quantidade injetada representa recurso financeiro muito significativo na conta da referida instituição.

Já na tabela 11 e no figura 19 são apresentados os dados de histórico de consumo de energia em 2020, que corresponde ao segundo ano consecutivo da operação da usina FV. Nota-se uma oscilação com queda do consumo de energia durante os onze meses do referido ano, e isto está atrelado não apenas a geração FV, mas também por um fator externo ligado a suspensão do calendário acadêmico a partir do final do mês de fevereiro, devido à pandemia de coronavírus.

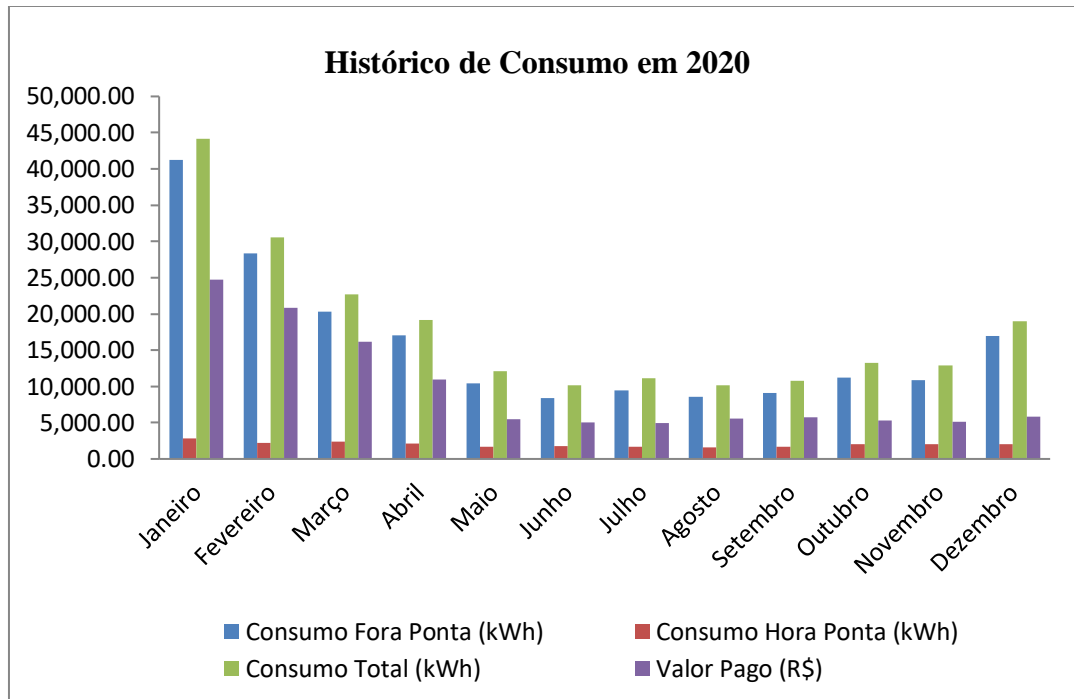
Tabela 11 - Histórico de consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2020

Histórico de Consumo em 2020				
Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Hora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Valor Pago (R\$)
Janeiro	41.288,00	2.828,00	44.116,00	24.749,14
Fevereiro	28.354,00	2.246,00	30.600,00	20.872,28
Março	20.336,00	2.350,00	22.686,00	16.123,97
Abril	17.028,00	2.161,00	19.189,00	10.987,79
Maio	10.426,00	1.705,00	12.131,00	5.478,39
Junho	8.403,00	1.730,00	10.133,00	5.023,05
Julho	9.424,00	1.711,00	11.135,00	4.948,58
Agosto	8.529,00	1.611,00	10.140,00	5.584,75
Setembro	9.098,00	1.702,00	10.800,00	5.752,71
Outubro	11.231,00	1.993,00	13.224,00	5.331,35
Novembro	10.905,00	2.000,00	12.905,00	5.108,76
Dezembro	16.931,00	2.050,00	18.981,00	5.854,03
TOTAL	191.953,00	24.087,00	216.040,00	115.814,80
MÉDIA	15.996,08	2.007,25	18.003,33	9.651,23

Fonte: Autor (2021)

Dada esta situação exposta, a universidade conseguiu obter maiores rendimentos de crédito em energia referente a este ano de 2020, como mostra a tabela 11. Sendo que, a média consumida FP está cerca de 20 kWh, consumo HP 24.087 kWh e o total anual de 216.040 kWh equivalente a R\$ 115.814,80.

