

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

NÚCLEO DOCENTE ARTICULADO DE CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCOS VINICIUS PEREIRA

ANA PAULA NAZARENO NOLÊTO

**SOLAR INFO BOT: UM CHATBOT ESPECIALIZADO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**

PALMAS - TO

2024

MARCOS VINICIUS PEREIRA
ANA PAULA NAZARENO NOLÊTO

**SOLAR INFO BOT: UM CHATBOT ESPECIALIZADO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado,
como requisito para a obtenção de título de
Bacharel em Engenharia Elétrica do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Augusto
Tamashiro.

Coorientador: Prof. Me. José de Arimatéia
Alves Vieira Filho.

PALMAS - TO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- P436s Pereira, Marcos Vinicius
 SOLAR INFO BOT: UM CHATBOT ESPECIALIZADO EM
 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA /
 Marcos Vinicius Pereira, Ana Paula Nazareno Noleto. – PALMAS,
 TO, 2024.
 95 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
 Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
 Tocantins, Campus Palmas, PALMAS, TO, 2024.
- Orientador: Dr. Marcio Augusto Tamashiro
 Coorientador: Me. José de Arimatéia Alves Vieira Filho
1. Energia solar fotovoltaica. 2. Desenvolvimento de chatbot. 3.
 Chatbots como ferramenta de suporte. I. Noleto, Ana Paula
 Nazareno. II. Tamashiro, Marcio Augusto III. Filho, José de Arimatéia
 Alves Vieira. IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MARCOS VINICIUS PEREIRA
ANA PAULA NAZARENO NOLÊTO

**SOLAR INFO BOT: UM CHATBOT ESPECIALIZADO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado,
como requisito para a obtenção de título de
Bacharel em Engenharia Elétrica do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Aprovado em: 07/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO AUGUSTO TAMASHIRO**
Data: 07/10/2024 16:16:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Márcio Augusto Tamashiro
Orientador
IFTO – CAMPUS PALMAS

Documento assinado digitalmente
 **JOSE DE ARIMATEIA ALVES VIEIRA FILHO**
Data: 07/10/2024 16:27:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. José de Arimatéia Alves Vieira Filho
Coorientador
IFTO – CAMPUS PALMAS

Documento assinado digitalmente
 **WALTER XANTHOPULO**
Data: 07/10/2024 20:06:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Walter Xanthopulo
IFTO – CAMPUS PALMAS

Documento assinado digitalmente
 **CELIVAN FERREIRA VIEIRA**
Data: 08/10/2024 09:33:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Celivan Ferreira Vieira
IFTO – CAMPUS PALMAS

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos sustentado e abençoado durante a graduação, na elaboração e apresentação deste trabalho.

Aos nossos pais por nos apoiarem e incentivarem nos estudos.

Agradecemos a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho, em especial ao nosso orientador, Prof. Dr. Márcio Augusto Tamashiro, e ao coorientador, Prof. Me. José de Arimateia.

RESUMO

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um *chatbot* chamado *Solar Info Bot* para responder a questões sobre sistemas de energia solar fotovoltaica conectados à rede e estimar o custo de instalação desses sistemas. O público-alvo para a utilização do *chatbot* são pessoas que não possuem amplo conhecimento técnico sobre o assunto. Dessa forma, o *Solar Info Bot* serve para sanar perguntas frequentes e encorajar o uso de sistemas fotovoltaicos. Para o desenvolvimento, foi utilizada a plataforma de processamento de linguagem natural Dialogflow, para que o *Solar Info Bot* consiga compreender as perguntas, e a linguagem de programação JavaScript em conjunto com o software Node.js para calcular a estimativa. Além disso, o *chatbot* suporta auditoria das respostas que fornece e o armazenamento de perguntas que não foi capaz de responder. A avaliação do *Solar Info Bot* foi realizada por meio de um formulário online. A análise dos resultados da avaliação mostra que 87,8% dos usuários consideraram fácil o uso do *chatbot* e 80,5% relataram que, na maioria das vezes ou sempre, o *chatbot* foi capaz de oferecer respostas assertivas. Para aumentar a taxa de assertividade ao responder às perguntas, é proposto no final do trabalho o uso de LLMs (*Large Language Models*) em trabalhos futuros relacionados a este tema.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, *chatbots*, desenvolvimento de *chatbots*.

ABSTRACT

This paper presents the development of a chatbot called *Solar Info Bot*, designed to answer questions about grid-connected photovoltaic solar energy systems and estimate their installation costs. The chatbot is aimed at users with limited technical knowledge of the subject. Thus, Solar Info Bot helps address frequently asked questions and promotes the adoption of photovoltaic systems. For its development, the Dialogflow natural language processing platform was used to enable the chatbot to understand questions, while JavaScript and Node.js were employed to calculate cost estimates. Additionally, the chatbot includes features for auditing its responses and storing unanswered questions. *Solar Info Bot* was evaluated through an online survey. The results show that 87.8% of users found the chatbot easy to use, and 80.5% reported that it provided accurate answers most or all the time. To further improve the accuracy of its responses, the paper proposes using Large Language Models (LLMs) in future work related to this topic.

Keywords: Photovoltaic solar energy, chatbots, chatbot development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Campos de aplicação da inteligência artificial.	21
Figura 2 - Resultados da pesquisa no Scopus por ano para “chatbot”, “agente de conversação” ou “conversacional interface” como palavras-chave de 2000 a 2019.	24
Figura 3 - Arquitetura de um <i>chatbot</i>	25
Figura 4 - Diagrama de uma arquitetura cliente-servidor	29
Figura 5 - Espectro da radiação solar.	34
Figura 6 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.	36
Figura 7 - Campo elétrico resultante da transferência de cargas através da junção (pn).	37
Figura 8 - Exemplo de uma montagem em poste.	39
Figura 9 - Exemplo de montagem em rack.	40
Figura 10 - Curvas de corrente-tensão e potência-tensão com o ponto de máxima potência para o inversor.	43
Figura 11 - A imagem mostra como a inclinação do módulo FV afeta a absorção da radiação solar.	45
Figura 12 - Imagem que ilustra a movimentação de um conjunto FV para acompanhar o movimento aparente do sol, sem especificar o tipo de sistema de rastreamento solar utilizado.	46
Figura 13 - Tipos de sistemas de rastreamento solar. Da esquerda para direita respectivamente: eixo horizontal simples, eixo vertical simples, eixo duplo.	47
Figura 14 - Exemplo de sistema isolado.	48
Figura 15 - Exemplo de sistema híbrido	49

Figura 16 - Sistema fotovoltaico conectado à rede.	50
Figura 17 - Matriz de energia elétrica brasileira em megawatts (a sigla MMDG na imagem significa micro e minigeração distribuída).	50
Figura 18 - Projeção de evolução da capacidade instalada no SIN – fevereiro de 2024 dezembro de 2028.	52
Figura 19 - Irradiação solar global diária e áreas aptas à geração de energia fotovoltaica.	54
Figura 20 - Evolução da geração distribuída no Brasil (em milhões de unidades).	54
Figura 21 - Exemplificação do sistema de compensação de energia elétrica.....	56
Figura 22 - Representação de alguns ganhos trazidos pela lei nº 14.300/2022.	57
Figura 23 - Exemplo de mapa para radiação global solar horizontal diária, com a média entre os anos de 1983 à 2015 para o mês de janeiro.....	58
Figura 24 - Estrutura de custo de um módulo FV.	60
Figura 25 - Estrutura de custos do inversor.....	60
Figura 26 - Custos de importação e nacionalização dos módulos FVs nos postos do Brasil...62	
Figura 27 - Imagem ilustrativa que representa a composição do preço de um sistema FV conectado à rede.	63
Figura 28 - Preços de Sistemas Fotovoltaicos em Reais por Wp.	63
Figura 29 - Preço dos Kits Fotovoltaicos em Reais por Wp.	64
Figura 30 – Funcionamento da escolha de uma <i>intent</i> por um agente do Dialogflow.	66
Figura 31 - Exemplo no uso de contexto para um agente do <i>Solar Info Bot</i>	68
Figura 32 - Captura de tela da parte de configuração do limite de classificação de ML, no qual foi definido o valor 0,5 (o intervalo possível varia de 0,0 a 1,0) para o <i>Solar Info Bot</i>	71

Figura 33- Captura de tela da página que mostra as perguntas que o <i>chatbot</i> é capaz de responder através das <i>training phrases</i>	72
Figura 34- Fluxo de funcionamento do <i>chatbot</i>	73
Figura 35 - Captura de tela da página que mostra perguntas que o <i>chatbot</i> não foi capaz de responder.	75
Figura 36 - Captura da tela da ferramenta de treinamento.	76
Figura 37- Integração com o Telegram.	77
Figura 38- Gráfico com percentual para as respostas da primeira pergunta.	78
Figura 39- Gráfico com percentual para as respostas da segunda pergunta.	79
Figura 40- Gráfico com percentual para as respostas da terceira pergunta.	79
Figura 41- Gráfico com percentual de indivíduos que responderam a quarta pergunta.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor do Wp de sistemas FV para o cliente final por faixa de kWp.	73
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
API	<i>Application Programming Interface</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight</i> (Custo, seguro e frete)
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
DC	<i>Direct current</i>
FAQ	<i>Frequent Asked Questions</i> (Perguntas Frequentes)
FOB	<i>Free on Board</i> (Livre a bordo)
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM	<i>International Business Machines</i>
LLM	<i>Large Language Model</i> (Modelo de Linguagem de Grande Escala)
LME	<i>London Metal Exchange</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema
PDF	<i>Portable Document Format</i>
PIS	Programa de Integração Social
PLN	Processamento de Linguagem Natural

PMO	Programa Mensal da Operação
SBGD	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFCRs	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SFIs	Sistemas Fotovoltaicos Isolados
SFV	Sistema Fotovoltaico
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SPPM	Seguimento do Ponto de Potência Máxima
SQL	<i>Structured Query Language</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa.....	18
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	19
1.3	Estrutura do trabalho.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	Processamento de linguagem natural (PLN).....	21
2.2	Contexto histórico do desenvolvimento dos <i>chatbots</i>.....	22
2.3	Arquitetura dos <i>chatbots</i>	24
2.3.1	<i>Chatbot</i> baseado em regras	24
2.3.2	Arquitetura de <i>chatbot</i> baseado em IA	25
2.3.2.1	Pré-processamento	25
2.3.2.2	A classificação de intent	27
2.3.2.3	Utilização de contexto e geração de respostas	27
2.4	Tecnologias de internet.....	27
2.4.1	Sistema de gerenciamento de banco de dados	27
2.4.2	Arquitetura cliente-servidor	28
2.4.3	Protocolo HTTP	28

2.4.4	<i>Webhook</i> e API	29
2.4.5	Javascript e Node.js	30
2.4.6	<i>Deploy</i>	30
2.5	Plataformas de criação de <i>chatbots</i>	32
2.6	Introdução aos sistemas fotovoltaicos	33
2.6.1	Benefícios de sistemas fotovoltaicos	35
2.6.2	Componentes de um sistema fotovoltaico	35
2.6.2.1	Células fotovoltaicas.....	35
2.6.2.2	Módulos fotovoltaicos	38
2.6.2.3	Sistemas de montagens	38
2.6.2.4	Condutores	40
2.6.2.5	Inversor	41
2.6.2.6	Medidor bidirecional	44
2.6.2.7	Banco de baterias e controlador de carga	44
2.6.3	Orientação do conjunto FV, ângulo de inclinação, sombreamento e microclima local	44
2.6.4	Tipos de sistemas fotovoltaicos	47
2.7	Energia Solar Fotovoltaica no Brasil	50
2.7.1	Tipos de geração de energia elétrica através de SFVs.....	55
2.7.2	Regulamentações para MMGD	55
2.7.3	Atlas solarimétrico do estado do Tocantins.....	57

2.8	Orçamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica ..	59
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	65
3.1	Resumo da metodologia aplicada	65
3.2	Dialogflow	65
3.2.1	Agentes	65
3.2.2	<i>Intents</i>	66
3.2.2.1	Frases de treinamento	67
3.2.2.2	Parâmetros	67
3.2.2.3	Entidades.....	67
3.2.3	Contextos	68
3.2.4	Integrações	69
3.2.5	<i>Fulfillment</i>	69
3.2.6	Confiança na detecção de <i>intent</i>	70
3.3	Desenvolvimento do <i>chatbot</i>	71
3.3.1	Seleção de dúvidas mais frequentes.....	71
3.3.2	Desenvolvimento do <i>webhook</i>	72
3.3.2.1	Cálculo da estimativa de custo de sistemas fotovoltaicos conectados à rede	73
3.3.2.2	Armazenamento de perguntas não respondidas.....	74
3.3.3	Ajustes e Treinamento do agente no Dialogflow.....	75
3.4	Integração entre Dialogflow e Telegram	77

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
4.1	Avaliação dos usuários do <i>Solar Info Bot</i>	78
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
5.1	Verificação do funcionamento do <i>chatbot</i>.....	81
5.2	Propostas e sugestões para trabalhos futuros	81
6	REFERÊNCIAS	83
7	APÊNDICE	93
7.1	Código do <i>webhook</i>	93
7.2	Links para acessar o Solar Info Bot	95

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por fontes renováveis tem ganhado destaque no cenário brasileiro. Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos emergem como uma solução promissora, capaz de converter energia solar em eletricidade. Entretanto, muitos consumidores, principalmente os residenciais, geralmente não possuem um grau de conhecimento adequado sobre o assunto para tomar decisões ao iniciar esse tipo de empreendimento. Isso evidencia a necessidade de ferramentas que facilitem o acesso a informações de forma confiável e personalizada.

Uma dessas ferramentas é o *chatbot*, um tipo de *software* capaz de conversar com as pessoas, de forma semelhante ao modo conversacional humano, e que tem sido amplamente utilizado em vários tipos de aplicações, desde educação, entretenimento e *e-commerce* para automatizar tarefas que seriam feitas por atendentes humanos (Oliveira *et al.*, 2018).

A literatura apresenta diversos trabalhos sobre o desenvolvimento de *chatbots* para interagir com os usuários. Um exemplo é o Dexter, um *chatbot* que utiliza o *RASA Framework*¹, a *Natural Language Processor* (NLP)², para responder perguntas frequentes sobre uma determinada instituição de ensino superior (Huddar *et al.*, 2020). Ele permanece disponível ininterruptamente para os usuários, o que evita o traslado, lotações e elevados tempos de espera na recepção em horários comerciais para atendimentos presenciais. Benefícios esses que também são aproveitados pelos recepcionistas, uma vez que reduz estresse e permite a realocação do tempo antes destinada a esse atendimento para outras atividades. Além disso, o Dexter trata também de outros assuntos, tais como: dúvidas de alunos quanto à matrícula, atualização de exames, resultados de reavaliação, quaisquer avisos e eventos importantes da instituição de ensino.

Já Rahane *et al.* (2018) desenvolveram o *SolarBot*, um *chatbot* voltado a responder perguntas relacionadas à energia solar fotovoltaica, utilizando algoritmos de reconhecimento

¹ *RASA Framework* é uma estrutura de código aberto muito popular para a construção de assistentes de inteligência artificial baseados em bate-papo e voz (Rasa, 2024).

² *Natural language processor* (NLP) ou em português Processamento de linguagem natural (PLN) é uma área da ciência da computação que estuda o desenvolvimento de programas computacionais que analisam, reconhecem e/ou geram textos em linguagens humanas ou naturais (Alura, 2023).

de padrões e aprendizado de máquina, de modo que o *SolarBot* identifica as perguntas do usuário e oferece respostas pertinentes. As interações que compreendem tanto perguntas quanto *feedbacks* do usuário são registradas em um banco de dados. O *SolarBot* está disponível para os usuários por meio de *chat interfaces*³ como o Facebook Messenger e visa atender usuários sem conhecimento prévio no assunto. Rahane *et al.* (2018) reconhece o desafio de manter a consistência nas conversas e compreender as perguntas, porém destaca a importância desse *chatbot* na economia de tempo dos usuários, uma vez que não precisam procurar informações na internet ou ligar em serviços de atendimento ao cliente para obter respostas.

Além disso, outro exemplo de *chatbot* baseado em Inteligência Artificial (IA) é o Léo, o assistente virtual desenvolvido pela Receita Federal, que, desde 2021, já se encontra na página inicial do site desse órgão federal, informando, quando acionado, sobre assuntos como imposto de renda para pessoa física, encomendas internacionais, sistemas aduaneiros, entre outros. (Receita Federal, 2022). Para acessar esse assistente virtual, é necessário clicar no ícone com desenho de leão escrito “Pergunta pro Leo” no canto inferior direito de qualquer página do site da Receita Federal (Miato, 2024).

Um exemplo adicional é o *chatbot* desenvolvido por Vu *et al.* (2021) utilizando o Dialogflow⁴ (NLP) para responder perguntas frequentes sobre uma instituição de ensino. Esse *chatbot* possui recursos para receber *feedback* dos usuários e até mesmo responder perguntas comuns feitas aos atendentes, como: "tudo bem?". Ademais, ele pesquisa no Google e fornece os links dos primeiros resultados caso a pergunta do usuário não possa ser respondida pelo *chatbot*.

Ademais, alguns portais de empresas oferecem o serviço de fazer um orçamento prévio, no qual o cliente preenche as informações necessárias em um formulário, em troca de obter dados de potenciais clientes, como é o caso do Portal Solar ([entre 2014 e 2023]).

Por fim, um considerável número de indivíduos poderá utilizar o *chatbot*, visto que, conforme divulgado na pesquisa de 2021 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e

³ *Chat interfaces* é um termo da língua inglesa que significa interfaces conversacionais, que permitem a interação direta entre pessoas e máquinas por meio de trocas de informações em linguagem natural (Zendesk, 2023).

⁴ Dialogflow é uma plataforma que cria agentes de conversação de última geração através da inteligência artificial do google (Google cloud, [s.d.]).

Estatística), cerca de 85% da população brasileira com 10 anos ou mais é usuária de smartphones (Agência Brasil, 2022). Ademais, de acordo com dados do IBGE, 90% dos lares brasileiros tiveram acesso à internet em 2021 (GOV, 2022). Diante desse cenário, torna-se provável que *chatbots* se consolidem de forma rápida no Brasil.

Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento do *Solar Info Bot*, um *chatbot* que foi concebido para esclarecer dúvidas sobre sistemas fotovoltaicos em Palmas-TO, por meio de uma interface amigável e interativa, além de oferecer cálculos estimados de precificação para a instalação desses sistemas. O objetivo é proporcionar aos usuários, independentemente de seu conhecimento prévio, informações confiáveis e personalizadas a qualquer momento.

1.1 Justificativa

A adoção em larga escala de sistemas fotovoltaicos é frequentemente obstaculizada pela falta de conhecimento técnico e compreensão por parte dos potenciais consumidores, haja vista que muitos interessados na tecnologia fotovoltaica enfrentam dificuldades em compreender as especificidades técnicas, os benefícios econômicos e os requisitos de instalação. Por exemplo, a incerteza, por parte do consumidor, quanto à estimativa de custos e produção de energia elétrica pode desencorajar a adoção dessa tecnologia. Com isso, o presente trabalho propõe uma alternativa para auxiliar leigos através do *Solar Info Bot*, um *chatbot* que responde a perguntas sobre energia solar fotovoltaica em um contexto geral, com uma linguagem simples, além de uma interface amigável e intuitiva.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um chatbot inteligente e acessível que forneça suporte abrangente e de fácil entendimento para usuários leigos interessados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, abordando suas dúvidas, oferecendo orientações claras sobre instalação, dimensionamento, conexão à rede elétrica, regulamentações, incentivos, manutenção e resolução de problemas. Com isso, espera-se educar e capacitar minimamente os usuários a tomar decisões sobre a adoção e utilização de energia solar em suas residências ou negócios.

1.2.2 Objetivos específicos

- **Fornecer informações básicas sobre sistemas fotovoltaicos:** Garantir que o *chatbot* possa explicar de forma clara e concisa o que são sistemas fotovoltaicos, como funcionam e quais são seus componentes básicos.
- **Responder perguntas comuns dos usuários:** Identificar e abordar as perguntas mais frequentes que os usuários têm sobre sistemas fotovoltaicos, como custo, benefícios ambientais, processo de instalação, manutenção, entre outros aspectos.
- **Oferecer orientações sobre dimensionamento e seleção de sistemas:** Auxiliar os usuários na compreensão dos fatores que influenciam no dimensionamento de um sistema fotovoltaico, como consumo de energia, espaço disponível para instalação, entre outros.
- **Explicar o processo de conexão à rede elétrica:** Esclarecer os passos envolvidos na conexão de um sistema fotovoltaico à rede elétrica, incluindo requisitos regulatórios, procedimentos de instalação e papel das concessionárias de energia.
- **Esclarecer dúvidas sobre incentivos e regulamentações:** Informar sobre possíveis incentivos governamentais, políticas de *net metering*⁵, regulamentações locais e outras questões legais relacionadas à instalação e operação de sistemas fotovoltaicos.
- **Fornecer dicas de manutenção e resolução de problemas:** Oferecer orientações simples sobre como manter e monitorar um sistema fotovoltaico, além de ajudar os usuários a identificarem e resolver problemas comuns que possam surgir.
- **Encaminhamento para fontes complementares:** Encaminhar os usuários para fontes de informações adicionais, como sites relevantes, fóruns especializados ou profissionais qualificados, quando necessário.
- **Ser amigável e acessível:** Garantir que o *chatbot* seja projetado com uma interface amigável e linguagem simples, de modo a ser facilmente compreendido pelos usuários e incentivar a interação.

⁵ O sistema de compensação de energia, também conhecido como *net metering*, permite ao consumidor de energia elétrica a obtenção de créditos (em kWh) de acordo com eventuais excedentes de energia elétrica injetados na rede da concessionária, sendo descontados em faturas posteriores desse cliente (Thomaz; Manoela, 2020).

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. O capítulo inicial discute a importância de fornecer recursos e informações acessíveis para capacitar os consumidores a tomarem decisões sobre a adoção de sistemas fotovoltaicos, assim como o significado do termo *chatbot* e pesquisas relacionadas a aplicação desse em diferentes contextos, além da justificativa do trabalho e objetivos propostos, tanto gerais quanto específicos.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, abordando o estudo da literatura relacionada ao tema. Assim como também explica conceitos relacionados a inteligência artificial aplicada ao *Solar Info Bot*, além de sua arquitetura, contexto histórico e plataformas de criação. Ademais, aborda aspectos da energia solar fotovoltaica, quanto ao seu contexto histórico, tipos de sistemas existentes, principais equipamentos, entre outros.

