

REMAP: SISTEMA DE CÁLCULO DE ROI PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Victor Inácio de Oliveira

Faculdade Engenheiro Salvador Arena/Universidade Presbiteriana Mackenzie

Davi Oliveira Chagas Almeida

Faculdade Engenheiro Salvador Arena

Lucas Araújo Veloso

Renato Xavier Tavares

Faculdade Engenheiro Salvador Arena

Resumo

A preocupação com a sustentabilidade tornou-se uma pauta global desde o meio do século 20, e atualmente é considerado um tópico essencial globalmente, tanto que foram determinadas diretrizes para que ocorra a preservação do meio ambiente, e uma delas é a de aumentar a utilização de fontes de energia renováveis ou limpas. Tendo em vista ter uma matriz energética mais renovável, o Brasil passou a ter as hidrelétricas representando a maior parte da sua produção de energia, contudo, as recentes crises hídricas causaram déficit energético e conseqüentemente aumento nas tarifas elétricas, devido a isso houve um aumento na procura por opções de geração de energia própria. É com a temática em questão que este artigo propõe um sistema de análise preditiva da produção de energia fotovoltaica, através de uma solução IoT (Internet das coisas, do inglês Internet of Things) que conta com um ou mais dispositivos de captação para aferir a intensidade UV no ambiente e proporcionar uma análise com a recomendação de um sistema completo para ser implantada, tendo a análise de produção esperada, custo, economia anual, retorno de investimento, tempo de retorno do investimento.

Abstract

The concern about sustainability has become a subject-matter since the middle of the 20th century, and is currently considered an essential topic globally, so much that guidelines and goals were determined for the preservation of the environment, and one of them is to increase the use of renewable or clean energy sources. To have a more renewable energy income, Brazil started to have hydroelectric plants representing most of its energy production, however, the recent water crises caused an energy deficit and consequently an increase in electricity taxes, due to which the population increased the search for their own energy generation options. Through this occurrence that this article proposes a predictive analysis system to produce photovoltaic energy, with an IoT (Internet of Things) solution that has one or more admeasurement devices to measure the intensity UV in the environment and provide an analysis with the recommendation of a complete system to be implemented, having the analysis of expected production, cost, annual savings, return on investment and payback. The methodology was exploratory, in which a prototype was developed, and tests were carried out to verify its functionality, resulting in the creation of a device capable of collecting the necessary data and a backend that generates a report with indicators to assist in customer decision making.

Keywords: internet of things. renewable energy. energy investment. sustainability.

1 Introdução

A preocupação com as mudanças climáticas tornou-se um tema com forte impacto na sociedade a partir da década de 90, em que houve a criação do tratado *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) no Rio de Janeiro em 1992, através do esforço conjunto da *United Nations Environment Program* (UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e a *World Meteorological Organization* (WMO - Organização Meteorológica Mundial. Este tratado tem como foco o Meio Ambiente e o desenvolvimento de políticas sustentáveis, sendo que foi determinado uma conferência anual para realizar o alinhamento de expectativas e diretrizes globais, denominadas *Conference of the Parties* (COP) (UNITED NATIONS, 1992).

Ao analisar todas as conferências, nota-se que a conferência de 2015, COP21, teve como um dos principais focos a utilização de energia renovável para diminuição de

emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e foi estabelecida a diretriz para limitar o aquecimento global em 2°C, idealizando 1,5°C até o final do século (UNFCCC, 2016). Além deste tópico, no mesmo ano, houve a criação dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) durante a determinação da agenda para 2030 na Assembleia Geral das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2022), em que um dos objetivos é o de energia limpa e acessível.

Através destes dois eventos, há o consenso sobre a importância da energia limpa e renovável, porém é necessário definir a sua definição para que a sua compreensão seja facilitada, para isso foram criados guias que caracterizam as fontes de energia renováveis como matrizes energéticas obtidas a partir de origens naturais e capazes de serem renovadas, como por exemplo: hidrelétrica (água), geotérmica (calor) e biomassa (resíduos orgânicos) (UNFCCC, 2021). Enquanto a energia limpa possui impacto ambiental e social mínimo, sem emissões de gases poluentes decorrentes do uso de recursos, sendo alguns exemplos: energia nuclear, fotovoltaica (solar) e eólica (ventos) (DINCER, I. & ACAR, C. 2015), porém também existem casos em que a matriz energética pode ser renovável e limpa, como é o caso da energia fotovoltaica e eólica.

Visando adequar-se a estas demandas, o Brasil assumiu a frente em reestruturar a sua matriz energética para que fosse, em sua maioria, derivada de fontes renováveis, em como resultado passaram a representar 70% do percentual produzido no país, sendo que 60% equivalem a produção de usinas hidrelétricas (BRASIL, 2022).

Por outro lado, o cidadão brasileiro está enfrentando aumentos recorrentes nas tarifas de energia elétrica, causadas pelas constantes crises hídricas que o país vem sofrendo, afetando a sua principal fonte de energia, as usinas hidrelétricas. Estes aumentos foram tão expressivos que, para princípios comparativos, o aumento anual médio das tarifas foi de 16,3%, enquanto o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) foi de 6,7% ao ano, ou seja, se forem comparados, houve um crescimento de 237% anual nessas tarifas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2022).

Devido à essa preocupação, o IBOPE realizou em 2020 uma pesquisa de opinião pública para validar se o cidadão tinha interesse em produzir sua própria energia através de fontes renováveis, obtendo como resultado um interesse de 90% dentre os respondentes. Mostrando que a preocupação com a conscientização ambiental está sendo espalhada para todos e tornando esta categoria do mercado de

energia mais atraente no Brasil, além de ser uma opção de redução de custos para o cidadão (ANEEL/ABSOLAR, 2022).

Tendo em vista como público-alvo qualquer cidadão interessado em reduzir a sua conta de luz e os indivíduos que desejam ter um estilo de vida mais ecologicamente correto, o projeto REMAP tem como objetivo propor um sistema de análise preditiva da produção de energia fotovoltaica, através do fornecimento de um relatório de análise do investimento, auxiliando na tomada de decisão dos seus clientes através de um modelo simples e de baixo custo. Para isso foi criada uma central de captação que realiza medições da intensidade UV no ambiente de instalação e que viabiliza um estudo de caso através das mensurações, área e orçamento disponíveis e consumo médio com operadoras de energia, fornecendo o cálculo do *Return of Investment* (ROI) e *Payback* através das estimativas calculadas, garantindo maior assertividade nos cálculos e processo decisório.

2 Referencial teórico

Este tópico tem como objetivo apresentar as ferramentas, conceitos e recursos utilizados na construção do projeto REMAP, o qual foi dividido em três principais partes, sendo elas: energia solar, ROI e recursos de hardware e software.

2.1 Fontes de Energia Renovável

Segundo a Organização das Nações Unidas (United Nations) (2021), existem cinco principais fontes de energias renováveis, são elas:

- Energia Solar ou Fotovoltaica: Gera energia através da captação da radiação solar por meio de placas fotovoltaicas;
- Energia Eólica: Converte a movimentação das pás em energia mecânica e posteriormente em elétrica;
- Energia de Biomassa: Utiliza o vapor produzido na queima de matéria orgânica para movimentar uma turbina que gera energia elétrica;
- Energia Maremotriz: Transforma a variação do nível do mar, gerado pelas ondas, em energia;

- Energia Geotérmica: É a energia gerada através da coleta de calor do magma, que por sua vez é liberada por determinados pontos da superfície;

Contudo, existem problemas atrelados a implantação de matrizes energéticas renováveis, em que todas elas possuem alguma dificuldade na sua implantação, na matriz oriunda da biomassa existe a necessidade de um grande espaço para o seu funcionamento e um alto fluxo de entrada e gestão de resíduos orgânicos, a geotérmica e a maremotriz necessitam de um local adequado para a extração e o seu custo é alto, mesmo sendo as matrizes energéticas mais eficientes (Rigo et al, 2020).

Por fim, restam a eólica e solar, em que ambas possuem as desvantagens de necessitar de condições climáticas ideais e viabilidade de espaço para um bom funcionamento, porém são viáveis para a produção em residências pois necessitam de condições climáticas mais fáceis de serem atingidas (vento e sol) e existem dispositivos de pequena escala, permitindo consumir menos espaço e facilitando a sua implantação em ambientes menores, como residências. Tendo em vista estes pontos e as condições climáticas brasileiras de maior constância solar (ANEEL/ABSOLAR, 2022), a captação da matriz energética solar se sobressai para produção autônoma por demandar condições climáticas mais acessíveis, já que é possível produzir energia fotovoltaica mesmo com baixa intensidade luminosa, enquanto a eólica é inviabilizada na ausência de ventos.

2.1.1 Energia Fotovoltaica

A principal forma de se captar energia solar hoje se dá através do uso de painéis fotovoltaicos, onde, de acordo com Cruz et al. (2017), a célula básica do sistema é a fotovoltaica, onde a corrente e a tensão do sistema são baseadas na sua distribuição, podendo ser em série e paralelo.