Figura 19 - Consumo de energia elétrica em kWh do Campus das Auroras em 2020



Fonte: Autor (2021)

Verifica-se na tabela 12 que a partir do mês de maio de 2020, a instituição tem acumulado saldo em crédito de energia com a média de 12.746,63 kWh/mês em função da paralisação de atividade acadêmica presencial devido medidas de biossegurança sanitária para conter o avanço da pandemia como foi citada anteriormente, e a tendência é que isso continue enquanto permanecer esta situação, mas com pequena redução por causa da retomada gradual das aulas presenciais e dos serviços administrativos ao longo desta ano. Com isso, a Unilab teve 152.959,63 kWh de saldo creditado na sua conta de energia.

Tabela 12 - Histórico de créditos em energia em kWh do Campus das Auroras em 2020

Crédito em Energia (kWh) 2020						
Mês	Energia Injetada		Energia Utilizada		Saldo Atualizado	
	Fora Ponta	Hora Ponta	Fora Ponta	Hora Ponta	Fora Ponta	Hora Ponta
Janeiro	8.322,00	0,00	8.322,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	5.528,00	0,00	5.528,00	0,00	0,00	0,00
Março	8.041,00	0,00	8.041,00	0,00	0,00	0,00
Abril	13.027,00	0,00	13.027,00	0,00	0,00	0,00
Maio	15.228,00	0,00	10.426,00	1.705,00	3.097,00	0,00
Junho	13.269,00	0,00	8.403,00	1.730,00	6.233,00	0,00
Julho	15.061,00	0,00	9.424,00	1.711,00	10.159,00	0,00
Agosto	20.185,00	0,00	8.529,00	1.611,00	20.204,00	0,00
Setembro	16.971,00	0,00	9.098,00	1.702,00	26.375,00	0,00
Outubro	18.185,00	0,00	11.231,00	1.993,00	31.336,00	0,00
Novembro	18.262,00	0,00	14.872,00	3.389,00	31.336,00	0,00
Dezembro	13.232,00	0,00	16.931,00	3.417,00	24.219,59	0,00
Total	165.311,00	0,00	123.832,00	17.258,00	152.959,59	0,00
Média	13.775,92	0,00	10.319,33	1.438,17	12.746,63	0,00

Fonte: Autor (2021)

Entretanto, o referido saldo não é disponibilizado permanentemente, ou seja, tem validade de até cinco anos, mas pode ser utilizado para compensar o consumo de energia em determinada situação em que a demanda do campus das auroras é superior a sua geração. Além disso, a instituição pode aproveitar esse crédito para rebater a fatura de energia de um dos seus câmpus desde que esteja dentro do perímetro geográfico da concessionária local e nela cadastrada, respeitando os requisitos legais estabelecidos pela legislação normativa 687/2015 da ANEEL.

Apesar desse expressivo crescimento de alocação automática da energia na rede e incremento de saldo durante 2020, percebe-se que logo no início desse período o campus das Auroras teve maior consumo de energia cerca de 41.288 kWh. Este valor desperta atenção em relação à demanda prevista para este ano e outros subsequentes futuramente. Sendo que, independentemente deste período representar o início das aulas acompanhado de grandes mudanças de estruturas universitárias para este local, mas também teve a influência pela criação de novos cursos de graduação e pós-graduação pela universidade.

Em decorrência disso, o último fato demonstra que independentemente da produção de energia FV, o consumo tende a aumentar paralelamente com a criação de novos cursos previstos pela universidade, da futura ocupação de residência estudantil e do funcionamento do restaurante universitário, ou seja, o campus se encontra num processo de expansão ao longo dos anos e a demanda de energia deve seguir o mesmo ritmo de crescimento.

5 CONCLUSÃO

Com as análises dos históricos de consumo de energia da unidade consumidora do Campus das Auroras, os resultados mostram que os valores praticados do consumo médio anual para o período considerado de referência (2015-2018) é de 455.262 kWh equivalente a R\$ 292.999,36. Em seguida, entre os anos de 2019 e 2020 a universidade começou a injetar energia na rede, logo no primeiro ano injetou-se 92.531 kWh, no segundo teve 165.311 kWh com saldo acumulado em crédito de energia de 152.960 kWh. Isso possibilitou uma considerável redução do valor médio anual para 294.252 kWh/ano corresponde a R\$ 175.871,58 de aproximadamente 35% de diferença em relação ao período de referência. Esses indicadores trazem uma visão realista da interdependência entre a geração FV e a sua influência na economia de energia consumida em determinado período.