Logo em seguida, no terceiro capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos, que abordam os elementos necessários e a tecnologia utilizada no desenvolvimento do *Solar Info Bot*. No quarto capítulo, são apresentados os resultados do *Solar Info Bot* nos testes e *feedback* de 41 usuários. No quinto capítulo, são apresentadas as considerações finais, que trazem a conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros. O sexto capítulo contém o código do *webhook*⁶. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho.

⁶ *Webhook* é uma tecnologia utilizada para permitir a comunicação entre duas aplicações e enviar notificações quase em tempo real. O envio ou o recebimento de dados é disparado quando determinado evento acontece em uma das aplicações (Calado, 2022).

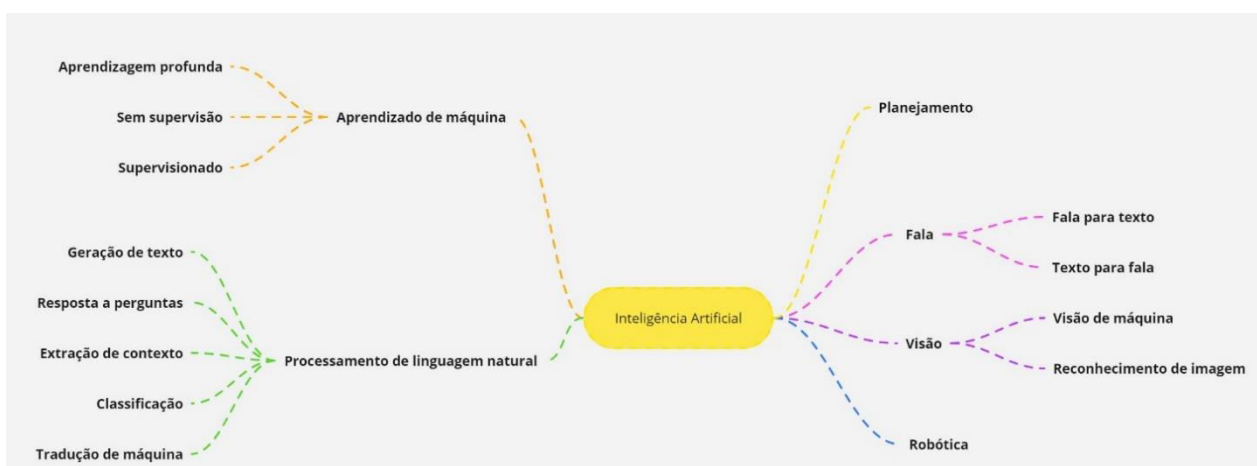
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processamento de linguagem natural (PLN)

Atualmente, a Inteligência Artificial (IA) abrange uma enorme variedade de aplicações, como jogos de xadrez, demonstração de teoremas matemáticos, criação de poesias, carros autônomos e diagnóstico de doenças (Russell; Norvig, 2013).

A Figura 1 ilustra as diversas áreas de estudo e aplicação da Inteligência Artificial, entre as quais se destaca o processamento de linguagem natural (PLN), que investiga como um computador decodifica a linguagem humana e a converte para uma forma compreensível à linguagem computacional, além de realizar o processo inverso para que o computador devolva a resposta em linguagem humana (Maciel, 2019).

Figura 1 - Campos de aplicação da inteligência artificial.



Fonte: Adaptado de ASKSUITE [2024].

O objetivo do PLN é fornecer aos computadores a capacidade de entender e compor textos. Entender um texto significa reconhecer o contexto, fazer análise sintática, semântica, lexical e morfológica, além de criar resumos, extrair informações, interpretar os sentidos, analisar sentimentos e até aprender conceitos com os textos processados (Rodrigues, 2017).

As verificações léxicas examinam a distribuição das palavras no texto, enquanto as verificações morfológicas buscam as equivalências entre as palavras. A verificação semântica, por sua vez, analisa o significado atribuído a cada palavra. Por fim, a verificação sintática avalia a dependência entre as palavras na frase, considerando aspectos como pontuação, tamanho da

sentença e quantidade de caracteres. Dentro do PLN, os *chatbots* são um campo específico de estudo e desenvolvimento (Maciel, 2019).

2.2 Contexto histórico do desenvolvimento dos *chatbots*

Foi a partir de 1940 que se começou a falar em robôs inteligentes. Assim, Isaac Asimov escreveu o livro “Eu Robô” em 1950 (Correia, 2018), um conjunto de nove contos que relata a evolução dos autômatos⁷ ao longo do tempo (Amazon, [entre 2021 e 2024]). Na década de 1950, Alan Turing publicou o artigo: “*Computing Machinery and Intelligence*” (Turing, 1950), que adquiriu grande notoriedade, onde foi apresentada e discutida a questão “As máquinas seriam capazes de pensar?” (Correa *et al.*, 2021). Nesse artigo, Turing criou um teste com o intuito de analisar a capacidade de uma máquina exibir comportamentos inteligentes próximos aos de um ser humano.

O objetivo do teste foi descobrir se uma máquina é inteligente o suficiente a ponto de enganar um humano, fazendo-o acreditar que se trata de uma pessoa respondendo às suas perguntas em formato textual (Maciel, 2019). Quando pelo menos 30% dos humanos consultados são levados a acreditar que estão interagindo com outro ser humano, considera-se que a máquina tenha passado no teste de Turing (Turing, 2009).

O avanço da Inteligência Artificial (IA) possibilitou a criação de *bots* de conversação, conhecidos como *chatbots* ou *chatterbots* (união de conversa, do inglês *chat*, com robô, do inglês *bot*), os quais são softwares que usam técnicas de IA, com o propósito de simular a habilidade de conversação de um agente computacional com um ser humano (Wantroba *et al.*, 2008). *Chatbots* também podem ser conhecidos como *bots* inteligentes, agentes interativos, assistentes digitais ou entidades artificiais de conversação (Adamopoulou; Moussiades, 2020).

Os *chatbots* podem imitar a conversa humana e entreter os usuários, mas não são construídos apenas para isso, uma vez que estes são úteis também, por exemplo, em aplicações como educação, recuperação de informações, negócios, e comércio eletrônico (Adamopoulou; Moussiades, 2020).

⁷ Autômato nesse contexto se refere a máquinas que simulam os movimentos de seres vivos (Denise *et al.*, 2018).

Existem na literatura *chatbots* que utilizam diferentes técnicas quanto à implementação. Um dos primeiros *chatbots* que pode ser citado é representada pelo *software* ELIZA criado em 1966 (Dunlop; Wallace; [s.d.]), que foi utilizado por psicólogos para auxiliar no diagnóstico de seus pacientes. Sua implementação consistiu no uso conjunto de padrões e regras gramaticais (Wantroba *et al.*, 2008).

Embora a habilidade de diálogo deste *bot* não fosse excepcional, era suficientemente convincente para criar confusão entre os indivíduos numa época em que a interação com computadores ainda não era habitual. Essa confusão foi um estímulo para que começassem a desenvolver outros *chatbots* (Adamopoulou; Moussiades, 2020). Tendo em vista ser a primeira tentativa de criar um software que pudesse passar no Teste de Turing, ELIZA é considerada a “mãe dos *chatbots*” (Correa *et al.*, 2021).

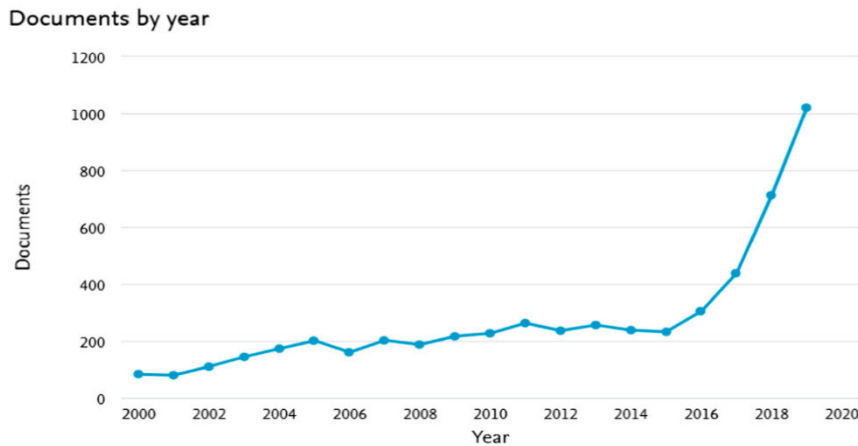
Ademais, tem-se o PARRY, que foi construído pelo psiquiatra americano Kenneth Colby em 1972. Esse *chatbot* tinha a finalidade de imitar o comportamento de um paciente com esquizofrenia e as conversas não eram baseadas em perguntas e respostas, como no *chatbot* ELIZA, mas em um diálogo fluido (Correa *et al.*, 2021).

Também, pode-se citar o *chatbot* A.L.I.C.E (*Artificial Linguistic Internet Computer Entity*) criado em 1995, marca a terceira geração com um diálogo mais estimulante que o de seus antecessores, utilizando a linguagem AIML (*Artificial Intelligence Markup Language*), derivada da XML (*Extensible Markup Language*) (Wantroba *et al.*, 2008).

No ano de 2001, *chatbots* como o SmarterChild foram desenvolvidos e disponibilizados por meio de aplicativos de mensagens. Logo em seguida surgiram os assistentes virtuais pessoais, como Apple Siri, Microsoft Cortana, Amazon Alexa, Google Assistant e IBM Watson (Adamopoulou; Moussiades, 2020).

Assim, a necessidade de interação usuário-sistema, por meio da comunicação em linguagem natural utilizando interfaces computacionais, vem crescendo como alvo de pesquisas empresariais e acadêmicas (Maciel, 2019), como demonstra o gráfico da Figura 2, que retrata o aumento da produção de pesquisas científicas sobre *chatbots*.

Figura 2 - Resultados da pesquisa no Scopus por ano para “chatbot”, “agente de conversação” ou “conversacional interface” como palavras-chave de 2000 a 2019.



Fonte: Adamopoulou e Moussiades [2020] (Adaptado).

2.3 Arquitetura dos *chatbots*

Em termos de arquitetura, tipicamente, os *chatbots* são classificados em dois tipos: baseados em regras e baseados em Inteligência Artificial (IA), conforme apresentado a seguir (Correa *et al.*, 2021).

2.3.1 *Chatbot* baseado em regras

Os *chatbots* cujo modelo é baseado em regras, incluindo vários dos *chatbots* disponibilizados online, constituem o tipo de arquitetura utilizado na construção da maioria dos primeiros *chatbots*. Nesses modelos, as respostas são fornecidas com base em um conjunto fixo de regras predefinidas, que reconhecem a forma lexical do texto de entrada, sem gerar novas respostas de texto (Adamopoulou; Moussiades, 2020).

Por serem baseados em regras, esses *chatbots* podem ser importantes na realização de tarefas específicas, como requisitar a segunda via de um boleto ou acompanhar a situação de uma encomenda. Nesses casos, não é necessária a utilização de abordagens que fazem uso de IA (Correa *et al.*, 2021).

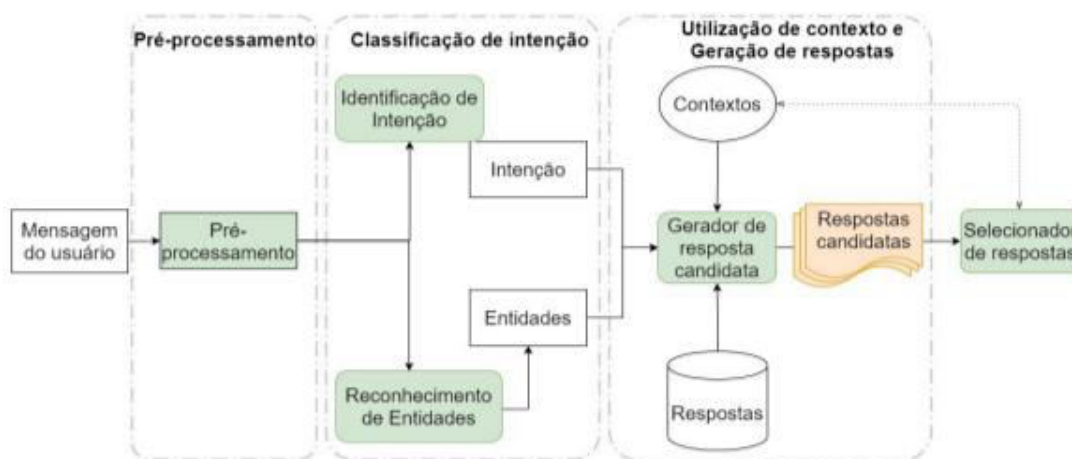
Além disso, o conhecimento utilizado no *chatbot* baseado em regras é codificado manualmente por humanos, sendo organizado e apresentado utilizando padrões de conversação. Um banco de dados de regras mais abrangente, inserido inicialmente, permite que o *chatbot*

responda a mais tipos de entradas dos usuários. No entanto, o modelo baseado em regras não é imune a erros ortográficos e gramaticais na entrada do usuário. Além do mais, a maioria das pesquisas existentes sobre esses *chatbots* estuda a seleção de respostas para conversas de turno único, as quais considera apenas a última mensagem de entrada (Adamopoulou; Moussiades, 2020).

2.3.2 Arquitetura de *chatbot* baseado em IA

A arquitetura de um *chatbot* baseado em IA, pode ser dividida em três subsistemas: pré-processamento, classificação de *intent*, e utilização de contexto e geração de respostas (Correa *et al.*, 2021), como ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Arquitetura de um *chatbot*.



Fonte: Correa *et al.* [2021].

2.3.2.1 Pré-processamento

Inicialmente, o usuário envia uma mensagem de entrada, que é compreendida e gera uma resposta. O pré-processamento realiza uma série de operações nessa mensagem para prepará-la para operações adicionais, tais como *tokenização*, normalização, eliminação de palavras irrelevantes, identificação das partes do discurso e entidades, *stemming*, *lemmatisation* (Correa *et al.*, 2021).

a) *Tokenização*: é o processo de dividir uma sentença em um conjunto de palavras individuais, conhecidas como "*tokens*". Essa etapa divide a consulta do usuário em um conjunto de palavras separadas (Karve *et al.*, 2018).

b) Normalização: É o processo de corrigir erros ortográficos comuns e erros tipográficos em uma consulta específica do usuário. Ela corrige os erros óbvios de ortografia que podem ocorrer na consulta do usuário (Karve *et al.*, 2018).

c) Remoção de palavras irrelevantes ou *Stopwords*: Envolve a eliminação de palavras que não devem ser mantidas no texto. As *stopwords* são conhecidas por serem palavras não importantes na análise do texto, tais como preposições, pronomes, artigos, advérbios, e outras classes de palavras auxiliares que geralmente são classificadas como palavras irrelevantes (Correa *et al.*, 2021).

d) Identificação das partes do discurso e entidades: é o procedimento de atribuir a cada *token* seu papel na frase, como substantivo, verbo, entre outros, além de identificar palavras ou entidades em uma determinada frase, como organizações, locais, nomes, datas. Com isso otimiza-se a identificação de palavras relevantes que fornecem informações adicionais para a *intent* da consulta (Karve *et al.*, 2018).

e) *Stemming*: É o processo de reduzir palavras às suas raízes, removendo sufixos e prefixos. Por exemplo, "correndo" pode ser reduzido a "corr" e "planejado" a "planej". Essa técnica auxilia na identificação de muitas palavras sem a necessidade de manter uma lista com todos os morfemas⁸ de cada termo (Karve *et al.*, 2018). Dessa forma, o *stemming* pode reduzir a palavra a uma forma gramaticalmente incorreta ou a uma palavra inexistente, situação que não ocorre na técnica *lemmatization* (Nascimento, 2021).

f) *Lemmatization*: É um processo que faz parte da etapa de normalização e tem como objetivo substituir as diferentes formas de uma palavra por sua forma primitiva. As formas “livro”, “livros” e “livraria” são todas transformadas em sua forma elementar: “livro” (Correa *et al.*, 2021). No entanto, essa redução sempre leva em conta a classe gramatical da palavra e resulta em uma forma correta do ponto de vista gramatical (Nascimento, 2021).

⁸ Morfema é uma unidade linguística mínima que tem significado. (Michaelis, 2024).

2.3.2.2 A classificação de intent

As *intents* são rótulos que representam o significado das mensagens de entrada dos utilizadores. Por exemplo, a mensagem do usuário “Olá, bom dia!” pode ser classificada como “*intent* de saudação” (Correa *et al.*, 2021).

2.3.2.3 Utilização de contexto e geração de respostas

A manipulação de contexto é implementada usando uma pilha de mecanismo simples. Cada resposta está associada a um determinado contexto. Quando uma resposta é gerada, o contexto correspondente é empilhado. O topo da pilha indica o contexto atual do chat, que é usado como um filtro para selecionar a resposta correspondente para a *intent* da consulta. Se nenhuma resposta satisfizer o filtro de contexto, a pilha recupera o contexto anterior. Esse processo é repetido até que uma resposta apropriada seja encontrada (Karve *et al.*, 2018).

Os *chatbots* baseados em IA criam a impressão de serem inteligentes devido à sua capacidade de compreender a linguagem natural, não se limitando apenas a regras predefinidas. Eles se tornam ainda mais eficientes à medida que interagem mais (Kar; Haldar, 2016). Dessa forma, elementos como classificadores de texto, algoritmos de aprendizado de máquina, redes neurais artificiais e processamento de linguagem natural são extremamente importantes para o funcionamento dos *chatbots* baseados em IA (Correa *et al.*, 2021).

Com base nisso, surgiram conceitos como Agentes Virtuais e Assistentes Pessoais Inteligentes (IPA), que utilizam processamento de linguagem natural e técnicas avançadas de reconhecimento de fala. Exemplos notáveis dessas tecnologias são a Apple Siri, a Amazon Alexa, a Microsoft Cortana e o Google Assistente (Kar; Haldar, 2016).

2.4 Tecnologias de internet

2.4.1 Sistema de gerenciamento de banco de dados

Segundo Alves (2014), banco de dados é uma coleção organizada de dados que representam um aspecto da realidade e que têm um objetivo específico. Um SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) é um *software* para a criação, manutenção e manipulação de banco de dados e fornece uma interface entre o usuário e os dados. Podem ser utilizados para armazenar dados do *chatbot*, como *feedbacks* dos usuários e histórico de perguntas.

Os SGBDs genéricos são mais flexíveis, uma vez que são capazes de executar tarefas avançadas de gerenciamento e geralmente utilizam a linguagem SQL (*Structured Query Language*) para manipular os dados. Alguns exemplos de SGBDs genérico são: MySQL, PostgreSQL, SQL Server e Oracle (Alves, 2014).

2.4.2 Arquitetura cliente-servidor

O *chatbot* opera em uma arquitetura de software denominada arquitetura cliente-servidor, a qual se baseia na independência entre cliente e servidor (onde os dados estão hospedados). Os clientes são usuários ou aplicações que precisam acessar determinado recurso, enquanto os servidores são responsáveis por entregar e armazenar esses recursos, tais como imagens e dados. Essa comunicação na internet entre cliente e servidor é realizada através de uma API⁹, de modo que o cliente deve seguir as regras da API para conseguir se comunicar com o servidor (Aws, 2024).

2.4.3 Protocolo HTTP

O Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP) estabelece regras para comunicação e transmissão de dados entre cliente e servidor. Essa comunicação é feita por meio de requisições realizadas pelo cliente e por respostas fornecidas pelo servidor. Cada mensagem HTTP é necessariamente uma requisição ou uma resposta, conforme mostra a Figura 4 (Fielding; Reschke, 2021). A comunicação entre o cliente e o servidor do *chatbot* é realizada por meio desse protocolo, permitindo o envio das perguntas que devem ser respondidas.

O alvo de uma requisição HTTP é chamado de recurso. O HTTP não limita o que é um recurso, apenas oferece um padrão para interagir com ele, sendo alguns exemplos de recursos: páginas na *web*, documentos PDF e arquivos de áudio. Esses recursos são identificados no protocolo HTTP por meio de uma identificação de recursos uniforme, do inglês *Uniform Resource Identifier* (URI) (Mozilla, 2023).

Na internet a forma mais comum de URI é o URL (*Uniform Resource Locator*) também conhecido como endereço de *web* (Mozilla, 2023). O endereço em que é possível usar o *Solar*

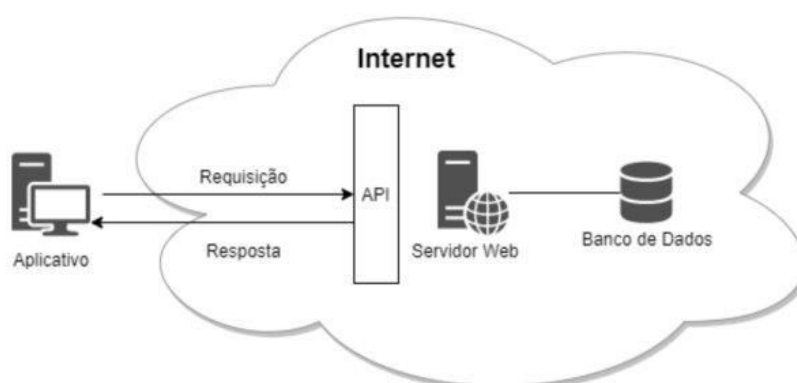
⁹ APIs (*Application Programming Interfaces*) são mecanismos que permitem que dois componentes de software se comuniquem usando um conjunto de definições e protocolos. (Aws, 2024).

Info Bot é: <https://chatbot-tcc.vercel.app> é um exemplo de URL, ou seja, é um identificador de um recurso HTTP.

A comunicação feita usando o protocolo HTTP é composta pelas seguintes etapas, de acordo com (Fielding; Reschke, 2021):

- a) Abertura de conexão: O cliente estabelece uma conexão com o servidor. Essa conexão é usada para enviar e receber mensagens HTTP. O cliente pode abrir uma nova conexão para cada requisição ou reutilizar uma conexão existente.
- b) Envio de requisição: O cliente envia uma mensagem HTTP para o servidor. Essa mensagem contém informações sobre o recurso que o cliente está solicitando.
- c) Recebimento de resposta: O servidor recebe a mensagem HTTP do cliente e envia uma resposta. A resposta contém os dados solicitados pelo cliente, bem como um código de status que indica o sucesso ou fracasso da requisição.
- d) Processamento da resposta: O cliente recebe a resposta do servidor e a processa. Isso pode incluir exibir os dados na tela, salvar os dados em um arquivo ou realizar outra ação.