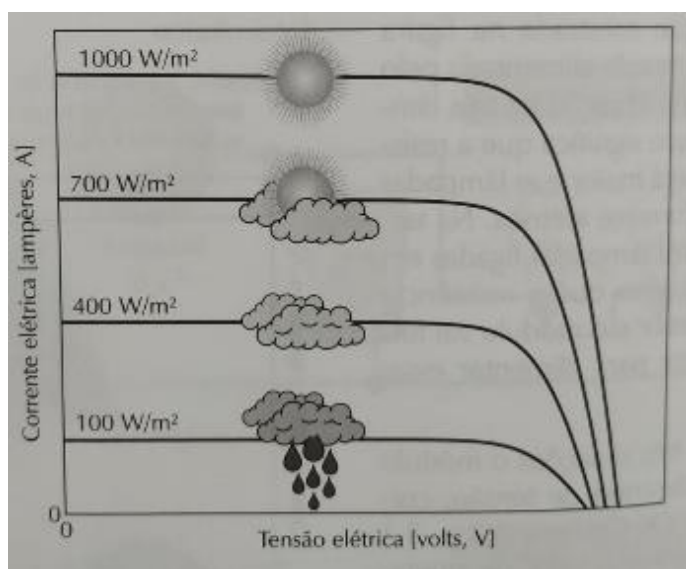
Estas células são constituídas de um material semicondutor, em que normalmente é utilizado silício ou elementos que o possuam devido a sua abundância e fácil manipulação, permitindo a redução do seu custo de produção.

A energia solar é convertida em duas etapas, primeiramente, os fótons absorvidos geram elétrons e buracos de elétrons, que representa um espaço na estrutura do elemento que perdeu o seu elétron. Essa combinação é separada, onde os elétrons são enviados para o terminal negativo do sistema e os buracos para o terminal

positivo. Essa movimentação de elétrons é responsável pela geração de energia no sistema fotovoltaico. Quanto mais dessas houver, maior será a tensão/corrente emitida no fim do processo (ALIPSSON, 2018).

Através deste método de conversão, é possível alocar os painéis para serem expostos as condições climáticas e captar energia, porém a sua produção irá variar de acordo com as condições climáticas, em que na Figura 1 nota-se a influência das condições climáticas na sua captação.

Figura 1. Influência das condições climáticas na operação do painel fotovoltaico



Fonte: Moura (2020).

Conforme Santos et al. (2020), essa energia pode ser utilizada de diversos tipos de sistemas, sendo eles:

- Sistema Isolado – O sistema fica separado da entrada da rede elétrica, utilizando baterias para armazenar a energia absorvida, para então ser utilizada sempre que necessário.
- Sistema conectado à rede – Neste caso, a energia absorvida pelas placas é enviada diretamente para a operadora de energia, gerando um saldo positivo para o cliente, e quando essa energia não é suficiente para suprir o consumo total da residência, é feito um consumo parcial da concessionária.
- Sistema híbrido – Este modelo trabalha em duas etapas, em que primeiramente irá carregar um banco de baterias e assim que estiverem totalmente carregadas, irá fornecer o excedente para a concessionária.

Enquanto isso, quando houver uso de energia, consumirá diretamente o que está sendo captado nas placas, e se não for o suficiente, das baterias e em último caso, da rede fornecedora.

2.2 Return of Investment (ROI)

Segundo Kousky et al (2019), o retorno sobre o investimento é uma métrica para calcular o benefício monetário de soluções, utilizado para avaliar e comparar seus investimentos a fim de definir o seu retorno, a qual é muito utilizada principalmente em cálculo de investimento energético, pois permite avaliar o percentual de retorno do investimento e com isso a sua viabilidade. Calculado através da divisão do lucro líquido pelo investimento, resultando no percentual do lucro.

Considerando o tempo em anos como t , o retorno em anos como R_T , o custo em anos como C_t e a taxa de desconto como i , a sua fórmula será:

Equação 1. Cálculo de retorno sobre investimento

$$ROI = \frac{\sum_{t=0}^T R_t / (1 + i)^t}{\sum_{t=0}^T C_t / (1 + i)^t}$$

Arelado ao ROI, existe a métrica *Payback* que tem como objetivo calcular o tempo necessário para obter o valor total investido, sem considerar a sua valorização. Essa métrica é utilizada apenas para mensurar o tempo, não podendo ser utilizada para o cálculo da lucratividade da solução (OZCAN & ERSOZ, 2019).

Sendo a sua fórmula, demonstrada na equação 2, composta por, C_T que equivale ao valor de investimento total e R_T que é o Retorno anual. Resultando no tempo necessário, em anos, para recuperar o investimento feito.

Equação 2. Cálculo do tempo de retorno do investimento

$$Payback = \frac{C_T}{R_T}$$

2.3 Proposição de Hardware e Software

Os recursos utilizados possuem foco em eficiência, escalabilidade e alta maturidade no mercado, possibilitando maior versatilidade na sua utilização, principalmente da camada de software.

2.3.1 Hardware

Com o advento da Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT), houve um aumento nas demandas para novas soluções que visam empregar tecnologias de baixo custo no setor da tecnologia, fazendo com que o foco do mercado seja voltado ao conceito de entregar mais com menos, seja com a utilização de plataformas *open-source*, ou com o uso de um hardware minimalista e que atenda às necessidades das soluções empregadas (AGHENTA, L. & IQBAL, M. 2019).

Tendo esses pontos em consideração, o REMAP terá uma única dependência da camada de hardware, que consiste em um dispositivo que consiga mensurar a intensidade UV e estabelecer um fluxo de comunicação via rede, logo, deverá ter as seguintes funcionalidades: conexão com a internet, capacidade de aferir intensidade UV, armazenamento interno e bateria interna.

Devido ao levantamento desses requisitos, e com o foco em ser um dispositivo low-end, ou seja, de baixo custo, foi definida a utilização de uma placa microcontrolador ESP32, sensores ML-8511 e o módulo TP-4056.

2.3.1.1 Microcontrolador ESP32

O ESP32 é uma unidade de microcontroladores (MCU - Microcontroller Unit) desenvolvida pela Espressif Systems. Em suas especificações demonstra-se como principal foco ser um dispositivo all-in-one, em que possua: um design compacto, baixo custo e baixo consumo de. A Figura 2 apresenta a placa ESP32.

Figura 2. ESP32



Fonte: Autoria Própria (2022)

O seu baixo consumo energético vem da sua estrutura, que pode ser alimentada com uma fonte USB de 5V ou com uma bateria de célula única de polímero de lítio, podendo ter uma tensão entre 2.2V e 3.6V, possibilitado por sua construção com 30 pinos de entrada e saída que suportam apenas 3.3V. Dessa forma, não há necessidade de mudar o sensor de corrente para 5V.

Outro ponto de destaque é a compatibilidade nativa com os módulos Wi-Fi e Bluetooth, tendo integração com o protocolo de rede MESH, o qual consiste na intercomunicação de nodos, ou seja, a comunicação entre placas para compartilharem a mesma rede entre si, atuando tanto como host quanto roteadores (ESPRESSIF SYSTEMS, 2022).

Além dos módulos de comunicação nativos, o seu *datasheet* possui destaque para o seu armazenamento disponível, aproximadamente 500KB, e a capacidade de operar em um grande intervalo de temperaturas, -40°C até $+125^{\circ}\text{C}$, permitindo a sua exposição prolongada ao sol.

2.3.1.2 Sensor ML-8511

Buscando atender aos requisitos do sistema, o sensor deve medir a intensidade UV possibilitando converter a leitura para a mesma escala utilizada pelas placas fotovoltaicas (Watts), permitindo aferir a produção destas placas.

Para isso, foi realizado o levantamento dos sensores base considerando os mesmos pontos levantados no projeto desenvolvido por Moura (2020) e das otimizações propostas por Oliveira e Gómez-Malagón (2018), sendo eles: i) variação de temperatura e; ii) ângulo azimutal (representa a trajetória dos raios solares do nascer ao pôr do sol com relação ao norte geográfico).

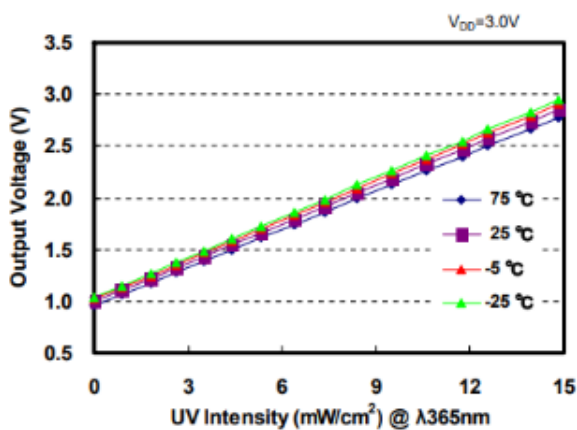
Figura 3. Sensor ML8511



Fonte: Autoria Própria (2022)

Tendo em vista estes pontos, o sensor com maior eficiência e precisão foi o sensor ML-8511 da Lapis Semiconductor, desenvolvido para adquirir a intensidade UV em qualquer ambiente, através de um amplificador interno que converte a foto-corrente (UV-A e UV-B) em voltagem, a qual permite extrair a geração de energia solar por cm^2 além da intensidade UV demonstrado no exemplo da Figura 4, e que não há uma grande perda de eficiência nas medições com a variação de temperatura (OSINOWO et al, 2021).