Tal fato pode ser observado também por meio da evolução da redução da demanda da energia nos mesmos períodos analisados em diferente posto tarifário, e partindo do último ano de referência (2018) uma vez que apresentou maior variação da demanda de energia consumida nesta unidade consumidora. Com isso, tem-se que a demanda média reduzida para o posto tarifário Fp e Np entre 2018 e 2019 foi respectivamente de 324 kW e 208 kW. Entretanto, 2020 teve maior redução da demanda equivalente a 1.654 kW Fp e 478 kW Np, no entanto, este último está atrelado principalmente à suspensão do calendário acadêmico em razão da medida preventiva para conter a proliferação de coronavírus na universidade o que vai possibilitar ganhos na conta da universidade com acúmulos de créditos ao longo dos meses até o início de atividade presencial.

Assim sendo, considerando os benefícios trazidos por este projeto a Unilab deve-se projetar nova estratégia da expansão da geração FV para outros câmpus da universidade. No entanto, o investimento nestas novas tecnologias depende diretamente do real conhecimento da situação atual do crescimento da carga nesta instituição. Sendo que, ao longo dos anos a demanda de energia elétrica tem aumentado exponencialmente em função do desenvolvimento de novas unidades, estrutura acadêmica e a criação de novos cursos de graduação e pós-graduação.

Com isso, tal estudo do dimensionamento da inserção de novos arranjos FV deve-se inteirar do perfil atual do consumo de energia do campus das auroras, de modo que a Unilab possa beneficiar da autossuficiência energética através da sua geração FV e diminuir a maior

parte dos seus gastos com a conta de energia elétrica. De tal forma que estes recursos sejam alocados para outros setores para o desenvolvimento e a consolidação da instituição no ranking das IFES do país.

Associado a isso, para se inteirar da real situação futura da demanda de energia do campus das auroras paralelamente à produção da usina de minigeração fotovoltaica este trabalho precisa ser continuada, uma vez que o primeiro mês do último ano analisado (2020) teve aumento de aproximadamente 24% de consumo mensal em relação ao mesmo mês do ano anterior (2019), ambos em condição normal do funcionamento do referido campus.

Entretanto, a suspensão da atividade presencial teve impacto muito significativo no resultado analisado dos históricos de consumo de energia de 2020 em relação ao sistema de compensação. Assim sendo, a sugestão para futuro estudo deve-se basear tanto na análise do sistema de compensação dos históricos de consumo de energia fornecida pela Enel quanto na medição dos registros da produção da usina FV. Por outro lado, é bom destacar que com o início do funcionamento do restaurante universitário e da entrega da residência estudantil prevista para próximos anos o consumo tende a aumentar consideravelmente no campus das auroras.

REFERÊNCIAS

ABRAPCH, Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas. Disponível: <https://abrapch.org.br/>. Acesso em: 19 Abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Chamada n.º. 001/2016 – Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégia de P & D: "Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Ensino Superior"**. Brasília, outubro de 2016. Disponível em:

<https://www.aneel.gov.br/documents/656831/15136291/Chamada+Priorit%C3%A1rio+e+Est+rat%C3%A9gico+001+-+2016+-+V10+%28revis%C3%A3o+do+edital%29.pdf/41ea76fd-a85a-fc98-4921-96ea4b4a4048>. Acesso em: 29 Maio. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. Brasília-DF, 2005. 2º Edição.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **A Resolução da Normativa n.º 482 da ANEEL: Entenda**. Solarvolt, 2019. Disponível em:

<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/a-revisao-da-resolucao-normativa-n-482-da-aneel-entenda/>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ALBUQUERQUE, L. D. **Sistema de conexão e supervisão de painéis solares em microgrid de corrente contínua**. Dissertação de mestrado. 90 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Rio Grande do Norte. Natal, 2017.

ASSESSORIA DE IMPRENSA DA ANEEL. **Aneel recebe propostas de projetos de minigeração em instituições públicas de ensino superior**. Brasília, novembro de 2016.

Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/15301474 Acesso em: 04 de jul. 2021.