Figura 4 - Diagrama de uma arquitetura cliente-servidor



Fonte: Ristemi *et al.* [2019].

2.4.4 Webhook e API

API significa Interface de Programação de Aplicações (em inglês, *Application Programming Interface*) e são utilizadas para permitir a integração de diferentes sistemas, facilitando a comunicação e a troca de informações entre eles. Uma API pode ser disponibilizada por uma empresa, plataforma ou serviço para permitir que outros

desenvolvedores utilizem suas funcionalidades sem precisar entender os detalhes internos da implementação (Red hat, [s.d.]).

Por exemplo, uma API de um serviço de mapas pode permitir que um aplicativo de terceiros obtenha informações sobre localização e exiba mapas, sem que o desenvolvedor do aplicativo precise criar essa funcionalidade do zero.

Por outro lado, o *webhook* também realiza a comunicação entre sistemas, mas, diferente da API, o *webhook* opera de forma passiva, onde a comunicação é feita apenas quando um evento ocorre. Esse evento é o gatilho para execução do *webhook* (Sendgrid, [s.d.]). Assim, enquanto as APIs são usadas para solicitar dados conforme necessário, os *webhooks* são ideais para receber notificações automáticas em tempo real. Quando o *chatbot* recebe uma consulta do usuário que requer dados dinâmicos ou uma lógica complexa, ele pode ativar um *webhook* que faz uma chamada para um serviço externo, processa os dados e retorna uma resposta ao usuário em tempo real.

Esse serviço externo pode ser uma API que fornece os dados ou executa a ação necessária. Assim, o *webhook* funciona como uma ponte que conecta o *chatbot* a APIs externas para obter informações ou realizar operações específicas, permitindo respostas mais ricas e contextualizadas.

2.4.5 Javascript e Node.js

O JavaScript é uma linguagem de programação interpretada e feita para ser executada no navegador *web*. Sua sintaxe, tem como objetivo principal proporcionar maior interatividade às páginas da *web*. Uma característica do JavaScript é a ausência de tipos de dados fixos, permitindo que uma variável tenha diferentes tipos (por exemplo, *string*, *number*, *boolean*, *object*) conforme a informação armazenada (Oliveira *et al.*, 2021).

Na construção do *chatbot* utiliza-se o Node.js para fazer o servidor do *webhook*. Node.js é um *software* que expande o uso do JavaScript para além do cliente (navegador), possibilitando a utilização dessa linguagem no lado do servidor (Oliveira *et al.*, 2021).

2.4.6 Deploy

Após o desenvolvimento de um *software*, o próximo passo é disponibilizá-lo na internet para os usuários finais ou outros programas. Esse processo, conhecido como *deploy*, envolve

várias etapas essenciais para garantir que o *software* funcione corretamente e de forma estável para todos os usuários (IBM, 2021).

A primeira etapa do processo de *deploy* é escolher a plataforma de hospedagem que irá oferecer a infraestrutura para que a aplicação esteja disponível na internet. Essa escolha impacta diretamente na eficiência, na capacidade de crescimento e no custo da aplicação. Entre as opções mais conhecidas estão Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform (GCP), Microsoft Azure, Render e DigitalOcean. A decisão deve levar em conta as necessidades específicas do projeto, como armazenamento, poder de processamento, localização do servidor e suporte para tecnologias específicas. Segundo o DigitalOcean (2024), AWS e Azure são altamente flexíveis e escaláveis¹⁰, sendo mais adequadas para projetos de grande porte, enquanto o DigitalOcean é mais adequado para projetos menores. O Render foi definido para hospedar o *webhook* do *Solar Info Bot* devido a existência de um plano gratuito e facilidade de uso para projetos menores.

Após escolher a plataforma de hospedagem, o próximo passo é transferir o código-fonte. Essa transferência pode ser feita manualmente, por meio de um *upload* direto dos arquivos ou pode ser feita de forma automatizada por meio de ferramentas que facilitam a movimentação do código. Segundo Noll e Pretto (2020), a automação do *deploy* oferece várias vantagens, como um versionamento mais eficiente, que facilita a reversão para um estado anterior do código em caso de desastres. Além disso, a escalabilidade é aprimorada, pois é possível duplicar ambientes de forma automática, permitindo que a aplicação disponha de mais recursos. Outro benefício é a redução de erros humanos.

Para garantir um *deploy* bem-sucedido, especialmente em aplicações de maior escala, é crucial realizar testes e monitoramento adequados, sendo esses testes uma parte fundamental do processo de *deploy*. Antes do *deploy*, os testes são realizados para simular o comportamento dos usuários e garantir que o novo código não introduza problemas indesejados (Santana, 2024). Já o monitoramento da aplicação coleta métricas essenciais, como tempo de resposta, disponibilidade e taxas de erro, ajudando a identificar e corrigir problemas rapidamente.

¹⁰ Escalabilidade é a capacidade do ambiente de se adequar às necessidades de utilização da aplicação. Os recursos computacionais dedicados a uma aplicação aumentam conforme a demanda cresce. (Nunes, 2019).

2.5 Plataformas de criação de *chatbots*

Atualmente grandes empresas de tecnologia disponibilizam plataformas para criação de *chatbots* baseados em IA, assim como também existem opções de plataformas de código aberto, seguem alguns exemplos:

a) Microsoft Bot Framework: Oferece ferramentas para a construção, teste e implantação de *bots*. Além disso, suporta a integração com várias plataformas de *chat* e recursos de voz, como Skype, Slack, Facebook Messenger e Cortana. Ele também facilita a utilização de linguagem natural em conversas por meio do serviço LUIS (*Language Understanding Intelligent Service*) da Microsoft (Microsoft, 2023).

b) IBM Watson Assistant: Permite criar assistentes virtuais para uma variedade de canais, incluindo aplicativos móveis, sites e mensageiros populares como o Slack. Watson Assistant destaca-se por sua capacidade de integrar-se com outros serviços da IBM, como o IBM Cloud Functions, permitindo funcionalidades avançadas, como acessar bancos de dados e APIs externas (Mazon, 2018).

c) Amazon Lex: Esta plataforma permite que os desenvolvedores criem interfaces conversacionais usando a mesma tecnologia que alimenta o Amazon Alexa. É compatível com uma variedade de plataformas, incluindo Facebook Messenger, Slack¹¹ e Twilio¹², e oferece integração com outros serviços na nuvem da Amazon, facilitando acesso a serviços de armazenamento de dados (Amazon, 2018)

d) Rasa: Esta plataforma de código aberto fornece as ferramentas necessárias para construir *bots* com habilidades de compreensão de linguagem natural avançada. Uma característica importante do Rasa é que ele permite que você tenha controle total sobre os dados que o seu *bot* gera, o que pode ser crítico para setores que lidam com informações sensíveis (Rasa, 2023).

e) Dialogflow: É uma plataforma de processamento de linguagem natural disponibilizada pela Google. Por meio dele é possível desenvolver *chatbots* que podem ficar

¹¹ O Slack é um aplicativo de mensagens para empresas que conecta as pessoas às informações de que elas precisam, reunindo-as para trabalhar como uma equipe unificada (Slack, [s.d.]).

¹² Twilio é uma plataforma líder mundial de comunicação na nuvem que permite envolver os clientes em todos os canais: sms, voz, vídeo, e-mail, Whatsapp, entre outros. É utilizada por empresas de todos os portes que precisam de comunicação na nuvem em mais de 100 países diferentes (Capterra, [s.d.]).

disponíveis em diversos canais como sites, assistentes de voz e aplicativos de mensagens populares como Facebook, Messenger e Telegram de forma integrada (Sabharwal; Agrawal, 2020).

Por fim, existem também outras plataformas, tais como Botpress, ManyChat, Chatfuel e Dialogflow, sendo que o Dialogflow possui duas versões: Dialogflow ES (*Essentials*) e Dialogflow CX (*Customer Experience*). Apesar de as versões compartilharem funcionalidades análogas, o Dialogflow ES é mais adequado para a construção de agentes conversacionais de menor complexidade e com uma equipe menor de desenvolvedores, além de possuir um plano gratuito.

Por outro lado, o Dialogflow CX é ideal para grandes empresas e agentes conversacionais complexos, pois conta com controle de versão, permitindo que se trabalhe com uma equipe maior com facilidade. Além disso, a precificação da plataforma é estabelecida pelo número de minutos de conversação ou sessões (Google, 2022). Por possuir um plano gratuito, amplos tutoriais online e facilidade de integração com aplicativos de mensagem o Dialogflow ES foi escolhido para desenvolver o *Solar Info Bot*.

2.6 Introdução aos sistemas fotovoltaicos

Neste tópico, serão apresentados os elementos envolvidos na geração de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico (SFV), tais como radiação solar, orientação dos módulos fotovoltaicos, ângulo de inclinação e sombreamento dos módulos, além do microclima local, tipos de sistemas fotovoltaicos e equipamentos essenciais em um SFV. Todos esses aspectos são estudados para compreender como ocorre a produção de energia elétrica por meio da energia solar fotovoltaica. Além disso, discute-se sobre o cenário da energia solar fotovoltaica no Brasil, abordando o atlas solarimétrico brasileiro e o do Tocantins. Por fim será descrito sobre o processo de elaboração de orçamentos para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

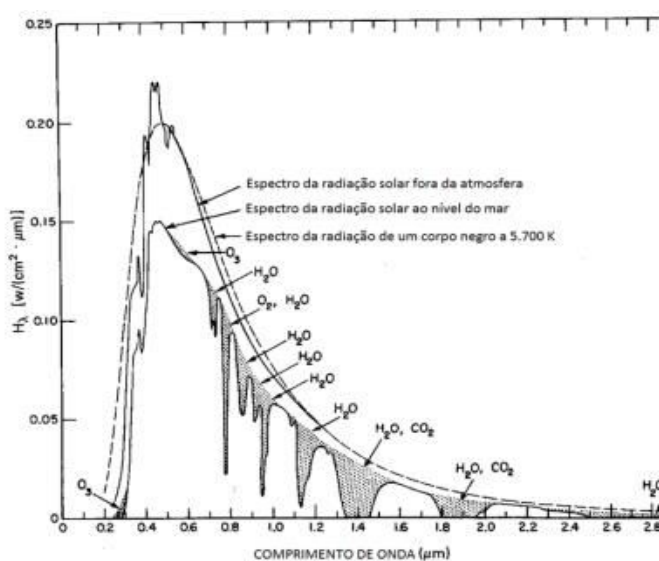
Nessa perspectiva, a energia solar fotovoltaica¹³ é a energia obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico (Fadigas, 2000). Esse

¹³ A palavra “fotovoltaico” ou “fotovoltaica” vem do grego *photos*, que significa luz, e de Volta, parte do nome do físico italiano Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, que, em 1800, inventou a pilha elétrica (Zilles *et al.*, 2012).

efeito foi observado pela primeira vez no século XIX por Alexandre Becquerel. No entanto, foi somente na década de 1950 que cientistas dos Laboratórios Bell descobriram as propriedades fotovoltaicas do silício, que atualmente é o material mais utilizado nas células fotovoltaicas devido ao seu baixo custo (Balfour, 2016). Assim, um sistema fotovoltaico é uma fonte de potência elétrica na qual as células fotovoltaicas convertem a radiação solar diretamente em energia elétrica (Sousa, 2009).

Vale ressaltar que a radiação solar é composta por fótons de diferentes comprimentos de onda, que apresentam uma distribuição específica chamada de espectro, de modo que em camadas superiores à da atmosfera, o espectro da radiação solar é próximo ao de um corpo negro¹⁴ com temperatura de 5.700 K. No entanto, devido à presença de água, gás carbônico e ozônio na atmosfera terrestre, ocorrem fenômenos como absorção e reflexão da radiação solar, que acabam por modificar o espectro extraterrestre, como mostrado na Figura 5 (Pinho, 2012).

Figura 5 - Espectro da radiação solar.



Fonte: Pinho [2012].

¹⁴ Corpo negro é definido como um meio ou substância que absorve toda energia incidente sobre ele, de modo que nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida (Denise, 2011).

2.6.1 Benefícios de sistemas fotovoltaicos

A fonte primária de sistemas fotovoltaicos, a radiação solar, é considerada inesgotável. Além disso, não há emissão de poluentes durante a geração de eletricidade, sendo que esses sistemas não consomem combustíveis fósseis e podem ser implantados em praticamente qualquer localidade. Outro benefício é a necessidade reduzida de manutenção. Ainda assim, vale ressaltar a importância de inspeções periódicas para garantir que o sistema continue funcionando de forma otimizada, isto é, com a máxima eficiência possível ao longo de anos. Ademais, durante o funcionamento, os sistemas fotovoltaicos não produzem ruído acústico ou eletromagnético e tampouco emitem gases tóxicos. Além disso, a confiabilidade desses sistemas é considerada alta, fazendo com que sejam utilizados em locais inóspitos, tais como: desertos e o espaço sideral (Sousa, 2009).

2.6.2 Componentes de um sistema fotovoltaico

Para Lacchini (2017), os principais componentes de um sistema fotovoltaico são: módulos fotovoltaicos, inversor(es), suportes mecânicos para fixação dos módulos, cabos, conexões elétricas, disjuntores, chaves elétricas, sistema de monitoramento remoto, além de banco de baterias e controlador de carga. Esses equipamentos, em sua maioria, serão descritos a seguir, assim como o medidor bidirecional.

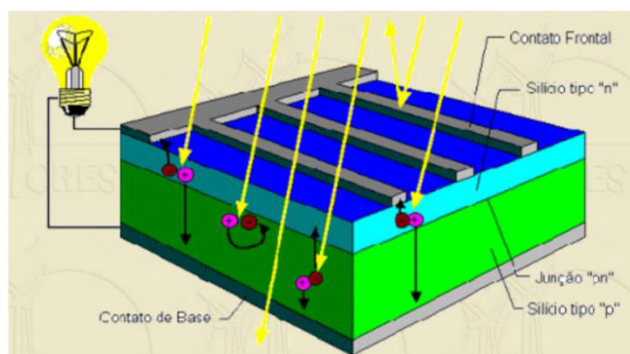
2.6.2.1 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas, que são compostas por materiais classificados como semicondutores, têm como característica possuírem uma banda de valência¹⁵ totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução¹⁶ totalmente vazia a temperaturas muito baixas. A Figura 6 ilustra uma representação de uma célula fotovoltaica em corte transversal (Aparecida, 2000).

¹⁵ Banda de valência: Bandas de mais baixa energia (Kikuti, 2006).

¹⁶ Banda de condução: Banda de mais alta energia (Kikuti, 2006).

Figura 6 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Aparecida [2000].

O semiconductor mais utilizado na produção de células fotovoltaicas é o silício. Seus átomos possuem quatro elétrons que se ligam aos elétrons adjacentes, formando uma rede cristalina. Ao adicionar-se o átomo de fósforo, por exemplo, que possui cinco elétrons de ligação, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado, e dessa forma ficará “sobrando”, ficando ligado de forma fraca somente ao seu átomo de origem. Como consequência disso, em função de pouca energia térmica, esse elétron é capaz de se libertar e ir para a banda de condução. Dessa forma, denomina-se o fósforo como um dopante doador de elétrons, dopante tipo “n” ou impureza “n” (Fernando, 2011).

Por outro lado, ao introduzir-se o átomo de boro, que possui três elétrons de ligação, faltará um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede cristalina. Essa ausência de elétron é denominada “lacuna” ou “buraco”. Devido à baixa energia térmica, um elétron do sítio vizinho pode se deslocar para a posição da lacuna, deixando uma lacuna no seu local de origem, fazendo com que a “lacuna” tenha um deslocamento aparente. Denomina-se, portanto, o boro como um aceitador de elétrons ou um dopante de elétrons (Aparecida, 2000).

Nesse sentido, em temperatura ambiente, existe energia térmica suficiente para que praticamente todos os elétrons em excesso dos átomos de fósforo estejam livres e as “lacunas” criadas pelos átomos de boro se desloquem, para que seja possível a geração de energia elétrica em corrente contínua (Aparecida, 2000).

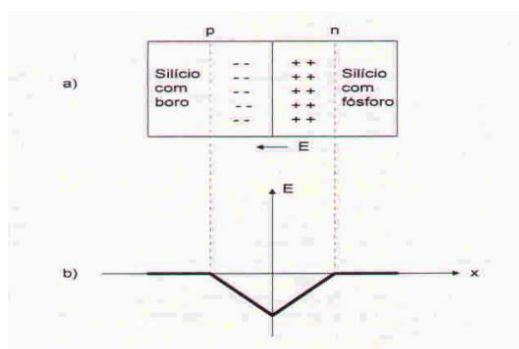
Dessa forma e tomando como base átomos de silício puro, pode-se inserir átomos de boro em uma metade e átomos de fósforo em outra, formando o que se chama de junção (pn), como mostrado na Figura 7. Nessa junção, os elétrons livres do lado (n) passam para o lado (p), onde encontram os buracos que os capturam, fazendo com que haja um acúmulo de elétrons no

lado (p), tornando-o negativamente carregado, e uma redução de elétrons no lado (n) tornando-o eletricamente positivo (Fernando, 2011).

Essas cargas presas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado (n) para o lado (p). A passagem de mais elétrons do lado (n) para o (p) só é interrompida quando o campo elétrico mencionado anteriormente aumenta a ponto de criar uma barreira, impedindo essa passagem (Aparecida, 2000).

São nessas junções (pn) que quando submetidas a fótons¹⁷ com energia superior ao *gap*¹⁸ dos semicondutores, dentro da faixa visível do espectro eletromagnético¹⁹, geram pares elétron-lacuna, que ao ocorrer em uma região cujo campo elétrico é diferente de zero, fazem com que as cargas se acelerem, gerando corrente elétrica através da junção. Esse deslocamento de carga nas junções (pn) dá origem a diferença de potencial nas células fotovoltaicas. A Figura 7 também mostra a variação do campo elétrico de forma perpendicular a junção (pn) (Fernando, 2011).

Figura 7 - Campo elétrico resultante da transferência de cargas através da junção (pn).



Fonte: Aparecida [2000].

¹⁷ Fótons: Partícula elementar de energia luminosa, de acordo com a teoria quântica (Dicionário Priberam, 2023a).

¹⁸ Gap é uma palavra de origem inglesa que significa lacuna, vão ou brecha (Enciclopédia significados, 2023).

¹⁹ Espectro Eletromagnético: É uma escala de radiações eletromagnéticas. Dentro dessa escala temos uma divisão de 7 tipos de ondas, sendo elas: raios gama, raios x, raios ultravioletas, luz visível, raios infravermelhos, micro-ondas e ondas de rádio (Damasceno; Bassini, (2021).

2.6.2.2 Módulos fotovoltaicos

Ao se conectar células fotovoltaicas (FV) tanto em série quanto em paralelo, formam-se módulos fotovoltaicos, os quais são encapsulados para garantir a sua proteção e eficiência. A configuração dessas células estabelece as características de tensão e corrente do módulo (Balfour, 2016). Uma característica também importante em um módulo fotovoltaico é o seu rendimento, que depende tanto da sua área de superfície, quanto da eficiência de suas células, arquitetura e sensibilidade espectral (Balfour, 2016).

Dentre as características de um módulo fotovoltaico, a sensibilidade espectral das células fotovoltaicas merece destaque, devido à sua importância na capacidade de captar e converter a radiação solar, composta por fótons de diferentes comprimentos de onda, em energia elétrica. Assim, a sensibilidade espectral descreve os comprimentos de onda do espectro eletromagnético aos quais a célula se sensibiliza a partir da incidência de luz solar. Quanto maior for a sensibilidade, mais energia luminosa a célula consegue coletar e transformar em energia elétrica. (Balfour, 2016).

Quanto a resistência mecânica dos módulos fotovoltaicos, que serve para assegurar a proteção das células dentro deles, são utilizados diferentes materiais, como o Etileno-vinil-acetato (EVA), Polivinil butiral (PVB), Teflon e resina (Balfour, 2016).

2.6.2.3 Sistemas de montagens

Os sistemas de montagem mantêm o conjunto do SFV mais seguro e fixo, de modo a estimular o fluxo de ar e, assim, minimizar o aquecimento. Nessa perspectiva, existem diferentes tipos de montagens que funcionam melhor em contextos distintos. Assim, o projetista, ao escolher o sistema de montagem deve considerar fatores como: localização, sombra, manutenção, estética, furto ou vandalismo, proximidade do conjunto à unidade de condicionamento de potência (inversor), para decidir qual montagem será mais apropriada para instalação (Balfour, 2016).

Os módulos fotovoltaicos podem ser instalados em telhados, fachadas e de forma independente em postes e *racks*. Dentre os sistemas de montagem possíveis, vale destacar segundo (Balfour, 2016), a montagem no solo, em poste e em *rack*:

A montagem no solo ao ar livre pode ser feita de diversas maneiras, de modo que os fatores mais relevantes na instalação dos módulos fotovoltaicos são a orientação e inclinação

do painel. A inclinação do módulo FV vai depender da latitude, considerações estruturais, estética, entre outras questões (Balfour, 2016).

A montagem em poste, como mostrado na Figura 8, é útil em áreas rurais onde as estruturas podem não estar disponíveis ou em regiões sombreadas, uma vez que este tipo de montagem facilita o posicionamento dos conjuntos longe de objetos produtores de sombra. Assim, deve-se determinar o tamanho do poste de acordo com o tamanho do sistema instalado, além de considerar a força de arrasto do vento, pois em casos de ventos fortes, uma ancoragem adicional pode ser necessária. O terreno e o tipo de solo também são fatores importantes a serem analisados antes da instalação (Balfour, 2016).

Como vantagem da montagem em poste, tem-se um melhor fluxo de ar, o qual reduz a temperatura dos módulos fotovoltaicos e melhora o rendimento do SFV, além de proporcionar um acesso mais fácil para limpeza e manutenção dos módulos. Em relação às desvantagens, se os módulos fotovoltaicos estiverem longe demais dos inversores, maior terá que ser a bitola dos condutores, a fim de reduzir as perdas elétricas, o que, conseqüentemente, encarecerá o empreendimento. Quanto à proteção contra vandalismo e animais selvagens, pode-se mitigar as ocorrências utilizando barreiras físicas, como cercas e sistemas de monitoramento por câmeras (Balfour, 2016).