Figura 4. Curva de leitura do sensor ML-8511



Fonte: LAPIS Semiconductor Co (2013)

2.3.1.3 Módulo TP-4056

O Módulo TP-4056 da fabricante NanJing Top Power ASIC Corp. (2018) é um carregador completo para baterias de lítio que tem como objetivo carregá-las através de uma alimentação USB e consumir a sua energia para outros dispositivos caso não haja fonte direta, sendo que a voltagem é fixa em 4.2V e pode ser controlada através de resistores. Outro ponto de destaque vai para o seu intervalo de temperatura, que varia de -40°C até 85°C.

Através dos estudos de Arrohman e Fikriyyah (2018) para construir um carregador solar portátil, foi evidenciado que este componente foca na categoria low-end, logo, seu público-alvo é para soluções de baixo custo e com alta versatilidade, já que sua fonte de energia pode ser de qualquer origem transmitida através do conector USB, sendo possível utilizar uma fonte de energia solar para retroalimentar o sistema por exemplo.

2.3.2 Software

A camada de software é representada pelo *backend* da aplicação, porém necessita que a conexão com o dispositivo de mensuração seja simples devido a complexidade e alto consumo para requisições elaboradas.

Além de possuir escalabilidade para suportar muitas conexões simultâneas e para o banco de dados, que deverá armazenar uma quantidade robusta de dados. Devido a isso, foi determinada a criação de uma *Application Programming Interface* (API) desenvolvida em Node.JS consultando um banco de dados MongoDB, operando dentro da plataforma da *Amazon Web Services* (AWS), tendo o suporte de funções *lambda* para a realização dos cálculos e criações de rotinas e recursos auxiliares como *jobs*, *serviços* e *webcrawlers*, garantindo versatilidade no desenvolvimento pois pode utilizar qualquer linguagem de programação.

2.3.2.1 API

Uma API, em português interface de programação de aplicações, corresponde a uma aplicação construída e integrada com base em um conjunto de definições e protocolos, que permite a comunicação com outros elementos, produtos ou serviços,

construídos com outras arquiteturas, mas que seguiram o padrão de construção da interface, principalmente o conceito de requisições e respostas, em que o cliente realiza a requisição para o servidor, o qual faz o processamento e devolve as informações requisitas. Essa estrutura permite simplificar o desenvolvimento, economizando tempo e conseqüentemente custo (RED HAT, 2022).

Em coalisão com esta interface de programação, pode ser utilizado a arquitetura *Representational State Transfer* (REST), que funciona integrado com o conceito de requisição-resposta, todavia, usufrui mais do protocolo HTTP e retorna mensagens normalmente nos formatos: HTML, XML, plain text e JSON. Entretanto, a arquitetura foca na sua operação em qualquer linguagem de programação, e devido a isso é comum a utilização do retorno em JSON, pois pode ser utilizado e qualquer linguagem (RED HAT, 2019).

Por fim, a linguagem escolhida foi Javascript utilizando Node.JS, contudo, o Node não é uma linguagem, é um ambiente de execução que permite rodar Javascript diretamente no servidor, sem que haja necessidade de rodá-la em um navegador, além de ser executado em apenas um processo, ou seja, apenas um thread, isso torna-o mais leve e permite que sejam criados *clusters* de maneira simples. Algumas das principais vantagens da sua utilização são a sua flexibilidade, baixo custo, e possuir a possibilidade de ter o mesmo ambiente de programação tanto para o *backend* quanto para o *frontend* (OPENJS FOUNDATION, 2019).

2.3.2.1 MongoDB

MongoDB é um banco de dados não relacional de documentos que suporta o armazenamento em uma estrutura semelhante ao JSON. Este banco de dados garante maior flexibilidade por permitir o armazenamento de uma estrutura maleável e por ser otimizado para permitir agregações em tempo real (UBUNTU, 2022).

O seu modelo de armazenamento é denominado *document-data* e possui um design de um sistema distribuído, permitindo alocar as informações da maneira que o desenvolvedor achar melhor, sem que haja a dependência direta de estruturar novas tabelas, ou neste caso, documentos. Outro destaque desta database é o serviço Mongo Atlas, em que já oferece um cluster rodando na cloud, permitindo que o desenvolvimento seja agilizado e de baixo custo (MONGODB, 2021).

2.3.2.1 Devops

A *Amazon Web Services* é uma plataforma que oferece produtos baseados na nuvem, desde armazenamento, IoT, banco de dados, segurança, ferramentas de gerenciamento, virtualização, entre outros (AMAZON, 2021).

Entre os serviços oferecidos, este projeto utiliza o *Amazon Lambda* para criação de funções e apps *serverless* e *Amazon Elastic Compute Cloud* (EC2) que fornece capacidade computacional segura e redimensionável na nuvem, logo, ele cria uma instância de um servidor na *cloud*, com taxas abaixo do valor da capacidade computacional realmente consumida, favorecendo este produto para aplicações low-end.

Com o intuito de evitar *down-time* do servidor, está pode ser utilizado o Elastic Load Balancing em conjunto com o EC2, permitindo que várias instâncias operem paralelamente dividindo o processamento requisitado, contudo, cada uma delas deve ser devidamente configurada previamente, havendo a necessidade da utilização de um *framework* para evitar essas configurações ou minimizá-las.

O framework mais conceituado do mercado é o Docker, pois consegue encapsular aplicações e todos os seus pré-requisitos em imagens, que são executadas em instâncias denominadas containers, em que a aplicação é iniciada apenas executando o container, pois todas as configurações prévias já foram alocadas dentro da imagem (DOCKER, 2022).

3 Metodologia

Conforme concluído no referencial teórico, a geração de energia fotovoltaica é uma das opções viáveis para produção em ambientes residenciais. Dessa forma, foi realizada uma pesquisa de mercado com as empresas do ramo de implantação de energia solar do estado de São Paulo, como por exemplo: Holu (<https://holu.com.br>) e Portal Solar (<https://www.portalsolar.com.br>). Foi evidenciado que os serviços oferecidos se baseiam no consumo de energia médio da residência e na localização para consultar suas respectivas condições climáticas, ou seja, não consideram os fatores individuais de cada cliente, como por exemplo: obstrução dos raios solares devido à outras construção ou objetos e instalação em locais adversos.

Dessa forma, foi construído o dispositivo denominado “Central de Captação” que deve ser alocado no ambiente onde o cliente deseja implantar as placas solares, através deste, é possível ter uma análise da produção de energia e conseqüentemente a sua viabilidade sem necessidade de avaliação de terceiros e com precisão progressiva de acordo com o tempo de coleta de dados, em que foi estipulado o tempo mínimo de coleta de um mês.

A abordagem metodológica deste sistema é experimental, visto que o objetivo é realizar uma análise preditiva da produção energética e neste tópico serão abordadas todas as etapas para o desenvolvimento do protótipo do dispositivo de aferição e todas as ferramentas que foram utilizadas ao longo do desenvolvimento do modelo proposto.

3.1 Arquitetura do Sistema

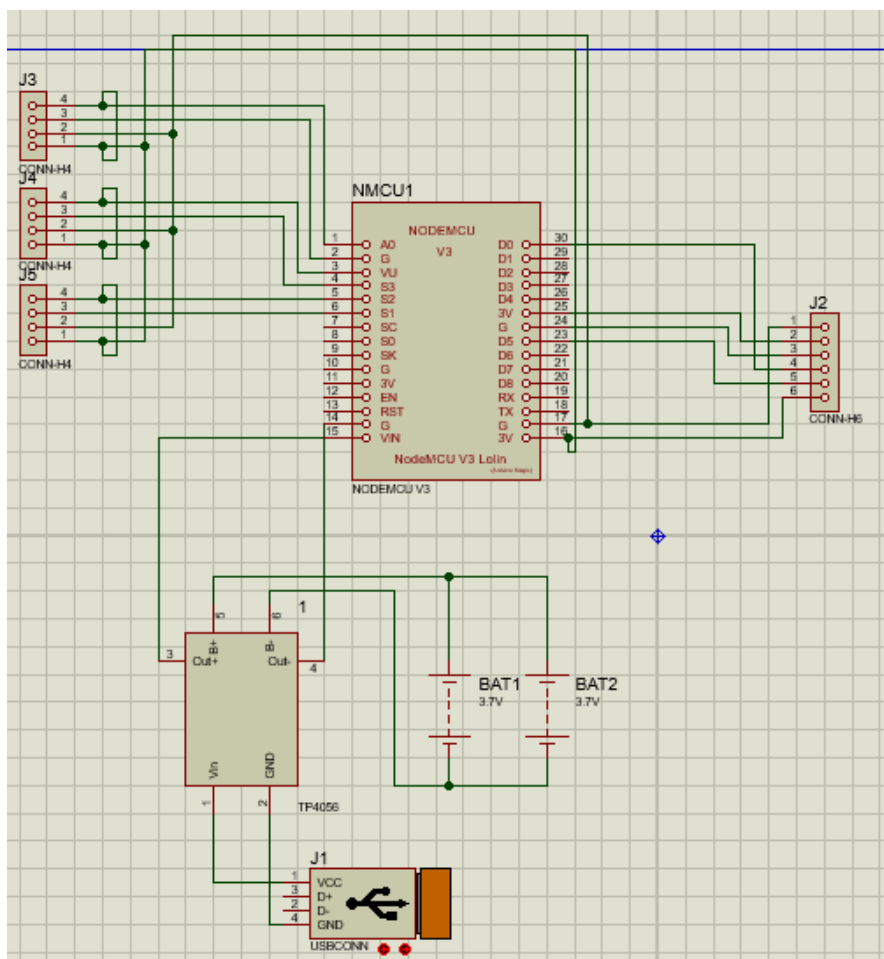
3.1.1 Hardware

Nesta seção será abordada a construção e configuração da central de captação, utilizando os seguintes componentes: ESP32, três sensores ML-8511 e duas baterias de *lithium* com 15800mAh.

