



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB (CAMPUS I)
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - DESA
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ESA**

THALISSON SELTON COSTA SILVA

**ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO ASSOCIADO À AUTOMAÇÃO EM UMA EDIFICAÇÃO DE
ENSINO SUPERIOR NO NORDESTE.**

**CAMPINA GRANDE
2022**

THALISSON SELTON COSTA SILVA

ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ASSOCIADO À AUTOMAÇÃO EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO NORDESTE.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de pesquisa: Energias Renováveis.

Orientador(a): Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos

Coorientador(a): Prof. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

**CAMPINA GRANDE
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586a Silva, Thalisson Selton Costa.

Análise ambiental e econômica da aplicação de um sistema fotovoltaico associado à automação em uma edificação de ensino superior no Nordeste [manuscrito] / Thalisson Selton Costa Silva. - 2022.

66 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Automação. 2. Energia solar fotovoltaica. 3. Impacto ambiental. I. Título

21. ed. CDD 333.792

THALISSON SELTON COSTA SILVA

ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE UM SISTEMA FOTVOLTAICO ASSOCIADO À AUTOMAÇÃO EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO NORDESTE.

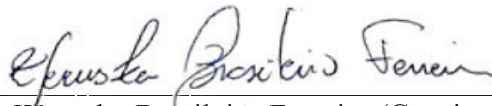
Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovada em: 15/07/2022

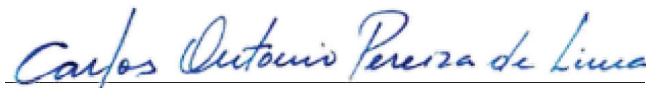
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira (Coorientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Adriano Magno Rodrigues da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a Deus, o maior orientador da minha vida. Ele nunca me abandonou nos momentos de necessidade. Também a minha vó Ivete de Melo Silva, por todo apoio que me foi dedicado durante essa jornada chamada vida.

Aproveito este espaço, ainda, para agradecer ao meu pai José Itamar de Melo Silva, que apesar das dificuldades, se esforçou para que eu pudesse trilhar meus caminhos. Ao lado dele, meus familiares, com todo acolhimento e apoio nessa trajetória.

Agradeço a minha namorada, Ana Beatriz, que com toda paciência e dedicação me deu apoio essencial para execução deste trabalho e para todas as dificuldades. E ao meu irmão, Thierry, que me proporciona os melhores momentos da minha vida.

Agradeço aos meus professores e orientadores Dra. Weruska Brasileiro e Dr. Whelton Brito, por todas o acolhimento, contribuições e ensinamentos. Estendo meu carinho a todos do DESA-UEPB, que apesar dos contatos pontuais, sempre estavam atentos para meu aprendizado.

Por fim, agradeço aos meus amigos, os que ganhei na graduação e os que tenho ao longo da vida, que tornaram mais feliz toda esta trajetória.

“O trabalho duro vence o talento, sempre que o talento não trabalha duro.”

(Kevin Durant)

RESUMO

A crescente demanda por energia desde a revolução industrial levantam preocupações sobre o atendimento da demanda global de energia. Além disso, a utilização de fontes não renováveis resultou no cenário de riscos dos recursos naturais e impactos ambientais. Devido às responsabilidades ambientais geradas, com parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa, surgiu a necessidade de substituir estas matrizes energéticas e reduzir o consumo de energia, dando lugar à utilização de energias renováveis e a automação. Este estudo tem como objetivo dimensionar e avaliar a viabilidade econômica e ambiental da instalação de um sistema fotovoltaico e um sistema de automação em uma instituição de ensino superior localizado no Nordeste. De acordo com as informações de consumo de energia do edifício, bem como os dados de irradiação solar, fornecidos pelo programa *SunData* da CRESESB, foi possível projetar um sistema fotovoltaico para fornecimento de energia. Já em relação a automação, o projeto considerou todos os componentes ligados aos circuitos elétricos. Com base na robustez dos sistemas e a capacidade de geração de energia, foi calculado o valor das emissões de gases de efeito estufa evitadas durante a operação dos sistemas. Os resultados demonstram, do ponto de vista econômico, que o prazo de amortização é de aproximadamente 4 anos. E do ponto de vista ambiental, se os sistemas forem implementados de forma eficaz, as emissões de gases de efeito estufa através da gestão energética, serão reduzidas em pelo menos 35.430 kg de CO₂ por ano.

Palavras-chave: Automação; Energia solar fotovoltaica; Impacto ambiental.

ABSTRACT

The increasing demand for energy since the industrial revolution raises worries about the service of global energy demand. In addition, using non-renewable sources resulted in a scenario of risks to natural resources and environmental impacts. Due to the environmental responsibilities generated, with a significant portion of greenhouse gas emissions, the need arose to replace these energy matrices and reduce energy consumption, giving space to using renewable energies and automation. This study aims to dimension and evaluates the economic and environmental feasibility of installing a photovoltaic system and an automation system in a higher education institution located in the Northeast. According to the building's energy consumption information, as well as the solar irradiation data provided by CRESEB's SunData program, it was possible to design a photovoltaic system for energy supply. Regarding automation, the project considered all components connected to electrical circuits. Based on the robustness of the systems and the power generation capacity, was calculated the value of the greenhouse gas emissions avoided during the system's operation. The results demonstrate, from an economic point of view, that the amortization period is approximately four years. And from an environmental point of view, if the systems are implemented effectively, greenhouse gas emissions through energy management will be reduced by at least 35,430 kg of CO₂ per year.

Keywords: Automation; Photovoltaic Solar Energy; Environmental Impact.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz energética brasileira.....	15
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira	16
Figura 3 – Estrutura das tarifas de energia	18
Figura 4 – Enquadramento da estrutura tarifária horo-sazonal azul.....	19
Figura 5 – Enquadramento da estrutura tarifária horo-sazonal verde	20
Figura 6 – Componentes de um sistema fotovoltaico do tipo Grid-tie	21
Figura 7 – Atlas Solarimétrico da Paraíba.....	22
Figura 8 – Trajeto diário do sol	23
Figura 9 – Módulos monocristalino e policristalino.....	24
Figura 10 – Centro de integração acadêmica (CIAc), UEPB, Campus I. Fachada Sul	28
Figura 11 – Vista aérea do Campus I da UEPB	30
Figura 12 – Tabela de tarifas de aplicação e base econômica para o grupo A (EPB).....	31
Figura 13 – Gráfico da irradiação solar no plano horizontal.....	32
Figura 14 – Dados de irradiação solar incidente na cidade de Campina Grande-PB.....	33
Figura 15 – Módulo fotovoltaico HIKU CS3W-420P	34
Figura 16 – Inversor MAC 60KTL3-X LV	38
Figura 17 – Diagrama de conexão Arduino Mega2560 e Relé	42
Figura 18 – Pinagem do microcontrolador NodeMCU-ESP8266.....	43
Figura 19 – Diagrama de conexão Mestre-Escravo entre NodeMCU-ESP8266	43
Figura 20 – Diagrama de conexão do NodeMCU-ESP8266 com Módulo Relé.....	44
Figura 21 – Contatores Modulares STECK.....	45
Figura 22 – Sensor de presença/movimento PIR 220V.....	45
Figura 23 – Plataforma Sinric Pro WEB	47
Figura 24 – Aplicativo Amazon com Skill Sinric Pro em smartphone	47
Figura 25 – Gráfico do fator anual médio da emissão de CO ₂ do SIN em tCO ₂ /MWh	48
Figura 26 – Gráfico da demanda utilizada x demanda contratada Fora Ponta, em kW	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos circuitos dos pavimentos da CIAc – UEPB	29
Tabela 2 – Especificações técnicas do módulo HIKU CS3W-420P	34
Tabela 3 – Especificações técnicas do Inversor MAC 60KTL3-X LV	39
Tabela 4 - Descrição da quantidade de equipamentos elétricos em cada pavimento	41
Tabela 5 – Dimensionamento da quantidade de portas Arduino para o projeto.....	42
Tabela 6 – Tabela com especificações técnicas corrigidas do módulo HIKU CS3W-420P. ..	54
Tabela 7 – Dimensionamento da quantidade de contatores	57
Tabela 8 – Orçamento conforme pesquisa comercial realizada no mercado solar.....	58
Tabela 9 – Orçamento conforme pesquisa comercial realizada no mercado da automação ...	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CIAC – Central de Integração Acadêmica Paulo Freire

CRESESB – Centro de Referências para Energia Solar e Eólica de Salvo Brito

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GEE – Gases De Efeito Estufa

GWh – Gigawatt hora

IoT – Internet of Things

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MPPT – *Maximum Power Point Tracking* (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência)

PNE – Plano Nacional de Energia

TE – Tarifa de Energia

TUE – Tomada de Uso Específico

TUG – Tomada de Uso Geral

TUSD – Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa do estudo	13
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Objetivo geral.....	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	A matriz energética brasileira	14
2.1.1	Contexto histórico-ambiental do cenário energético	14
2.1.2	Cenário elétrico brasileiro.....	15
2.2	Regulamentação do setor energético	17
2.2.1	Componentes tarifários do Brasil	17
2.2.2	Estrutura tarifária	18
2.2.3	A composição dos valores tarifários	18
2.2.3.1	A tarifa Horo-sazonal	19
2.2.4	Sistema de compensação de energia elétrica.....	20
2.3	Sistemas fotovoltaicos	21
2.3.1	Irradiação solar	22
2.3.1.1	Orientação e inclinação	23
2.3.2	Componentes fotovoltaicos.....	23
2.3.2.1	Módulo fotovoltaico	23
2.3.2.2	Inversor de frequência	24
2.4	Automação predial.....	25
2.4.1	Microcontroladores	25
2.4.1.1	Arduino Mega 2560.....	25
2.4.1.2	NodeMCU – ESP8266.....	25
2.4.2	Protocolo I2C.....	26
2.5	Impactos ambientais	27
3	METODOLOGIA	28
3.1	Objeto de estudo da pesquisa.....	28
3.2	Levantamento de dados	30
3.2.1	Consumo de energia elétrica.....	30
3.2.2	Irradiação Solar	32
3.3	Dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	32
3.3.1	Inclinação dos módulos fotovoltaicos.....	32
3.3.2	Potência do sistema fotovoltaico	33
3.3.3	Os módulos fotovoltaicos.....	34
3.3.4	O Inversor de frequência Grid-Tie (On-Grid).....	37
3.4	Automação predial.....	40
3.4.1	Infraestrutura	40
3.4.2	Controladores ou microcontroladores.....	41
3.4.2.1	Arduino Mega 2560 R3	41
3.4.2.2	NodeMCU - ESP8266	42
3.4.3	Módulo Relé.....	43
3.4.4	Contatores modulares.....	44

3.4.5	<i>Sensor de presença PIR</i>	45
3.5	Programação	46
3.5.1	<i>Linguagem</i>	46
3.5.2	<i>Sinric Pro e Amazon (Alexa)</i>	47
3.6	Avaliação ambiental.....	48
3.7	Avaliação econômica.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Levantamento de dados.....	51
4.1.1	<i>Análise da demanda</i>	51
4.1.2	<i>Consumo mensal</i>	52
4.1.3	<i>Irradiação solar</i>	53
4.2	Dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	53
4.2.1	<i>Potência do sistema fotovoltaico</i>	53
4.2.2	<i>Os módulos fotovoltaicos</i>	54
4.2.3	<i>O inversor de frequência Grid-Tie (On-Grid)</i>	54
4.3	Dimensionamento da automação.....	56
4.3.1	<i>Microcontroladores</i>	56
4.3.2	<i>Módulos Relé</i>	56
4.3.3	<i>Contatores modulares</i>	56
4.4	Avaliação ambiental.....	57
4.5	Avaliação econômica.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
6	REFERÊNCIAS	60
7	APÊNDICES	64
7.1	APÊNDICE A - Tabela de dimensionamento fotovoltaico	64
7.2	APÊNDICE B - Tabela de fluxo de caixa	65

1 INTRODUÇÃO

O êxodo rural corresponde ao movimento de migração de uma população rural para a cidade. A sua ocorrência pode causar uma série de problemas relacionados com a ordem estrutural e social dos centros urbanos, como o aumento de aglomerados subnormais e a expansão dos impactos socioambientais. Segundo o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, estima-se que até o ano de 2050, aproximadamente 70% da população mundial viverá em áreas urbanas. No Brasil, esse processo ocorreu precocemente, pois atualmente existem mais de 85% dos brasileiros morando nas cidades (BRANDÃO, 2018).

Esta ampliação demográfica estimulou a aplicabilidade da eletricidade, promovendo a instalação de hidrelétricas no Sistema Energético Nacional. Porém, na atual conjuntura, com o aumento de estiagens e a queda do nível dos reservatórios, foi impulsionado o emprego das termelétricas para suprir a proporção populacional. (OLIVEIRA, 2017). Sendo assim, a utilização dessas fontes convencionais para o abastecimento da demanda de energia oferece impactos ambientais, por meio de alterações climáticas e o desequilíbrio dos ecossistemas. Diante disso, o desenvolvimento sustentável é requerido no atual cenário energético, para que haja redução nos impactos ambientais e no risco global de suprimentos. Portanto, uma das formas no qual o Brasil possui grande potencial é a geração fotovoltaica. Pois, o país possui clima tropical e recebe luz solar a maior parte do ano, principalmente na região nordeste (DANTAS, 2018).

A produção de energia limpa e de forma distribuída dos sistemas fotovoltaicos, garante benefícios quando comparados à geração convencional, visto que, o sistema é altamente produtivo e por estar situada próxima à carga, suas perdas são mínimas. Já a geração elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo. A perda de potência do sistema entre a geração, transmissão e distribuição de energia é em média 16%, incluindo as perdas não técnicas. (NASCIMENTO, 2013).

Portanto, neste cenário e na preocupação com os danos causados ao meio ambiente, um dos determinantes da migração para os centros urbanos e aumento desmedido do consumo de energia são as instituições de Ensino Superior. Dessa maneira, faz-se necessário o planejamento e solução dos problemas inerentes à gestão de energia, com o uso racional desse recurso, reduzindo os custos e desperdícios. Porque, além de ter um papel fundamental na formação técnica da sociedade, deve-se também considerar a instrução de cidadãos conscientes e responsáveis pelas questões socioeconômico-ambientais.

Nestas perspectivas, para evitar o desperdício surge o conceito de cidade inteligente, como uma nova dimensão da gestão para atender os desafios socioambientais. Ela aplica recursos digitais para implementar sistemas de informação que melhoram a disponibilidade e a qualidade da infraestrutura e dos serviços públicos, aumentando sua capacidade de crescimento e estimulando a inovação e o desenvolvimento sustentável (WEISS; BERNARDES; CONSONI, 2015).

Um destes recursos é a automação predial, um conjunto de tecnologias que permite que determinadas funções prediais sejam executadas de forma automática e otimizada. Ela fornece aos usuários um sistema integrado e permite que seja gerenciado e monitorado. A domótica concorda França e Andrade (2019), é um método buscado para atender às necessidades de eficiência e racionamento de energia desde o ano 2000. Por meio da automação, o controle das cargas elétricas pode ser alocado de acordo com o plano de utilização, reduzindo drasticamente o consumo de energia.

Essas ponderações levantam à questão de pesquisa que norteia o desenvolvimento desta monografia: Como economicamente e ambientalmente comporta-se a aplicação de um sistema inteligente associado ao complexo fotovoltaico em uma instituição de ensino superior localizada no Nordeste?