Figura 8 - Exemplo de uma montagem em poste.

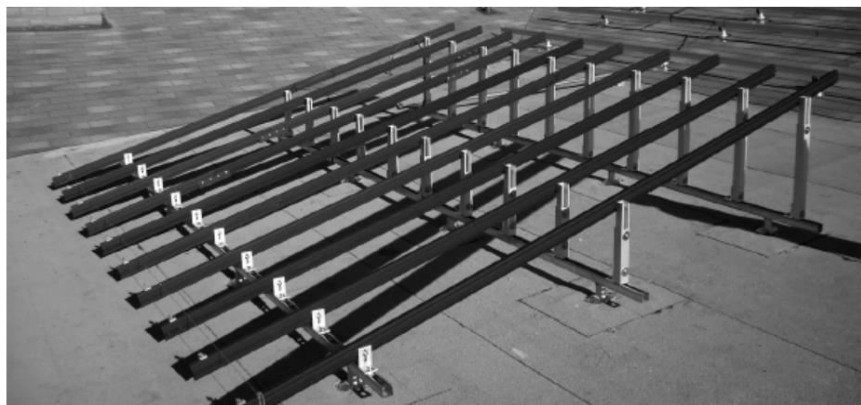


Fonte: Made-In-China [2024].

Já a montagem em *rack*, como mostrado na Figura 09, é uma estrutura que pode ser instalada em vários locais, podendo ser fixa ou ajustável. É considerada fácil de instalar e pode

ser fixada em edificações, telhados ou no solo. Deve-se ter cuidado ao fixá-la em telhados, pois, em função da quantidade de furos, se não forem vedados, podem permitir a entrada de água na edificação, comprometendo sua estrutura física. Pode ser necessário, também, instalar ancoragens extras em caso de ventos fortes (Balfour, 2016).

Figura 9 - Exemplo de montagem em rack.



Fonte: Balfour [2016].

2.6.2.4 Condutores

Os condutores destinados à interligação de módulos, por sua vez, possuem características distintivas em relação aos cabos residenciais. Dentre elas, destacam-se, para os cabos da série fotovoltaica: resistência a condições climáticas extremas, raios ultravioleta, ozônio, água e danos mecânicos, além de possuírem uma isolamento elétrica de 1,8 kV CC (Lacchini, 2017).

No entanto, de acordo com a NBR 16690, que trata das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, as características de cabos descritas acima referem-se a somente um tipo de cabeamento de um SFV, os cabos da série fotovoltaica. No entanto, de forma geral, os cabos de um SFV podem ser classificados em três tipos: cabos da série fotovoltaica, cabos do arranjo fotovoltaico e cabos do subarranjo fotovoltaico. Sendo que esses tipos de cabos devem atender as normas da NBR 16612, que trata sobre requisitos de desempenho para cabos de potência em sistemas fotovoltaicos, sendo não halogenados²⁰, isolados e com cobertura.

²⁰ Cabo não halogenado é um tipo de cabo que não contém elementos derivados da família dos halogênios (flúor, cloro, bromo, iodo, astato e tenesso), nem na capa nem nos compostos isolantes (Polyexcel, 2019).

2.6.2.5 Inversor

O inversor FV converte a potência em corrente contínua advinda dos módulos fotovoltaicos em potência em corrente alternada que, em condições normais, é injetada na rede elétrica (Pinho, 2012). A tensão em corrente alternada de saída deve ter amplitude, frequência e componente harmônico²¹ adequados às cargas as quais o inversor será conectado. No caso de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR), a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede elétrica (Cresesb-Cepel, 2014).

Os inversores são necessários em sistemas FVs, em função do seguimento do ponto de potência máxima (SPPM) (Cresesb-Cepel, 2014), que será explicado mais à frente e da conversão CC/CA, uma vez que a grande maioria das aplicações elétricas (eletrodomésticos, eletroeletrônicos) fazem uso de potência em corrente alternada (Balfour, 2016). Esses também utilizam componentes semicondutores como chaves estáticas²² para efetuar a comutação responsável pela conversão CC/CA, sendo os tiristores (SCR²³ e GTO²⁴) e os transistores (MOSFET²⁵ e IGBT²⁶) os componentes mais utilizados (Pinho, 2012).

Em sistemas fotovoltaicos, os inversores podem ser classificados em duas categorias quanto ao tipo de aplicação: sistemas fotovoltaicos isolados (SFIs) e SFCRs. Embora os inversores SFCRs possuam os mesmos princípios gerais de funcionamento dos SFIs, os primeiros possuem características específicas para atender às exigências das concessionárias de distribuição em relação a segurança e qualidade da energia injetada na rede.

²¹ Componente harmônico: Componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental (no caso da energia elétrica brasileira, de 60 Hz). Esses componentes podem provocar distorções dos sinais de tensão e corrente elétrica (O Setor Elétrico, 2014).

²² Chaves estáticas: Tem como função principal a continuidade do fornecimento de energia à carga em ambientes em que estejam disponíveis ao menos duas fontes de energia denominadas de fonte preferencial e fonte alternativa (Henrique; 2011).

²³ Do inglês *silicon controlled rectifier* (Cresesb-Cepel, 2014).

²⁴ Do inglês *gate turn-off thyristor* (Cresesb-Cepel, 2014).

²⁵ Do inglês *metal oxide semiconductor field effect transistor* (Cresesb-Cepel, 2014).

²⁶ Do inglês *insulated gate bipolar transistor* (Cresesb-Cepel, 2014).

Além disso, vale destacar que os inversores de SFIs são fontes de tensão, portanto, fornecem um sinal de tensão e frequência para os equipamentos conectados. Já os inversores de SFCR são fontes de corrente e precisam de um sinal de tensão e frequência de referência, que é fornecido pela rede elétrica a qual esse equipamento está conectado (Cresesb-Cepel, 2014).

Uma outra classificação possível para os inversores é quanto ao modo de comutação, podendo ser autocomutados ou comutados pela rede. Os autocomutados, mais utilizados atualmente, podem funcionar como fonte de tensão ou de corrente (Pinho, 2012), e os elementos de chaveamento são semicondutores, de modo que operam com a estratégia de controle de modulação por largura de pulso (PWM²⁷), na qual permite um bom controle sobre a forma de onda e o valor da tensão de saída (Cresesb-Cepel, 2014).

Já os inversores comutados pela rede (para SFCR) ou inversores de comutação natural, são robustos, simples e utilizam tiristores (SCR e TRIAC²⁸) como elementos de chaveamento. No entanto possuem baixa qualidade de tensão e corrente de saída, em função da grande quantidade de harmônicos, fato que faz com que requeiram o uso de redes de filtragem complexas, onerosas e que implicam perdas (Cresesb-Cepel, 2014).

Com isso e em função do surgimento de novos dispositivos de chaveamento (MOSFET e IGBT), o uso desses inversores foi bastante reduzido, sendo hoje seu uso restrito a unidades de potência elevada (acima de 100 kW) e acionadores (*drivers*) de motores elétricos de grande porte. (Cresesb-Cepel, 2014).

A maioria dos inversores conectados à rede contém a função (SPMP) ou MPPT (do inglês: *Maximum Power Point Tracking*), que representa a tensão e corrente para que o conjunto FV funcione no maior ponto de potência (Balfour, 2016). A curva (IxV) na Figura 10, por sua vez, ilustra a relação entre corrente e a tensão e o ponto (P_{MP}) representado na Figura 10 é chamado de ponto de potência máxima, situando-se no “joelho” da curva, onde naquele instante, o produto da tensão pela corrente tem seu valor máximo (Cresesb-Cepel, 2014). No entanto, vale ressaltar que a eficiência do inversor pode sofrer uma queda drástica se operar no limite de

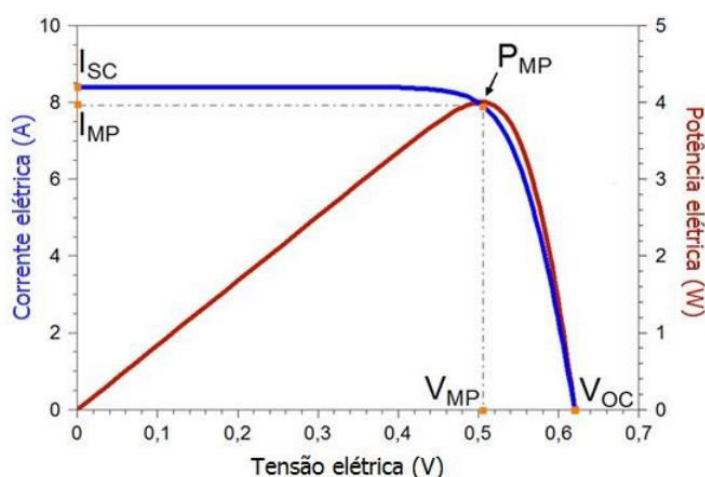
²⁷ Do inglês *pulse width modulation* (Cresesb-Cepel, 2014).

²⁸ Do inglês *triode for alternating current* (Cresesb-Cepel, 2014).

suas características nominais, especialmente sob condições climáticas adversas ou de alta irradiação solar (Balfour, 2016).

A partir dos valores da curva (I x V), pode-se determinar a curva da potência em função da tensão, denominada de curva (P-V), destacada de vermelho no gráfico da Figura 10. Nessa mesma Figura, (I_{mp}) e (V_{mp}) representam, respectivamente, a corrente e tensão para o ponto de máxima potência. (I_{sc}) é a corrente de curto-circuito, sendo a máxima corrente obtida quando na célula fotovoltaica a tensão elétrica em seus terminais for igual a zero, e (V_{oc}) é a tensão de circuito aberto, que representa a tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente elétrica circulando, sendo a máxima tensão que uma célula FV pode produzir (Cresesb-Cepel, 2014).

Figura 10- Curvas de corrente-tensão e potência-tensão com o ponto de máxima potência para o inversor.



Fonte: Cresesb-Cepel [2014].

Vale ressaltar que o SPMP é bastante útil em sistemas FVs, em função da irradiância poder variar drasticamente em questão de segundos, seja em decorrência de nuvens que venham atrapalhar a absorção da irradiância solar pelos módulos FVs, seja por sombreamentos parciais, folhas ou sujeiras sobre os módulos fotovoltaicos. Como a corrente elétrica gerada é diretamente proporcional a irradiância, se essa última diminui, a corrente elétrica também diminui (Cresesb-Cepel, 2014).

Com isso, é necessário que haja um mecanismo de controle eletrônico que observe continuamente as modificações na curva (I x V), de modo a manter sempre o gerador FV

operando na tensão correspondente à tensão de máxima potência, de modo a maximizar a transferência de potência e evitar assim perdas nas células, que surgiriam se o acoplamento ocorresse em outra tensão que não a ótima (Cresesb-Cepel, 2014).

2.6.2.6 *Medidor bidirecional*

O medidor bidirecional, equipamento específico que deve ser utilizado quando se instala um sistema fotovoltaico conectado à rede, registra a quantidade de energia fornecida pelo sistema fotovoltaico à rede elétrica e mede a quantidade de energia consumida da rede elétrica convencional pela unidade consumidora (Cresesb-Cepel, 2014). Ademais, tanto a instalação quanto a aquisição desse equipamento são de responsabilidade da concessionária de energia local (Lacchini, 2017).

2.6.2.7 *Banco de baterias e controlador de carga*

Para os casos em que o SFCR possui banco de baterias ou o sistema é isolado, têm-se entre os elementos essenciais desse sistema o controlador de carga e o banco de baterias. O controlador de carga é responsável por regular a carga da bateria e evitar sobrecargas ou descargas excessivas, além de gerenciar o fluxo de energia entre os painéis solares, as baterias e as cargas elétricas. Sendo comum em sistemas isolados, o controlador de carga é um equipamento a parte no sistema, instalado à jusante do inversor e em SFCRs é comum ele ser embarcado dentro do próprio inversor, compondo assim, um único equipamento.

Enquanto isso, as baterias são destinadas ao armazenamento da energia proveniente dos painéis solares, viabilizando seu fornecimento durante a noite, em momentos de escassez de geração solar ou quando há uma demanda que excede a capacidade de geração dos módulos (Balfour, 2016).

2.6.3 *Orientação do conjunto FV, ângulo de inclinação, sombreamento e microclima local*

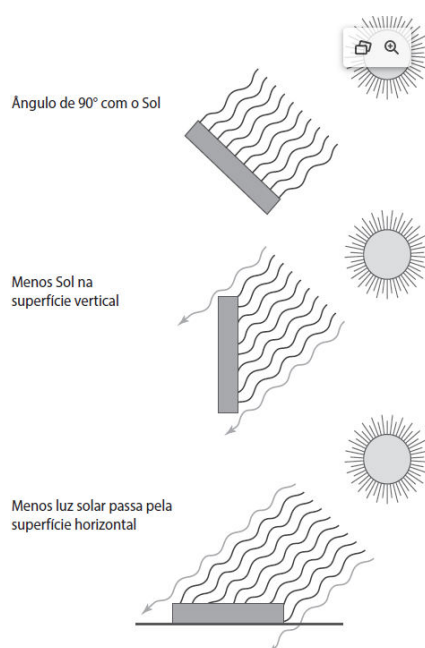
Fatores como orientação do conjunto FV, ângulo de inclinação, sombreamento e microclima também influenciam diretamente no rendimento do sistema FV (Balfour, 2016). Quanto ao microclima, esse diz respeito as características climáticas específicas do local, isto é, por exemplo, quantidade e período das chuvas, se apresenta geada, chuva com granizo, neve, tempo nublado, entre outros fatores que irão influenciar diretamente no rendimento do sistema FV (Balfour, 2016).

Já o sombreamento diminui o rendimento de um SFV em função das sombras sobre o conjunto FV, que podem ser geradas, por exemplo, em detrimento de árvores, montanhas, edificações, mastros, linhas de transmissão ou distribuição de energia elétrica, que impedem a radiação solar de atingir o conjunto FV. Sendo que as sombras que impactam os módulos fotovoltaicos e sua produção de energia são menores ao meio-dia, e maiores no início da manhã e ao final da tarde (Balfour,2016).

Os tipos de sombras são também classificados em direta e temporária. As diretas são aquelas geradas por edificações, árvores, entre outros. Já as temporárias ocorrem por acúmulo de resíduos sólidos nos módulos FV, como poeira, excremento de animais, folhas, entre outros. Em função desse último tipo de sombreamento, recomenda-se a limpeza frequente dos módulos FV para minimizar as perdas na geração de energia elétrica (Balfour,2016).

O ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos é dado com relação ao plano horizontal, sendo que para obter o maior aproveitamento, o plano dos módulos fotovoltaicos deve ser perpendicular à irradiação direta dos raios solares. Nesse sentido, das disposições apresentadas na Figura 11, a horizontal está entre as piores, em função da facilidade no acúmulo de sujeira e dificuldade de autolimpeza pela chuva (Balfour, 2016).

Figura 11 - A imagem mostra como a inclinação do módulo FV afeta a absorção da radiação solar.

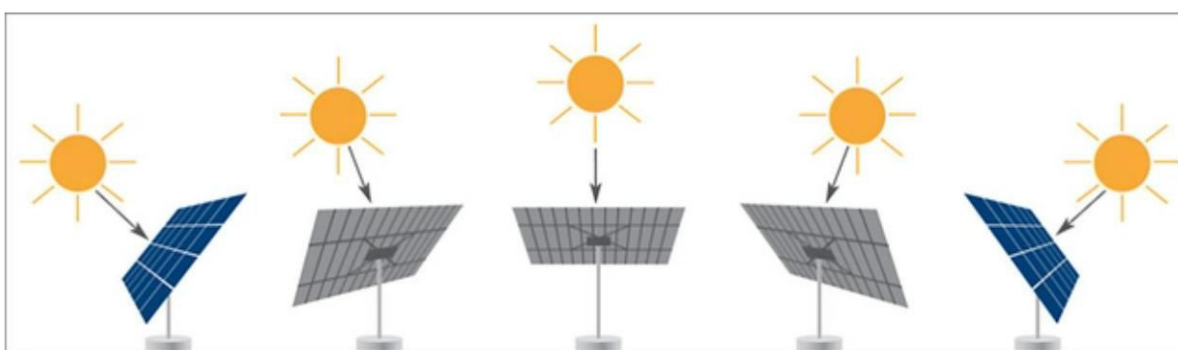


Fonte: Balfour [2016].

Em função do movimento aparente²⁹ do sol, para que os módulos fotovoltaicos estejam sempre perpendiculares aos raios solares, esses devem acompanhar esse movimento. Dessa forma para manter os módulos fotovoltaicos sempre nessa posição em relação aos raios solares, pode-se utilizar sistemas de rastreamento que irão movimentar os módulos fotovoltaicos.

Em relação aos tipos de rastreadores, pode-se classificá-los quanto ao eixo em: eixo simples (horizontal ou vertical), na qual acompanha o movimento aparente do sol de leste a oeste, e o de eixo duplo, que faz o mesmo que os de eixo simples, além de acompanhar a movimentação de subida ou descida do sol no céu (Balfour, 2016). Na Figura 12 ilustra-se o funcionamento de um rastreador solar ou também seguidor solar, em um conjunto FV e na Figura 13 os tipos de seguidores solares separados quanto ao tipo de eixo.

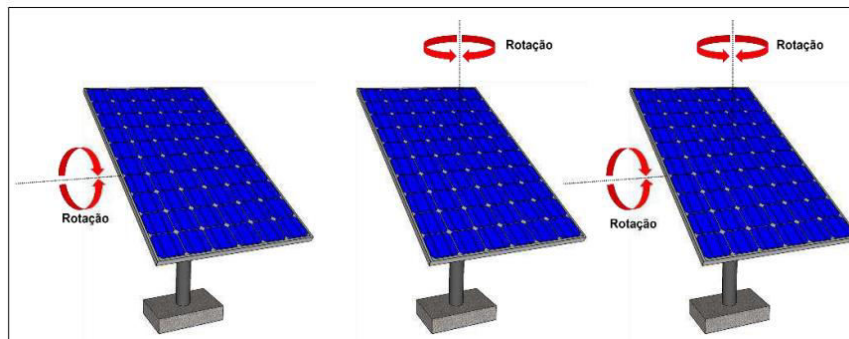
Figura 12 - Imagem que ilustra a movimentação de um conjunto FV para acompanhar o movimento aparente do sol, sem especificar o tipo de sistema de rastreamento solar utilizado.



Fonte: (Passos, [s.d.]).

²⁹ Aparente, pois, têm-se a impressão de que é o sol que se movimenta em relação a terra, mas de acordo com a teoria mais aceita, a teoria heliocêntrica, o sol é que se encontra no centro do sistema solar e os planetas, como a terra, é que giram em torno dele (Soares, 2015).

Figura 13 - Tipos de sistemas de rastreamento solar. Da esquerda para direita respectivamente: eixo horizontal simples, eixo vertical simples, eixo duplo.



Fonte: Alves [2021].

Os sistemas de rastreamento solar atuam na captação de energia solar, em decorrência de aumentarem a quantidade de energia solar incidente sobre os módulos fotovoltaicos, o que permite maior geração de energia elétrica. No entanto a sua utilização encontra dificuldades em função do aumento do custo de operação e manutenção do SFV, fator que deve ser ponderado na escolha da implementação ou não desse sistema (Balfour,2016).

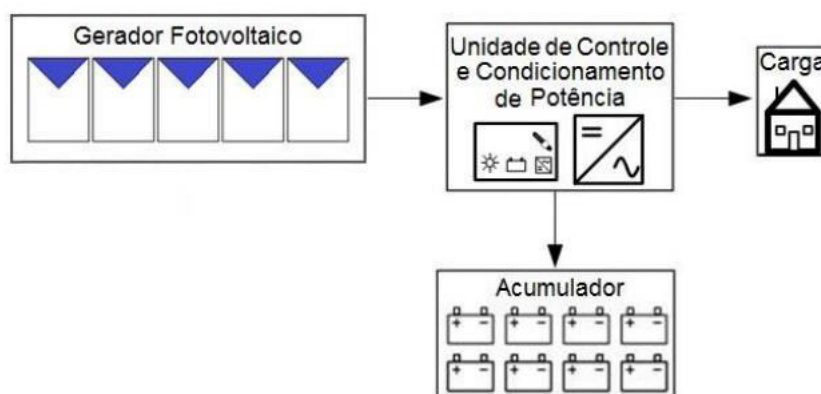
Já quanto a orientação do conjunto FV, tomando como referência a linha do equador, caso os módulos fotovoltaicos sejam posicionados ao sul dessa linha, para uma maior captação de energia solar, a face frontal dos módulos deve estar apontada para o norte geográfico. Caso os módulos fotovoltaicos estejam situados ao norte da linha do equador, a captação de energia solar será maior se a face frontal está orientada para o sul geográfico. No entanto, nem sempre os módulos poderão ter o seu melhor rendimento quando voltados para essas posições, uma vez que sombras, inclinação da superfície de suporte como o telhado, podem tornar, nesse aspecto, essa orientação ruim. (Balfour,2016).

2.6.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Pode-se classificar um sistema fotovoltaico em três categorias diferentes: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede (Aparecida, 2000). Será dado maior enfoque ao SFV conectado à rede, em função da estimativa de custos de implantação contida no *Solar Info Bot* ser para esse tipo de sistema.

Os sistemas fotovoltaicos isolados, também denominados sistemas off-grid³⁰, são configurados para funcionarem de maneira desconectada à rede elétrica convencional (Aparecida, 2000). Esses sistemas são normalmente empregados em regiões remotas ou em áreas carentes de acesso à eletricidade fornecida pela rede, oferecendo uma solução independente para geração de energia. Um exemplo de configuração para esse sistema é apresentado na Figura 14 (Portal solar, [s.d.] b).

Figura 14 - Exemplo de sistema isolado.