O protótipo utilizará uma fonte de energia externa via a entrada Micro-USB da microcontroladora como principal meio de alimentação, e caso ela seja inviabilizada será possível manter a operação do sistema através das pilhas, sendo que esta ocasião é denominada de “modo portátil”. Neste modo, o sistema conseguirá se sustentar por 30 dias, pois consumirá 40mAh.

Após a definição do método de alimentação, foi necessário criar o circuito elétrico com a implantação dos sensores, sendo que foi analisado que seria viável implantar três pontos de medição ao invés de apenas um, no quesito de custo e consumo energético. Esta decisão foi baseada em garantir uma melhor cobertura do ângulo azimutal, em que com o passar do tempo, será possível captar intensidades UV em ângulos diferentes, para isso é feita a distribuição destes sensores em posições diferentes, permitindo calcular uma média de produção mais assertiva e com uma menor área.

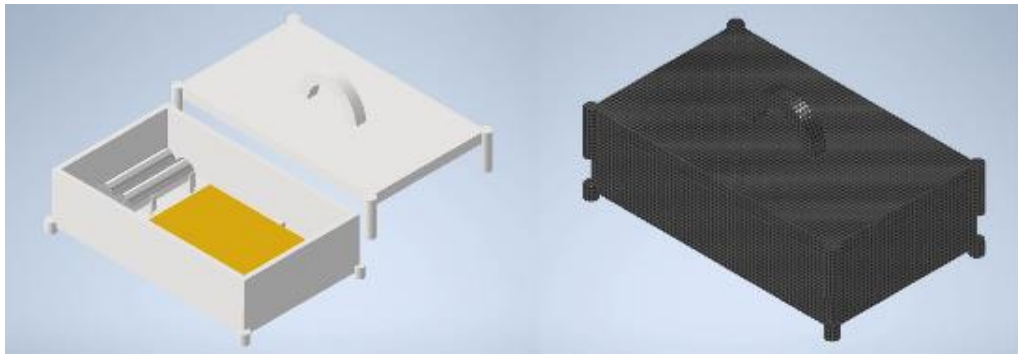
Figura 5. Esquemático elétrico do sistema.



Fonte: Autoria Própria (2022)

Outro tópico de atenção é referente a estrutura de armazenamento do sistema, que deve ser capaz de resistir a condições climáticas e manter o resfriamento dos componentes. Para isso, foi desenvolvida uma estrutura da Figura 6 baseada em resina que pode ser impressa em impressoras 3D, garantindo escalabilidade em sua produção, devido ao seu baixo custo e de sua condutividade térmica se alinhar com as demandas do projeto, principalmente por possuir perfurações na sua base para garantir um melhor fluxo de ar.

Figura 6. Design da Central de Captação



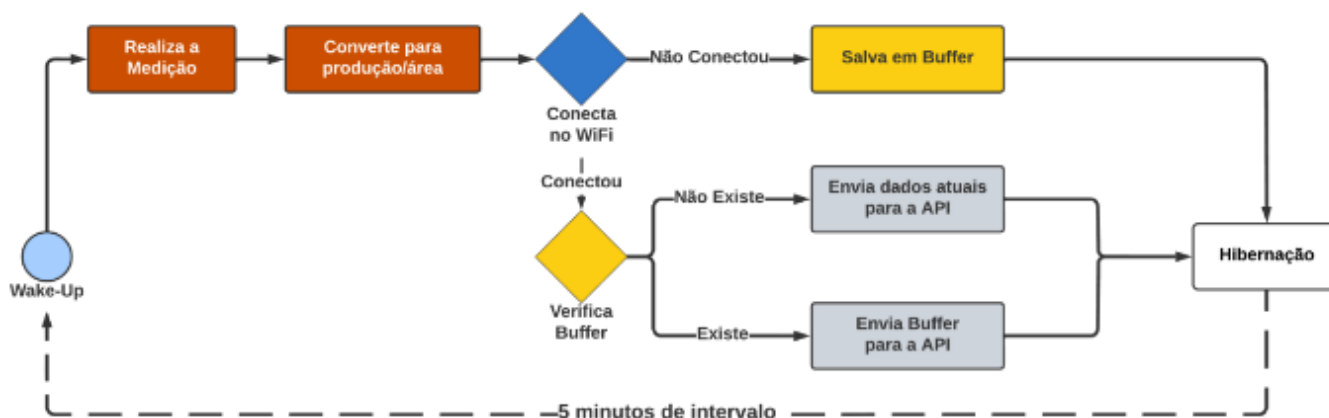
Fonte: Autoria Própria (2022)

Além de um *container* para o *core* do sistema, também foi necessário criar outro para os sensores individuais, porém sendo uma caixa de acrílico lacrada utilizando uma película de controle solar, para reduzir a intensidade dos raios solares captados pelo sensor, o qual possui uma limitação de 190 W/m^2 . Deste modo, foi utilizada uma película de alta performance para veículos ou residências G5 preto, que faz a obstrução de 99% dos raios UV e 79% da produção de energia solar, ou seja, irá aumentar o limite de captura dos sensores permitindo que as medições estejam dentro do limite físico do sensor, mas que é possível realizar a conversão com uma margem de erro de 5% e adquirir o valor correto da intensidade UV.

3.1.1.1 Fluxo de Operações

A central de captação visa operar com o máximo de eficiência possível, seja ela de componentes, internet ou energia, para isso, ela segue o *workflow* demonstrado na figura 7, que foca em reduzir o consumo de energia através da operação do seu ciclo de medição em apenas trinta segundos, e fazendo uma única requisição por medição e após o ciclo de execução ela entrará no modo de *deep-sleep*, que desativa todos os recursos, até o início do próximo ciclo que ocorre a cada cinco minutos.

Figura 7. Fluxo de trabalho da central de captação



Fonte: Autoria Própria (2022)

Outro ponto de atenção, é a indisponibilidade de rede ethernet, em que impossibilita o envio das medições para o banco dados. Neste caso, será utilizada a gravação em *Buffer*, e quando a conexão retornar, será realizado o envio retroativo das medições.

3.1.1.2 Custo dos Componentes

Neste tópico será abordado o valor de cada item utilizado para o desenvolvimento da central de captação, desconsiderando os valores variáveis de frete e a mão de obra e o custo da infraestrutura prévia necessária, que conta com um ferro de solda e uma impressora 3D. Com isso, o valor total para a produção da central é R\$142,71.

Tabela 1. Custo dos materiais da central de captação

Produto	Valor Unitário	Link
ESP32	R\$ 20,09	https://pt.aliexpress.com/item/1005004708626625
Sensor ML8511	R\$ 14,27	https://pt.aliexpress.com/item/4000086056238
TP4056	R\$ 0,87	https://pt.aliexpress.com/item/1005002119352847
MT3608	R\$ 1,85	https://pt.aliexpress.com/item/1005002205854053
Pilha Lítio 15800mAh	R\$ 34,33	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2170372004
Cabos de cobre	R\$ 8,49	https://pt.aliexpress.com/item/1005004506428624