1.1 Justificativa do estudo

O aumento constante do valor das contas de energia elétrica está relacionado tanto a fatores climáticos quanto à economia. Além disso, a preocupação com os impactos e a conservação ambiental, retrata a necessidade de ferramentas para eficiência energética e métodos de produção de energia limpa. Desse modo, esta monografia responde a este cenário oferecendo uma alternativa de produção de energia renovável e gestão de energia elétrica, por meio da automação. Portanto, o objetivo do estudo é mostrar a viabilidade econômica e ambiental através de um projeto de automação associado a um complexo fotovoltaico para uma instituição de ensino superior no Nordeste.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho dispõe o estudo da viabilidade econômica e ambiental da implantação de um sistema fotovoltaico e um sistema de automatização predial. Que tenha como objetivo o gerenciamento energético eficaz para o desenvolvimento das atividades na Central de Integração Acadêmica Paulo Freire (CIAc) da UEPB.

1.2.2 Objetivos específicos

- i. Dimensionar uma usina fotovoltaica para atender a demanda requerida que permita real implantação;
- ii. Dimensionar um sistema de automação para controlar as cargas disponíveis na edificação;
- iii. Mostrar a viabilidade econômica e os efeitos ambientais do sistema fotovoltaico e automatização em estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A matriz energética brasileira

2.1.1 Contexto histórico-ambiental do cenário energético

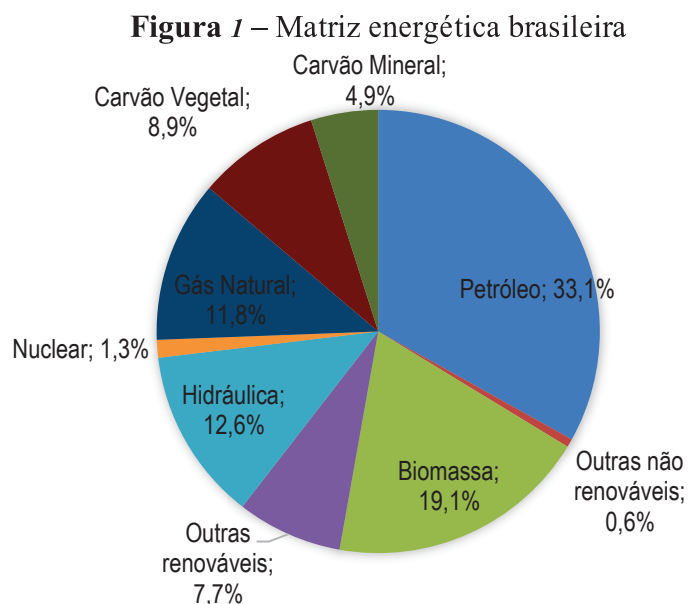
O consumo de energia é diretamente proporcional ao desenvolvimento econômico de qualquer sociedade. Nesse contexto, a Revolução Industrial foi reflexo da evolução socioeconômica, resultando em uma crescente demanda por energia. Esse motivo deu-se pela rápida industrialização e a notável urbanização. Nesse caso, o plano de expansão da oferta de energia teve que considerar iniciativas que promovam o uso mais eficiente dos recursos. Um fator decisivo nessa dinâmica foi a substituição de fontes de energia menos eficientes por outras mais eficientes (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007, p. 52).

Em 1970 a principal fonte de energia nacional era a lenha, representando 48% das necessidades dos brasileiros. O petróleo atendeu por 36% da demanda no mesmo ano. Assim, com a crise energética, na década de 1970, o governo brasileiro aumentou os investimentos na diversificação da sua matriz. No qual, como solução, o Brasil investiu em hidroeletricidade, biomassa e tecnologias de extração de petróleo para autossuficiência (BRONZATTI; NETO, 2008).

Então, as consequências do desenvolvimento urbano intensificaram a preocupação mundial com as mudanças climáticas. Pois, como resultado, evidências de danos ambientais

causados pelo uso de combustíveis fósseis revelaram um aumento significativo do aquecimento global ligado ao uso desses provimentos. Nesse contexto, durante a ECO-92, a 2ª Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, foi elaborado uma lista de compromissos baseados em metas. Este documento, denominado “Agenda 21”, definiu ações e investimentos sustentáveis em energia e infraestrutura. Estas medidas foram tomadas de forma a reduzir todas as emissões absolutas de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Já no atual contexto energético, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), caracterizado de uma forma universal, as fontes de energias fósseis como petróleo, carvão e gás natural ainda dominam a matriz energética mundial. E embora a matriz energética brasileira conste grande influência de fontes renováveis, o consumo de energia de fontes não renováveis ainda totaliza 51,6% de toda matriz, como evidenciado na Figura 1 (EPE, 2020).

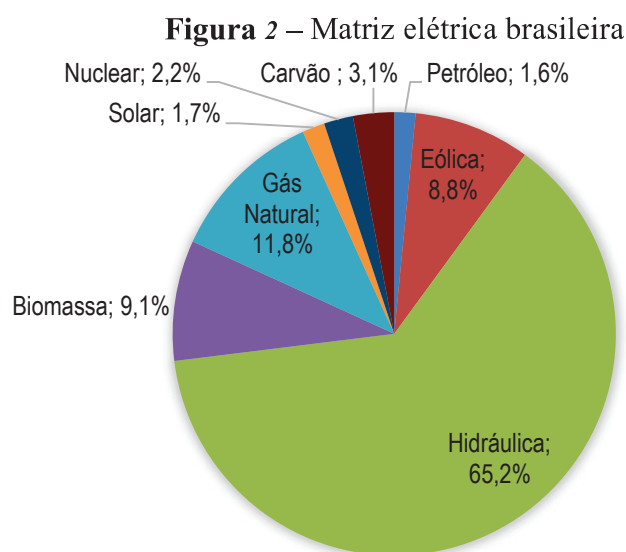


Fonte: Adaptado de EPE, 2020.

O consumo dessa energia não renovável provém grande parte do setor industrial, o setor de transporte e o setor elétrico. Porém, a composição da matriz elétrica brasileira ressalta quando comparada a mundial. Pois, a maior parte da geração elétrica nacional provém de usinas hidrelétricas, que é uma fonte de energia renovável e com baixas emissões de GEE. Entretanto, em períodos de baixa precipitação, o acionamento das termelétricas movidas à combustão fóssil torna-se um recurso usual para não escassear energia elétrica.

2.1.2 Cenário elétrico brasileiro

O volume anual de consumo de energia elétrica no Brasil é de aproximadamente 476 GWh (Gigawatt hora), com crescimento anual médio de 4,1%. Com essa expansão de demanda, a segurança energética torna-se uma das questões mais iminentes para o desenvolvimento do país. Porém, apesar do cenário complexo, o setor de energia nacional está apresentando resultados expressivos no cenário global quando se trata de energia renovável (EPE, 2020). Pois, a maior parte da eletricidade produzida no país é decorrente de fontes renováveis, conforme apresenta a Figura 2.



Fonte: Adaptado de EPE, 2020.

Estas projeções são encontradas nos relatórios do Plano Nacional de Energia (PNE), em que são avaliados os dados para a formulação de políticas energéticas com o objetivo de maximizar a utilização dos recursos disponíveis em longo prazo (EPE, 2020).

Sendo assim, no relatório final do PNE 2030, no ano de 2019, destacou-se o desempenho da geração distribuída. Em que foi visto um acréscimo de 137% no panorama nacional. Esse fato indica a trajetória contínua de crescimento do setor renovável, principalmente, a energia solar fotovoltaica que representou 90,4% desse dado (EPE, 2020).

Nestas mesmas perspectivas, a matriz energética nacional, sustentada no PNE 2050 (2020), presume um aumento de 3,3 vezes na oferta de energia elétrica nos próximos 30 anos. Considerando este cenário, devem ser implementadas medidas de eficiência energética como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a expansão de sistemas inteligentes, a redução de desperdícios e a redução do consumo de energia.

Portanto, esse plano é fundamental para criar políticas sustentáveis para o uso de energia. Consequentemente, conduzindo o país por meio de práticas que aproveitem ao máximo as fontes convencionais e invista em outras tendências como tecnologias de energias renováveis e automação.

2.2 Regulamentação do setor energético

A regulamentação e fiscalização, de todo o setor elétrico, é atribuída a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que foi instituída, pela Lei nº 9.427/96, para ser responsável pelo gerenciamento da produção, transporte, distribuição e comercialização da energia elétrica. Entre suas atribuições, pertence a função de estabelecer tarifas e mediar conflitos. (CARÇÃO, 2011).

2.2.1 Componentes tarifários do Brasil

A tarifa de eletricidade é determinada de acordo com dois componentes: Tarifa de Energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). A TE inclui os custos de compra de energia elétrica, que se compõe dos serviços de transmissão, encargos setoriais e tributos. Já a TUSD leva em consideração os custos de distribuição, encargos setoriais, remuneração do investimento e depreciação (FUGIMOTO, 2010).

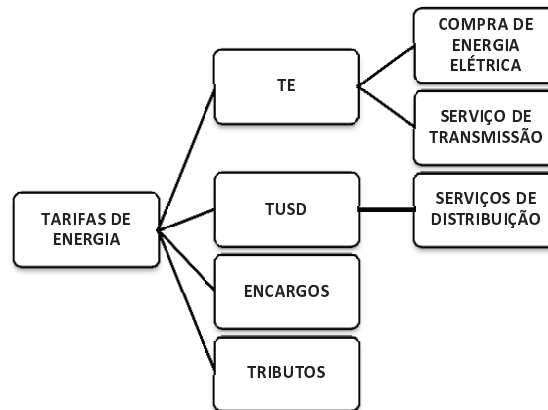
Então, o valor a ser cobrado pelo uso da energia depende do tipo de fornecimento em que o consumidor está inserido. Os usuários de energia elétrica podem ser segmentados de acordo com a finalidade de sua unidade consumidora, como: residência, indústria ou comércio. Ou, de acordo com o nível de tensão em que o serviço é realizado, como: alta tensão (acima de 69 kV), média tensão (de 1kV até 69kV) e baixa tensão (abaixo de 1 kV) (ANEEL, 2021).

Portanto, para os consumidores cativos atendidos em alta e média tensão, as cobranças são subdivididas em demanda de potência e consumo de energia. A demanda de potência corresponde à média das potências elétricas exigida pelo consumidor a empresa de distribuição. Já o consumo de energia é o valor acumulado resultante do uso da energia elétrica fornecida aos usuários durante o período mensal (CARÇÃO, 2011).

Com isso, o valor final é ajustado em cinco elementos de cobrança: serviços de distribuição da empresa concessionária, compra de energia elétrica, serviço de transmissão de

energia elétrica, encargos setoriais e tributos conforme prescrito por lei (PIS, COFINS e ICMS). Estes dados estão estruturados conforme a Figura 3.

Figura 3 – Estrutura das tarifas de energia



Fonte: Adaptada de LUCIANO, 2019.

2.2.2 Estrutura tarifária

A estrutura tarifária de fornecimento de energia pode ser projetada para incluir cada tipo de consumidor classificado por sua classe de tensão. Essas tarifas, no âmbito nacional, estão estruturadas em dois principais grupos de consumidores: “grupo A” e “grupo B”. Cada grupo possui uma estrutura tarifária diferente com base na demanda e consumo de energia especificados no Quadro 1.

Quadro 1 – Subclasses dos grupos tarifários

GRUPO A	GRUPO B
A1 - Industrial e comercial. Com tensão ≥ 230 kV.	B1 - Residencial e residencial de baixa renda. Com tensão $< 2,3$ kV.
A2 - Industrial e comercial. Com tensão entre 88 kV e 138 kV.	B2 - Classe rural, cooperativas de eletrificação rural e serviço público de irrigação. Com tensão $< 2,3$ kV.
A3 - Industrial e comercial. Com tensão = 69 kV	B3 - Outras classes (industrial, comercial, serviços, poder público, serviço público etc.). Com tensão $< 2,3$ kV.
A3a - Industrial e comercial. Com tensão entre 30 kV a 44 kV.	B4 - Iluminação pública. Com tensão $< 2,3$ kV.
A4 - Industrial e comercial. Com tensão entre 2,3 kV a 25 kV.	
AS - Industrial e comercial com sistema subterrâneo. Com tensão $< 2,3$ kV	

Fonte: ANEEL, 2021.

2.2.3 A composição dos valores tarifários

O valor da tarifa representa a soma de todos os componentes do processo de fornecimento de energia elétrica.

A composição tarifária do “grupo B” é estabelecida na modalidade convencional e tarifa branca. Neste caso, no enquadramento convencional, os consumidores pagam apenas pelo consumo de energia elétrica em R\$/kWh. Na tarifa branca o modelo de precificação pela energia muda em determinados momentos. Nos dias úteis, são cobradas três tarifas diferentes, conhecidas como horário de ponta, horário intermediário e horário fora ponta. Além disso, os consumidores desse grupo pagam os custos de disponibilidade, isto é, um valor específico de consumo mínimo de energia que depende da instalação obtida, sendo: monofásica, bifásica ou trifásica (ANEEL, 2021).

Já a opção de tarifação do “grupo A” baseia-se em dois tipos de fornecimentos: tarifa horo-sazonal azul e tarifa horo-sazonal verde. Assim, os consumidores deste grupo não pagam custos de disponibilidade, mas pagam pelo faturamento da demanda de potência. Portanto, a cobrança advém tanto pelo consumo de energia (kWh) quanto pela demanda contratada (kW). E, será cobrado o excedente da demanda contratual. (ANEEL, 2021).

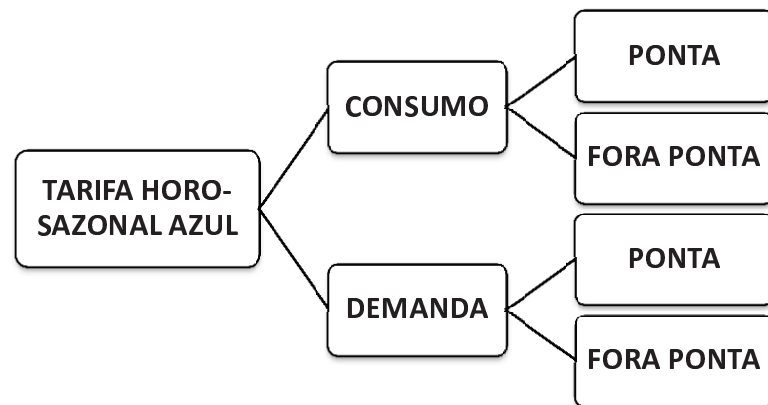
2.2.3.1 A tarifa Horo-sazonal

A estrutura tarifária horária sazonal é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e demanda de energia. Esta modalidade requer um contrato preestabelecido com a concessionária, em que é acordado o valor da demanda esperada pelo consumidor, sendo ela aplicável de acordo com os horários ou independente de horários. Esta modalidade é subdividida em duas categorias: horo-sazonal azul e horo-sazonal verde.

A organização horo-sazonal azul caracteriza-se pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo e demanda de energia elétrica por hora de uso do dia. Para as horas são estabelecidos dois períodos, conhecidos como ponta e fora ponta. Neste caso, as distribuidoras podem identificar os postos de cobrança de ponta e fora de ponta, em horários e dias úteis aprovados pela ANEEL. O horário de “ponta” corresponde a um período contínuo de três horas. Já o horário “fora ponta” tarifas incluem os outros horários do dia útil e às 24 horas dos sábados, domingos e feriados. Desta forma, as tarifas de horário de ponta são mais altas do que as tarifas fora ponta (ANEEL, 2021).

Como visto na Figura 4, essa estrutura é mais complexa, pois aborda tanto a demanda quanto os horários de cobrança.