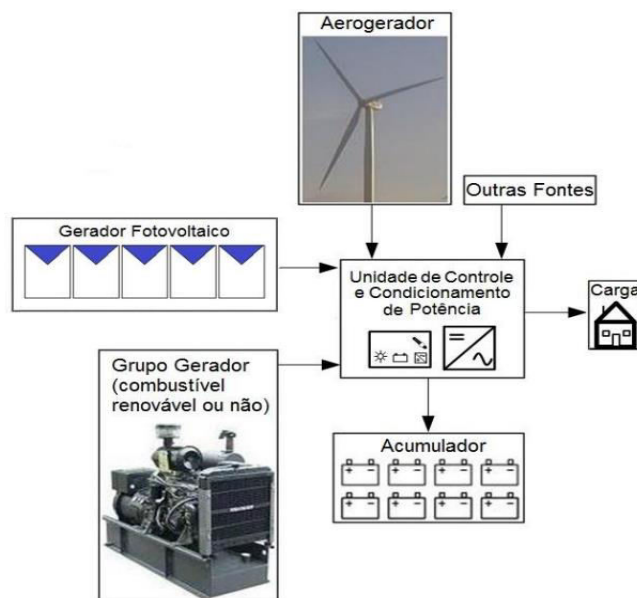
Fonte: Cresesb-Cepel [2014].

Já os sistemas híbridos geram energia utilizando simultaneamente várias fontes, como energia solar fotovoltaica, energia eólica (aerogeradores), geradores diesel, entre outras. Além disso, o mercado tem considerado como híbridos os sistemas compostos por gerador e armazenamento com baterias, sendo possível dessa forma encontrar no mercado um inversor chamado de híbrido por permitir a conexão entre módulos fotovoltaicos e baterias. Esses sistemas são geralmente de porte relativamente grande e destinam-se a atender o consumo de uma comunidade (Cresesb, 2012). São considerados sistemas mais complexos e requerem algum tipo de controle que integre os vários geradores, de forma a facilitar a operação para o

³⁰ “off-grid” advém da língua inglesa e significa fora da rede (Google, [s.d.]).

usuário. Existem várias configurações possíveis, assim como estratégias de uso de cada fonte de energia (Cresesb-Cepel, 2014). Um exemplo de configuração para esse sistema é apresentado na Figura 15.

Figura 15- Exemplo de sistema híbrido

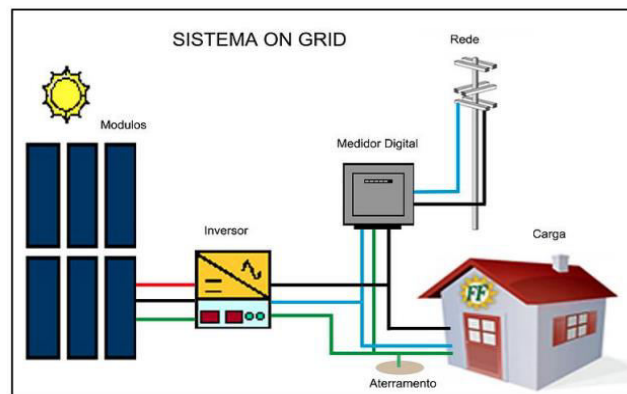


Fonte: Cresesb-Cepel [2014].

Um sistema conectado à rede elétrica ou on-grid³¹ pode apresentar ou não equipamento para armazenamento de geração. Esses sistemas complementam o sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. Como mostrado na Figura 16, os módulos fotovoltaicos podem ser conectados em um ou mais inversores que fazem a interface com a rede elétrica (Fernando, 2011).

³¹ “on grid” é um termo da língua inglesa e significa na rede (Sirius, 2021).

Figura 16 - Sistema fotovoltaico conectado à rede.

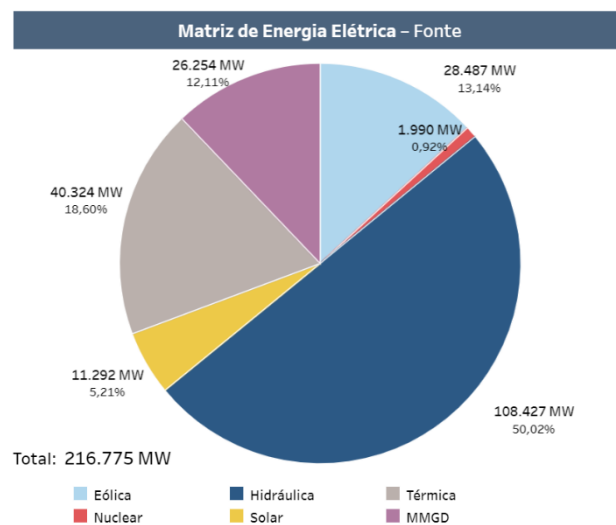


Fonte: Boso; Cremasco; Filho [2015].

2.7 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

O Brasil apresenta um território continental com vastas riquezas naturais, além de condições climáticas e fertilidade de solo que superam várias vezes a demanda total energética estimada para os próximos 30 anos. Essa abundância ocorre com uma ampla gama de fontes de energia (PNE 2050, 2020), como mostrado na Figura 17, que traz dados do PMO (Programa Mensal de Operação Energética) de fevereiro de 2024 (ONS, 2024).

Figura 17- Matriz de energia elétrica brasileira em megawatts (a sigla MMGD na imagem significa micro e minigeração distribuída).



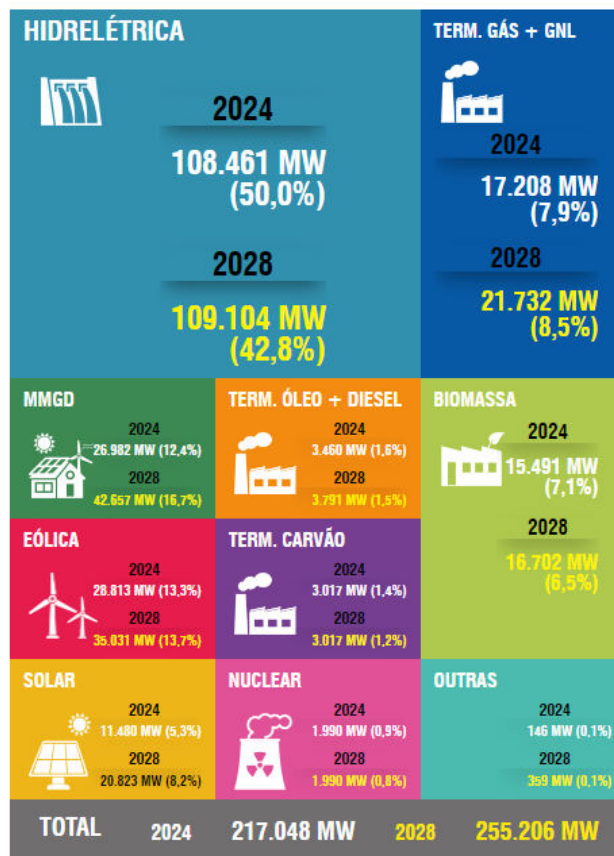
Fonte: ONS [2024].

Como pode-se observar na Figura 18, a geração hidráulica, uma fonte de energia renovável, ainda representa a maior parte de nossa matriz energética, no entanto outras fontes de energia renováveis, como solar, eólica e microgeração³² e minigeração³³ distribuída (MMGD), já representam percentuais significativos em nossa matriz energética. Um dos fatores que tem gerado o investimento em outras energias renováveis além da fonte hidráulica, é fato de que nos períodos de seca, onde ocorre a diminuição da capacidade de geração hidráulica, em função da redução dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas, se faz necessário a utilização de outras fontes energéticas, sendo a mais utilizada, a geração termelétrica (Nippes, 2019).

³² Microgeração distribuída é a central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (Lei 14.300, 2022).

³³ Minigeração distribuída é a central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (Lei 14.300, 2022)

Figura 18- Projeção de evolução da capacidade instalada no SIN – fevereiro de 2024
dezembro de 2028.



Fonte: ONS [2024].

Ademais, para expansão da geração hidráulica de energia se faz necessário a construção de grandes barragens, fato que envolve o alagamento de grandes áreas próximas à rios, gerando impactos ambientais significativos, e em casos extremos, o deslocamento da população local. Quanto a análise desses aspectos ambientais e sociais, observa-se como uma boa opção, o aumento da diversificação da matriz energética nacional através da implantação de energias renováveis, como solar, eólica e MMGD, de forma a aumentar o percentual dessas fontes energéticas que tem uma sustentabilidade ambiental maior em relação as fontes de combustíveis fósseis e as hidrelétricas, no que diz respeito a sua implantação (Nippes, 2019).

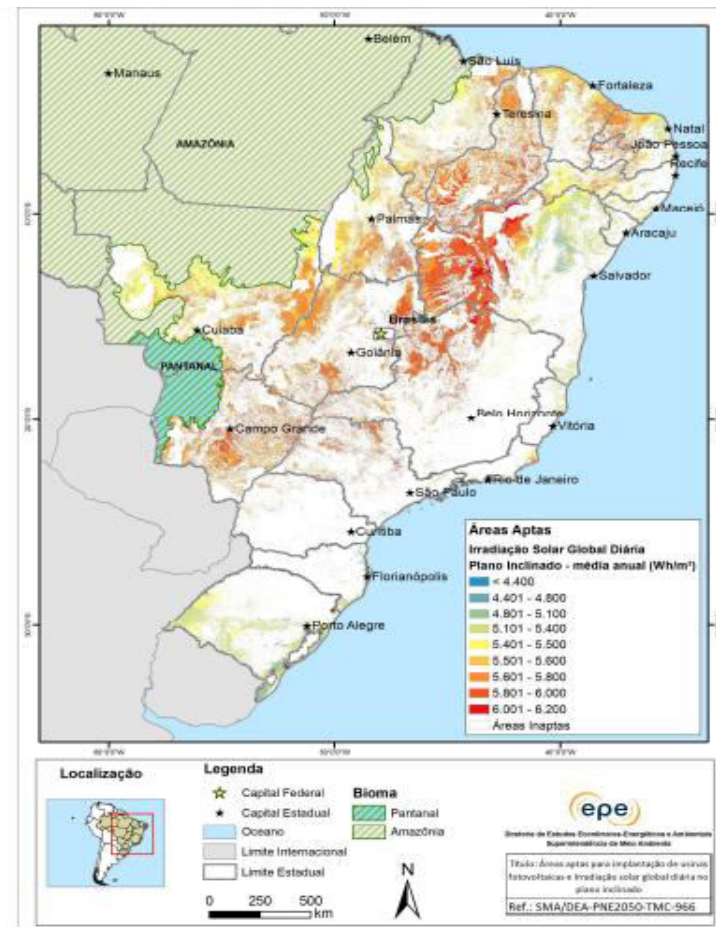
Vale ressaltar que a energia solar fotovoltaica também possui impactos negativos em relação ao meio ambiente, no que diz respeito ao comprometimento da vegetação, em decorrência de, em alguns casos, ser necessário realizar terraplanagem no terreno para fixação dos módulos fotovoltaicos. Além disso, cabe destacar o acúmulo de equipamentos de sistemas

fotovoltaicos descartados após ou antes de seu período de vida útil, que, na maioria dos casos, não passam por um processo de reciclagem ou reuso (Portal Solar, [entre 2014 e 2024] c).

A expansão da energia solar fotovoltaica e MMGD na matriz energética nacional, ocorreu em função da sua sustentabilidade ambiental e também em decorrência da localização geográfica do país, uma vez que o Brasil recebe altos índices de incidência da radiação solar (se comparado a países como a Alemanha por exemplo, onde a tecnologia fotovoltaica está mais desenvolvida) e relativamente uniformes no território nacional, o que permite desenvolver projetos solares viáveis em diferentes regiões, como é demonstrado na Figura 19, que apresenta a irradiação solar global diária e áreas aptas à geração de energia solar fotovoltaica (PNE 2050, 2020).

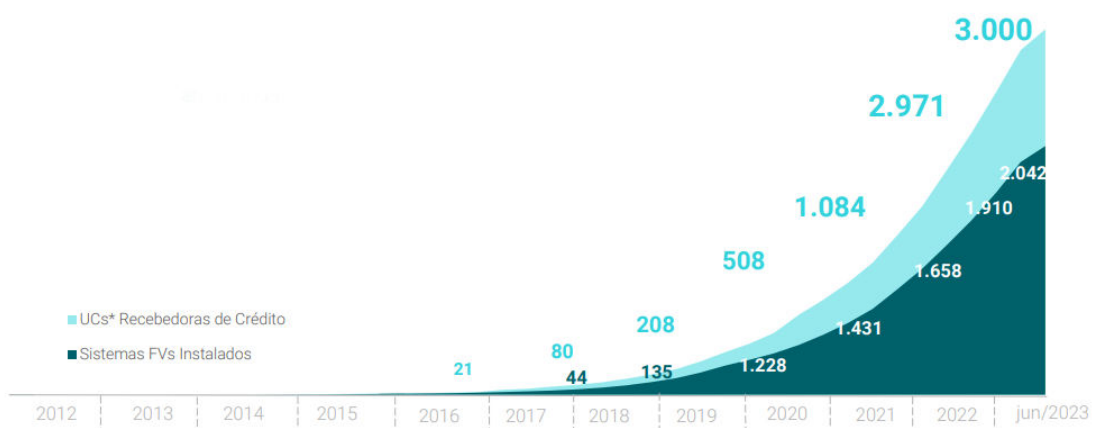
Fato que ajuda a entender a projeção de aumento da capacidade instalada em MMGD e energia solar fotovoltaica mostrados na Figura 18, com dados do (Programa Mensal de Operação Energética) de fevereiro de 2024 (ONS, 2024). Além do fato de o Brasil ter alcançado 2 milhões de sistemas fotovoltaicos instalados, considerando o período até junho de 2023, com 929 mil unidades consumidoras se beneficiando dos créditos de forma remota, como mostra a Figura 20.

Figura 19 - Irradiação solar global diária e áreas aptas à geração de energia fotovoltaica.



Fonte: PNE 2050 [2020].

Figura 20- Evolução da geração distribuída no Brasil (em milhões de unidades).



Fonte: Greener [2023b].

Dessa forma, observa-se que o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica pode contribuir significativamente para diversificação da matriz energética brasileira, uma vez que com o aumento da implantação de sistemas fotovoltaicos, pode-se diminuir o uso das fontes tradicionais de energia, acarretando na economia de combustíveis fósseis e na manutenção do nível de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas (Robson; Perin, 2016).

2.7.1 Tipos de geração de energia elétrica através de SFVs

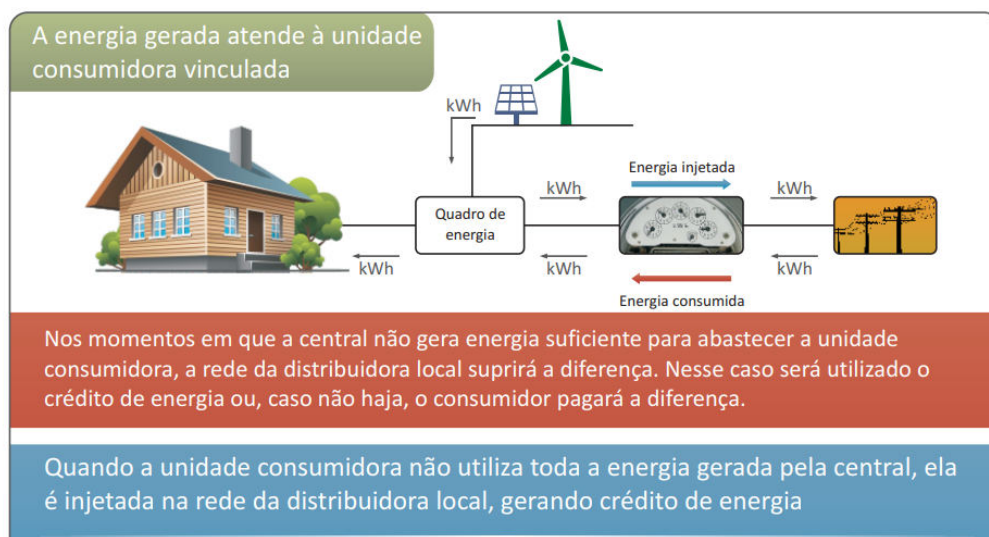
No que diz respeito a geração de energia elétrica a partir do aproveitamento da energia solar em SFVs, pode-se dividi-los em três grupos principais: geração centralizada (produção em larga escala, sendo disponibilizada no sistema elétrico através das linhas de transmissão), geração isolada (geração local de energia para abastecimento em locais remotos) e geração distribuída (sistema conectado à rede elétrica de distribuição junto com a unidade consumidora, podendo ser subdividido em minigeração e microgeração, na qual disponibiliza a energia excedente gerada à rede elétrica) (Robson; Perin, 2016).

2.7.2 Regulamentações para MMGD

Quanto a regulamentação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição, associados a unidades consumidoras, a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) publicou em 2012 a resolução normativa nº 482/2012, que tratou sobre micro e minigeração distribuída, que na época correspondia a potências inferiores a 100 kWp para microgeração, e superiores a 100 kWp até 1 MWp para minigeração (Cresesb-Cepel, 2014).

Essa regulamentação também previu, dentre outras determinações, o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), na qual criou a possibilidade de ser feito um balanço de quanto foi consumido e gerado pela unidade consumidora (Cresesb-Cepel, 2014). Assim, esse sistema de compensação permitiu que a energia excedente gerada pela unidade consumidora pudesse ser injetada na rede de distribuição e ser compensada em até 60 meses, sendo esse o limite de tempo para utilização dos créditos de energia gerados (Nippes, 2019), como exemplificado na Figura 21.

Figura 21- Exemplificação do sistema de compensação de energia elétrica.



Fonte: ANEEL [2016].

Em 2015 a ANEEL publicou a resolução normativa 687/2015, de forma a alterar a lei 482/2012, em que uma das alterações realizadas foi quanto a potência instalada da microgeração, que passou a ser menor ou igual a 75 kW e a minigeração distribuída superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada³⁴ (ANEEL, 2015).

Já em 6 de janeiro de 2022 o congresso nacional decretou e o presidente da república sancionou a lei Nº 14.300/2022, que instituiu o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, além do sistema de compensação de energia elétrica (SCEE) e o programa de energia renovável social (PERS). Ademais, essa lei também representa um arcabouço legal e regulatório mais robusto que a resolução normativa (REN 482/2012), uma vez que trouxe mais segurança jurídica, como também mais estabilidade e previsibilidade ao mercado (Greener, 2023b), como também descrito na Figura 22.

³⁴ Cogeração Qualificada: Atributo concedido a cogeneradores (geração de energia elétrica e térmica a partir de uma mesma fonte primária) que atendem os requisitos definidos na resolução nº 1.031 de 2022, segundo aspectos de racionalidade energética, para fins de participação nas políticas de incentivo à cogeração (Resolução Normativa ANEEL Nº1.031 de 2022).

Figura 22- Representação de alguns ganhos trazidos pela lei nº 14.300/2022.



Fonte: Greener [2023b].

É importante também destacar que, entre as várias alterações feitas por essa lei, uma delas foi na minigeração distribuída, onde a potência instalada deve ser maior que 75 kW, menor ou igual a 5 MW para fontes despacháveis³⁵ e menor ou igual a 3 MW para fontes não despacháveis (Imprensa Nacional, 2022). Quanto à regulamentação das conexões na rede elétrica existentes ou solicitadas até 7 de janeiro de 2023, estas permanecerão regidas pelas resoluções normativas anteriores à Lei 14.300/2022, de modo a compensar todas as componentes tarifárias até 2045, de acordo com essas resoluções normativas anteriores, sendo esse um direito adquirido e regulamentado pelo art. 26 da Lei 14.300/2022 (Greener, 2023b).

2.7.3 Atlas solarimétrico do estado do Tocantins

Um atlas solarimétrico é uma coletânea de informações sobre os recursos solares existentes na forma de cartas de isolinhas³⁶ de radiação solar, insolação³⁷, entre outros (CRESESB-CEPEL, 2014). O Brasil possui um atlas solarimétrico, com mapas de isolinhas de radiação solar e de insolação, para cada um dos doze meses do ano (Tiba *et al*, 2000).

³⁵ Fonte despachável: de forma simplificada, as hidrelétricas, incluídas aquelas a fio d'água que possuam viabilidade de controle variável de sua geração de energia, cogeração qualificada, biomassa, biogás e fontes de geração fotovoltaica, limitadas, nesse caso, a 3 MW (três megawatts) de potência instalada (Imprensa Nacional, 2022).

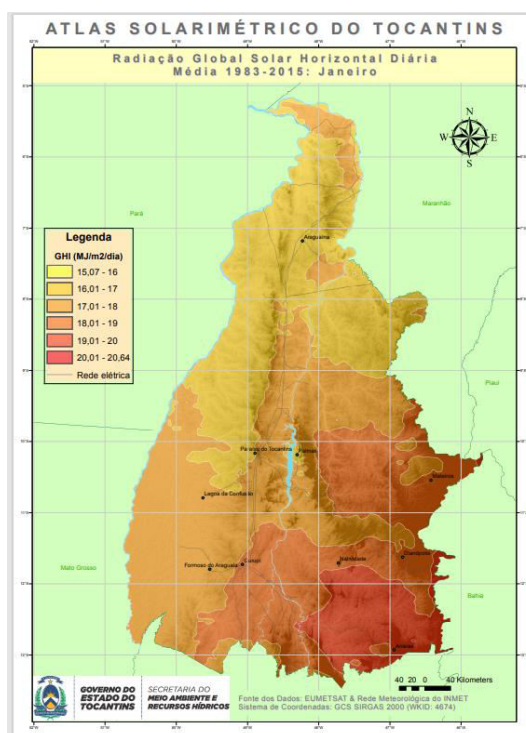
³⁶ Carta de isolinha: Uma carta de isolinhas é a representação de uma superfície por meio de curvas de (isovalor = igual valor) (DPI-INPE, [s.d.]).

³⁷ Mapa de insolação: Responsável por indicar quais regiões tem maior índice de irradiação solar (ALBA ENERGIA SOLAR, 2022).

No ano de 2021 o Tocantins também teve seu atlas solarimétrico criado, se tornando o primeiro estado da região norte com esse documento, de modo que esse mapeamento possibilitará a esse estado traçar estratégias para atrair investimentos (Moraes, 2021), além de dar um grande passo rumo a diversificação de sua matriz energética. (Atlas Solarimétrico do Tocantins, 2021). Na Figura 23, tem-se um exemplo de mapa de radiação global horizontal presente no atlas solarimétrico do Tocantins, com dados de 1983 até 2015.