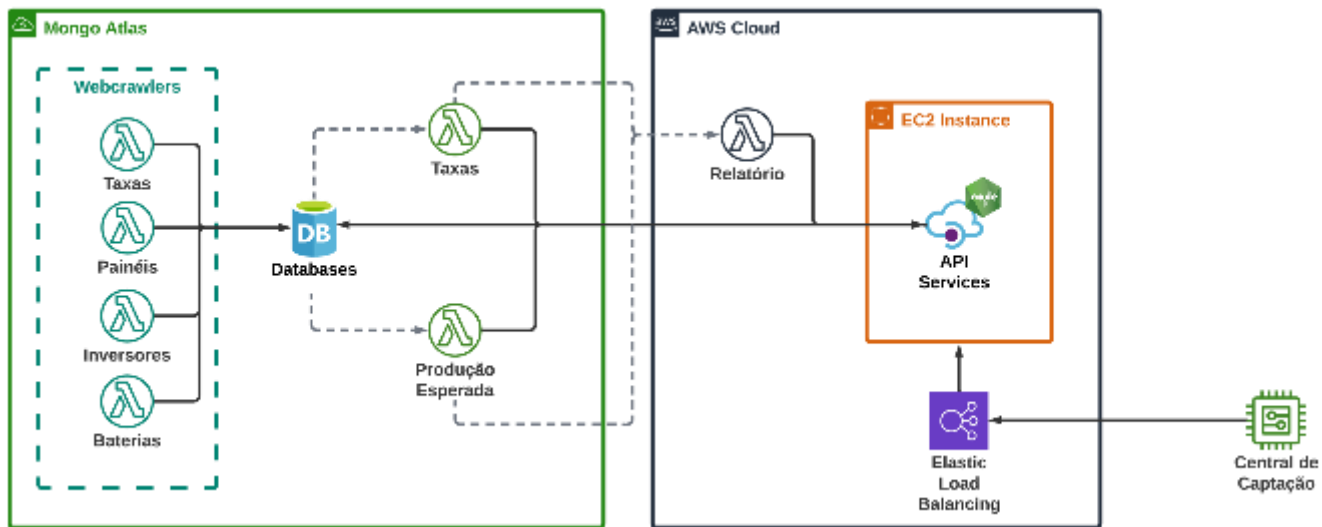
2mm		
Placa Cobre	R\$ 1,25	https://pt.aliexpress.com/item/1005002946151569
Solda	R\$ 3,02	https://www.lojadomecanico.com.br/produto/343201/
Base impressa em 3D	R\$ 30,00	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2658262567
Película de controle solar	R\$ 26,20	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-757380783

Fonte: Autoria Própria (2022)

3.1.2 Software

Concluída a definição do método de coleta dos dados principais, foi projetada uma arquitetura de ponta a ponta da solução, representada pela Figura 8, para que os dados fossem transformados e passassem pela análise para fornecer um relatório ao cliente contendo as métricas de viabilidade do investimento.

Figura 8. Arquitetura de ponta a ponta da aplicação



Fonte: Autoria Própria (2022)

A arquitetura foi estruturada em 3 grupos gerais, as quais são: Mongo Atlas, AWS Cloud e Central de Captação. Conforme contextualizado previamente, a central é o dispositivo que realiza a coleta dos dados ao estabelecer a comunicação via *requests* para a API, o grupo AWS Cloud também pode ser chamada de infraestrutura do projeto

ou *DevOps*, pois consiste no ecossistema em que o software do projeto se situa, o qual é uma instância EC2 rodando na região de São Paulo para garantir um melhor tempo de resposta nas consultas, outro ponto de destaque é a utilização do sistema *Elastic Load Balancing*, que permite utilizar outras duas instâncias EC2 para dividir a *workload* entre si, garantindo que o sistema tenha maiores capacidades de processamento, além de possuir a configuração adicional de servidores dinâmicos, possibilitando a criação de novas instâncias caso os três servidores iniciais não suportem o consumo momentâneo.

Por fim, restou o Mongo Atlas, que corresponde ao serviço da MongoDB que possui o mesmo nome, o qual realiza o *hosting* de um *cluster* na região de São Paulo para o banco de dados, permitindo um processamento mais ágil por estar na mesma região de consumo. Contudo, este serviço não realiza apenas a hospedagem do banco de dados, é possível utilizar o conceito *serverless* para a criação de aplicações que não rodam em instâncias específicas dos servidores, denominadas funções *lambda*, garantindo um menor consumo de recursos e agilidade para soluções voltadas a micro aplicações, *jobs* e *services*, sendo que a REMAP utiliza desta funcionalidade para utilizar *webcrawlers* de coleta de dados, os quais realizam a leitura e adaptação de dados expostos em sites para popular as bases de dados de painéis solares, baterias, inversores e taxas municipais, estaduais e nacionais, além de utilizar micro APIs para realizar o cálculo das taxas e da produção esperada do cliente, evitando que a API realize todos os cálculos necessários para a conversão, modularizando o processo e garantindo a versatilidade de utilizar qualquer linguagem de programação.

Por meio da estruturação do software em duas camadas, que seria a utilização de APIs e funções *lambda*, é possível diminuir os requisitos de execução, proporcionando que a API atue como um ponto de distribuição e armazenamento de informações, realizando apenas três etapas principais do cálculo, que seria a transformação base dos dados e apuração do ROI e *Payback*.

3.1.2.1 Modelagem

A modelagem do banco de dados foi desenvolvida para englobar o sistema do REMAP completo, possuindo a estruturação necessária para: i) logística de produção dos dispositivos; ii) venda e aluguel das centrais para os clientes; iii) armazenamento dos dados do usuário, dispositivos (solar ou eólico), painéis solares, parceiros

comerciais, taxas, inversores e baterias; iv) capacidade de um cliente possuir dispositivos em múltiplas localidades; v) expansão do modelo de negócio para abordar energia eólica.

Ao realizar a utilização de um banco de dados não relacional como o MongoDB, torna-se viável a estruturação através do padrão JSON, em que foram utilizados objetos para realizar o armazenamento dos dados, mantendo o padrão para o *backend*. Conseqüentemente, foi adquirida maior flexibilidade de criar padrões internos para serem utilizados em múltiplos objetos, como é o caso da figura 9, em que é demonstrado o padrão de coleta para medições, sejam elas solares ou de outra fonte de energia renovável.

Figura 9. Modelo para captura de medições

```
{
  "_id": "", /* UUID */
  "device_serial_number": "", /* String */
  "date": "", /* DateTime */
  "value": 0, /* Float */
  "value_type": "", /* measure value type */
  "entry_date": "", /* DateTime */
  "environment_id": "", /* String */
  "status": "" /* valid | invalid */
}
```

Fonte: Autoria Própria (2022)

Este modelo de armazenamento fornece uma maior flexibilidade ao comparado com os modelos relacionais, pois é possível que um documento, equivalente a um registro em *databases* relacionais, possa ter variáveis, equivale as colunas em tabelas, dinâmicas. Tal funcionalidade foi extremamente utilizada no desenvolvimento dos *webcrawlers*, pois cada operadora de energia e fornecedor dos componentes possui o seu padrão de nomenclatura, em que após a coleta de dados foi possível filtrar os elementos necessários para adquirir apenas as informações necessárias para o nosso fluxo de cálculo, resultando na construção de um padrão que engloba a maioria dos casos, mas que ainda possui o flexibilidade de existência do parâmetro, tanto para as taxas utilizadas em cada estado, figura 10, quanto para os produtos, como é o exemplo das placas fotovoltaicas demonstrado na figura 11.

Figura 10. Modelagem dos dados para as taxas cobradas pelas fornecedoras de

energia

```

{
  "_id": "", /* UUID */
  "state_name": "", /* String */
  "state_initials": "", /* String */
  "providers": [
    {
      "id": "", /* UUID */
      "name": "", /* String */
      "regi_date": "", /* DateTime */
      "status": "", /* active | inactive */
      "average_cost": "", /* Float */
      "tarifa_uso_sistema_distribuicao": "", /* Float */
      "tarifa_energia": "", /* Float */
      "descricao_classe": "", /* iluminação publica | não se aplica | residencial | rural */
      "descricao_sub_classe": "", /* baixa renda | residencial */
      "descricao_modalidade_tarifaria": "", /* convencional | convencional pré-pagamento | branca */
      "descricao_base_tarifaria": "", /* base econômica | tarifa de aplicação */
      "descricao_sub_grupo": "", /* A1 | A2 | A3 | A3a | A4 | A4a | A4b | AS | B | B1 | B2 | B3 | B4 */
      "nome_posto_tarifario": "", /* não se aplica | fora ponta | intermediario | ponta */
      "tributos": "" /* Float */
    }
  ]
}

```

Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 11. Modelagem dos dados para os painéis solares

```

{
  "_id": "", /* UUID */
  "_model": "", /* String */
  "_serial": "", /* String */
  "power": 0, /* Float */
  "cost": 0, /* Float */
  "status": "", /* active | inactive */
  "regi_date": "", /* DateTime */
  "modification_date": "", /* DateTime */
  "installation_cost": 0, /* Float */
  "warranty": 0, /* Int */
  "warranty_value_type": "", /* years | months */
  "url": "" /* String */
}

```

Fonte: Autoria Própria (2022)