BARROSO, Mário Rubens Figueiredo et al. **Contas econômicas ambientais da energia no Brasil e a energia solar fotovoltaica**. 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30104/1/CONTAS%20ECON%20c3%94MICAS%20AMBIENTAIS%20DA%20ENERGIA%20NO%20BRASIL%20E%20A%20ENERGIA%20SOLAR%20FOTOVOLTAICA%20rev%20mrfb%20c%20dmd.pdf> . Acesso em: 22 maio. 2021.

BARBOSA, Sandra Alexandrina Moreira. **Eficiência energética e energias renováveis em edifícios**. 2013. Tese de Doutorado.

BERNARDINO, Nivam Alves et al. PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE PARA UM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2020. Disponível em:

file:///C:/Users/Core%20i5/Downloads/1024-Texto%20do%20artigo-1024-1-10-20201126.pdf. Acesso em: 23 jun. 2021

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Empresa de Pesquisa Energética - EPE (org.). **PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA**. 2020. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em 29 Abr. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Empresa de Pesquisa Energética - EPE (org.). **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. 2020. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em 28 maio. 2021.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. **Faculdade de ciências da Universidade de Lisboa**, 2006. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>. Acesso em: 22 de maio. 2021.

CABRAL, Isabelle; VIEIRA, Rafael. Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente. In: **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2012. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-003.pdf>. Acesso em: 22 de maio. 2021.

DE OLIVEIRA JUNIOR, Severino Pedro. **ANÁLISE DO IMPACTO NA CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM CONSUMIDOR RESIDENCIAL PROVOCADO PELA MIGRAÇÃO TARIFÁRIA E PELO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022446.pdf>. Acesso em 13 ago. 2021

JESUS, Marizelia Sales de. **Uso da energia solar: o caso do projeto de minigeração fotovoltaica em uma IFES**. 2018.

LUCCHESI, Felipe Cirolini et al. **Análise Do Impacto Da Geração Distribuída Fotovoltaica Na Red Elétrica Da Universidade Federal De Santa Maria**. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado. 2018.

MACIEL FILHO, Plinio Nogueira. Unilab: **implantação de uso de energia renováveis como estratégia sustentável**. 2017. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Redenção-Ceará, 2017. Disponível em: < <http://www.repositorio.unilab.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/746> > Acesso em: 13 de maio 2021

MARQUES, Rubéria Caminha; KRAUTER, Stefan CW; DE LIMA, Lutero C. **Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro**. Revista Tecnologia, v. 30, n. 2, 2009. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/1049/4494>. Acesso em: 22 de maio. 2021.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: Situação e perspectivas. Câmara dos deputados do Brasil**. Brasília, 2017. (Estudo Técnico). Disponível: <https://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/32259>. Acesso em: 31 maio. 2021.

SECOM. Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. **Obras das residências universitárias da Unilab foram retomadas**. Redenção-CE, 2018. Disponível em: <https://unilab.edu.br/2018/04/18/obras-das-residencias-universitarias-da-unilab-sao-retomadas/>. Acesso em 31 Jul. 2021

PATRI-SON, Febrianos. **Estimativa de produção energética do sistema solar fotovoltaico do Campus das Auroras da Unilab e sua contribuição na redução do consumo de energia elétrica.** Acarape, 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, v. 1, p. 47-499, 2014.
http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf.
Acesso em: 22 de maio. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Empresa de Pesquisa Energética – EPE (org.). **EXPANSÃO DA GERAÇÃO: PROJETO FOTOVOLTAICAOS NOS LEILÕES DE ENERGIA.** 2020. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-457/NT%20EPE-DEE-003-2020-r0.pdf>>
> Acesso em 29 Abr. 2021.

PONTES, Wyara Maria Carlos Souza. **Implantação de Estação Solarimétrica e de Sistema Supervisório com Scadabr e Plataforma IoT em usina fotovoltaica na UNILAB-CE.** 2021. Disponível em: < <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58064> > Acesso em: 13 de maio 2021.

PORTAL SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico com back-up de baterias.**São Paulo, 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico-com-back-up-de-baterias.html>. Acesso em: 29 jun. 2021.

SBARDELOTTO, Luiza. **Proposta de indicadores de eficiência energética para um campus universitário.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VIRIDIAN. **Energia solar fotovoltaica.** 2015. Disponível em: <http://viridian.com.br/>. Acesso em: 22 jun. 2021