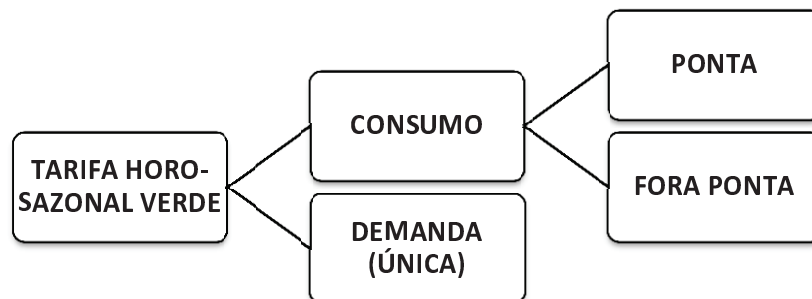
Figura 4 – Enquadramento da estrutura tarifária horo-sazonal azul



Fonte: PRÓPRIA, 2021.

Da mesma forma, a tarifa horo-sazonal verde, tem o mesmo método de provisionamento estruturado que aplica tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica por hora de uso. Mas o custo de demanda aplica-se em tarifa única, ou seja, dispõe o mesmo valor tanto para horários de ponta como fora ponta, isto pode ser visto na Figura 5 (ANEEL, 2021).

Figura 5 – Enquadramento da estrutura tarifária horo-sazonal verde



Fonte: PRÓPRIA, 2021.

2.2.4 Sistema de compensação de energia elétrica

Conforme aponta a Resolução Normativa ANEEL nº 687 (2015), as definições de sistemas de micro ou minigeração são abordadas em concordância de sua potência. Em que, microgeração é a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW. Já a minigeração é definida como a central geradora que possua potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada.

Portanto, o incentivo para o uso de fontes renováveis, os sistemas de micro e minigeração distribuída foram regidos pela nova Lei nº 14.300/22. Essa lei estabelece atualizações no acesso dos fornecedores aos sistemas de distribuição de energia elétrica, permitindo que os consumidores instalem geradores em suas unidades consumidoras e comercializem energia com a concessionária local. Portanto, em decorrência da energia extra injetada na rede pública, o valor excedente possibilita o suprimento de energia de diferentes unidades consumidoras dentro da mesma área de concessão ou deve ser consumida em um período de 60 meses. Nesse caso, isso acontecerá quando o sistema produzir mais energia do que consome. E, quando o consumo supera a geração, a energia é fornecida pela distribuidora. (ANEEL, 2022).

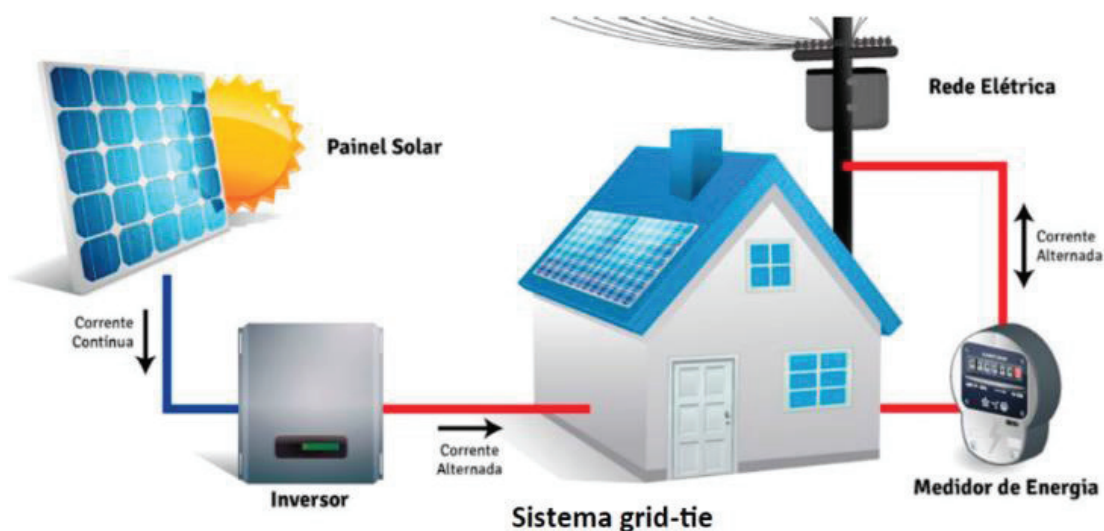
2.3 Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são eficazes para gerar energia elétrica através da excitação de elétrons pela radiação solar. Este fenômeno, conhecido como efeito fotovoltaico, efetua o avanço dos elétrons para a camada de condução, que sob condições favoráveis, estabelecem diferenças de potenciais formando a corrente elétrica. Esses sistemas podem ser dimensionados em duas configurações básicas: Sistemas isolados (*Off-grid*) ou Sistemas conectados à rede (*On-grid* ou *Grid-tie*) (JESUS, 2017).

Em sistemas *Off-grid*, o fornecimento de energia necessita da presença de um banco de baterias capaz de sustentar a carga de energia durante os períodos de insuficiência ou quando não há geração. Por ser isolado da rede elétrica, esse tipo de arranjo deve ser dimensionado para fornecer energia suficiente sem o uso da energia da concessionária.

Em contrapartida, em sistemas *Grid-tie*, permite a simultaneidade da utilização da rede convencional e da rede fotovoltaica. A geração de energia elétrica fotovoltaica é produzida na forma de corrente contínua e o padrão da rede é fornecido em corrente alternada. Portanto, para homologação desses sistemas fotovoltaicos vinculados a instalações públicas, é necessário estar em conformidade com o padrão da rede. Então, a instalação de um inversor que converta corrente contínua em corrente alternada é obrigatória, exposto na Figura 6.

Figura 6 – Componentes de um sistema fotovoltaico do tipo Grid-tie



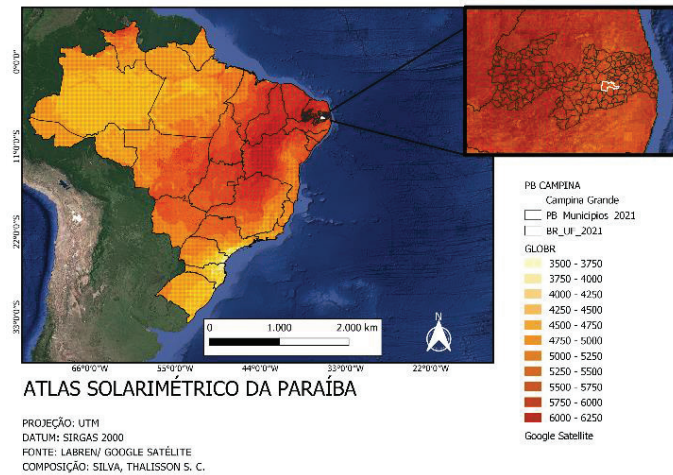
Fonte: DANTAS, 2018.

2.3.1 Irradiação solar

A irradiação solar é a quantificação de energia das ondas eletromagnéticas vinda do sol. O fornecimento anual de energia solar a atmosfera terrestre, conforme aponta Dantas (2018), é de $1,5 \times 10^{18}$ kWh.

Consequentemente, entre as vantagens da geografia do Brasil estão sua expansão e localização, permitindo os melhores índices potenciais do mundo. Oliveira (2017) afirma que: “O Brasil possui um potencial solar de 24.993.114.080 MWh/ano, sendo o quinto na posição dos países com melhor potencial solar”. Portanto, com foco na Paraíba, principalmente na cidade de Campina Grande, a área de estudo apresenta-se como uma das regiões com maior irradiância solar global diária do Brasil. Assim, seus fatores climáticos são amplamente propícios à exploração do potencial energético da região. Consequentemente, a cidade de Campina Grande localizada na região da Borborema, destaca-se a nível nacional para montagem dos sistemas solares, como mostrado na Figura 7.

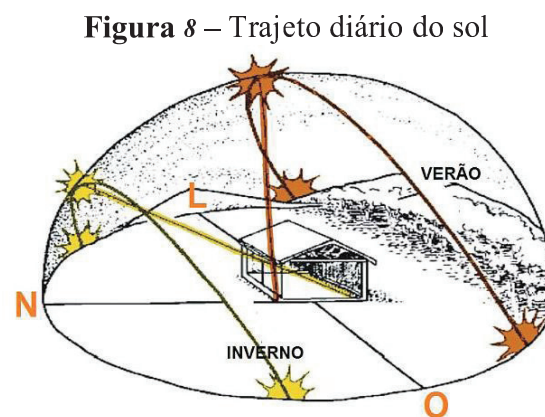
Figura 7 – Atlas Solarimétrico da Paraíba



Fonte: PRÓPRIA, 2022.

2.3.1.1 Orientação e inclinação

Um dos fatores mais importante para captação da radiação solar pelos módulos fotovoltaicos são a orientação e inclinação dos módulos. Pois, existem ângulos e posições com determinação de maior intensidade de irradiação solar, assim aumentando a eficiência da captação. No Brasil, a melhor orientação para painéis solares fotovoltaicos é o norte. Isso considerando que, no hemisfério sul, o sol nasce do Leste, ascende voltado ao Norte e se põe no Oeste, conforme mostrado na Figura 8.



Fonte: PORTAL SOLAR, 2014.

2.3.2 Componentes fotovoltaicos

2.3.2.1 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é o elemento responsável pela captação e conversão da radiação solar em eletricidade. No qual, consiste um conjunto de células de silício, que sob interação da luz, resulta na conversão da energia solar em energia elétrica de corrente contínua. Regularmente, as tecnologias de módulos mais utilizados são de células de silício monocristalino ou policristalino (Figura 9) (LIMA, 2017).

Então, para atender os requisitos da energia a ser consumida, os painéis fotovoltaicos são agrupados em arranjos, sendo ligados em série e em paralelo. Uma ligação em série provoca uma somatória das tensões de cada painel, mantendo a corrente constante em todos eles. Já uma ligação em paralelo, as correntes são somadas, e as tensões mantidas (PINHEIRO, 2016).

Figura 9 – Módulos monocristalino e policristalino



Fonte: PORTAL SOLAR, 2014.

2.3.2.2 Inversor de frequência

Um inversor é um dispositivo eletrônico responsável por converter energia de corrente contínua (CC) de módulos fotovoltaicos em energia de corrente alternada (CA). Dependendo do tipo de sistema fotovoltaico, isolado ou conectado à rede, o inversor usado é especificado (NASCIMENTO, 2013).

O inversor *Off-Grid* é utilizado em sistemas autônomos, que por possuírem um banco de baterias, além da adequação de tensão e corrente, abrange a função de fornecer potência elétrica e gerar sinal de corrente alternada aos componentes elétricos (PINHEIRO, 2016). Assim, dependendo apenas do banco de baterias para disponibilizar energia.

Por outro lado, o inversor *Grid-tie* é um inversor inteligente, que serve para adequar as características da energia gerada pelos módulos às características da rede elétrica convencional. Podem ser conectados diretamente à rede de distribuição, pois possuem um alto

grau de sofisticação para o controle sobre a tensão, fase e frequência. Por meio do controle de corrente e tensão, o sistema deste componente, ou MPPT, pode fazer ajustes para manter os módulos fotovoltaicos operando próximo ao seu ponto de potência máxima, que varia com a radiação solar incidente (PINHEIRO, 2016).

2.4 Automação predial

A automação pode ser definida como um conjunto de tecnologias que ajudam a gerenciar e realizar tarefas automáticas. Para Ribeiro (2018), a domótica é:

Uma ciência moderna em engenharia para edifícios inteligentes, e é uma tecnologia que engloba quatro fatores fundamentais: eficiência energética, segurança, comunicação e conforto. É a automação e o controle aplicados ao uso de equipamentos que dispõem de capacidade para se comunicar interativamente entre eles e com capacidade de seguir as instruções de um programa previamente estabelecido pelo usuário, com possibilidade de alterações conforme interesses.

2.4.1 Microcontroladores

Um microcontrolador é um pequeno componente eletrônico com inteligência programável, utilizado para controlar processos lógicos. Seu sistema computacional é composto por uma CPU (unidade central de processamento) e uma memória de dados, onde toda a lógica é formulada. Ademais, estão incluídas portas lógicas I/O (Entradas/Saídas), os conversores A/D (Analogico/Digital) e outras particularidades. Assim, quando o componente é energizado, o que foi compilado em sua memória, poderá ser executado. Desta forma, um microcontrolador é visto como um computador dentro de uma única placa que permite o desenvolvimento de projetos eletrônicos (D'ANGELO, 2014).

2.4.1.1 Arduino Mega 2560

O Arduino Mega 2560 é composto por um microcontrolador ATmega, 54 portas digitais e 16 portas analógicas. Além disso, uma interface serial ou USB, que é utilizada para programação e comunicação em tempo real. (KAI; SILVA, 2020). Esta programação é feita utilizando o IDE do Arduino, no qual o usuário escreve o código na linguagem que o microcontrolador compreende, baseada na linguagem C/C++ (COSTA, 2017).

2.4.1.2 NodeMCU – ESP8266

A unidade NodeMCU consiste em uma plataforma on-board da série ESP8266, vinculado a outro módulo microprocessador para comunicação de dados. Este componente é desenvolvido para os modelos IoT (*Internet of Things*), possuindo um chip de processamento de 32 bits com WiFi integrado na placa. Este módulo se conecta ao computador através de um conversor USB-Serial e pode ser programado com uma linguagem LUA ou através da IDE do Arduino. (MORAIS et al., 2020). A placa é fabricada pela empresa *Espressif Systems*, e possui as seguintes informações recolhidas no datasheets do fabricante:

Quadro 2 – Especificações técnicas do microcontrolador NodeMCU-ESP8266

DESCRIÇÃO	NODEMCU-ESP8266
ALIMENTAÇÃO	2,2 – 3,3 V
ENTRADA REGULADA (VIN)	5 – 9 V
CORRENTE DE CONSUMO	80 mA
TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	-40°C ~ +85°C
PROCESSADOR	Tensilica® L106 ultra-low power 32-bit
FREQUENCIA DE OPERAÇÃO	80 – 160 MHz
PINOS I/O	13 pinos com 9 PWM
CONVERSORES A/D	1 A/DC (com 10-bit de resolução 1024 bits)
WiFi	2.4GHz com suporte a WPA e WPA2, 802.11 b/g/n
RAM	36 kB
FLASH	4 MB

Fonte: ESPRESSIF SYSTEMS, 2019.

2.4.2 Protocolo I2C

O I2C ou comunicação half-duplex possui duas linhas, sendo elas, uma para dados (SDA) e outra para clock (SCL). Ou seja, pode transmitir e receber informações, mas não simultaneamente, apenas um sentido por vez. (NASCIMENTO; NETO; SILVA, 2021). Observando as referências de pinos para este tipo de conexão no NodeMCU, foram expostas as portas D2 (SDA) e D1 (SCL) para conexão. E para o Arduino, são definidas as portas 20 (SDA) e 21 (SCL).

A operação básica da comunicação se consiste na transferência dos dados entre os dispositivos a partir de comandos de uma placa *Master* (Mestre), em que serão compilados comandos de decisão para as demais placas chamadas de *Slaves* (Escravos). Nesse modo, apenas um master pode existir e cada slave terá um endereço, não podendo repetir esse endereço no mesmo barramento (NASCIMENTO; NETO; SILVA, 2021).

2.5 Impactos ambientais

As consequências das modificações ambientais gerados pela produção de energia estão presentes em todas as fontes energéticas. Além disto, estas atividades aumentam a concentração de GEE, favorecendo o aquecimento global. São considerados GEE: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), e as famílias dos perfluorcarbonos (PFCs) e dos hidrofluorcarbonos (HFCs) (SILVA, 2007).

Então, para que haja a instalação dos geradores em um meio ambiente, é necessário obter conhecimento suficiente tanto da ação do impacto quanto do meio pelo qual ele será recebido. Isso envolve coletar dados complexos, realizar análises e saber interpretar os resultados. Dada a grande variedade das fontes de energia e tecnologias de conversão, ao comparar os efeitos ambientais relativos a cada uma delas, algumas questões são levantadas para melhor solução na redução desses impactos.