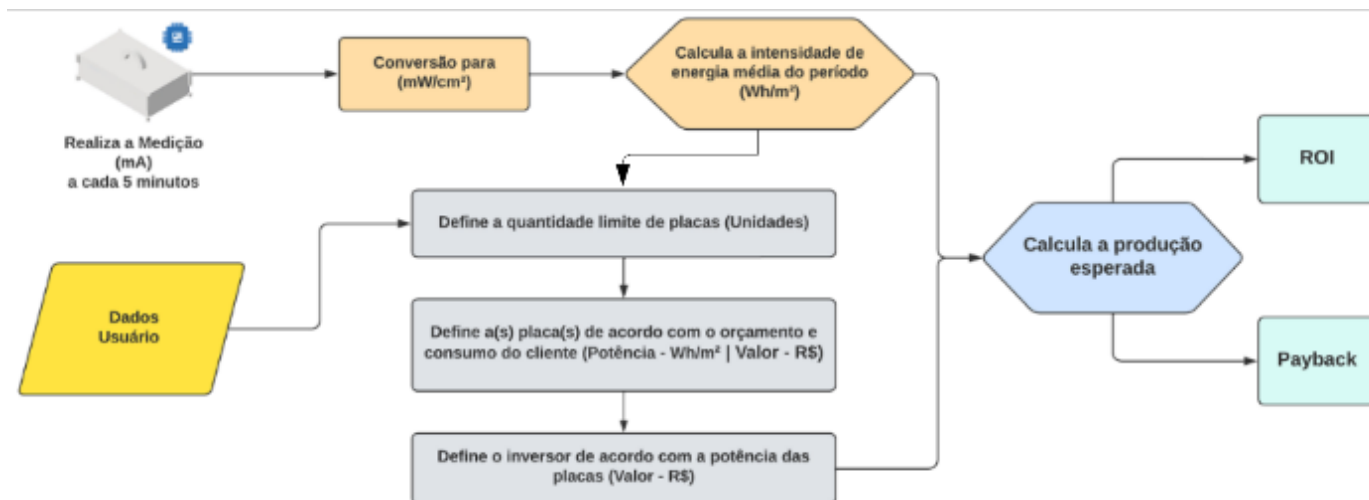
3.1.2.2 Transformação dos Dados

O modelo de negócio do REMAP se baseia na coleta e transformação dos dados captados para fornecer um relatório de alto valor agregado ao seu cliente, com esse objetivo é necessário a coleta de alguns dados mínimos do seu usuário, sendo eles:

- Área disponível (m^2).
- Consumo energético mensal médio (KWh).
- Classificação da Unidade (Tarifas conta de luz): subgrupo, classe, subclasse, modalidade.
- Orçamento (R\$).

Com o levantamento inicial de dados, em que pelo menos a informação de consumo mensal deve ser fornecida, os valores necessários para seguir o fluxo de cálculo foram agregados e disponibilizados para efetuar o fluxo de trabalho da figura 12, o qual pode-se dividir em três etapas: dados da central, dados do cliente e consolidado.

Figura 12. Fluxo de cálculo do projeto REMAP



Fonte: Autoria Própria (2022)

A etapa de dados da central consiste na medição inicial em voltagem e corrente, mA e V, sendo convertida para a produção esperada em mW/cm^2 através do *script* da figura 13, e salvando o dado no MongoDB, o qual é consultado durante a execução da função *lambda* de produção estimada, realizando o cálculo da captação de energia média após realizar este cálculo para cada registro levando as medições dos três sensores em W/m^2 , sendo que cada valor desse equivale a produção instantânea de energia, logo, pode-se considerar que esse valor é referente a cada segundo, e deve ser convertido para Wh/m^2 para utilizar a mesma unidade das placas solares.

Figura 13. Código de conversão da medição feita pela Central de Captação

```
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
float uvIntensity = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Convert the voltage to a UV intensity level
float uvIntensity_2 = mapfloat(outputVoltage_2, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Convert the voltage to a UV intensity level
float uvIntensity_3 = mapfloat(outputVoltage_3, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Convert the voltage to a UV intensity level
```

Fonte: Autoria Própria (2022)

Com a conclusão da etapa da central, é possível prosseguir para os dados do cliente, no qual é realizada a determinação a ordem de painéis solares com melhor custo-benefício, o qual é levado em conta os seguintes parâmetros, já determinados em ordem de importância: i) preço base por W/m²; ii) preço base por m²; iii) área (m²).

Através da ordem, é realizado o filtro com base no consumo do cliente, conforme cálculo na equação 3, o qual é considerado o seu consumo energético, considerando um acréscimo de 20% para suprir possíveis variações no consumo e desgaste dos painéis, calculando a produção esperada após transformar o consumo em um valor diário e dividir por dez, constante que é a referência do tempo de produção médio ao longo do dia, resultando na produção necessária oriunda de painéis solares para suprir suas necessidades diárias. Todavia, caso a média de produção seja abaixo do valor de consumo do cliente, haverá um informativo que a implantação do sistema fotovoltaico não suprirá a sua demanda energética, servindo como suporte.

Equação 3. Equação de consumo do cliente

$$\text{Consumo do Cliente} = \frac{\text{Consumo Mensal Médio} \times 1.2}{\text{Quantidade de Dias} \times \text{Tempo de Produção}}$$

Após o cálculo do consumo do cliente (Wh), é calculado a quantidade ideal de cada placa através da equação 4, a qual é utilizada para determinar o valor total, área e potência total, equações 5, 6 e 7 respectivamente. Mediante estes indicadores, será escolhida a placa com menor valor total e que a área total esteja dentro da limitação do cliente, contudo, se a área do cliente não for suficiente para a implantação de um sistema completo ele será informado sobre esta situação.

Equação 4. Cálculo da quantidade ideal de painéis

$$Q_P (\text{Quantidade de Painéis}) = \frac{\text{Consumo do Cliente}}{\text{Produção da Placa} \times \text{Eficiência da Placa}}$$

Equação 5. Cálculo do valor total do sistema de painéis

$$\text{Valor Total dos Painéis} = Q_P \times (\text{Valor do Painel} + \text{Valor de instalação})$$

Equação 6. Cálculo da área total do sistema de painéis

$$\text{Área Total dos Painéis} = Q_P \times \text{Área do Painel}$$

Equação 7. Cálculo da potência total do sistema de painéis

$$\text{Potência Total dos Painéis} = Q_P \times \text{Potência do Painel}$$

O último passo da etapa dados do cliente é determinar o inversor que será utilizado, que equivale ao equipamento que realizará a consolidação de toda a energia captada, ou seja, deverá possuir a capacidade do sistema através da equação 7 de potência total (W).

Na última etapa ocorre a consolidação, em que são geradas as métricas de *Payback* e ROI, entretanto, é calculado o valor padrão do ROI de vinte e cinco anos que equivale ao tempo de vida médio dos painéis solares e o *Payback* utiliza o valor de retorno referente a um ano. Para atingir o cálculo dessas métricas, é essencial calcular o valor do investimento e do retorno, os quais são gerados através das equações 8 e 11.

Equação 8. Cálculo do valor de investimento do sistema completo

$$\text{Investimento} = \text{Valor Total dos Painéis} + \text{Valor do Inversor}$$

Equação 9. Cálculo da produção do sistema

$$\text{Prod}_S (\text{Produção do Sistema}) = Q_P \times (\text{Produção da Placa} \times \text{Eficiência da Placa})$$

Equação 10. Cálculo das tarifas de consumo cobrado do cliente

$$\text{Tax}_C (\text{Tarifas de Consumo}) = \text{Taxa Governamental} + \text{Taxa Operadora}$$

Equação 11. Cálculo do valor de retorno do sistema

$$\text{Retorno} = \sum_{n=0}^n \left((\text{Prod}_S \times (1 - \text{Desgaste Anual})^n) \times (\text{Tax}_C \times (1 - \text{Reajuste Anual})^n) \right)$$

Equação 12. Fórmula de *Payback* do investimento em um sistema fotovoltaico

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Retorno}}$$

Equação 13. Fórmula de Retorno sob Investimento em um sistema fotovoltaico

$$ROI = \frac{\textit{Retorno}}{\textit{Investimento}}$$

Após efetuar todos os cálculos do *workflow* apresentado, todas as informações para a geração de um relatório para os clientes estarão disponíveis, o qual terá ênfase nos indicadores de retorno de investimento e no painel solar sugerido.

3.1.2.3 Fornecimento dos Resultados

O fornecimento dos resultados equivale ao retorno que o cliente receberá ao realizar a consulta do relatório de medições, para isso, o desenvolvimento foi realizado tendo em vista uma plataforma de visualização completa, gerando os relatórios: sistema recomendado, painéis recomendados e medições. Contudo, sem a plataforma de visualização apenas o retorno do sistema recomendado, demonstrado na figura 14, possui a capacidade de auxiliar na tomada de decisão sobre a implantação ou não do sistema, pois o relatório de painéis recomendados seria uma lista com indicadores de custo benefício e todo o sistema para as placas, garantindo opções de compra, enquanto o de medições teria um caráter demonstrativo para ser utilizado com uma interface similar a um *broker*, apenas exibindo as medições para o usuário.

Figura 14. Modelo do relatório de análise do sistema recomendado para o

```

{
  "system_power": 0, /* System power (kWp) */
  "system_mensual_production": 0, /* System mensal production (kWh) */
  "system_annual_production": 0, /* System annual production (kWh) */
  "system_annual_save": 0, /* System annual save (R$) */
  "system_cost": 0, /* System cost (R$) */
  "system_area": 0, /* System area (m²) */
  "qtde_panels": 0, /* Number of panels */
  "return_of_investment": 0, /* Return of investment (years) */
  "payback_period": 0, /* Payback period (years) */
  "solar_panel": {
    "name": "", /* Solar panel name */
    "url": "", /* Solar panel URL */
    "power": 0, /* Solar panel power (Wp) */
    "area": 0, /* Solar panel area (m²) */
    "price": 0, /* Solar panel price (R$) */
    "lifetime": 0, /* Solar panel lifetime (years) */
    "qtde": 0 /* Number of solar panels */
  }
}
cliente

```

Fonte: Autoria Própria (2022)

O modelo do relatório de análise do sistema recomendado foi construído com o foco de fornecer apenas as informações essenciais para o solicitante, tendo como principais informações: custo, área, produção e economia anual do sistema e as métricas de ROI e *Payback*. Por meio destes dados, o cliente pode alinhar as suas expectativas com o investimento e validar se atende seus requisitos, permitindo que seja determinado um plano de ação para a sua implantação.