Para produção do atlas solarimétrico do Tocantins, foi necessário comparar os dados radiométricos medidos em superfície por estações meteorológicas, com dados de radiação solar disponível através de imagens de satélite, para gerar um modelo, que após passar por validações, teve os seus dados de satélite corrigidos para as condições locais do Estado do Tocantins (Atlas Solarimétrico do Tocantins, 2021).

Figura 23- Exemplo de mapa para radiação global solar horizontal diária, com a média entre os anos de 1983 à 2015 para o mês de janeiro.



Fonte: Atlas Solarimétrico do Tocantins [2021].

2.8 Orçamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica

O cálculo da estimativa de preços para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Palmas-TO será apresentado e detalhado no tópico de procedimentos metodológicos e não utilizou o conteúdo do tópico 2.8 para o seu desenvolvimento, de modo que os assuntos deste tópico, para este trabalho, são de caráter informativo, a fim de se compreender, de forma geral, como é calculado o orçamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

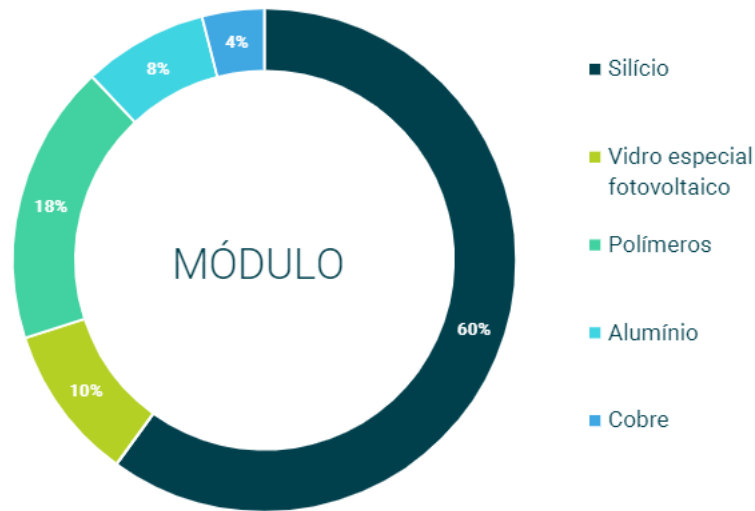
Inicialmente, é importante ter em mente a diferença entre os termos: custo e preço. Custo é o que o investidor gasta de seu capital para produzir algo ou para comprar um produto, já o preço é o valor de venda, que já está incluso o custo para produzir e vender, além da margem de lucro, que é afetada pelos efeitos oscilatórios de oferta e procura (Lacchini, 2017).

De acordo com o que foi enfatizado por Lacchini (2017), ao proceder com a instalação de sistemas fotovoltaicos, é crucial considerar uma variedade de custos, cujos valores tendem a oscilar conforme as flutuações do mercado. Os custos estão listados a seguir e alguns deles serão detalhados neste tópico:

- Custos dos equipamentos;
- Custos logísticos;
- Custos de mão de obra
- Custos operacionais;
- Custos de manutenção;
- Custos de serviço;
- Custos de garantia do serviço.

De acordo com (Greener, 2023a), que elabora anualmente o estudo estratégico da geração distribuída, que é resultado de uma pesquisa de mercado que conta com mais de 3 mil empresas integradoras, com o intuito de mostrar a realidade desse mercado, os módulos FVs representam em torno de 38% a 50% do preço final de um sistema FV, de modo que o principal insumo do módulo é o silício metálico, que serve como matéria-prima para o polisilício (um dos tipos de materiais empregados na fabricação dos módulos FVs), na qual representa 60% da estrutura de custos dos insumos, como mostrado na Figura 24.

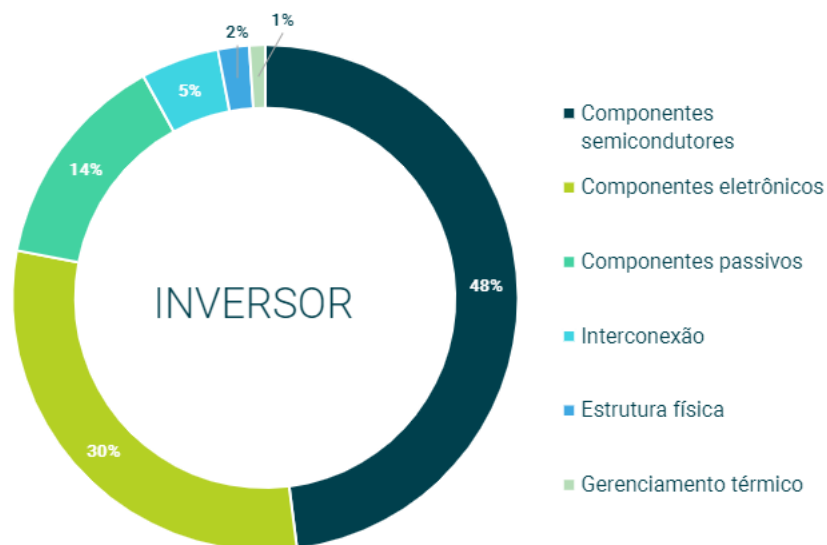
Figura 24- Estrutura de custo de um módulo FV.



Fonte: Greener, [2023a].

Já em relação aos inversores, os semicondutores e componentes eletrônicos representam a maior parcela de custo, como mostrado na Figura 25, de modo que em 2022 a produção desses componentes foi abaixo da exigida pelo mercado, gerando problemas de desabastecimento em escala global, devido à restrição da oferta gerada pela pandemia.

Figura 25- Estrutura de custos do inversor.



Fonte: Greener, [2023a].

Em relação as estruturas de fixação, que são compostas basicamente de alumínio ou aço, têm-se que o alumínio embora seja produzido no Brasil, possui precificação baseada na cotação do dólar e na Bolsa de Metais de Londres (*London Metal Exchange* -LME), na qual pode impactar diretamente no custo final das estruturas. Quanto ao preço do aço, esse impacta especialmente no custo das estruturas de fixação das usinas fotovoltaicas de solo (Greener, 2023a).

Quanto ao custo do frete internacional, houve uma redução de 85% em janeiro de 2023 comparado a janeiro de 2022, impactando positivamente nos custos de importação (Greener, 2023a). Na Figura 26 há a representação gráfica dos custos de importação e nacionalização dos módulos FVs nos postos do Brasil, onde também é representado as alíquotas³⁸ do frete, seguro, PIS/COFINS³⁹, CIF⁴⁰, FOB⁴¹ e outros custos como: rodoviário, *trading*⁴² e armazenamento.

As siglas FOB e CIF estão relacionadas ao pagamento do frete no transporte de mercadorias, e definem quem suportará os custos e riscos do transporte. Na modalidade CIF a responsabilidade de custos e riscos de transporte são do vendedor/fornecedor, de modo que a responsabilidade dele termina na entrega do produto no seu destino, por isso que no gráfico da Figura 26, aparece sobre a barra CIF o percentual da alíquota de frete e seguro (Mais polímeros, 2019).

Já na modalidade FOB, o comprador assume todos os riscos e custos com o transporte da mercadoria (Mais Polímeros, 2019), fazendo com que acima da barra FOB não seja empregado percentuais de alíquota. Por fim, na Figura 26, na barra que representa o valor nacionalizado, ao somar-se todas as alíquotas, o custo de nacionalização dos módulos fica 18,75%

³⁸ Alíquota é um valor fixo ou percentual usado para ser aplicado em um determinado produto ou serviço (Reis, 2023).

³⁹ A sigla PIS significa: Programa de Integração Social (Senado Federal, [s.d.]) e a sigla COFINS: Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Fernandes, [s.d.]).

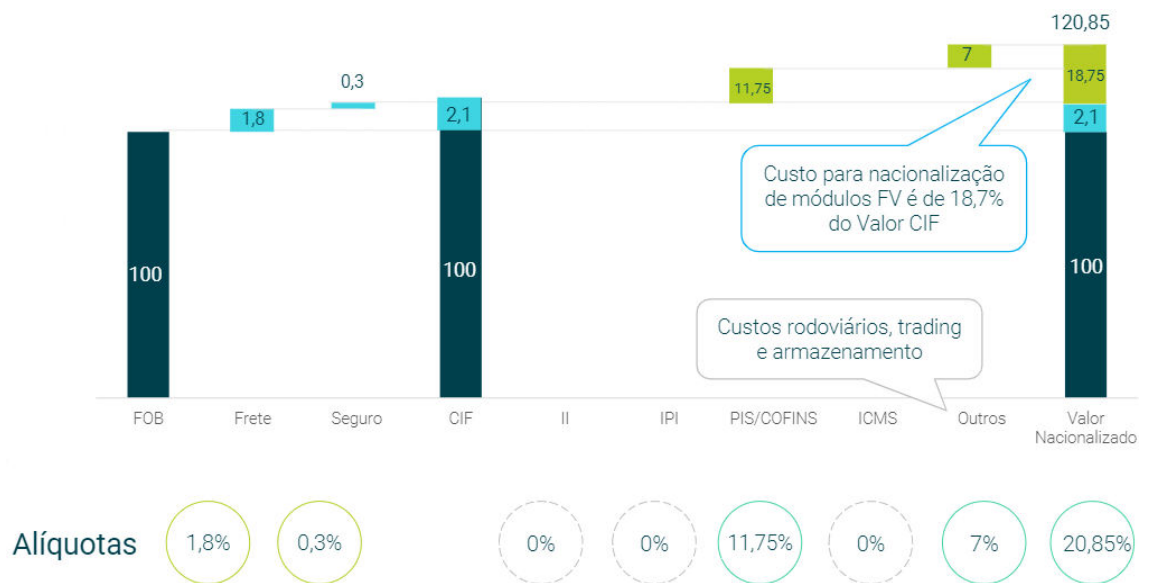
⁴⁰ CIF é um termo de língua inglesa e significa “*cost, insurance and freight*”, que em tradução para o português significa “custo, seguro e frete” (Hivecloud, 2024).

⁴¹ FOB é um termo de língua inglesa e significa “*free on board*”, que em tradução para o português significa “livre a bordo” (Hivecloud, 2024).

⁴² O termo *trading*, no contexto da importação, se refere a uma empresa que atua como intermediária entre o importador e o fornecedor estrangeiro (Costa, 2023).

do valor CIF e ao se considerar as alíquotas de frete e seguro de transporte, fica 20,85% do valor CIF.

Figura 26- Custos de importação e nacionalização dos módulos FVs nos postos do Brasil.

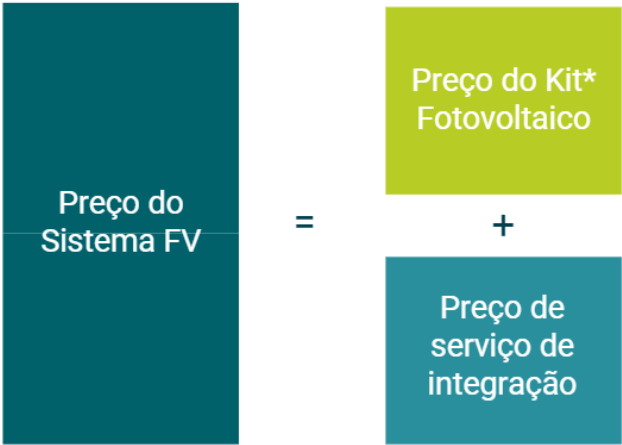


Fonte: Greener, [2023a].

Segundo estudo realizado por (Greener, 2023a) o preço do sistema é composto pelo preço dos kits⁴³ mais o preço de serviços, como mostrado na Figura 27, de modo que o preço médio do sistema fotovoltaico por porte, apresentado na Figura 28, em reais por watt pico, foi obtido por meio da média de preços fornecidos por milhares de integradores (empresas) que responderam à pesquisa semestral de geração distribuída da Greener. Já o preço médio dos kits foi obtido por meio do mapeamento de preços e pesquisa com distribuidores, como mostrado na Figura 29, e o preço médio de serviço de integração é resultado da diferença entre o preço do sistema FV e o preço do kit, na qual representa a prestação de serviço do integrador.

⁴³ Kit é composto por módulos FVs, inversor, sistema de montagem, sistema de cabeamento e sistema de proteção. (Greener, 2023a).

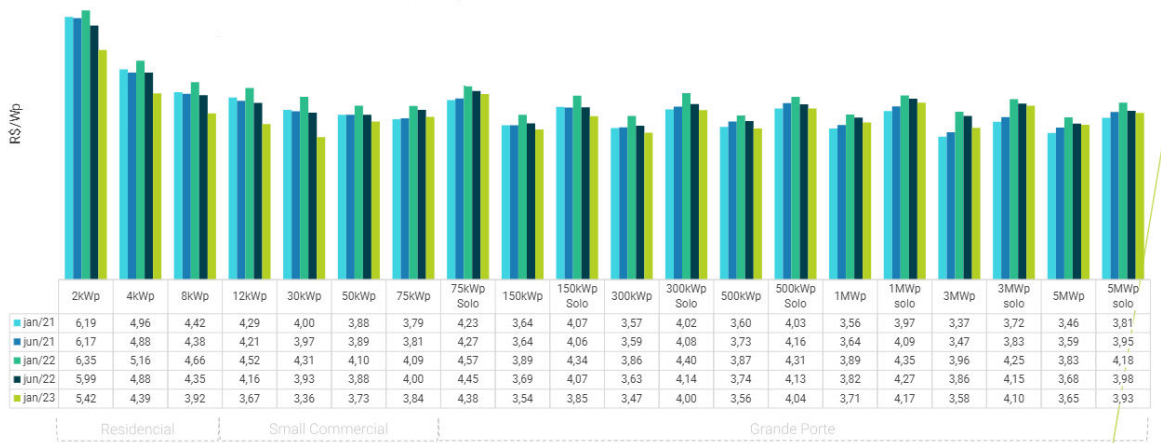
Figura 27- Imagem ilustrativa que representa a composição do preço de um sistema FV conectado à rede.



Fonte: Greener, [2023a].

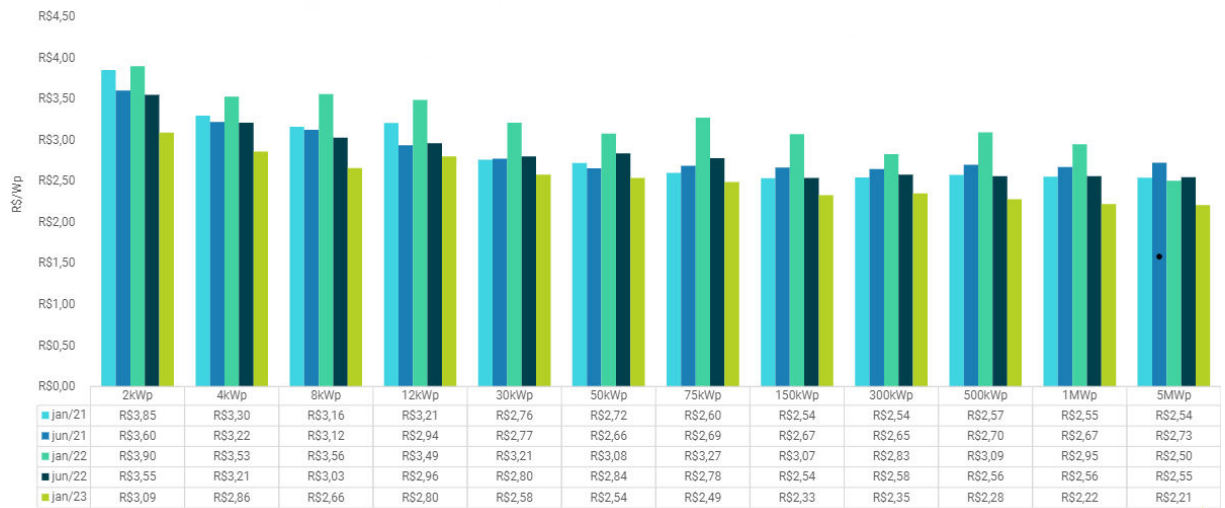
Conforme demonstra a Figura 28, em média, os preços para os consumidores finais em 2022 apresentaram queda de 12% em relação a 2021. Já a Figura 29 também demonstra uma redução, que nesse caso foi de 21% no preço médio dos kits em janeiro de 2023, em relação a janeiro de 2022. A queda dos preços no varejo foi potencializada pela baixa demanda por SFVs no início de 2023, em função de uma combinação de mudanças nas regras de GD e redução do financiamento nas vendas. (Greener, 2023a).

Figura 28- Preços de Sistemas Fotovoltaicos em Reais por Wp.



Fonte: Greener [2023a].

Figura 29- Preço dos Kits Fotovoltaicos em Reais por Wp.



Fonte: Greener [2023a].

Portanto, para realizar um levantamento de custos assertivo é importante acompanhar a flutuação de preço dos principais equipamentos supracitados já que eles compõem uma porcentagem considerável do total da composição de custo de um SFV.

O orçamento pode ser um valor definitivo ou um valor estimado, que oferece um referencial para o cliente de quanto ele vai gastar. Segundo (Balfour, 2016) para se dimensionar de forma mais precisa a quantidade de kWp para um determinado sistema FV, deve-se analisar pelo menos um ano de faturas (contas de energia elétrica) do cliente, além da irradiação solar local, para saber a quantidade de módulos FVs deverão ser adquiridos para atingir a quantidade de kWp exigida para o sistema FV projetado.

Logo, um orçamento que visa oferecer o valor mais exato possível para o cliente deve ser feito levando esse dimensionamento em questão. Porém, existem na internet calculadoras de orçamento que oferecem uma estimativa orçamentária a um potencial cliente cobrando menos informações em troca de um orçamento menos preciso (Portal Solar, [entre 2014 e 2023]).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Resumo da metodologia aplicada

Este trabalho é voltado para o desenvolvimento de um *chatbot* denominado *Solar Info Bot*. Esse *chatbot* foi criado com o propósito de facilitar o acesso a informações sobre energia solar fotovoltaica, especialmente para aqueles que não possuem especialização na área, isto é, são leigos no assunto. O *Solar Info Bot* foi desenvolvido utilizando a plataforma Dialogflow e integrado aos aplicativos Telegram e navegadores de internet, visando ampliar sua acessibilidade.

O objetivo da criação do *Solar Info Bot* é fornecer respostas de maneira interativa sobre energia solar fotovoltaica em geral, bem como abordar questões específicas relacionadas àqueles caracterizados como Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD). Além disso, o *Solar Info Bot* é capaz de estimar o custo total de implantação de sistemas fotovoltaicos para a cidade de Palmas, no estado do Tocantins.

Para atingir esses objetivos, foi realizada uma análise de *chatbots* existentes e identificadas as dúvidas mais frequentes (FAQ) sobre energia solar fotovoltaica. Essas informações serviram de base para a elaboração das perguntas e respostas contidas no *Solar Info Bot*. Posteriormente, o desempenho do *chatbot* foi avaliado junto ao público-alvo por meio de um formulário disponibilizado no Google Forms⁴⁴, permitindo uma análise mais aprofundada do seu funcionamento e da sua eficácia na disseminação de informações sobre energia solar fotovoltaica.

3.2 Dialogflow

Os elementos essenciais para compreender a plataforma Dialogflow são: agentes, intenções (intents), entidades, contextos, integrações e *fulfillment* (Correa, *et al.*, 2021).

3.2.1 Agentes

Agentes do Dialogflow são programas que entendem o que as pessoas dizem e respondem automaticamente, como se fossem assistentes virtuais. É o elemento central de um

⁴⁴ Google Forms é um serviço gratuito do Google para criar formulários online (Bijora, 2018).

projeto no Dialogflow e contém o núcleo do processamento de linguagem natural, responsável por compreender as sutilezas da linguagem humana (Google, 2022). Segundo a documentação disponibilizada pela Google (2022): “Um agente do Dialogflow é semelhante a um agente humano de *call center*, uma vez que ele é treinado para lidar com os cenários esperados em conversas, de modo que o treinamento não precisa ser excessivamente explícito”.

Além disso, é importante que um agente seja especializado em um domínio específico (Sabharwal; Agrawal, 2020), ou seja, deve ser responsável por apenas um único contexto. Dessa forma, idealmente um agente não deve ser responsável por assistência médica e serviços bancários, pois são dois domínios completamente diferentes.

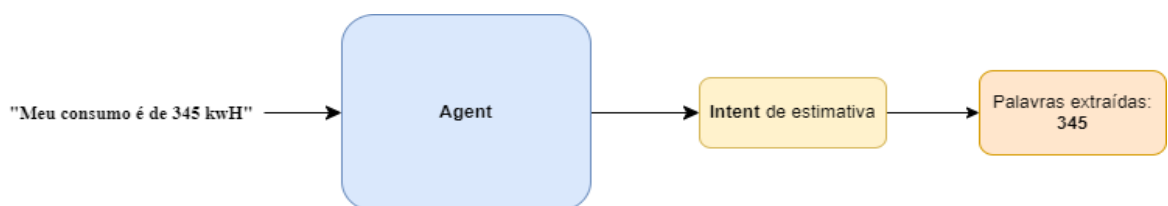
3.2.2 *Intents*

Intents no Dialogflow são comandos que o agente entende e usa para saber o que o usuário quer, permitindo que o agente responda de forma adequada. Elas representam as intenções do usuário ao interagir com um *chatbot*.

Quando um usuário diz algo, o Dialogflow tenta identificar qual é a *intent* (intenção) por trás daquela frase. Por exemplo, se o usuário disser “Qual a estimativa para instalar um sistema fotovoltaico?” a *intent* que o Dialogflow irá corresponder a essa pergunta seria a “ObterEstimativa” (Sabharwal; Agrawal, 2020).

No exemplo ilustrado anteriormente, a pergunta do usuário serve de gatilho para *intent* de estimativa, ou seja, o agente escolhe a *intent* correta que corresponde com o desejo do usuário. Além disso, o Dialogflow é capaz de extrair informações úteis da expressão do usuário, como um horário, local ou valor. Por exemplo, caso o usuário escreva “Meu consumo é de 345 kWh” o Dialogflow é capaz de identificar o número digitado e salvá-lo para realizar os cálculos de estimativa (Google, 2022). A Figura 30 demonstra o fluxo de seleção de uma *intent* por um agente:

Figura 30 – Funcionamento da escolha de uma *intent* por um agente do Dialogflow.



Fonte: Autor [2023].