Apesar de ser uma fonte de energia renovável, a energia hidrelétrica não está isenta de impactos ambientais e sociais. As inundações nos canteiros de obras de barragens causam muitos problemas principalmente devido à evacuação da população das áreas inundadas, problemas ecológicos e gestão ineficiente da vazão dos rios. Assim como, o uso em larga escala da biomassa leva a impactos da monocultura e perda da biodiversidade, competição por terras agrícolas e recursos hídricos, além de impactos negativos da colheita e queima. Já na energia eólica, destacam-se a alteração visual da paisagem pelas torres e turbinas, além do ruído e mortalidade de pássaros em algumas localidades (FIGUEIREDO, 2014).

Portanto, a energia solar tem suas vantagens sobre outras fontes, pois emite menos GEE. Entretanto, seu impacto é agravado pela baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, que forçam o uso de grandes áreas para captação, possivelmente solicitando desmatamento (SILVA, 2007).

3 METODOLOGIA

Esta seção foi dividida em quatro subtópicos, em que foi abordado todo o processo de dimensionamento do gerador fotovoltaico e seus componentes de controle e inspeção. Inicialmente, é tratada a configuração organizacional do sistema fotovoltaico. Na segunda etapa, tem-se a descrição dos controladores, sensores e atuadores para uma automação predial. Além disso, vê-se como foi realizada a parte da programação, e por fim, é feita a descrição da plataforma de monitoramento, a avaliação ambiental e a análise financeira.

3.1 Objeto de estudo da pesquisa

A edificação onde será tratada a viabilidade de instalação dos painéis fotovoltaicos é o Central de Integração Acadêmica Paulo Freire (CIAC), Figura 10, que fica localizado na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus I, na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba (PB), com área total construída de aproximadamente 28.859,50 m² (SANTANA, 2015).

Figura 10 – Centro de integração acadêmica (CIAC), UEPB, Campus I. Fachada Sul



Fonte: FERREIRA, 2017.

A edificação é constituída por um pilotis e três pavimentos. No pilotis estão situados o hall de acesso, sanitários, escadas, rampa, almoxarifado, cantinas, elevador e área de convivência. Os dois primeiros pavimentos, que são idênticos, encontram-se o hall de acesso, sanitários, escadas, rampa, 60 salas de aula e 2 auditórios. Já o terceiro pavimento foi

hospedado as coordenações, departamentos, salas dos professores, salas de aula, lojas, laboratórios, auditórios e bibliotecas setoriais.

Por se tratar de uma instituição de ensino, as atividades desenvolvidas, predominantemente, estão correlacionadas as salas de aula. Assim, a maior concentração da demanda elétrica está ligada às cargas de iluminação artificial.

A distribuição elétrica do local em estudo foi obtida a partir do memorial descritivo, que apresenta, em cada pavimento, um quadro de distribuição possuindo uma formatação de 14 circuitos, referente à iluminação e tomadas de uso geral (TUG's). E 10 circuitos separados, pertencentes a tomadas de uso específicos (TUE's), estes referentes à climatização. Todos protegidos por disjuntores e distribuídos conforme a utilização do perímetro, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos circuitos dos pavimentos da CIAc – UEPB

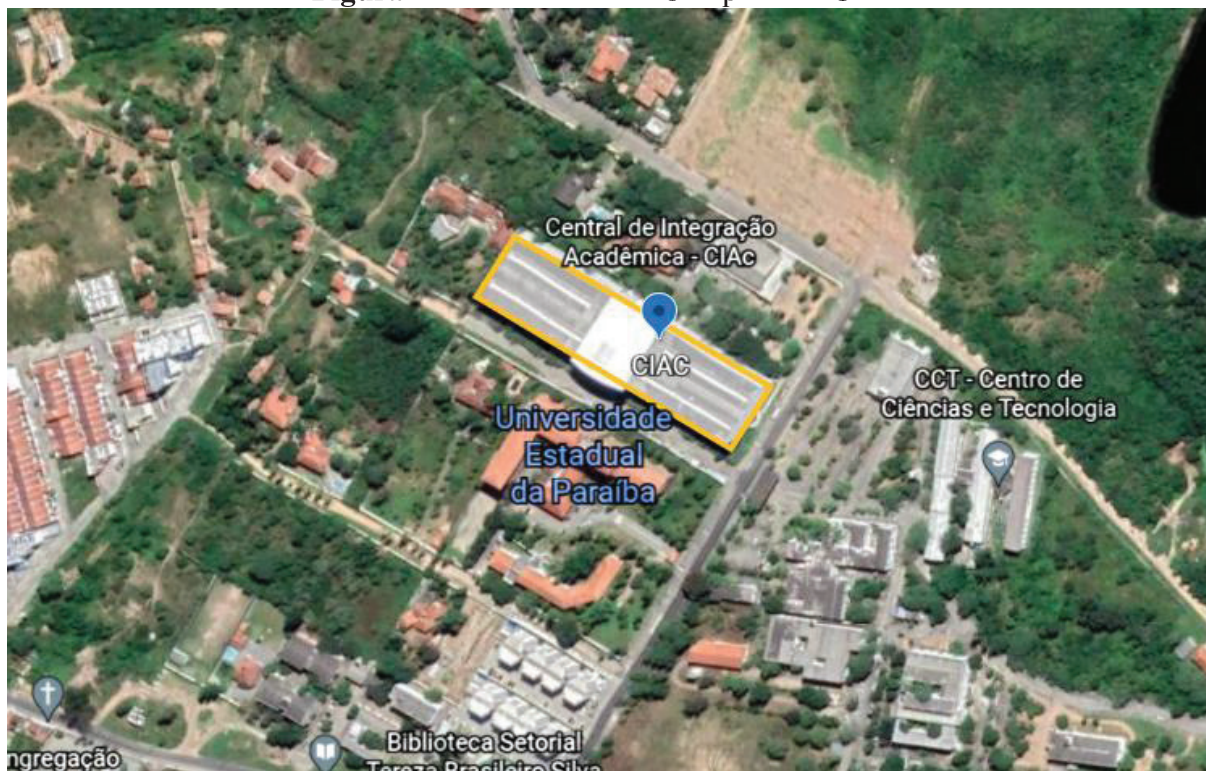
CIRCUITO	SEÇÃO (mm ²)	DISJUNTOR (A)	TENSÃO (V)	POTÊNCIA (W)	UTILIZAÇÃO
1	2,5	15	220	2400	CIRCULAÇÃO
2	1,5	10	220	1820	CIRCULAÇÃO
3	1,5	10	220	1092	CIRCULAÇÃO
4	1,5	10	220	1092	CIRCULAÇÃO
5	1,5	10	220	1352	CIRCULAÇÃO
6	1,5	10	220	900	ESCADA
7	1,5	10	220	232	WCS
8	2,5	15	220	2400	FACHADAS
9	2,5	15	220	2400	FACHADAS
10	1,5	10	220	30	EMERGÊNCIA
11	2,5	20	220	3600	TUG'S
12	2,5	20	220	3600	TUG'S
13	2,5	15	220	2400	TUG'S
14	2,5	15	220	2400	TUE'S WCS

Fonte: SANTANA, 2021.

Através da imagem aérea mostrada na Figura 11, podemos ver intuitivamente a densidade arbórea e vegetação alta ao redor da instituição. Fator esse, que pode interferir na geração de energia solar fotovoltaica, caso a distribuição ocorra em local indevido. Portanto, é dada prioridade à aplicação e utilização dos geradores fotovoltaicos nos telhados. No qual o

objetivo é aumentar o valor máximo da geração de energia, de forma eficaz e visando reduzir os custos dos sistemas fotovoltaicos em geral.

Figura 11 – Vista aérea do Campus I da UEPB



Fonte: GOOGLE EARTH, 2021.

3.2 Levantamento de dados

3.2.1 Consumo de energia elétrica

A partir do histórico, com base nas contas de energia, foi visto o perfil de consumo do prédio, tal como a tarifação exercida e os parâmetros de medição. A pesquisa deu validade o consumo dos últimos 29 meses (de janeiro de 2019 a maio de 2021). Essas informações são obtidas a partir dos demonstrativos de faturamento da concessionária Energisa Borborema PB.

Mediante esses dados, para o dimensionamento da geração fotovoltaica, foram selecionados os valores máximos de consumo de mesmo mês, de janeiro a dezembro. Logo, foi formado um ano hipotético de maior utilização. Essa análise justifica-se, uma vez que ao longo de um ano pode ocorrer consumos semelhantes aos valores mensais selecionados.

Para o desenvolvimento do cálculo de dimensionamento, serão utilizados basicamente dois dados, sendo eles Consumo de Ponta (kWh) e Consumo Fora Ponta (kWh). E para

compensação total do consumo de energia, foi calculada a média anual de consumo fora ponta somada à média anual de consumo de ponta “corrigido”. Essa correção se dá pelo cálculo da tarifação de energia, sendo ela a razão da tarifação de energia de ponta pela tarifação de energia fora ponta. Pois, a injeção de excedente na rede é feita durante o dia. Então, a validação da tarifa para o excedente será feita de acordo com a tarifa fora ponta, para compensar o consumo de ponta. Essa tarifação é tabelada pela ANEEL e pode ser obtida no site da agência, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Tabela de tarifas de aplicação e base econômica para o grupo A (EPB)

SUBGRUPO	MODALIDADE	ACESSANTE	POSTO	TARIFAS DE APLICAÇÃO			BASE ECONÔMICA		
				TUSD		TE	TUSD		TE
				R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
A3 (69kV)	AZUL	NA	P	21,48	41,95	397,62	20,87	37,32	358,15
			FP	11,17	41,95	242,82	10,61	37,32	216,85
	AZUL APE	NA	P	21,48	10,76	0,00	20,87	9,86	0,00
			FP	11,17	10,76	0,00	10,61	9,86	0,00
	DISTRIBUIÇÃO	EBO	P	21,70	6,99	0,00	20,87	6,32	0,00
			FP	11,28	6,99	0,00	10,61	6,32	0,00
			NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	GERAÇÃO	NA	NA	12,90	0,00	0,00	12,92	0,00	0,00
A4 (2,3 a 25kV)	AZUL	NA	P	52,15	62,57	397,62	52,06	55,86	358,15
			FP	26,22	62,57	242,82	26,09	55,86	216,85
	AZUL APE	NA	P	52,15	25,05	0,00	52,06	23,00	0,00
			FP	26,22	25,05	0,00	26,09	23,00	0,00
	VERDE	NA	NA	26,22	0,00	0,00	26,09	0,00	0,00
			P	0,00	1.330,19	397,62	0,00	1.321,61	358,15
			FP	0,00	62,57	242,82	0,00	55,86	216,85
	VERDE APE	NA	NA	26,22	0,00	0,00	26,09	0,00	0,00
			P	0,00	1.292,68	0,00	0,00	1.288,75	0,00
			FP	0,00	25,05	0,00	0,00	23,00	0,00
	DISTRIBUIÇÃO	Celpe	P	25,64	15,00	0,00	24,95	13,56	0,00
			FP	13,55	15,00	0,00	13,12	13,56	0,00
			NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		EBO	P	25,64	15,00	0,00	24,95	13,56	0,00
			FP	13,55	15,00	0,00	13,12	13,56	0,00
			NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	GERAÇÃO	NA	NA	14,41	0,00	0,00	14,60	0,00	0,00

Fonte: ANEEL, 2021

A aferição da geração necessária é dada pela Equação 1, em que aborda todos os valores adotados no parágrafo anterior.

$$Pot. Média Mensal (kWh) = Consumo Médio FP + \left(Consumo Médio P \times \frac{TEP}{TEFP} \right)$$

(EQUAÇÃO 1)

Onde:

Pot. Média Mensal - Potência de geração necessária mensal em kWh;

Consumo Médio FP – Consumo médio em horário fora de ponta;

Consumo Médio P – Consumo médio em horário de ponta;

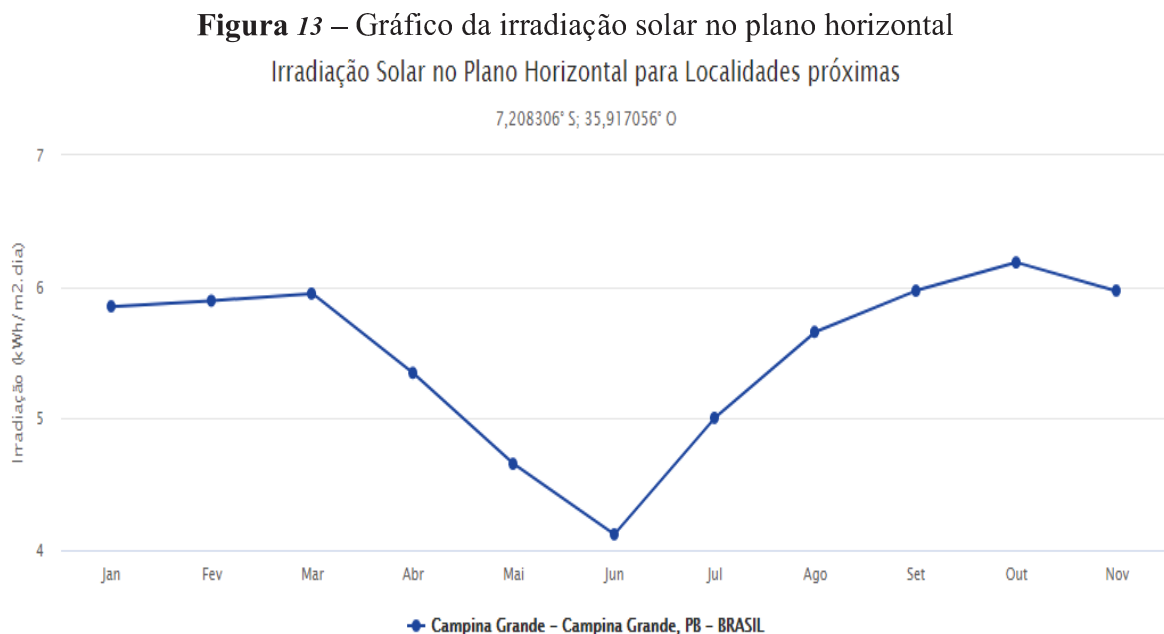
TEP – Tarifação de Energia em horário de ponta;

TEFP – Tarifação de Energia em horário de fora de ponta.

3.2.2 Irradiação Solar

Primordialmente, utiliza-se como suporte o programa *SunData v 3.0*, da CRESESB. Em que foi concedido ao programa as informações de coordenadas geográficas para cálculos da irradiação solar incidente na superfície equivalente a latitude e o ângulo azimutal.

A construção em análise, localizada na latitude $7^{\circ}12'29,9''$ Sul e longitude $35^{\circ}55'1,4''$ Oeste, exprimiu o valor de incidência média diária no plano horizontal próximo a $5,41 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$, apresentado na Figura 13.



Fonte: CRESESB, 2019.

Levou-se em consideração, o método do mês crítico que considera um levantamento energético nas condições mais desfavoráveis, implicando que se o sistema obtiver êxito neste mês, estará apto para trabalhar efetivamente nos demais. Isto posto, foi selecionado o mês de menor incidência solar para estimativa do sistema.

3.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

3.3.1 Inclinação dos módulos fotovoltaicos

A quantificação e escolha da inclinação também foram indicadas a partir da análise do recurso solar disponível para a cidade de Campina Grande - PB, estabelecido pelo programa *SunData v 3.0*, conforme Figura 14. Que possui base de dados sobre a propagação de raios incidente no plano dos módulos, e os converte para o seu valor diário médio mensal em kWh/m². dia. Quando comparadas as inclinações foi selecionada a que representa maior incidência de raios solares durante o dia para possibilidade de instalação.

Figura 14 – Dados de irradiação solar incidente na cidade de Campina Grande-PB.