3.1.2.4 Custo

O custo da camada de software é baseado na plataforma de *Devops* em que está ambientada, neste caso, na AWS, sendo que o valor é baseado nos serviços e em seu consumo. Para realizar a estimativa de gastos, foi utilizado o simulador AWS Pricing Calculator disponibilizado pela própria Amazon, na qual é possível selecionar os serviços desejados, e especificar o seu uso, fornecendo uma análise extremamente precisa do orçamento final.

Ao utilizar o simulador, foi definido a estrutura base descrita neste artigo, que seriam três instâncias EC2 Linux no *Load Balance* e a utilização das funções *lambda*, tendo um adicional do serviço S3 para armazenamento de dados, totalizando um custo

mensal de \$78,79 (<https://calculator.aws/#/estimate?id=3276375a13800e9d8dbe189c46bb4ea092d32474>) porém com capacidade para suportar mais de 500 milhões de requisições mensais, já o MongoAtlas não geraria custos pois o seu cluster *free-tier* suportaria as funções *lambda* e a *Database*, e caso os limites deste cluster sejam excedidas, é possível realizar a migração dos seus serviços para a AWS por um valor adicional médio de \$12.

Entretanto, para a fase inicial do projeto, e considerando um limite de 40 usuários é possível reduzir os recursos para apenas uma instância EC2 e a utilização das funções *lambda*, gerando um custo de \$8,71 (<https://calculator.aws/#/estimate?id=012957328a4d73480c747374f2d058ffa310f47e>), reduzindo os custos para aproximadamente 10% do valor base.

4 Resultados e discussão

Este capítulo apresenta os resultados do projeto, com o objetivo de validar a proposta elaborada pela pesquisa. Foi possível realizar o desenvolvimento de um protótipo, figura 15, que para atender aos requisitos de construção e hardware deve ser capaz de manter-se operando mesmo caso falte alimentação, não ter perda de dados caso ocorra oscilação no sinal de internet e ser capaz de resistir a condições climáticas para que os seus componentes não sejam danificados,

Figura 15. Protótipo da Central de Captação



Fonte: Autoria Própria (2022)

A sua estrutura construída em filamento ABS permitiu uma boa resistência a exposição solar, a qual foi realizada testes de exposição natural e com temperaturas próximas a 45°C, e não houve complicações após a adição das perfurações na parte inferior do dispositivo. Outro ponto é a resistência a chuvas, para isso equipamento foi exposto ao evento em questão e testes de submersão para validar se resistiria a essas condições climáticas, sendo evidenciado que submersões acima de 3cm afetariam os componentes internos, causando na degradação dos componentes e conseqüente mal funcionamento.

O suporte a falta de alimentação foi resolvido através do módulo TP-4056, que possibilitou a utilização de baterias recarregáveis em paralelo para alimentar o sistema, garantindo uma autonomia superior a trinta dias com a utilização de pilhas com 30000 mAh ou mais. A autonomia pode ser aumentada ao adicionar mais baterias ou caso os ciclos de operação sejam aumentados, pois foi avaliado que as mensurações devem ocorrer idealmente a cada cinco minutos, onde o dispositivo é iniciado e realiza todo o fluxo de medição-conversão-envio para depois entrar no estado deep-sleep, o qual consiste na hibernação da microcontroladora e desativação de todos os outros componentes, viabilizando uma grande redução no consumo de energia, pois o aparelho opera em média trinta segundos por ciclo, ou seja, o equipamento opera em sua totalidade aproximadamente duas horas e meia por dia.

Enquanto a oscilação no sinal da internet foi resolvida através da transformação dos dados a serem enviados pela requisição em um Buffer contendo o horário da medição e armazenagem na memória da microcontroladora, com isso eles podem ser enviados no próximo ciclo sem que haja perda de dados.

Por outro lado, a central de captação conseguiu realizar a função de coleta de dados através da medição do voltagem e corrente capturada pelo sensor ML-8511, que após utilizar uma película de obstrução de raios solares passou a receber cerca de 1% dos raios UV e 20% da energia solar e aumentando o seu intervalo de captura, evitando que o sensor seja danificado devido a exposição acima do limite, em que após a aferição, ela é convertida para produção esperada e o dispositivo estabelece a conexão com o serviço de backend via protocolo HTTP pela rede Wi-Fi previamente configurada, onde são armazenados em sua instância do banco de dados MongoDB, ficando disponíveis para as consultas de conversão das funções *lambdas* do Mongo Atlas e para a API.

Contudo, é necessário o levantamento de alguns dados prévios antes da geração do relatório, sendo eles: taxas da operadora a serem cobradas, painéis solares disponíveis para venda, inversores que estão sendo comercializados, baterias sendo vendidas para estruturar o sistema e taxas governamentais. Devido ao fator destes dados não serem previamente estruturados e padronizados, mas serem disponibilizados por fabricantes, fornecedores, lojas e pelo governo, foi necessário o desenvolvimento de *scripts* de leitura dos seus websites para realizar a coleta dos dados e agrupar na estrutura que o REMAP utiliza. Também foi desenvolvido *endpoints* de cadastro e gestão para caso existam parceiros interessados em oferecer o serviço de instalação de painéis solares.

Com os dados disponibilizados, o cliente pode solicitar o relatório de sistemas recomendados que realizará o processamento das taxas, produção esperada e do relatório solicitado via funções *serverless*, que atuam como microsserviços e realizam a consulta no banco e cálculos para determinar quais são as taxas que afetavam o cliente ou que ainda o afetam caso seu sistema não utilize o modelo de baterias ou se não atende toda a sua demanda energética, a média de produção no ambiente do cliente e a projeção mensal e toda a conversão de dados que é realizada na função de relatório.

A função de relatório atua como uma API interna que gera todos os tipos de relatório do sistema REMAP, sendo que por no início possuir apenas três tipos foi mantida em apenas uma função lambda, mas será necessário a segregação em funções individuais se ocorrer a expansão dos tipos. Esta função foi criada com o intuito de armazenar a parte mais complexa do cálculo, utilizando recursos de outras linguagens como o Python para cálculos mais precisos e rápidos em comparação ao Node.JS, mas que ao unir o poder de processamento de ambas acaba ganhando performance e precisão.

O relatório de recomendação consiste na filtragem de bases de dados de acordo com as informações passadas pelo cliente, ou seja, realizando o filtro com base nos parâmetros de orçamento, área disponível e consumo energético. Este filtro ocorre ao fazer a simulação do sistema completo com todas as placas registradas no sistema, em que os limitadores serão levados em conta para a eliminação de simulações que não se encaixem no perfil do usuário, após esta etapa é considerado o parâmetro de custo benefício, calculado conforme explicação no capítulo de transformação de dados. Após

a determinação dos registros válidos é ordenada a lista de acordo com o custo benefício e retornado o item na primeira posição.

Por fim, o link para o código da API principal está hospedado na plataforma de código-fonte e arquivos com controle de versão Github, sendo o link para seu repositório: <https://github.com/RenatoXT/remap-api>. Este repositório está configurado para realizar o *build* da imagem Docker junto com a de produção, permitindo que a imagem suba para o repositório interno do Docker, o qual possui um *pipe* de consulta que atualiza o ECR, serviço de repositórios da Amazon, e reflete a atualização para a instância EC2. Por outro lado, as funções lambdas são salvas nos serviços da AWS e do Mongo Atlas pois não é possível configurar os *pipes* de *continuous integration* (CI) e *continuous delivery* (CD), impedindo que a funções sejam atualizadas ao atualizar algum repositório.

5 Considerações finais

Este artigo tem como objetivo a proposição de um sistema de análise preditiva para fontes de energia renováveis, com foco na energia solar, tendo em vista fornecer auxílio na tomada de decisão dos seus clientes através de uma solução de baixo custo que fornece as métricas do ROI e *Payback* através de um relatório, assim como, desenvolver o dispositivo denominado “central de captação” que atua realizando a medição da corrente elétrica gerado pelos sensores ML-8511 e convertendo-a para a produção máxima esperada por área, transmitindo este dado para o *backend* do projeto.

O projeto possui como principal público-alvo os cidadãos que foram afetados pelo aumento nas tarifas elétricas e que desejam diminuir os seus gastos energéticos a médio prazo, visando fornecer uma análise com o valor do investimento sugerido e indicadores que refletem a viabilidade do investimento, o ROI e o *Payback*, que permitirão a análise do lucro longo dos anos, e em quanto tempo o seu investimento se pagará. Contudo, o público-alvo afeta qualquer brasileiro interessado em não depender de fornecedoras de energia, ou que possuam interesse em reduzir seus gastos a médio prazo.