3.2.2.1 Frases de treinamento

Caso o agente não seja capaz de identificar a *intent*, o fluxo da interação não alcançará sua meta final, que é solucionar a questão ou consulta do usuário. Para evitar isso, cada *intent* no Dialogflow pode possuir várias frases de treinamento que são utilizadas para treinar algoritmos de aprendizado de máquina incorporados à classificação de *intents*. Além das frases de treinamento, os dados provenientes de conversas anteriores também são usados para treinamento do algoritmo (Sabharwal; Agrawal, 2020). Em suma, o agente pode conseguir entender a consulta do usuário mesmo se ela não estiver entre as frases de treinamento, desde que seja uma consulta semelhante às frases de treinamento.

3.2.2.2 Parâmetros

O Dialogflow consegue extrair informações úteis a partir de perguntas do usuário, através dos parâmetros. Por exemplo, se um usuário pede para agendar uma consulta, o *chatbot* precisa extrair informações como a data, a hora e o tipo de consulta desejada. Essas informações são armazenadas nos parâmetros correspondentes. Os parâmetros são usados como entradas ou dados para as ações, permitindo que o *chatbot* execute tarefas com base nas informações fornecidas pelo usuário (Google, 2022).

3.2.2.3 Entidades

Entidade é uma palavra-chave na fala do usuário, a qual o Dialogflow tem a capacidade de identificar e utilizar para gerar uma resposta apropriada (Google, 2022). Exemplos de entidade:

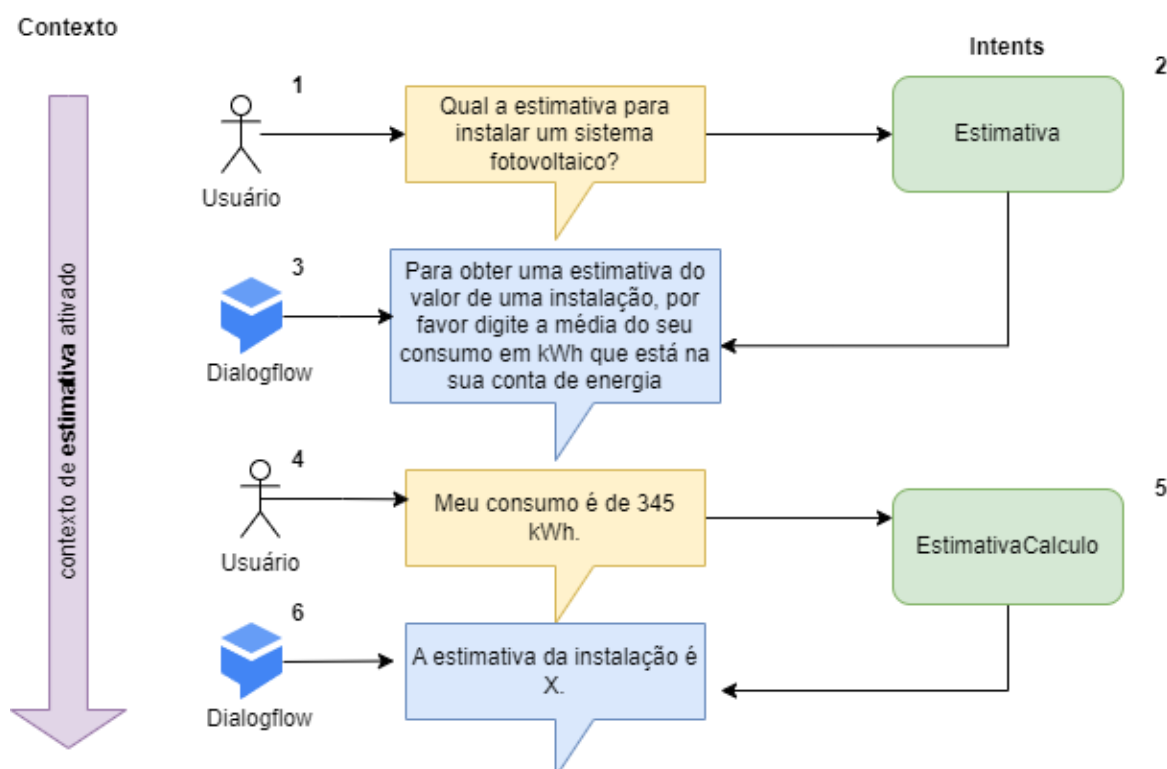
- a) Data e Hora: Entidades como *@sys.date* e *@sys.time* ajudam a identificar e extrair datas e horários de frases. Exemplo: "Quero agendar uma reunião para segunda-feira." A entidade extrai a palavra segunda-feira;
- b) Números: A entidade *@sys.number* identifica números em frases. Exemplo: "Meu consumo é de 345 kWh.", extrai o número 345;
- c) Localização: Entidades como *@sys.city* ou *@sys.country* ajudam a identificar nomes de cidades ou países. Exemplo: "Estou em São Paulo.", extrai a palavra São Paulo.

3.2.3 Contextos

Os contextos no Dialogflow ajudam a conectar *intents* ao lembrar do que foi discutido anteriormente, garantindo que o assistente entenda o contexto da conversa e responda corretamente. Eles permitem passar os parâmetros obtidos em uma *intent* para outra, além de ajudar o sistema a entender o ponto atual da conversa e a responder corretamente à entrada do usuário (Google, 2022).

Na Figura 31 é possível acompanhar um contexto de estimativa do agente do *Solar Info Bot*. Quando o usuário final solicita uma estimativa, o Dialogflow alinha essa solicitação à *intent* “Estimativa”, que ativa um contexto. A seguir, o agente questiona o usuário final sobre a média do consumo e a resposta está conectada a *intent* “EstimativaCalculo”.

Figura 31 - Exemplo no uso de contexto para um agente do *Solar Info Bot*.



Fonte: Google [2022] (adaptado).

A *intent* “EstimativaCalculo” não é ativada fora do contexto da estimativa. Portanto, se o usuário apenas digitar “Meu consumo é de 345 kWh” fora do contexto, o *chatbot* não entenderá o que ele quis dizer. O usuário precisa informar antes o desejo de obter uma estimativa.

3.2.4 Integrações

O Dialogflow oferece uma ampla gama de opções para integração, de modo a possibilitar o uso de seus agentes conversacionais em muitas plataformas diferentes e com várias aplicações, tais como:

- a) *Google Assistant*: O Dialogflow pode ser usado para criar ações para o Google Assistant, permitindo que você projete experiências conversacionais para dispositivos como o Google Home ou qualquer outro dispositivo onde o Google Assistant esteja disponível (Google, 2022);
- b) *Telefonia*: Com as integrações de telefonia, os agentes Dialogflow podem ser acessados através de uma chamada telefônica (Google, 2022);
- c) *Plataformas de mensagens*: O Dialogflow pode ser integrado com muitas plataformas de mensagens populares, como Facebook Messenger, Slack, Telegram e LINE ⁴⁵ (Google, 2022). Isso permite que as empresas forneçam respostas e suporte automatizados em plataformas que seus clientes já estão usando;
- d) *Integrações de sites*: Também é possível integrar o Dialogflow a um *website* usando a integração Dialogflow Messenger, que permite adicionar uma caixa de diálogo personalizável no canto inferior direito do site (Google, 2022);
- e) *Fulfillment & Webhooks*: Essa integração permite que o agente Dialogflow se comunique com o servidor para realizar ações, como consultas a banco de dados, transações etc. Ela utiliza solicitações e respostas de *webhook* para passar dados entre o Dialogflow e o servidor (Google, 2022).

3.2.5 Fulfillment

Fulfillment é um dos tipos de integração com serviços externos disponíveis no Dialogflow, como banco de dados ou APIs externas, sendo essencial para que o *chatbot* possa fornecer respostas dinâmicas, isto é, que variem de acordo com as entradas do usuário. Esse recurso utiliza *webhooks* para buscar essas respostas dinâmicas ou realizar ações que não podem

⁴⁵ LINE é um aplicativo de mensagens instantâneas muito popular no Japão e em outros países asiáticos (Wexpats, 2021).

ser feitas apenas com as respostas estáticas padrão, isto é, aquelas fornecidas através das frases de treinamento (Google, 2022).

O *webhook* é responsável por processar as informações recebidas e retornar o resultado desse processamento para o Dialogflow. O resultado pode ser a mensagem a ser enviada ao usuário final, bem como instruções para definir contextos de saída (Google, 2022).

A título de exemplo, para uma possível aplicação de um *chatbot* com o objetivo de auxiliar na elaboração de orçamentos para sistemas fotovoltaicos, o Dialogflow pode ser usado para compreender as intenções do usuário e assim extrair informações de relevância, tais como localização, valor do consumo médio mensal em kWh, entre outros, para fornecer o orçamento almejado. Neste trabalho apenas o valor do consumo médio é necessário.

Contudo, a fim de determinar o custo estimado da instalação, é necessário fazer os cálculos de acordo com as entradas do usuário. Nesse ponto, torna-se crucial a implementação do recurso de *fulfillment* e *webhooks*.

3.2.6 Confiança na detecção de *intent*

Quando um usuário envia uma mensagem para o *chatbot*, chamada de "expressão do usuário", o Dialogflow compara essa mensagem com as frases de treinamento de cada *intent* para identificar a melhor correspondência, em um processo chamado de "classificação de *intent*". Para isso, o Dialogflow utiliza dois algoritmos: um de correspondência baseada em regras de gramática e outro de correspondência por Machine Learning (ML), testando ambos ao mesmo tempo e selecionando o resultado mais adequado (Google, 2022).

Durante a busca pela *intent* correspondente, o Dialogflow atribui uma pontuação de confiança que varia de 0,0 (indicando total incerteza) a 1,0 (indicando total certeza). O desenvolvedor pode definir um valor entre 0,0 e 1,0 como um limite para a classificação da *intent*. Se a *intent* com a pontuação mais alta atingir ou ultrapassar esse limite (como mostrado na Figura 32), ela é considerada uma correspondência válida. Caso contrário, se nenhuma *intent* alcançar o limite definido, o Dialogflow irá selecionar uma *intent* de *fallback* (Google, 2022).

Figura 32- Captura de tela da parte de configuração do limite de classificação de ML, no qual foi definido o valor 0,5 (o intervalo possível varia de 0,0 a 1,0) para o *Solar Info Bot*.

The screenshot shows the configuration interface for SolarInfoBot. At the top, the name 'SolarInfoBot' is displayed next to a blue 'SALVAR' button. Below this is a horizontal menu with options: 'Em geral', 'línguas', 'Configurações de ML' (which is highlighted), 'Exportar e importar', 'Ambientes', 'Discurso', 'Compartilhar', and 'Avançado'. Under the 'Configurações de ML' section, there is a heading 'LIMITE DE CLASSIFICAÇÃO DE ML' followed by a descriptive text: 'Defina o valor limite para a pontuação de confiança. Se o valor retornado for menor que o valor limite, uma intenção substituta será acionada ou, se não houver intenções substitutas definidas, nenhuma intenção será acionada.' Below this text, the value '0.5' is entered in a text field.

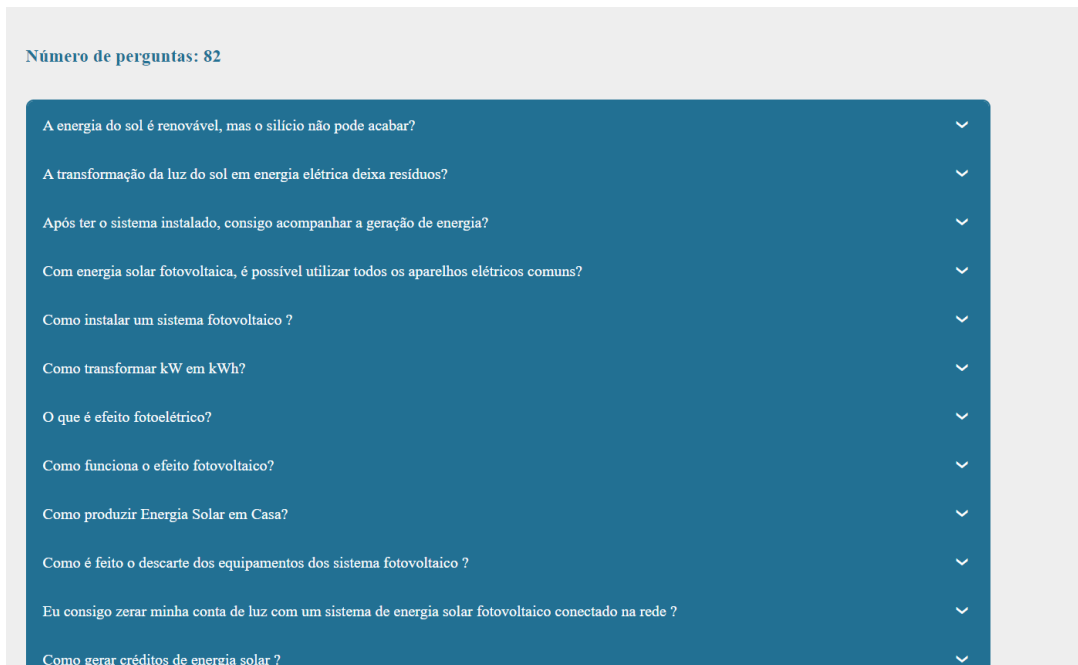
Fonte: Autor [2023].

3.3 Desenvolvimento do *chatbot*

3.3.1 Seleção de dúvidas mais frequentes

Para a escolha das dúvidas mais frequentes a serem respondidas pelo *chatbot*, procedeu-se de forma a analisar as seções de perguntas frequentes de diversos portais e bibliografias de referência no Brasil, como: Portal solar ([entre 2014 e 2023]), Bluesol ([s.d.]), Neosolar ([s.d.]), Nextronic ([s.d.]), Cresesb (2012), Cresesb-Cepel (2014). Adicionalmente, realizou-se uma análise das resoluções normativas da ANEEL, bem como da legislação vigente para MMGD, e a Lei N°14.300/2022. A partir disso, foi possível cadastrar 82 perguntas com respostas em linguagem simples e detalhada para cada questão. É possível verificar todas as questões no endereço 2, disponível no apêndice, e uma parte das perguntas na Figura 33.

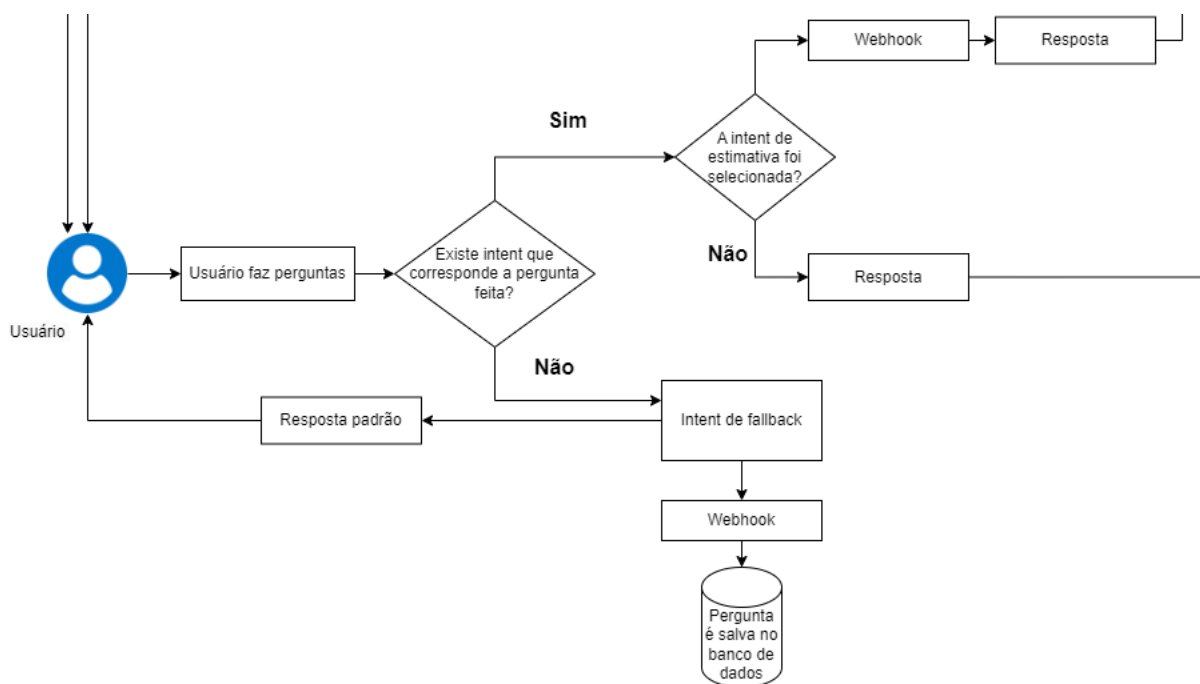
Figura 33- Captura de tela da página que mostra as perguntas que o *chatbot* é capaz de responder através das *training phrases*.



Fonte: Autor [2023].

3.3.2 Desenvolvimento do *webhook*

O *webhook* é necessário para possibilitar a obtenção de respostas dinâmicas e personalizadas. Esse serviço foi desenvolvido utilizando Node.js e um banco de dados PostgreSQL para armazenar as perguntas que o *chatbot* não foi capaz de responder e para realizar o cálculo da estimativa. Assim, o fluxo total do *chatbot* segue o esquema da Figura 34.

Figura 34- Fluxo de funcionamento do *chatbot*.

Fonte: Autor (2023).

3.3.2.1 Cálculo da estimativa de custo de sistemas fotovoltaicos conectados à rede

Para calcular a estimativa de preço para a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica na cidade de Palmas-TO, agrega-se ao *chatbot* a produtividade média dos sistemas na região, expressa em kWh/kWp, e o custo em reais por *watt*-pico (Wp) dos sistemas fotovoltaicos.

Tabela 1 – Valor do Wp de sistemas FV para o cliente final por faixa de kWp.

R\$/Wp	KWp
5,42	2
4,39	4
3,92	8

Fonte: Greener [2023a].

Levando-se em consideração a produtividade anual média de um sistema instalado na cidade de Palmas-TO, que é de 1.410 kWh/kWp, conforme relatado por Menezes *et al.*, (2016), pode-se calcular a produtividade média mensal dividindo o valor mencionado anteriormente por 12, resultando em 117,5 kWh. Utilizando os valores do custo em reais por *watt*-pico (R\$/Wp) fornecidos por Greener (2023a), conforme a Tabela 1, a estimativa do custo total para o cliente é então calculada pela Equação (1).

$$Estimativa = \frac{\text{média mensal de consumo}}{117,5} * Valor_{referencia} * 1000 \quad (1)$$

sendo:

- Estimativa – Valor em reais;
- Média mensal de consumo fornecida pelo usuário em kWh;
- $Valor_{referencia}$ – Custo em R\$/Wp (Tabela 1).

É relevante destacar que ao escolher um valor de referência, optou-se pelo número mais próximo entre os kWp de referência disponíveis na tabela 1. Por exemplo, se a razão entre média mensal de consumo e produtividade mensal for de 7 kWp, o valor de 3,92 será escolhido, enquanto se a razão for de 6 kWp, o valor será de 4,39. Assim, um cliente que possui média mensal de consumo igual a 500 kWh, a razão entre o consumo e a produtividade mensal é de 4,25 kWp. Assim, de acordo com a tabela 1, o valor selecionado é de 4,39 R\$/Wp, resultando em uma estimativa de R\$ 18.657,5 para a instalação do sistema.

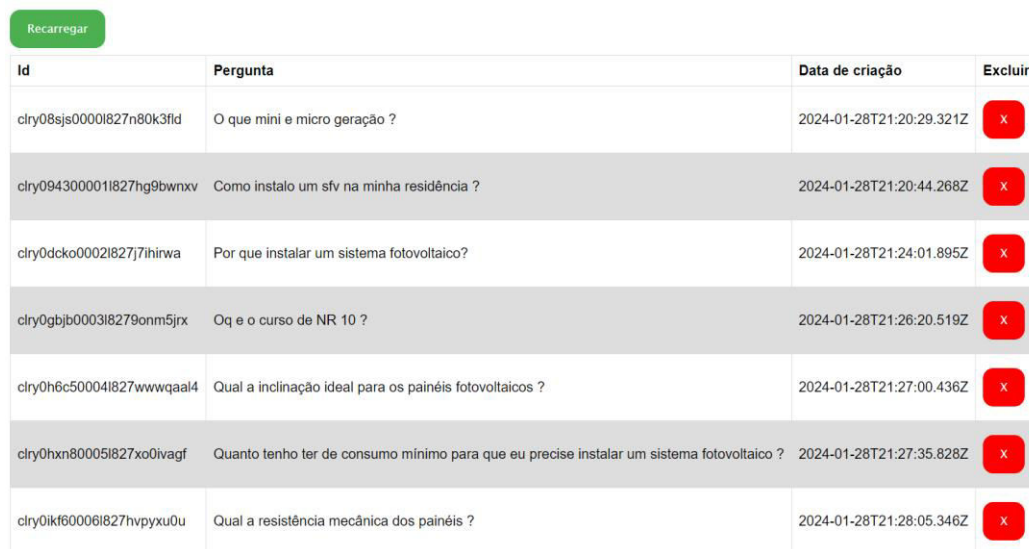
3.3.2.2 Armazenamento de perguntas não respondidas

Caso o *chatbot* não tenha a resposta para a pergunta do usuário e a *intent* selecionada seja a *intent* de *fallback*, uma mensagem padrão será exibida para informar ao usuário que sua pergunta será armazenada para ser respondida posteriormente. Dessa maneira, torna-se possível identificar as informações desejadas pelos usuários que foram respondidas com a *intent* de *fallback*, tornando viável adicioná-las posteriormente.

Para garantir que perguntas não respondidas não sejam perdidas, o *webhook* foi configurado para salvá-las em um banco de dados PostgreSQL, como mostrado na Figura 35. Além disso, foram criadas duas rotas: uma para exibir as perguntas e outra para excluí-las.

Dessa forma, o administrador do *chatbot* tem total controle sobre as perguntas não respondidas, podendo visualizá-las e excluí-las conforme necessário. Além disso, um botão de recarregar foi incluído para atualizar o quadro conforme novas perguntas não respondidas forem adicionadas. É possível ter controle dessa funcionalidade por meio da página disponível no endereço 3 do apêndice.