Estação: Campina Grande

Município: Campina Grande, PB - BRASIL

Latitude: 7,201° S

Longitude: 35,949° O

Distância do ponto de ref. (7,208306° S; 35,917056° O): 3,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,85	5,90	5,95	5,35	4,86	4,12	4,24	5,01	5,66	5,97	6,19	5,97	5,40	2,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	7° N	5,61	5,75	5,95	5,49	4,88	4,36	4,46	5,19	5,71	5,87	5,95	5,68	5,41	1,59
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	4° N	5,72	5,82	5,96	5,44	4,79	4,26	4,37	5,12	5,70	5,92	6,06	5,81	5,41	1,79
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	4,80	5,17	5,67	5,58	5,21	4,74	4,80	5,38	5,59	5,37	5,14	4,79	5,19	,93

Fonte: CRESESB, 2019.

3.3.2 Potência do sistema fotovoltaico

Após a mensuração do consumo médio mensal e a quantificação da irradiação solar que incidirá sobre o telhado fotovoltaico, pode-se realizar a determinação da potência para o sistema. Essa determinação foi dimensionada com uma redução de 20% no rendimento, devido às perdas e influências externas aos módulos, expressados na Equação 2.

$$Pot. Fv (kWp) = \frac{\left[\frac{Pot. Carga \left(\frac{kWh}{mês} \right)}{30} \right]}{HSP \text{ mín.} \left(\frac{h}{dia} \right) \times 0,80}$$

(EQUAÇÃO 2)

Onde:

Pot. Fv - Potência dos painéis fotovoltaicos;

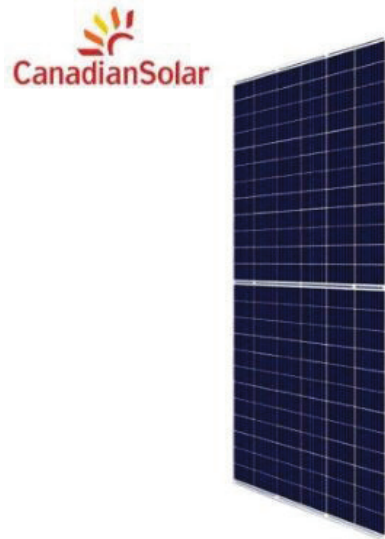
Pot. Carga - Valor da potência consumida pela carga por dia;

HSP mín. - Número de horas de sol pleno para o pior mês de radiação solar.

3.3.3 Os módulos fotovoltaicos

O modelo de módulo escolhido para o projeto foi o HIKU CS3W-420P (Figura 8), policristalino, da empresa Canadian Solar Inc., com uma potência individual de 420 Watts. Este módulo fotovoltaico apresenta eficiência de 19,00% e possui uma dimensão de 2.108 x 1.048 x 40 (mm), expresso na Figura 15.

Figura 15 – Módulo fotovoltaico HIKU CS3W-420P



Fonte: CANADIAN SOLAR INC., 2019.

Os módulos de tecnologia policristalino e monocristalino são rotulados em condição padrão de teste STC (*Standard Test Conditions*) e nas circunstâncias de operação NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*), o modelo selecionado apresenta as características conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações técnicas do módulo HIKU CS3W-420P

DADOS ELÉTRICOS	STC	NOCT	CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA
Condições da célula	Irradiação 1.000W/m ² , Massa de Ar 1,5 e Temperatura de Célula 25°C	Irradiação 800W/m ² , Massa de Ar 1,5 e Temperatura de Célula 20°C	-
Potência Nominal Máx. (P _{MÁX})	420 W	313 W	-0,36%/°C
Tensão de Operação (V _{MP})	39,5 V	36,8 V	-
Corrente de Operação (I _{MP})	10,64 A	8,51 A	-
Tensão de Circuito Aberto (V _{OC})	48,0 V	45,1 V	-0,28%/°C
Corrente de Curto-	11,26 A	9,08 A	0,05%/°C

Circuito (I_{sc})			
-----------------------	--	--	--

Fonte: CANADIAN SOLAR, 2019.

Os módulos fotovoltaicos possuem coeficientes térmicos que representam mudanças em diversos parâmetros com a temperatura, necessários para simular o sistema em diferentes condições de operação. Geralmente, o coeficiente térmico é determinado pela irradiância de 1000 W/m² e o espectro massa de ar de 1,5, e é considerado constante dentro da faixa de irradiância de trabalho do módulo fotovoltaico. Por este motivo, a perda sofrida pelo módulo com o aumento da temperatura é totalmente calculada.

Então, sabendo que a temperatura mínima da região está em torno de 20°C e a máxima em 31°C, podemos realizar as seguintes correções:

a) Correção da Potência:

$$Pot. Máx. = Pot. STC + Pot. STC \times [(T_{MÁX} - T_{STC}) * \left(\frac{CT\%}{100}\right)]$$

(EQUAÇÃO 3)

Onde:

Pot. Máx. – Potência nominal máxima atingida nas condições de operação;

Pot. STC – Potência rotulada em padrão de teste STC;

T_{MÁX} – Temperatura máxima da região onde será instalado o módulo;

T_{STC} – Temperatura rotulada em padrão de teste STC;

CT% - Características de perdas (*P_{MÁX}*) com a temperatura.

b) Correção da Tensão em circuito aberto:

$$V_{OC} Máx. = V_{OC} STC + V_{OC} STC \times [(T_{MÍN} - T_{STC}) * \left(\frac{CT\%}{100}\right)]$$

(EQUAÇÃO 4)

Onde:

V_{OC} Máx. – Tensão máxima de circuito aberto nas condições de operação;

V_{OC} STC – Tensão de circuito aberto rotulada em padrão de teste STC;

T_{MÍN} – Temperatura mínima da região onde será instalado o módulo;

T_{STC} – Temperatura rotulada em padrão de teste STC;

CT% - Características de perdas (*V_{OC}*) com a temperatura.

c) Correção da corrente em curto-circuito:

$$I_{SC} Máx. = I_{SC} STC + I_{SC} STC \times [(T_{MÁX} - T_{STC}) * \left(\frac{CT\%}{100}\right)]$$

(EQUAÇÃO 5)

Onde:

$I_{SC} Máx.$ – Corrente máxima de curto-circuito nas condições de operação;

$I_{SC} STC$ – Tensão de circuito aberto rotulada em padrão de teste STC;

$T_{MÁX}$ – Temperatura máxima da região onde será instalado o módulo;

T_{STC} – Temperatura rotulada em padrão de teste STC;

$CT\%$ - Características de perdas (I_{SC}) com a temperatura.

d) Correção da tensão de operação:

$$V_{MP} Máx. = V_{MP} STC + V_{MP} STC \times [(T_{MÍN} - T_{STC}) * \left(\frac{CT\%}{100}\right)]$$

(EQUAÇÃO 6)

Onde:

$V_{MP} Máx.$ – Tensão máxima de execução nas condições de operação;

$V_{MP} STC$ – Tensão de operação rotulada em padrão de teste STC;

$T_{MÍN}$ – Temperatura mínima da região onde será instalado o módulo;

T_{STC} – Temperatura rotulada em padrão de teste STC;

$CT\%$ - Características de perdas (V_{OC}) com a temperatura.

e) Correção da corrente de operação:

$$I_{MP} Máx. = I_{MP} STC + I_{MP} STC \times [(T_{MÁX} - T_{STC}) * \left(\frac{CT\%}{100}\right)]$$

(EQUAÇÃO 7)

Onde:

$I_{MP} Máx.$ – Corrente máxima de execução nas condições de operação;

$I_{MP} STC$ – Tensão de operação rotulada em padrão de teste STC;

$T_{MÁX}$ – Temperatura máxima da região onde será instalado o módulo;

T_{STC} – Temperatura rotulada em padrão de teste STC;

$CT\%$ - Características de perdas (I_{SC}) com a temperatura.

Com isso, para atingir a capacidade potencial desejada, é essencial o cálculo do número de módulos para montagem. A quantidade de módulos é estabelecida entre o quociente da potência requerida e a potência individual corrigida de cada módulo.

$$Qtd. de Módulos = \frac{Pot. do Sistema (kWp)}{Pot. do Módulo (W)}$$

(EQUAÇÃO 8)

Onde:

Qtd. De Módulos - Quantidade de módulos;

Pot. Do Sistema - Valor da potência necessária para instalação;

Pot. Do Módulo - Potência do módulo fotovoltaico individual corrigida;

Levando em consideração a quantidade de módulos a compor o sistema, é possível realizar a estimativa de área total necessária para implantação. Dando a importância à disposição dos módulos e os dados de extensão observados na ficha técnica. As configurações elétricas de instalação dos módulos estão diretamente ligadas à forma de trabalho do inversor do sistema. Sendo instaladas em um circuito misto, contendo módulos em série (*strings*) para alcançar a tensão nominal do inversor. E, em paralelo (*arrays*) para alcançar a corrente de pico calculada para entrada do componente.

3.3.4 O Inversor de frequência Grid-Tie (On-Grid)

Conforme a quantidade de módulos necessários para integrar o sistema, pode-se fragmentar o conjunto fotovoltaico em dois ou mais inversores. Geralmente, quando a energia é desenvolvida por um perfil semelhante ao do objeto deste estudo, a potência do sistema deve atender ao valor igual ou menor do que a demanda contratada. Esse valor é igual a soma da potência nominal de saída do(s) inversor(es).

De acordo com Dantas (2018), o inversor deve ser dimensionado para funcionar na faixa de potência de 0,75 a 1,2 da potência nominal do gerador. Este fator representa a relação

de potência entre o arranjo e o inversor. Usualmente, o “sobrecarregamento” do inversor traz vantagens econômicas e de melhor rendimento, porque a potência nominal do módulo raramente é alcançada em climas tropicais. Ademais, a eficiência de um inversor para sistemas conectados à rede deve ser maior ou igual a 94%.

$$\text{Potência do Inversor (W)} = \text{Potência do Arranjo (W)} \times FDI$$

(EQUAÇÃO 9)

Onde:

Potência do Inversor – Valor da potência do inversor (W);

Potência do Arranjo - Valor da potência do arranjo (W);

FDI – Fator de dimensionamento do inversor de 0,75 a 1,2;

A característica da pesquisa consolidou-se a fragmentação dos geradores fotovoltaicos entre quatro inversores. Desta forma, promovendo a segurança do funcionamento, principalmente, em caso de falha de um dos inversores, favorecendo o fornecimento de energia ininterruptamente. Então, o inversor optado para o sistema foi o MAC 60KTL3-X LV (Figura 16), trifásico, da empresa *Shenzhen Growatt New Energy Technology Co. Ltd.*, com capacidade de 60 kW. Este inversor apresenta uma eficiência de 98,80% e dimensões de 680 x 508 x 281 (mm).

Figura 16 – Inversor MAC 60KTL3-X LV



Fonte: GROWATT, 2015.

Considerando o desenvolvimento desta pesquisa, as principais informações técnicas necessárias para determinar o tipo de configuração dos módulos do sistema, podem ser

obtidas por meio da folha de especificações técnicas fornecida pelo fabricante do equipamento. O tipo de inversor selecionado apresenta os parâmetros conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações técnicas do Inversor MAC 60KTL3-X LV

ENTRADA	
POTÊNCIA MÁXIMA NA ENTRADA CC	90.000 W
MÁXIMA TENSÃO CC	1100 V
TENSÃO NOMINAL	600 V
FAIXA DE TENSÃO MPPT	200 V – 1000 V
MÁXIMA CORRENTE DE ENTRADA POR MPPT	50 A
NÚMERO DE MPPT INDEPENDENTES / STRINGS POR MPPT	3 / 4 + 4 + 4
SAÍDA	
POTÊNCIA NOMINAL DE SAÍDA	60.000 W
TENSÃO NOMINAL DA SAÍDA	220 V/ 380 V (340 – 440 VAC)
CORRENTE MÁXIMA DA SAÍDA	96,6 A
TIPO DE CONEXÃO DA REDE CA	3 W/ N/ PE

Fonte: GROWATT, 2015.

Deste modo, existem alguns fatores a serem considerados no cálculo do número máximo de módulos que um inversor admite. A começar pela potência máxima do arranjo suportada pelo inversor, e a quantidade máxima de módulos ligados ao equipamento. O número máximo de módulos conectados ao inversor é dado pelo quociente entre a potência máxima do inversor e a potência máxima do gerador.

$$Qtd. de Módulos no inversor \leq \frac{Pot. máx. do Inversor (W)}{Pot. máx. do Módulo (W)} \quad (EQUAÇÃO 10)$$

Onde:

Qtd. De Módulos no inversor - Quantidade de módulos conectados ao inversor;

Pot. Máx. Do Inversor - Valor da potência máxima do inversor na entrada CC (W);

Pot. Máx. Do Módulo – Valor da potência máxima do módulo (W);

Para ligações em série, o número máximo de módulos deve considerar que a tensão em circuito aberto do gerador deve ser menor do que a tensão máxima de corrente contínua do inversor, assim, garante-se que o sistema irá operar dentro da eficiência proposta pelo equipamento, e evita possíveis danos tanto ao inversor quanto ao sistema (PAIVA, 2018).

$$Qtd. de Módulos em série por MPPT \leq \frac{Tensão\ máx. do\ Inversor\ (CC)(V)}{Tensão\ do\ Módulo\ (V_{OC})(V)}$$

(EQUAÇÃO 11)

Onde:

Qtd. De módulos em série - Quantidade de módulos em série;

Tensão máx. Do Inversor - Valor da tensão máxima do inversor em CC;

Tensão do Módulo – Tensão do módulo em circuito-aberto (V_{OC});

Já em relação ao limite de ligações em paralelo, calcula-se entre os valores de corrente do inversor e a corrente dos módulos em série, conforme a Equação 12.

$$Qtd. de Módulos em paralelo por MPPT \leq \frac{Corrente\ máx. do\ Inversor\ (CC)(A)}{Corrente\ da\ String\ (A)}$$

(EQUAÇÃO 12)

Onde:

Qtd. De módulos em paralelo - Quantidade de módulos em paralelo;

Corrente máx. Do inversor - Valor da corrente máxima do inversor;

Corrente da String – Corrente dos módulos em série;

3.4 Automação predial

Para o desenvolvimento de qualquer projeto de automação alguns fatores devem ser analisados como: a infraestrutura e a definição de quais dispositivos e sistemas serão utilizados na automação. Para a maioria dos projetos antes da instalação dos elementos, a montagem é feita em uma placa de circuito que permite a simulação da proposta. A proposta desta pesquisa é gerenciar e monitorar os circuitos elétricos do edifício.

3.4.1 Infraestrutura

O plano em questão fará o controle individual de cada sala da edificação. Então, efetuando a avaliação deste projeto, verificou-se quantidade de equipamentos, a começar pelas luminárias e tomadas existente em cada andar. Deste modo, os dispositivos elétricos foram separados por pavimentos, salas, área de circulação, banheiros e escadas. Os materiais averiguados estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição da quantidade de equipamentos elétricos em cada pavimento

DESCRIÇÃO TIPO/POTÊNCIA	QUANTIDADES			
	PILOTIS	PAVIMENTO 1	PAVIMENTO 2	PAVIMENTO 3
FLUORESCENTE TUBULAR 40W T10	0	800	708	708
ELETRÔNICA E-27 16W	226	148	148	148
FLUORESCENTE F20W TUBULAR 20W T10	110	230	220	220
TUG'S DE 10 A	24	148	148	148
TUG'S DE 20 A	4	4	4	4
TUE'S	0	2	4	4

Fonte: Adaptado de SANTANA, 2015.

Partindo pelos ambientes de sala de aula, observaram-se os circuitos, no qual cada sala possui duas fileiras de três luminárias acrescidas de duas tomadas de uso geral. Do mesmo modo, os banheiros possuem a mesma disposição. Porém, todos os banheiros do mesmo pavimento podem ser agrupados para o mesmo comando.