Os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios e os objetivos concluídos, tendo em vista que o projeto da central de captação não enfrentou dificuldades em condições climáticas adversas (principalmente, sol intenso e chuva) e

realizou as funções pré-determinadas com excelência, sendo elas: i) realizar as medições da intensidade UV através da conversão da corrente elétrica para produção esperada; ii) comunicar-se com o *backend* através da internet via REST API; iii) utilizar os recursos eficientemente para que a bateria dure pelo menos 20 dias fora das tomadas.

E após a coleta de dados, é executado o *workflow* do software, o qual é composto por funções *lambda* para calcular os painéis solares com maior custo benefício, tendo em vista a sua captação de energia e orçamento do usuário, e as taxas de operadoras de energia de acordo com a sua localidade, além de posteriormente ser consultada para consolidação dos dados captados para transformação na análise de preditiva e consequente cálculo das métricas de retorno do investimento e do tempo necessário para o investimento pagar o seu custo.

Entretanto, a maior dificuldade encontrada durante o estudo foi referente ao sensor de intensidade UV, pois o sensor ML-8511 possui uma medição máxima de 190 W/m², sendo necessário a criação de um container que tenha a capacidade de obstrução dos raios UV, neste caso, permitindo a passagem de apenas 1% dos raios UV-A e UV-B, aumentando o limite da medição e possuindo uma margem de erro de 5%. Por outro lado, foi feito o levantamento que o sensor ideal para esta solução seria o piranômetro, pois a amplitude da sua medição é de até 1750 W/m², sendo necessário utilizar um modelo que emita um sinal de 0 a 3.3V ou utilizar um circuito integrado para transformar a tensão, porém o custo aumentaria em onze vezes, ou seja, essa melhoria valeria o investimento para clientes de larga escala e necessitem de uma grande precisão, substituindo os 3 sensores ML-8511 por apenas um piranômetro.

Outra limitação encontrada foi a criação de bases de dados para as taxas, painéis solares, inversores e baterias, pois não foi encontrada bases completas, sendo necessária a criação de *webcrawlers* (ferramentas de leitura e coleta de dados de sites) para as fornecedoras que disponibilizam suas tarifas e para lojas que realizam a venda do produto, ou a coleta de dados através da API de outras empresas, como por exemplo *Way2 Technology* que fornece uma API que retorna as taxas de concessionárias de energia e foi utilizada para alimentar a base de dados das fornecedoras que não expõem as suas taxas.

Para possíveis estudos futuros, é recomendado a disponibilização da coleta de dados por pelo menos três meses, permitindo uma análise gradual e a comparação com a precisão de outros órgãos e empresas que realizam a medição do climatempo,

que conseqüentemente realiza a aferição da intensidade UV e pode ser convertida para a produção de energia.

Alguns pontos de melhoria são: i) desenvolvimento de aplicações web e *mobile* para Android e IOS; ii) implementação de recursos de segurança na API para evitar ataques cibernéticos; iii) adicionar o componente de módulo GSM para evitar dependência de rede; iv) implementar um módulo SD para aumentar a quantidade máxima de requisições que podem ser armazenadas.; v) utilizar o módulo de painel solar para produzir energia e não necessitar da dependência direta de alimentação pela corrente elétrica da residência ou estabelecimento; vi) criar a central de captação com o sensor piranômetro; vii) expansão do modelo de negócio para abranger energia eólica.

Referências

AGHENTA, Lawrence Oriaghe, & IQBAL, M. T. **Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thinger.IO and ESP32 Thing.** *Modern Mechatronics and Automation—An Open-Source Approach*, 24 jul. 2019.

doi:10.3390/electronics8080822

ALIPSSON, Gustavo Tavares Da Silva. **Um estudo do desenvolvimento e princípio de funcionamento de células solares de silício cristalino.** 19 abr. 2018.

AMAZON. **Visão geral da Amazon Web Services.** 08 set. 2021. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/pt_br/whitepapers/latest/aws-overview/aws-overview.pdf.

ANEEL/ABSOLAR. **Panorama of Solar Photovoltaic in Brazil and in the World,** 03 mar. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/market/infographic/>.

ARROHMAN, Donny Auliya, FIKRIYYAH, Nafis Ainun. **Implementation of Micro Usb Charger TP4056 and Battery Indicator LED in Portable Solar Charge.** 30 jun. 2018. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research*, 4(1), 6-10. doi: <https://doi.org/10.21580/jnsmr.2018.4.1.10956>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMERCIALIZADORES DE ENERGIA. **Conta de luz sobe mais que o dobro da inflação no mercado cativo,** 24 jan. 2022. Disponível em:

<https://abraceel.com.br/blog/2022/01/conta-de-luz-sobe-mais-que-o-dobro-da-inflacao-no-mercado-cativo/>.

BRASIL. **Setor elétrico brasileiro alcança recordes históricos e conquistas em 2021**, 22 fev. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/02/setor-eletrico-brasileiro-alcanca-recordes-historicos-e-conquistas-em-2021>.

CRUZ, Cleyton Warlen Nieiro, BARROSO, Hugo, MANTOVANI, Romero Rampinelli, NINZ, Wallace Santos. **Estudo de viabilidade técnica e financeira para geração de energia elétrica utilizando painel fotovoltaico no shopping Oriundi**. 2017.

DINCER, Ibrahim, ACAR, Canan. **A Review on Clean Energy Solutions for Better Sustainability**, 2015 *International Journal of Energy Research*, 39(5), 585–606. doi:10.1002/er.3329.

DOCKER. **Modern App Architecture for the Enterprise, Delivering agility, portability, and control with Docker Containers as a Service (CaaS)**. 2022. Disponível em: https://www.docker.com/wp-content/uploads/2022/03/caaWhitepaper_V6_0.pdf.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 Wi-Fi & Bluetooth MCU**. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>.

KOUSKY, C., RITCHIE, L., TIERNEY, K., & LINGLE, B. **Return on investment analysis and its applicability to community disaster preparedness activities: Calculating costs and returns**. 11 jan. 2019. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 101296. doi: 10.1016/j.ijdr.2019.101296.

LAPIS Semiconductor Co., Ltd. **Output Voltage– Uv Intensity Characteristics**. 03 agos. 2013. Disponível em: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf.

MONGODB. **MongoDB Architecture Guide, the foundational concepts that underpin the architecture of MongoDB**. 2021. Disponível em: http://s3.amazonaws.com/info-mongodb-com/MongoDB_Architecture_Guide.pdf.

MOURA, Felipe Ribeiro. **Sistema Automatizado de Limpeza e Arrefecimento de Placas Fotovoltaicas para Melhoria de Eficiência**. dez. 2020.

NANJING TOP POWER ASIC CORP. **TP4056: 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8**. 01 mar. 2018. Disponível em: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>.

OLIVEIRA, F. T. V., GÓMEZ-MALAGÓN, L. A. **Otimização do Ângulo de Inclinação e Orientação de Painéis Solares para a Cidade de Petrolina**. 17 – 20 abr. 2018.

OPENJS FOUNDATION. **Introduction to Node.js**. 2019. Disponível em: <https://nodejs.dev/learn/introduction-to-nodejs>.

OSINOWO, M. Olatunde, WILLOUGHBY, A. Alexander, DAIRO, O. Feyisayo, EWETUMO, Theophilus, KOLAWOLE, L. Babatope. **Design and Construction of Ultraviolet and Incoming Solar Irradiance Sensing Device**. 02 agos. 2021.

OZCAN, O., ERSOZ, F. **Project and cost-based evaluation of solar energy performance in three different geographical regions of Turkey: Investment analysis application**. 18 dez. 2019. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. doi: 10.1016/j.jestch.2019.04.001.

RED HAT. **REST vs. SOAP**. 18 abr. 2019. Disponível em: <https://www.redhat.com/en/topics/integration/whats-the-difference-between-soap-rest>.

RED HAT. **What is an API?** 02 jun. 2022. Disponível em: <https://www.redhat.com/en/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>.

RIGO, Paula Donaduzzi, REDISKE, Graciel, ROSA, Carmen Brum, GASTALDO, Natália Gava, MICHELS, Leandro, JÚNIOR, Alvaro Luiz Neuenfeldt, SILUK, Julio Cezar Mairesse. **Renewable Energy Problems: Exploring the Methods to Support the Decision-Making Process**. 20 out. 2020. *Sustainability* 12, no. 23: 10195. doi10.3390/su122310195.

SANTOS, Rodrigo Basilio, MARTINS, Victor Rezende, BORGES, Rodolfo Rodrigues de Sousa. **Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas: Estacionamento solar do Centro Universitário Unievangélica**. 20 mar. 2020. doi: 10.34117/bjdv6n4-255.

UBUNTU, Tabirao, Michelle Anne. **What is MongoDB and why use it for modern web applications?** 21 abr. 2022. Disponível em: <https://ubuntu.com/blog/what-is-mongodb>.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **A Brief Guide to Renewables**, 22 mar. 2021. Disponível em: <https://unfccc.int/blog/a-brief-guide-to-renewables>.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015 – Addendum - Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-first session**. 29 jan. 2016. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>.

UNITED NATIONS. **Goals**, United Nations Department of Global Communications, 2022. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>.

UNITED NATIONS. **United Nations Framework Convention on Climate Change** FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 (E) 200705, Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 1992. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.