Já as áreas de circulação e escadas foram adotadas diferentes alocações para as luminárias e tomadas, totalizando um conjunto de 806 luminárias e 28 tomadas de uso geral. Nas áreas de circulação, o acionamento será realizado por setores. Neste caso, serão utilizados sensores.

Por se tratar de um projeto de ampla dimensão necessitará de mais de um controlador para o projeto. Dessa maneira, foram verificados os protocolos de comunicação entre eles e a quantidade de saídas digitais.

3.4.2 Controladores ou microcontroladores

3.4.2.1 Arduino Mega 2560 R3

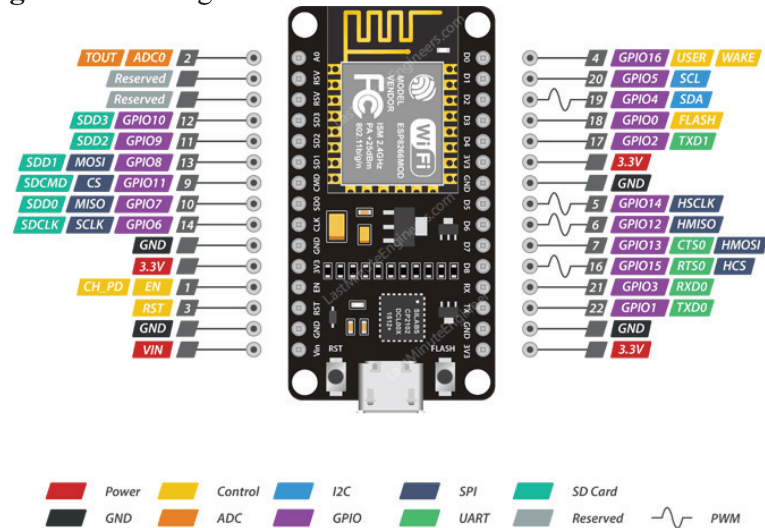
O Arduino Mega 2560 R3 foi escolhido pela facilidade de integração com diferentes tecnologias e a quantidade de portas lógicas. Portanto, esta unidade será responsável por acionar as bobinas dos módulos relés. Para conectar os relés com o Arduino, o pino IN que é o pino de operação do relé é conectado à uma saída lógica do controlador. E, os pinos VCC e GND ambos são ligados, respectivamente, aos canais 5V e GND da placa.

Para a transmissão de comandos entre as placas serão utilizadas apenas duas conexões, a porta SDA e SCL, respectivamente portas 20 e 21.

A contabilização de placas Arduino foi feita a partir da divisão de circuitos, em que, nos ambientes internos e externos, será utilizada uma saída lógica para o plano de iluminação

entradas e saídas lógicas. E, as portas GPIO 5 e 4 são definidas para o protocolo de comunicação I2C.

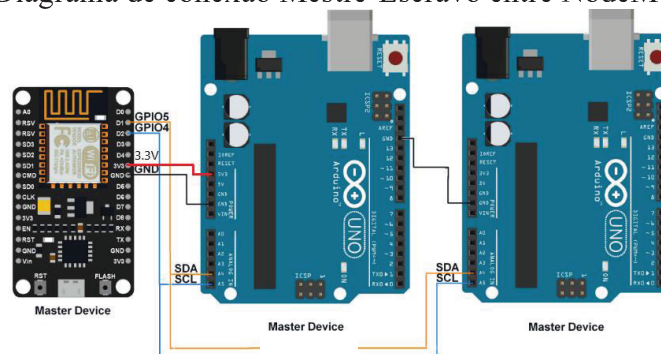
Figura 18 – Pinagem do microcontrolador NodeMCU-ESP8266



Fonte: LAST MINUTE ENGINEERS, 2018.

Em função da proposta, ligados aos pinos D2 e D1 serão vinculados os demais controladores (escravos). Pois o NodeMCU realizará a coordenação de toda a comunicação, visto que, ele tem a capacidade de enviar e requisitar informações aos escravos existentes na estrutura de comunicação, os quais, devem responder às requisições. Os pinos 3.3V e GND serão conectados às portas 3.3V e GND do Arduino, mostrados na Figura 19.

Figura 19 – Diagrama de conexão Mestre-Escravo entre NodeMCU-ESP8266



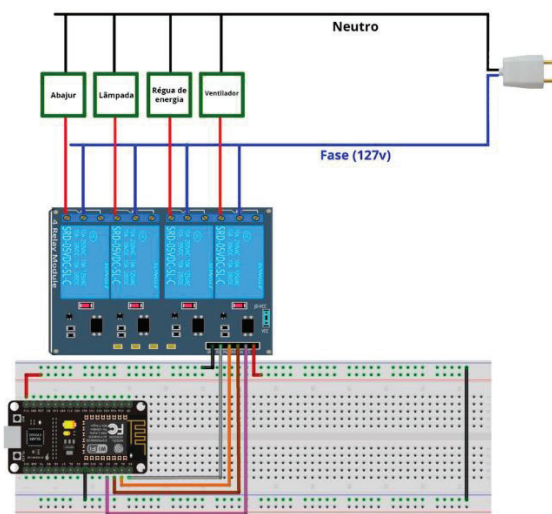
Fonte: ARDUINO, 2019.

Portanto, neste projeto possuirá apenas um controlador NodeMCU-ESP8266.

3.4.3 Módulo Relé

O módulo relé é um conjunto de relés que são acionados por um sinal digital de 5V. Este componente é adequado para acionamento de cargas utilizando correntes superiores às fornecidas pelo controlador. Em geral, um contato de um relé funciona de modo igual a uma chave ou interruptor. No terminal de cada relé possuem três conexões: a comum (C), normal aberto (NA) e normal fechado (NF). O terminal comum é normalmente conectado a fase da rede e o terminal reversível NA a carga. Sendo assim, a outra extremidade da carga é conectada ao neutro da rede, como demonstrado na Figura 20.

Figura 20 – Diagrama de conexão do NodeMCU-ESP8266 com Módulo Relé



Fonte: NERY, 2020.

Cada relé pode ser conectado a uma série de cargas ou a uma carga que possua seu valor máximo de corrente de 10 amperes. Assim, de acordo com os comandos, cada relé pode acionar um circuito ou um dispositivo. Em concordância com a proposta, foram utilizados, nos ambientes internos, 1 relé para o circuito de iluminação e um para acionar um contator para as tomadas. E para as áreas externas o sistema de iluminação foi acionado por contatores. Com isso, foi totalizada a quantidade de módulos de 16 relés necessários para elaboração do sistema.

3.4.4 Contatores modulares

Os contatores (Figura 21) são dispositivos eletromecânicos que permitem o acionamento de cargas que requerem maior corrente. Semelhantes a um relé, um contator possui uma bobina, um núcleo e um conjunto de contatos de força e controle. O

funcionamento é dado por eletromagnetismo, que realiza a atuação dos contatos, assim ligando e desligando os equipamentos elétricos conectados a eles.

Figura 21 – Contatores Modulares STECK



Fonte: STECK, 2015.

Portanto, nos circuitos em que a corrente máxima ultrapassa 10 amperes, serão introduzidos os contatores. Dessa forma, os cabos de saída do relé acionarão a bobina. Logo, liberando a corrente dos contatos de força.

Então, foram averiguados quais circuitos necessitariam desse dispositivo. E assim, verificados as correntes nominais exigidas para instalação no quadro de comando.

3.4.5 *Sensor de presença PIR*

O sensor desenvolvido com tecnologia PIR, Figura 22, é capaz de detectar radiação infravermelha, que gera um potencial elétrico quando há variação de radiação (BARBOSA; MORAES, 2018). Os sensores são equipamentos que possui funções de acionar circuitos através do termosensor. Esse instrumento possui três terminais: o primeiro é conectado a fase, o segundo é o ligado ao neutro e o terceiro é o retorno que é ligado ao contato do plafon. Outras funcionalidades também são encontradas no instrumento como ajuste da sensibilidade do sensor e temporizador programável.

Figura 22 – Sensor de presença/movimento PIR 220V



Fonte: INTELBRAS, 2021.

O diagnóstico de distribuição desse componente foi elaborado conforme a infraestrutura do local. Sendo instalados em pontos específicos para que as áreas de circulação obtenham resposta ágil, realizando a alimentação da iluminação em espaços em que o tráfego é menos constante ou rápido.

Deste modo, foram introduzidas nas áreas de corredores, escadas/rampa e hall de acesso. Em que foram contabilizados, vinte sensores por pavimento.

3.5 Programação

3.5.1 Linguagem

Para possibilitar o desenvolvimento e download de código no microcontrolador NodeMCU foi necessário utilizar o software livre da plataforma IDE Arduino. A plataforma já possui algumas bibliotecas específicas pré-configuradas, mas podem ser inseridos ou criados códigos. A IDE do Arduino pode reconhecer todas as construções da linguagem C/C++, e após o código produzido pode-se compilar para a placa. Neste caso, foram utilizadas 3 bibliotecas pré-configuradas e reajustadas para o desenvolvimento do protótipo.

Inicialmente, foi ajustado a IDE do Arduino para operar com o NodeMCU. Após a configuração, foi introduzido na linguagem, as bibliotecas ESP8266WiFi, Sinric Pro e A2a. Assim, no código de programação foram introduzidas as informações de conexão WiFi (SSID e senha), chave de acesso do aplicativo *Sinric Pro* e definições de pinagem e endereço dos slaves.

Em conformidade com a programação, no sistema do *Sinric Pro*, foram obtidos todos os tokens de autenticação dos dispositivos utilizados. Assim, quando o comando for

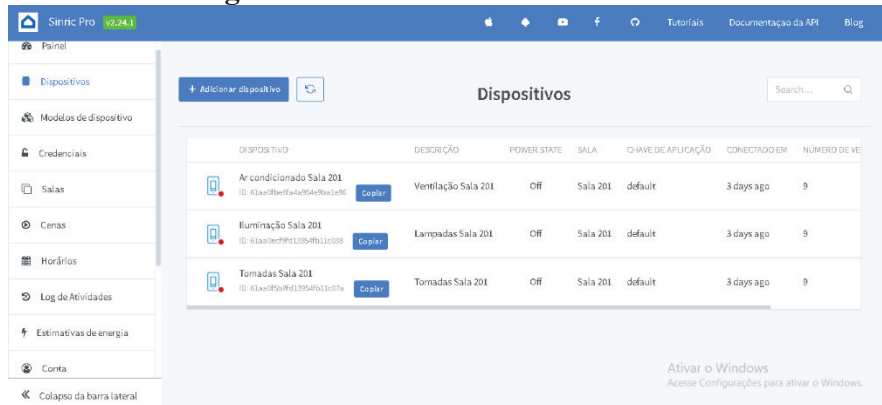
solicitado, o código do dispositivo libera a ação dos atuadores por meio do protocolo WebSocket.

3.5.2 *Sinric Pro e Amazon (Alexa)*

O *Sinric Pro* é um serviço de nuvem para dispositivos inteligentes, onde suporta uma variedade de equipamentos que podemos integrar ao sistema. Os comandos direcionados para os dispositivos alteram seu estado, realizando a comunicação indireta entre hardwares e os softwares Amazon e Sinric Pro.

Portanto, a automação ocorre de forma que, a Alexa envia uma solicitação diretamente para a plataforma WEB da *Sinric Pro*, Figura 23, com informações, por exemplo, para ligar determinado dispositivo. E, ao receber essa solicitação, a plataforma *Sinric Pro* requisita os dados desejados e a transmite para o hardware IoT utilizado, neste caso o NodeMCU-ESP8266. Quando o módulo recebe essa solicitação, ele aciona o dispositivo e retorna uma resposta para o sistema com o status da operação, bem-sucedida ou com falha.

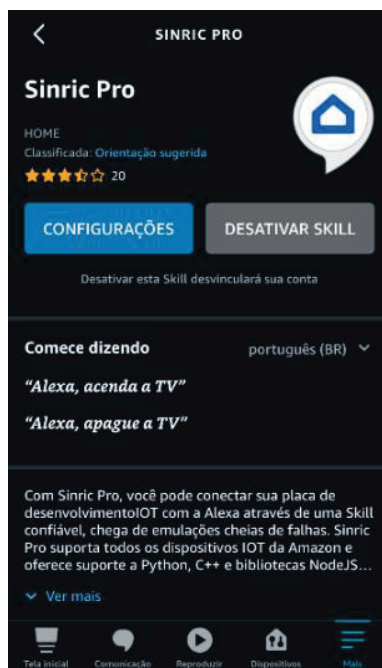
Figura 23 – Plataforma Sinric Pro WEB



Fonte: PRÓPRIA, 2021.

Então, para utilizar estas aplicações, foi necessário criar e gerenciar dispositivos por meio da plataforma *Sinric Pro* WEB e instalar o Skill: *Sinric Pro*, no aplicativo da Amazon exposto pela Figura 24.

Figura 24 – Aplicativo Amazon com Skill Sinric Pro em smartphone



Fonte: PRÓPRIA, 2021.

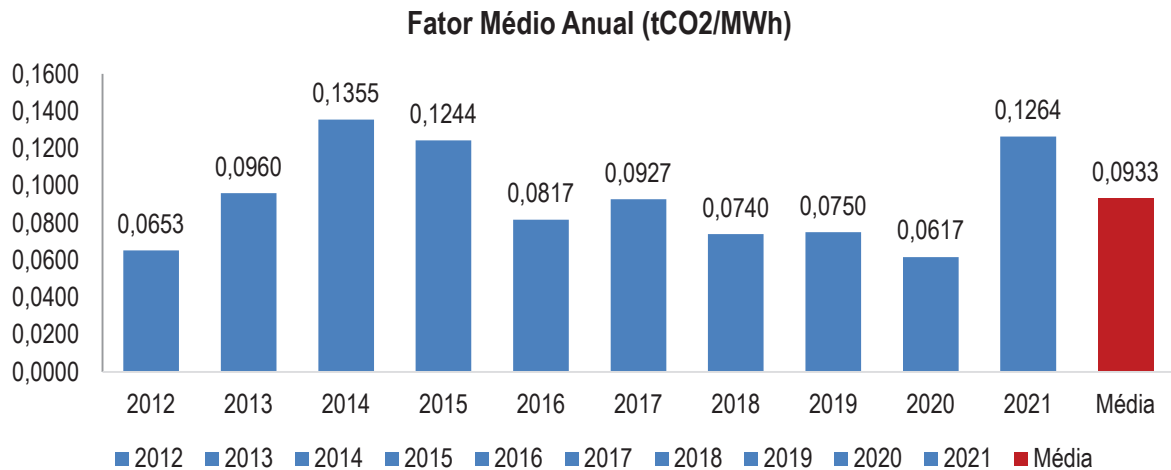
3.6 Avaliação ambiental

Em consequência da complexidade envolvida na avaliação ambiental destes processos, este estudo foi baseado na investigação da quantidade de dióxido de carbono (CO_2) que deixa de ser lançado na atmosfera em decorrência da geração e gestão da energia elétrica. Portanto, reduzir as emissões de GEE, é fundamental para mitigar as mudanças climáticas.

Então, para calcular as estimativas de redução das emissões de CO_2 devido à geração de energia, são multiplicadas a média dos últimos 10 anos do fator de emissão (tCO_2/MWh) do Sistema Integrado Nacional (SIN) pela quantidade de energia gerada no local de interesse. (PAIVA, 2018). Estes dados podem ser vistos na Figura 25, como parâmetros para os cálculos.

Além disto, o potencial de redução de consumo com a aplicação da automatização pode chegar a 30% (BRAGA, 2007). Assim, haverá redução no consumo da instituição, porém este indicador não afetará o cálculo da emissão de dióxido de carbono. Desse modo, o consumo reduzido impactará apenas na avaliação econômica, já que este indicador não influi na geração de energia. Portanto, o cálculo se dará conforme a Equação 13.

Figura 25 – Gráfico do fator anual médio da emissão de CO_2 do SIN em tCO_2/MWh



Fonte: Adaptado de MCTI, 2021.

$$ECO_2 = \text{Geração Anual} \times \text{Fator Médio de Emissão}$$

(EQUAÇÃO 13)

Onde:

ECO_2 – Emissão anual da localidade (tCO₂);

Geração Anual – Valor da geração anual de energia (MWh.ano⁻¹);

Fator Médio de Emissão – Consumo médio em horário de ponta (tCO₂/MWh);

3.7 Avaliação econômica

A avaliação de viabilidade econômica serve como auxílio na tomada de decisões sobre a viabilidade de um investimento. Entre os métodos utilizados de análise de demonstrações financeiras está o *payback*, que se baseia na previsão de retorno do investimento. (DANTAS, 2018). O valor do projeto é determinado através do somatório de todos os custos relativos à implantação dos sistemas fotovoltaico e automação. Já o valor de retorno, baseia-se na geração de energia e a redução do consumo proveniente da automação (30%) pelo valor da tarifa de energia. Então, na Equação 14, podemos obter o tempo de retorno desse investimento.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Tarifa média} \times (1,3 \times \text{Geração})}$$

(EQUAÇÃO 14)

Onde:

Payback – Tempo de retorno financeiro (anos);

Tarifa média – Valor da tarifa média com impostos (R\$/kWh);

Geração – Geração anual de energia (kWh).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Levantamento de dados

4.1.1 Análise da demanda

Verificou-se nos dados fornecidos pela Energisa Borborema as informações do perfil da universidade. A UEPB enquadra-se na classificação comercial A4(13,8 kV), com tarifação binômica do tipo horo-sazonal azul, com a aplicação de uma tarifa diferenciada para o consumo de energia e uma tarifa uniforme para a demanda elétrica. A demanda contratada pela universidade é de 130 kW em horário fora ponta.

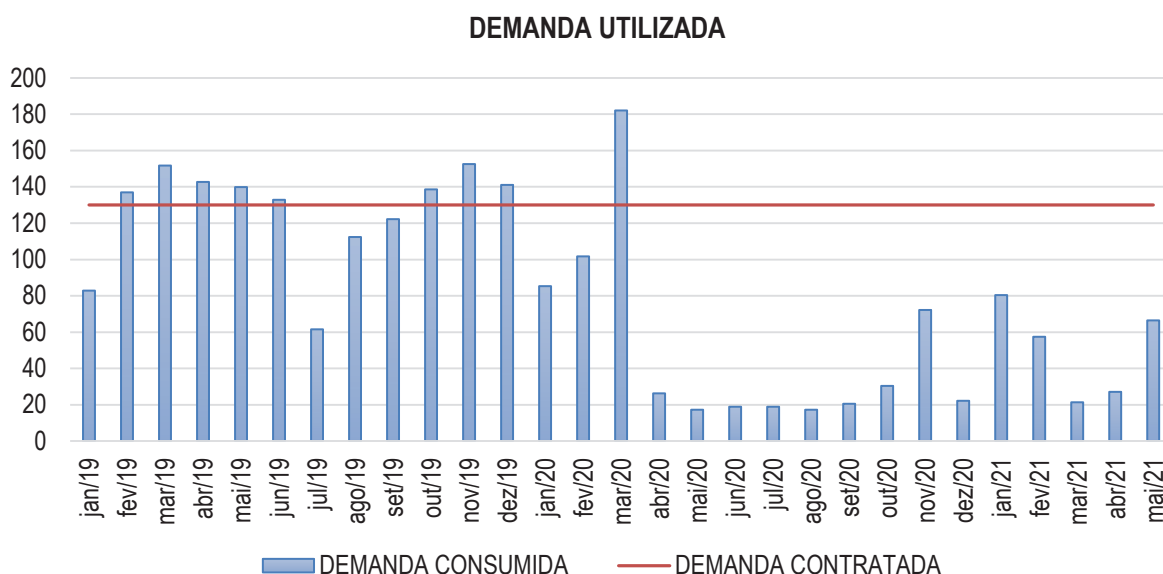
No comportamento da demanda, observa-se que dentro de alguns meses, a demanda utilizada é superior ao valor do contrato. Então, o reajuste se faz necessário junto a concessionária. Também foi confirmada a ascensão da demanda medida durante os horários de pico, em razão do crescimento de utilização dos equipamentos elétricos na instituição. Essas informações podem ser observadas no Quadro 3 e na Figura 26.

Quadro 3 – Dados da demanda mensal em kW separados em demanda de ponta e fora ponta, de acordo com as contas apresentadas pela Energisa Borborema

MÊS/ANO	2019		2020		2021	
	FP	P	FP	P	FP	P
JANEIRO	82,82	20,50	85,28	43,46	80,36	14,76
FEVEREIRO	136,94	142,68	101,68	25,42	57,40	13,12
MARÇO	151,70	153,34	182,04	173,84	21,32	16,40
ABRIL	142,68	164,00	26,24	22,14	27,06	15,58
MAIO	139,40	152,52	17,22	17,22	66,42	13,12
JUNHO	132,84	139,40	18,86	17,22		
JULHO	61,50	50,84	18,86	17,22		
AGOSTO	112,34	119,72	17,22	18,86		
SETEMBRO	122,18	138,58	20,50	16,40		
OUTUBRO	138,58	141,04	30,34	14,76		
NOVEMBRO	152,52	168,92	72,16	16,40		
DEZEMBRO	141,04	150,88	22,14	11,48		

Fonte: Adaptado de ENERGISA, 2021.

Figura 26 – Gráfico da demanda utilizada x demanda contratada Fora Ponta, em kW



Fonte: Adaptado de ENERGISA, 2021.

4.1.2 Consumo mensal

Com base nos dados disponíveis nas faturas de energia da universidade, o potencial energético consumido por mês foi determinada, conforme mostrado no Quadro 4. O valor descrito é subdividido em horários de ponta e fora ponta, expresso em kWh/mês. E para representatividade do mês, foram selecionados os maiores valores de consumo de Ponta e Fora Ponta de mesmo mês, com o intuito de estabelecer a maior média de consumo mensal.

Quadro 4 – Dados de consumo mensal em kWh separados em consumo de ponta e fora ponta, de acordo com as contas apresentadas pela Energisa Borborema

MÊS/ANO	2019		2020		2021		MAIOR CONSUMO	
	FP	P	FP	P	FP	P	FP	P
JANEIRO	10.086	820	15.662	1.394	8.118	656	15.662	1.394
FEVEREIRO	19.352	3.444	18.040	1.230	7.134	656	19.352	3.444
MARÇO	23.370	5.740	22.960	5.084	6.150	738	23.370	5.740
ABRIL	28.290	7.380	10.414	984	5.740	656	28.290	7.380
MAIO	25.830	6.560	7.954	984	7.216	656	25.830	6.560
JUNHO	22.960	5.740	7.216	902			22.960	5.740
JULHO	12.792	1.394	7.052	902			12.792	1.394
AGOSTO	18.614	4.510	7.544	902			18.614	4.510
SETEMBRO	26.322	7.134	7.298	820			26.322	7.134
OUTUBRO	21.566	4.838	7.052	738			21.566	4.838
NOVEMBRO	32.062	7.954	8.856	820			32.062	7.954
DEZEMBRO	22.468	4.182	6.970	738			22.468	4.182
MÉDIA DE MAIOR CONSUMO MENSAL							22.440,7	5.022,5

Fonte: Adaptado de ENERGISA, 2021.

A avaliação da geração necessária para compensar o consumo de ponta e fora ponta, foi contabilizada conforme a Equação 1. A tarifação de Ponta estabelecida pela ANEEL está no valor de 397,62 R\$/MWh. E a de Fora Ponta 242,82 R\$/MWh. Então o cálculo de geração necessária exprimiou o seguinte resultado.

$$Pot. Média Mensal (kWh) = 22.440,7 kWh + \left(5.022,5 kWh \times \frac{397,62}{242,82} \right)$$

$$Pot. Média Mensal (kWh) = 30.665,09 kWh/mês$$

4.1.3 Irradiação solar

Conforme indicado pelo programa *SunData v 3.0*, a intensidade da radiação solar que atinge a superfície varia em função da inclinação do plano, ou seja, tem valores diferentes se considerado o plano horizontal global ou plano inclinado. Dada a inclinação mais assertiva para a região de Campina Grande, sendo ela igual a latitude da região, o HSP mínimo listado é de 4,36 h/dia, resultante no mês de junho.

4.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

4.2.1 Potência do sistema fotovoltaico

De acordo com o método adotado, sob a premissa do cálculo de geração necessária, a potência requerida pelo sistema é definida para gerar energia elétrica suficiente para atender a demanda energética das atividades da instituição. Para o cálculo da potência, são utilizados os dados obtidos nos cálculos dispostos acima e no consumo mínimo cobrado pela concessionária, conforme a Equação 2.

$$Pot. Fv (kWp) = \frac{\left[\frac{30.665,09 \frac{kWh}{mês}}{30} \right]}{4,36 \frac{h}{dia} \times 0,80}$$

$$Pot. Fv (kWp) = 293,05 kWp$$

4.2.2 Os módulos fotovoltaicos

Primordialmente, foram calculados os valores corrigidos utilizando-se as informações técnicas dos módulos previamente escolhidos para serem implementados na cobertura da edificação. Utilizaram-se as equações descritas no ponto 3.3.3 da Metodologia, com o respectivo valor médio da temperatura máxima e mínima (31°C e 20°C) da região de Campina Grande-PB, conforme destaca a Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Tabela com especificações técnicas corrigidas do módulo HIKU CS3W-420P.

DADOS	CONDIÇÕES DA CÉLULA	P _{MÁX}	V _{MP}	I _{MP}	V _{OC}	I _{SC}
NOCT	Irradiação 1.000W/m ² , Massa de Ar 1,5 e Temperatura de Célula 20°C -31°C	410,93 W	40 V	10,67 A	48,70 V	11,29 A

Fonte: PRÓPRIA, 2021.

Levando em consideração o desenvolvimento desta pesquisa, a definição da quantidade de módulos necessários para atingir a geração de energia do sistema pode ser determinada pela razão entre a potência necessária e a potência de cada módulo corrigida, que foi obtido na Tabela 6.

$$Qtd. de Módulos = \frac{293,05 \text{ kWp}}{410,93 \text{ W}}$$

$$Qtd. de Módulos \cong 713 \text{ Módulos}$$

Com isso, pode-se determinar a área total de ocupação dos geradores, de acordo com as dimensões especificadas na ficha técnica do painel selecionado.

$$\text{Área Total} = (2,108 \text{ m} \times 1,048 \text{ m}) \times 713$$

$$\text{Área Total} = 1.575,15 \text{ m}^2$$

4.2.3 O inversor de frequência Grid-Tie (On-Grid)

Após o cálculo da área de uso da cobertura, foi-se verificado o dimensionamento do inversor solar. A disposição do conjunto dos 4 inversores, anteriormente disposto, se deu pela Equação 9, com o fator de “sobrecarregamento” igual a 1,2, conforme a solução a seguir.

$$Potência\ do\ Inversor\ (W) = \frac{\left(\frac{293,05\ kW}{4}\right)}{1,2}$$

$$Potência\ do\ Inversor\ (W) \cong 60\ kW$$

Também foram verificados a quantidade máxima de painéis fotovoltaicos suportado pelo inversor. Foi aplicada a Equação 10 para verificar os limites de instalação.

$$Qtd.\ de\ Módulos\ no\ inversor \leq \frac{90.000\ (W)}{420\ (W)}$$

$$Qtd.\ de\ Módulos\ no\ inversor \leq 214\ Módulos$$

Considerando o equipamento utilizado foi realizado a estimativa da conexão elétrica entre os módulos e o inversor, este cálculo tem por objetivo estabelecer restrições operacionais na configuração da ligação elétrica. O cálculo de módulos por String para o sistema em questão, é definido pela resolução da Equação 11.

$$Qtd.\ de\ Módulos\ em\ série\ por\ MPPT \leq \frac{1100\ V}{48,70\ V}$$

$$Qtd.\ de\ Módulos\ em\ série\ por\ MPPT \leq 22\ Módulos$$

Já a quantidade de associações em paralelo entre cada string é obtida conforme a Equação 12.

$$Qtd.\ de\ Módulos\ em\ paralelo\ por\ MPPT \leq \frac{50\ A}{11,29\ A}$$

$$Qtd.\ de\ Módulos\ em\ paralelo\ por\ MPPT \leq 4\ Módulos$$

Sendo assim, de forma a atender as limitações técnicas do inversor solar, garantindo seu bom funcionamento e desempenho, evidenciou-se que por apresentar 3 MPPTs o inversor permite o acoplamento de 214 módulos em seu sistema. Porém, para evitar um sobrecarregamento excessivo do inversor, optou-se pela instalação dos geradores conforme Quadro 5 e Apêndice A. Assim, obedecendo ao FDI de 1,2.

Quadro 5 – Dados de quantidade de módulos por inversor

DADOS	INVERSOR 1	INVERSOR 2	INVERSOR 3	INVERSOR 4
MÓDULOS EM CADA	20	20	20	20

STRING POR MPPT				
STRINGS EM PARALELO POR MPPT	3	3	3	3
TOTAL DE MÓDULOS POR MPPT/POR INVERSOR	60 / 180	60 / 180	60 / 180	60 / 180

Fonte: PRÓPRIA, 2021.

4.3 Dimensionamento da automação

4.3.1 Microcontroladores

De acordo com o modelo adotado, considerando o número de portas exigidas para automatizar toda a infraestrutura, a quantidade de microcontroladores é determinada dividindo o número necessário de portas pelo número de terminais incluídos no Arduino Mega. Para as placas NodeMCU-ESP8266, foi adotada apenas uma para todo o sistema.

$$\text{Quantidade de Arduinos} = \frac{522 \text{ portas}}{60}$$

$$\text{Quantidade de Arduinos} \cong 9 \text{ módulos}$$

4.3.2 Módulos Relé

Levando em consideração a quantidade de relés presente no módulo, a definição da quantidade de módulos necessários para alimentar o sistema pode ser determinada pela razão entre a quantidade de portas necessária e a quantidade de relés de cada módulo.

$$\text{Quantidade de Módulos Relé} = \frac{522 \text{ portas}}{16}$$

$$\text{Quantidade de Módulos Relé} \cong 33 \text{ módulos}$$

4.3.3 Contatores modulares

Considerando a corrente dos circuitos foi realizada a estimativa da quantidade de contatores para os circuitos que possuam corrente acima de 10 A, ou seja, os circuitos de tomada, circuitos de uso específico e os circuitos de iluminação que possuam grande quantidade de componentes. Então, a Tabela 7 tem por objetivo estabelecer a quantidade de contatores que serão utilizados. Também foi padronizada a corrente nominal de todos os contatores para 25 A, para facilidade dos cálculos.

Tabela 7 – Dimensionamento da quantidade de contadores

DESCRIÇÃO	QTD. DE PORTAS	QTD. DE AMBIENTES	QTD. DE PISOS	TOTAL DE PORTAS
SALAS	1	60	4	240
SANITÁRIOS	1	1*	4	4
AUDITÓRIOS	2	2	2	8
LABORATÓRIOS	1	4	1	4
BIBLIOTECAS	2	2	1	4
AREAS DE CIRCULAÇÃO	2	1	4	8
TOTAL	9	70	-	268

*Os sanitários foram associados por andar.

Fonte: PRÓPRIA, 2021.

4.4 Avaliação ambiental

A análise ambiental dos sistemas considera o período de menor produção de energia. Assim, a avaliação de redução fornecerá o menor valor de abatimento. Portanto, nos períodos de maior geração o valor de redução de emissão será maior. Então, para calcular o valor da geração, utilizou-se a quantidade de placas e multiplicou-se pela potência, a quantidade de dias, o valor de HSP e o rendimento.

$$\text{Geração (kWh/mês)} = 720 \times 0,420 \text{ kW} \times 4,36 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \times 0,80 \times 30 \text{ dias}$$

$$\text{Geração (kWh/mês)} = 31.643,14 \text{ kWh/mês}$$

A redução das emissões de CO₂ para o sistema foi obtida a partir da equação 13. Em que, para o valor de Geração Anual, foi multiplicado o resultado da geração mensal por 12, e dividido por 1000 para que o valor se adeque a unidade.

$$ECO_2 = 379,72 \text{ MWh. ano}^{-1} \times 0,0933 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$$

$$ECO_2 = 35,43 \text{ tCO}_2.\text{ano}^{-1}$$

Logo, a redução mínima prevista nas emissões de CO₂ obtida é de 35.430 kg.

4.5 Avaliação econômica

De acordo com uma pesquisa comercial realizada virtualmente, os custos associados à instalação dos sistemas são mostrados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Orçamento conforme pesquisa comercial realizada no mercado solar.

DESCRIÇÃO	QTD.	VALOR UNIT.	TOTAL
MÓDULOS (CANADIAN 420W)	720	R\$ 1.558,90	R\$ 1.122.408,00
INVERSORES (GROWATT 60KW)	4	R\$ 23.378,60	R\$ 93.514,40
MÃO DE OBRA	1	R\$ 52.749,00	R\$ 52.749,00
DEMAIS COMPONENTES*	1	R\$ 121.559,08	R\$ 121.559,08
TOTAL			R\$ 1.390.230,48

* Demais componentes: estruturas de fixação, fiação, conectores e proteção elétrica.

Fonte: PRÓPRIA, 2021.

Tabela 9 – Orçamento conforme pesquisa comercial realizada no mercado da automação

DESCRIÇÃO	QTD.	VALOR UNIT.	TOTAL
MÓDULO NODEMCU-ESP8266	1	R\$ 93,33	R\$ 93,33
MÓDULOS ARDUINOS MEGA	9	R\$ 154,58	R\$ 1.391,22
MÓDULO RELÉ 16 CANAIS	33	R\$ 106,81	R\$ 3.524,73
CONTADORES DE 25 A	268	R\$ 182,95	R\$ 49.030,60
SENSOR DE PRESENÇA 220V	80	R\$ 32,50	R\$ 2.600,00
TOTAL			R\$ 56.639,88

Fonte: PRÓPRIA, 2021.

Assim, conforme apresentado pelo site da Energisa Borborema, a tarifa média com impostos é de 0,75 (R\$/kWh). Então, a partir disto podemos calcular o payback deste projeto.

$$Payback = \frac{R\$ 1.446.870,36}{0,75 \frac{R\$}{kWh} \times (1,3 \times 379.717,68 kWh/ano)}$$

$$Payback = 3,90 \text{ anos}$$

Com isso a energia gerada anualmente, tem-se, conforme calculado, um payback de aproximadamente 4 anos, pode-se verificar o fluxo de caixa no Apêndice B.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento urbano, principalmente após a revolução industrial, foi acompanhado por um aumento expressivo dos impactos ambientais, com graves consequências sociais, econômicas e ambientais, devido as implicações dos gases do efeito estufa, destruição da camada de ozônio e outros desequilíbrios. Por sua vez a sustentabilidade é um fator determinante para a sobrevivência de muitas espécies no planeta e para que haja fornecimento dos suprimentos básicos a vida. Portanto, esse fato pode ser mitigado pela incorporação de tecnologias de automação e geração de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica.

Então, este trabalho contribui assim para informar a investigação sobre este tema, que visa estabelecer a relação entre a viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico e um sistema de automação predial com os seus impactos ambientais. A análise ambiental dos sistemas previstos, mostra que é assertivo o investimento nestas tecnologias. Pois, o projeto colabora com o meio ambiente graças a redução das emissões de CO₂ e, portanto, redução nos impactos ambientais. Por este motivo, esta monografia incentiva a diversificação da matriz energética e a redução do consumo irracional de energia, reduzindo a dependência de recursos hídricos e o uso de usinas termelétricas durante o período de baixa precipitação.

A análise de viabilidade econômica mostra que o projeto é tecnicamente viável para a instalação e redução de custos com a energia elétrica. Portanto, na instituição primeiramente deve-se adequar a demanda contratada, visto que a potência dos inversores é maior que a existente. Tomando como base os valores da Energisa Borborema, o valor por kW é de R\$18,92, então tendo um custo final para esta demanda no valor de R\$4.540,80. Posteriormente, a atratividade dá-se pelo tempo de retorno curto, com prazo de menos de 4 anos, e com VPL de R\$ 355.024.328,80. Já que os custos se darão apenas nos 4 primeiros anos e, levando em consideração a vida útil do sistema, os vigésimos primeiro anos formarão receitas. Portanto, com base nesta análise, podemos confirmar que o projeto é economicamente viável.

6 REFERÊNCIAS

BARBOSA, Luiz Henrique Almeida; MORAES, Adélio José de. Automação e Controle de Iluminação Residencial Utilizando Arduino. **XVI CEEL**. Universidade Federal de Uberlândia, ISSN 2178-8308, nov. 2018.

BRAGA, Laura Caixeta. **Estudo De Aspectos De Eficiência Energética De Edificações Com Uma Abordagem De Automação Predial**. 2007. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BRANDÃO, Zeca. Planejamento estratégico + Desenho urbano: A importância do projeto urbano e do arquiteto urbanista na produção da cidade contemporânea. **Cidades sustentáveis**. Rio de Janeiro: Cadernos FGV Projetos, ano 13, n. 32, p. 310-336, ISSN 1984-4883, mar. 2018.

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa ANEEL Nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. **Diário Oficial Da União**, Brasília. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2022

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa ANEEL Nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. **Diário Oficial Da União**, Brasília, 20 dez. 2021. Seção 238, p. 206. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. 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: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm>. Acesso em: 18 mar. 2022.

BRONZATTI, Fabricio Luiz; NETO, Alfredo Iarozinski. **Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030**. XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Rio de Janeiro – RJ, 2008.

CANADIAN SOLAR INC. **Datasheet HiKu CS3W-420P**. 2019. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-P_EN.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

CARÇÃO, João Francisco de Castro. **Tarifas de energia elétrica no Brasil**. 2011. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

COSTA, Gustavo Alef da Silva. **Domótica com Arduino**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá, 2017.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SERGIO SALVO BRITO. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2019. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 15 de mai. 2022.

D'ANGELO, Thiago. **Sistema doméstico de baixo custo via Android e Arduino simulado em uma maquete automatizada**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

DANTAS, Ivanca de Medeiros. **Análise técnica e econômica da instalação de uma usina solar conectada à rede de distribuição em benefício de unidades residenciais de mesma titularidade**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, 2018.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional – BEN 2021: Relatório Síntese 2021**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ESPRESSIF SYSTEMS. **Datasheet NodeMCU – ESP 8266**. 2019. Disponível em: <https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

FIGUEIREDO, Fabiana de Sousa. **Geração e transmissão de energia elétrica: Um olhar pela sustentabilidade**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Licenciatura em Física). Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2014.

FORTH & ARDUINO. **Gestão de um Módulo de 4 Relés**. 2019. Disponível em: <https://arduino-forth.com/article/FORTH_FlashForth_gestionModule4relais>. Acesso em: 15 mai. 2022.

FRANÇA, Augusto Luiz; ANDRADE, Vinicius Campos. **Automação residencial aplicada para idosos e portadores de necessidades especiais**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.

FUGIMOTO, Sérgio Kinya. **Estrutura de tarifas de energia elétrica: análise crítica e proposições metodológicas**. 2010. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

GROWATT BRASIL. **Datasheet Inversor MAC 60KTL3-XLV**. 2015. Disponível em: <<https://www.ginverter.pt/show-42-626.html>>. Acesso em: 22 mar. 2022.

JESUS, Victor Magno Rodrigues de. **Inversores fotovoltaicos multifuncionais: Análise da capacidade durante compensação harmônica**. 2017. Tese de Mestrado. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2017.

KAI, Bianca Harumi Diniz; SILVA, Felipe Diego da. **Análise de Viabilidade Técnica e Custo Inicial de Implementação de Automação Residencial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, Formiga, 2020.

LAST MINUTE ENGINEERS. **Insight Into ESP8266 NodeMCU Features & Using It With Arduino IDE**. 2018. Disponível em: <<https://lastminuteengineers.com/esp8266-nodemcu-arduino-tutorial/>>. Acesso em: 15 mai. 2022.

LIMA, Raphael Almeida de. **Projeto de um sistema fotovoltaico para o Bloco C do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Fator médio - Inventários corporativos**. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/fator-medio-inventarios-corporativos>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

MME - Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasil, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

MORAIS, Bianca S. G.; OLIVEIRA, Diego V. de; SILVA, Verônica M. L. Sistema de Comunicação em Internet das Coisas para Automação de Ambientes. **Encontro de Computação do Oeste Potiguar – ECOP**. Universidade Federal do Semiárido (UFERSA), Pau dos Ferros – RN, 2020.

NASCIMENTO, Guilherme Araújo Machado do; NETO, Manoel Moraes Lemos; SILVA, Wyllian Bezerra da. A Didactic Application of the I2C Protocol in Communication Systems. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 7, n. 10, ISSN 2525-8761, set. 2021.

NASCIMENTO, Lucas Rafael do. **A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. 2013. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

NERY, Gustavo. **Automação Residencial com Alexa e NodeMCU**. Blog Eletrogate, Brasil, 2020. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/automacao-residencial-com-alexa-amazon-nodemcu/>>. Acesso em: 20 mai. 2022.

OLIVEIRA, Adriana De Souza. **Avaliação de impactos ambientais do módulo fotovoltaico: produção e uso como fonte de energia elétrica**. 2017. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2017.

PAIVA, Mayara Luiza. **Avaliação da aplicabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma granja de aves no estado do Mato Grosso e seus impactos ambientais**. 2018. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade

Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Curitiba, 2018.

PINHEIRO, Luíz Diego de Oliveira. **Projeto de instalação elétrica de um sistema fotovoltaico grid-tie em um condomínio para redução de consumo de energia proveniente da concessionária.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Tucuruí, 2016.

PORTAL SOLAR. **A melhor direção do painel solar fotovoltaico.** 2014. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

RIBEIRO, Carlos Eduardo. **DOMÓTICA: viabilidade da Automação Residencial.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Coordenação de Engenharia Elétrica, Universidade do Sul de Minas, Minas Gerais, 2018.

SANTANA, Cícero Fellipe Diniz de. **Aplicação do regulamento técnico de nível de qualidade e nível de eficiência energética em uma edificação de ensino superior no Nordeste do Brasil.** 2015. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e recursos Naturais, Campina Grande, 2015.

SILVA, Guilherme Gonçalves da. **Avaliação ambiental dos benefícios da utilização da energia solar.** 2007. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Goiás, 2007.

STECK. **Datasheet Contatores Modulares.** 2015. Disponível em: <http://ambientaleletrica.com.br/wp-content/uploads/2015/04/Contatores_Modulares.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva.** Novos estudos CEBRAP. [São Paulo], n. 79, p. 47-69, ISSN 1980-5403, nov. 2007.

WEISS, Marcos Cesar; BERNARDES, Roberto Carlos; CONSONI, Flavia Luciane. Cidades inteligentes: a aplicação das tecnologias de informação e comunicação para a gestão de centros urbanos. **Tecnologia e Sociedade.** Curitiba, v. 9, n. 18, ISSN 1809-0044, out. 2015.

7 APÊNDICES

7.1 APÊNDICE A - Tabela de dimensionamento fotovoltaico

MODULO - fabricante	CANADIAN
Modelo	HIKU CS3W-420P
P nom [Wp]	420
I SC [A]	11,26
V PMP nom [V]	39,5
V OC [V]	48
Coef V [%/°C]	-0,28%
V OC,máx [V]	48,7
V PMP,min [V]	34,0
V PMP,máx [V]	40,1

Fator de dimensionamento	
Tolerado min	75%
Ideal min	100%
Ideal max	120%
Tolerado max	135%

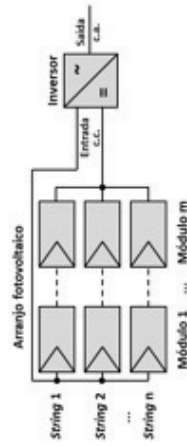
Local da Instalação	Temperatura
T ambiente, min [°C]	20
T célula, operação, min [°C]	20
T célula, operação máx [°C]	75

MPPT	3
------	---

INVERSOR - fabricante	GROWATT
Modelo	MAC 60KT13-X LV
P nom [W]	60.000
P max c.c. [W]	90.000
I max [A]	50
V max [V]	1100
V PMP min [V]	200
V PMP max [V]	1000

Cálculo	Teste por	Valor inversor	Valor módulo	Resultado	Ajustado
Nº máx módulos por string	V max	1100	48,7	22,6	22
Nº min módulos por string	V MPP min	200	34,0	5,9	6
Nº máx módulos por string	V MPP max	1000	39,5	25,3	25
Nº máx módulos total	P max	90.000	420,0	214,3	214
Nº máx strings em paralelo	I max	50	11,3	4,4	4

Verificação de alternativas	Alternativa	Verificação
Nº strings por MPPT	3	ok
Nº módulos em string por MPPT	20	ok
Nº módulos total	180	ok
Potência total	75.600	
Fator de dimensionamento	126%	tolerado



7.2 APÊNDICE B - Tabela de fluxo de caixa

Custo inicial	R\$ 1.446.870,36
Valor da tarifa	R\$ 0,75
Geração	379.717,68
Taxa de inflação anual	0,12
Valor de economia	R\$ 284.788,26

VPL = R\$ 355.024.328,80



*VP = Valor Presente

*VPL = Valor Presente Líquido

PERÍODO	RECEITA	FLUXO DE CAIXA
1	R\$ 284.788,26	R\$ 1.162.082,10
2	R\$ 511.819,72	-R\$ 935.050,64
3	R\$ 941.557,83	-R\$ 505.312,53
4	R\$ 1.552.284,04	R\$ 105.413,68
5	R\$ 2.324.606,75	R\$ 877.736,39
6	R\$ 3.241.212,05	R\$ 1.794.341,69
7	R\$ 4.286.641,10	R\$ 2.839.770,74
8	R\$ 5.447.091,36	R\$ 4.000.221,00
9	R\$ 6.710.239,11	R\$ 5.263.368,75
10	R\$ 8.065.081,06	R\$ 6.618.210,70
11	R\$ 9.501.792,84	R\$ 8.054.922,48
12	R\$ 11.011.602,66	R\$ 9.564.732,30
13	R\$ 12.586.678,61	R\$ 11.139.808,25
14	R\$ 14.220.027,87	R\$ 12.773.157,51
15	R\$ 15.905.406,89	R\$ 14.458.536,53
16	R\$ 17.637.241,03	R\$ 16.190.370,67
17	R\$ 19.410.552,98	R\$ 17.963.682,62
18	R\$ 21.220.898,68	R\$ 19.774.028,32
19	R\$ 23.064.310,22	R\$ 21.617.439,86
20	R\$ 24.937.244,84	R\$ 23.490.374,48
21	R\$ 26.836.539,35	R\$ 25.389.668,99
22	R\$ 28.759.369,48	R\$ 27.312.499,12
23	R\$ 30.703.213,55	R\$ 29.256.343,19
24	R\$ 32.665.820,08	R\$ 31.218.949,72
25	R\$ 34.645.178,78	R\$ 33.198.308,42
VP	R\$ 356.471.199,16	