Figura 35 - Captura de tela da página que mostra perguntas que o *chatbot* não foi capaz de responder.



Id	Pergunta	Data de criação	Excluir
clry08sjs00001827n80k3fld	O que mini e micro geração ?	2024-01-28T21:20:29.321Z	
clry0943000011827hg9bwnxv	Como instalo um sfv na minha residência ?	2024-01-28T21:20:44.268Z	
clry0dcko00021827j7ihirwa	Por que instalar um sistema fotovoltaico?	2024-01-28T21:24:01.895Z	
clry0gbjb000318279onm5jrx	Oq e o curso de NR 10 ?	2024-01-28T21:26:20.519Z	
clry0h6c500041827wwwqaal4	Qual a inclinação ideal para os painéis fotovoltaicos ?	2024-01-28T21:27:00.436Z	
clry0hxn800051827xo0ivagf	Quanto tenho ter de consumo mínimo para que eu precise instalar um sistema fotovoltaico ?	2024-01-28T21:27:35.828Z	
clry0ikf600061827hvpysu0u	Qual a resistência mecânica dos painéis ?	2024-01-28T21:28:05.346Z	

Fonte: Autor [2023].

No trabalho de Polatidis (2014), bancos de dados são utilizados para guardar várias informações sobre os usuários, tais como: *feedback*, bem como as perguntas e respostas do *chatbot*. Também em Rahane *et al.* (2018), um banco de dados é usado para armazenar essas informações.

3.3.3 Ajustes e Treinamento do agente no Dialogflow

O treinamento e ajustes no Dialogflow são essenciais para aprimorar a capacidade do agente virtual em compreender e responder de forma eficaz às consultas dos usuários. Durante

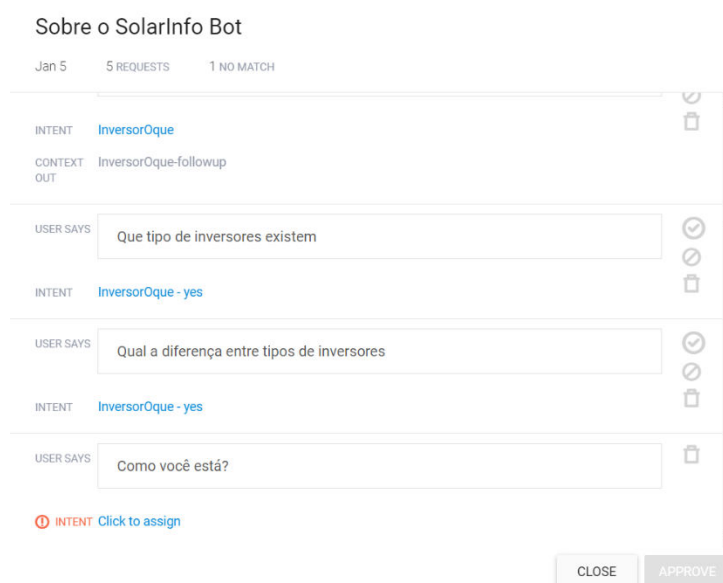
o treinamento, o Dialogflow utiliza dados específicos, como *intents*, frases de treinamento, entidades e outros dados associados ao agente. Esses dados são fundamentais para criar um modelo de *machine learning* personalizado. É crucial garantir que o agente seja treinado sempre que houver alterações, e isso pode ocorrer de forma automática ou manual, dependendo das configurações do agente.

No contexto do treinamento automático, ao atualizar e salvar um agente, o treinamento ocorre automaticamente de forma padrão. Para situações em que o treinamento automático não é acionado, como quando o agente possui mais de 780 *intents* ou quando o treinamento automático está desativado, é possível realizar o treinamento manualmente.

Além disso, o Dialogflow oferece a ferramenta de treinamento, que permite analisar, importar e exportar dados reais de conversas para aprimorar os dados de treinamento. Essa ferramenta possibilita a revisão das entradas dos usuários finais, análise das *intents* correspondentes e adição de expressões do usuário final às frases de treinamento das *intents*. Essa parte de revisão está presente na Figura 36.

Em resumo, o processo de ajuste e treinamento no Dialogflow é crucial para garantir que o agente virtual compreenda e responda de maneira eficaz, adaptando-se continuamente às interações dos usuários. O uso de ferramentas como o treinamento automático, manual e a ferramenta de treinamento contribuem para a melhoria contínua do desempenho do agente.

Figura 36 - Captura da tela da ferramenta de treinamento.



Fonte: Autor (2024).

3.4 Integração entre Dialogflow e Telegram

O Dialogflow oferece de forma nativa e simples a integração com o aplicativo de mensagens Telegram. Dessa forma, basta possuir uma conta e utilizar o *BotFather*, a ferramenta gratuita de gerenciamento e criação de *bots* do Telegram. No momento de criação, o *BotFather* solicita apenas um nome e uma descrição para o novo *bot*. Após fornecido essas informações, um token é disponibilizado para ser colocado no Dialogflow. Ao final desse processo, o *bot* está efetivamente conectado ao Dialogflow e qualquer usuário do aplicativo Telegram pode utilizá-lo (Google, 2022).

Essa integração permite que o *bot* envie imagens, links e até altere o teclado do usuário para que apareçam perguntas pré-selecionadas, como mostra a Figura 37 (Telegram, 2023). Esse teclado customizado torna mais fácil o ato de fazer perguntas ao *bot*, ao passo que ainda mantém a funcionalidade de tornar-se visível ou não. Com isso, essa alteração no teclado sugere perguntas ao usuário, bastando pressionar o ícone do teclado para que as perguntas sejam feitas.

Figura 37- Integração com o Telegram.



Fonte: Autor (2023).

Em suma, ao realizar a integração, o *Solar Info Bot* se beneficia de uma base de 42 milhões de usuários ativos do Telegram no Brasil (Pacete, 2022) e recursos que melhoram a experiência do usuário.

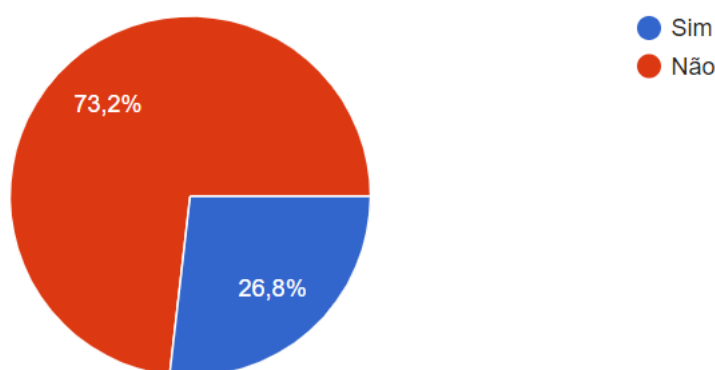
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação dos usuários do *Solar Info Bot*

Para avaliar o *chatbot*, foi disponibilizado um formulário online contendo dois links para teste do *Solar Info Bot*, um pelo Telegram e outro por um navegador web. Esse formulário foi divulgado em grupos de conversa no WhatsApp e obteve-se a resposta de 41 indivíduos. As questões presentes no formulário foram elaboradas para avaliar a usabilidade e precisão do *chatbot*, sendo três delas no formato de múltipla escolha e uma no formato dissertativo. Essas perguntas estão listadas a seguir, juntamente com os gráficos que representam os resultados obtidos.

- a) Você é uma pessoa com conhecimento avançado sobre energia solar fotovoltaica? (Ex: estudante ou profissional da área)

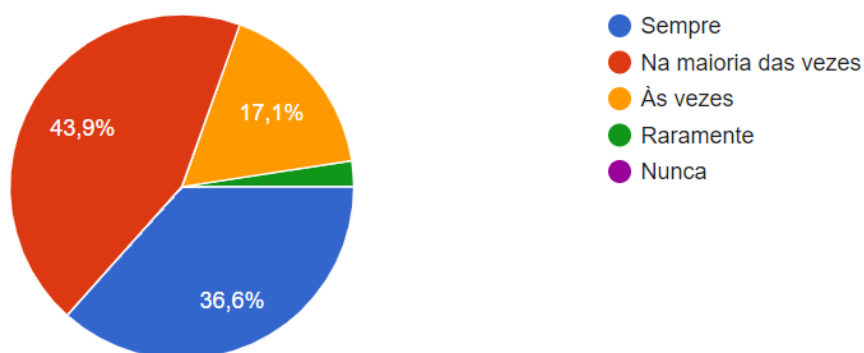
Figura 38- Gráfico com percentual para as respostas da primeira pergunta.



Fonte: Autor (2024).

b) As respostas fornecidas pelo *chatbot* corresponderam às suas perguntas⁴⁶?

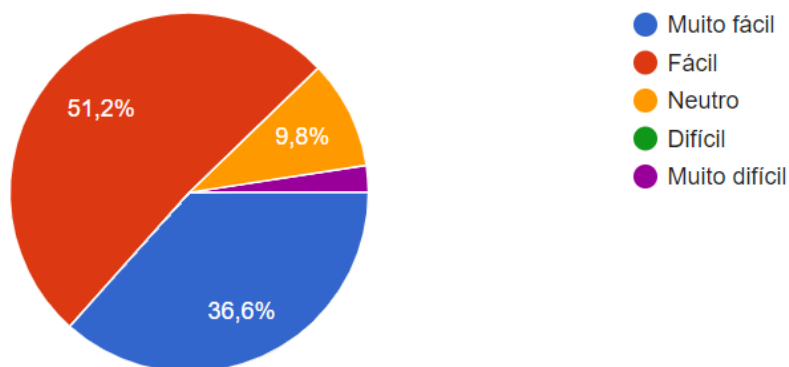
Figura 39- Gráfico com percentual para as respostas da segunda pergunta.



Fonte: Autor (2024).

c) Você achou fácil interagir⁴⁷ com o *chatbot*?

Figura 40- Gráfico com percentual para as respostas da terceira pergunta.



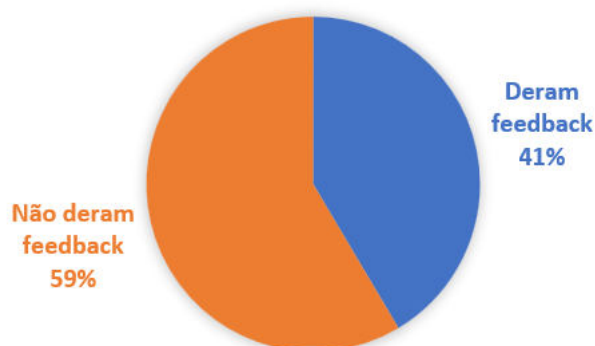
Fonte: Autor (2024).

⁴⁶ A porcentagem para o campo verde (cuja resposta foi raramente) no gráfico da letra b) corresponde a 2,4% (Autor, 2024).

⁴⁷ A porcentagem para o campo roxo (cuja resposta foi muito difícil) no gráfico da letra b) corresponde a 2,4% (Autor, 2024).

d) Se houver algo que você gostaria de ver adicionado ou melhorado no *chatbot*, o que seria?

Figura 41- Gráfico com percentual de indivíduos que responderam a quarta pergunta.



Fonte: Autor (2024).

Ao contrário das demais perguntas, a resposta para a quarta pergunta foi subjetiva, em decorrência disso será apresentado uma descrição abrangente das sugestões fornecidas pelos usuários. Foram sugeridas diversas melhorias, incluindo a implementação da opção de reconhecer reações ou *feedbacks* às respostas dos usuários, melhorias na aparência, a possibilidade de adicionar imagens às explicações, a identificação de palavras-chave para respostas mais precisas e houve também respostas elogiando o *chatbot*.

Além disso, houve questionamentos sobre estimativas de valores para a manutenção de painéis solares, a diferença entre um sistema *on grid* e *off grid*, além de um *feedback* solicitando que as repostas fossem mais esclarecedoras. Um ponto comum nas sugestões foi a falta de uma opção para retornar ao menu principal após a resposta do *chatbot*.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Verificação do funcionamento do *chatbot*

No panorama global, os *chatbots* têm se tornado uma ferramenta cada vez mais proeminente na interação com pessoas e na automatização de serviços. Este estudo revelou o potencial dessa tecnologia para atender às necessidades dos usuários e potenciais usuários de sistemas fotovoltaicos. Em grande parte dos casos, o *chatbot* foi capaz de fornecer respostas precisas às perguntas dos usuários com uma linguagem técnica, mas compreensível para leigos.

No entanto, a quantidade de respostas imprecisas do *chatbot* evidencia a necessidade de melhorias. Uma estratégia promissora para aprimorar o desempenho do *chatbot* envolve a adoção de um Modelo de Linguagem Grande (LLM, do inglês *Large Language Model*) para identificar as perguntas dos usuários e gerar respostas, substituindo o Dialogflow.

Outra possibilidade para melhorar a precisão das respostas do *Solar Info Bot* é aumentar o número de intenções (*intents*) e frases de treinamento por meio da plataforma Dialogflow, além de realizar testes mais abrangentes, permitindo que o *chatbot* acumule mais horas de treinamento.

5.2 Propostas e sugestões para trabalhos futuros

Uma possibilidade para futuros trabalhos seria a expansão do *chatbot* para fornecer informações e estimativas de precificação para sistemas fotovoltaicos em diferentes regiões do Brasil. Essa adaptação consideraria variações locais em regulamentações e custos, tornando o *chatbot* mais útil para um público mais amplo.

Além disso, para melhorar a detecção das perguntas e evitar erros que o Dialogflow possa ter, é possível utilizar Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs) como o GPT-4, treinados com normas técnicas e outras fontes. Isso elimina a necessidade de cadastrar respostas manualmente e melhora a compreensão e a geração de respostas. Os LLMs captam nuances na linguagem e entendem o contexto da conversa com maior precisão, permitindo ao *chatbot* lidar com perguntas complexas e fornecer informações mais detalhadas e relevantes. No período que este trabalho se iniciou LLMs não eram muito relevantes, mas rapidamente se tornaram uma ferramenta poderosa para a construção de *chatbots* para responder perguntas.

Finalmente, para garantir melhorias contínuas, seria útil implementar um sistema de coleta de *feedback* dos usuários. Isso permitiria identificar áreas de melhoria e fazer ajustes e atualizações no *chatbot* para melhor atender às necessidades dos usuários.

6 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 16612. **Cabos de Potência para Sistemas Fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura – Requisitos de Desempenho**. Segunda edição 16.03.2020.

ABNT NBR 16690. **Instalações Elétrica de Arranjos Fotovoltaicos – Requisitos de Projeto**. 2º projeto ABNT NBR 16690. ABNT/CB-003. Julho 2019.

ABNT NBR 10899. **Energia Solar Fotovoltaica-Terminologia**. Terceira Edição, 18/08/2020.

ADAMOPOULOU, Eleni; MOUSSIADES, Lefteris. **An overview of chatbot technology**. In: IFIP international conference on artificial intelligence applications and innovations. Springer, Cham, 2020. p. 373-383.

ALBA ENERGIA SOLAR. **Mapa de Insolação: Entenda seu Funcionamento e impactos**. 2022. Disponível em: <https://albaenergia.com.br/mapa-de-insolacao-entenda-seu-funcionamento-e-impactos/#:~:text=O%20mapa%20de%20insola%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9,maior%20potencial%20para%20gerar%20energia.&text=Voc%C3%AA%20j%C3%A1%20ouviu%20falar%20sobre%20o%20mapa%20de%20insola%C3%A7%C3%A3o%3F>. Acesso em: 06 fev. 2022.

ALVES, Rivanildo. **Desenvolvimento de um Seguidor Solar de Baixo Custo para Sistemas Fotovoltaicos de Pequeno Porte**. 2021, 49 págs. Dissertação de Graduação pela Universidade Federal de Campina Grande (UFGC), em Campina Grande-PB.

ALVES, William P. **Banco de Dados**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536518961. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518961/>. Acesso em: 11 jan. 2024.

AMAZON. **Amazon Lex Interfaces conversacionais para aplicações**. 2018. Amazon Web Services, Inc. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/lex/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

AMAZON. **Eu, Robô**. Edição em português (ano 2014). [Entre 2021 e 2024]. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Eu-Robo-Isaac-Asimov/dp/8576572001>. Acesso em: 07 de out. 2024.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed – Brasília: ANEEL, 2016.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL N° 687/2015**, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <https://microinversor.com.br/resolucao-normativa-687-aneel/?v=19d3326f3137>. Acesso em: 05 fev. 2024.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL N° 1.031**, de 26 de julho de 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221031.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2024.

APARECIDA, Eliane. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. GEPEA – Grupo de Energia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Universidade De São Paulo, São Carlos- SP.

ASKSUITE. **O que acontece nos bastidores da Inteligência Artificial**. Disponível em: <https://asksuite.com/br/blog/como-funciona-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO TOCANTINS. 2021. **Secretaria do meio ambiente e recursos hídricos**. Disponível em: <https://www.to.gov.br/semarh/atlas-solarimetrico/6mnjade4unqk>. Acesso em: 06 fev 2024.

BALFOUR, John. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de J: Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788521635314. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635314/>. Acesso em: 03 jun. 2023.

BIJORA, Helito. **Google forms: o que é e como usar o app de formulários online**. Site Techtudo. Publicado em 22/07/2018. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/2018/07/google-forms-o-que-e-e-como-usar-o-app-de-formularios-online.ghtml>. Acesso em: 09 fev. 2024.

BLUESOL. **FAQ**. Disponível em: <https://bluesol.com.br/faq/>. Acesso em: 27 jan. 2024.

BORDIGNON, Felipe Augusto. **A aplicação da energia solar fotovoltaica em programas de habitações sociais - Empreendimento Jardim Vitória em Palmas - TO**. 2019. Trabalho de conclusão de curso pelo IFTO-Campus Palmas, Palmas-TO.

BOSO, Ana Cláudia Marassá Roza; CREMASCO, Camila Pires; FILHO, Luís Roberto Almeida Gabriel. **Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil**. Revista Científica ANAP Brasil, v. 8, n. 12, 2015.

CALADO, Andréa. **Entenda o que é um webhook e como ele funciona**. Site rock content. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/o-que-e-um-webhook/>. Publicado em 01 jun. 2022. Acesso em 10 fev. 2024.

CAPTERRA. **Conheça Twilio**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.capterra.com.br/software/180158/twilio-communications-platform#:~:text=O%20Twilio%20%C3%A9%20a%20plataforma,as%20comunica%C3%A7%C3%B5es%20de%20maneira%20confi%C3%A1vel>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CORREIA, Mafalda P. **A Evolução dos Chatbots e os seus Benefícios para Marcas e seus Consumidores**. Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para obtenção do grau de mestre em Ciências da Comunicação – Comunicação, Marketing e Publicidade. Universidade Católica Portuguesa, 2018.

CORREA, Joeckson; VIANA, Davi; TELES, Ariel. **Desenvolvendo chatbots com o dialogflow**. Sociedade Brasileira de Computação, 2021. Acesso em: 4 jun. 2023.

CORREIO DO POVO. **Mais de 155 milhões de brasileiros possuem celular para uso pessoal, aponta IBGE.** Disponível em: <https://www.correiodopovo.com.br/jornalcomtecnologia/mais-de-155-milh%C3%B5es-de-brasileiros-possuem-celular-para-uso-pessoal-aponta-ibge-1.891007>. Acesso em: 06 jun. 2023.

COSTA, Cícero. **Descomplicando: como a *trading* de importação facilita seu negócio**, 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/398850/descomplicando-como-a-trading-de-importacao-facilita-seu-negocio>. Acesso em: 09 fev. 2024.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **FAQ Solar**. Última atualização em: 28/11/2012. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid\[\]=2&catid\[\]=5%27](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=2&catid[]=5%27). Acesso em: 27 dez. 2023.

CRESESB-CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de trabalho de energia solar- GTES-CEPEL-DTE-CRESESB. Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro-RJ, março de 2014.

DA ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 140–147, 2017. DOI: 10.59627/rbens.2016v7i2.157. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157>. Acesso em: 02 fev. 2024.

DAMASCENO, H.; BASSINI, A. **Tudo são ondas: Espectro eletromagnético**. (2021). Disponível em: <https://www.parquecientec.usp.br/passeio-virtual/tudo-sao-ondas/o-espectro-eletromagnetico>. Acesso em: 27 jan. 2024.

DATA SCIENCE ACADEMY. **O que são *Large Language Models* (LLMs)**. Publicado em 19 jun. 2023. Disponível em: <https://blog.dsacademy.com.br/o-que-sao-large-language-models-llms/>. Acesso em: 13 fev. 2024.

DENISE, Mirian. **A Radiação do Corpo Negro e sua Influência sobre os Estados dos Átomos**. Universidade de São Paulo (Instituto de Física de São Carlos) – São Carlos-SP, 2011.

DENISE, et al. **Robô Autômato Quadrúpede**. Trabalho acadêmico integrador II. Arcos/MG. IFMG, 2018.

DICIONÁRIO PRIBERAM (a). **Definição do termo fóton**. [s.d.]. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/f%C3%B3ton>. Acesso em: 27 jan. 2024.

DICIONÁRIO PRIBERAM (b). **Definição de Input**. [s.d.]. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/input>. Acesso em: 13 fev. 2024.

Digital Ocean. **Comparing AWS, Azure, GCP**. Disponível em: <https://www.digitalocean.com/resources/articles/comparing-aws-azure-gcp#digitalocean-an-excellent-alternative-to-the-big-three-for-smbs-and-startups>. Acesso em 01 setembro. 2024.

DPI-INPE. **Modelagem Digital de Terreno**. Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [s.d.]. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html>. Acesso em: 06 fev. 2024.

DUNLOP, George. WALLACE, Michael. **ELIZA: a very basic Rogerian psychotherapist chatbot**. [s.d.]. Disponível em: <https://web.njit.edu/~ronkowit/eliza.html>. Acesso em: 11 fev. 2024.

ENCICLOPÉDIA SIGNIFICADOS. **Gap**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.significados.com.br/gap/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

FERNANDES, Edilson. **PIN/COFINS: O que é, quem deve pagar, quais as alíquotas, como calcular, qual o prazo, para que serve**. [s.d.]. Disponível em: <https://apet.org.br/artigos/pis-cofins-o-que-e-quem-deve-pagar-quais-as-aliquotas-como-calcular-qual-o-prazo-para-que-serve/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

FERNANDO, Carlos. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Dissertação (Especialização em formas alternativas de energia), Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2011.

FIELDING, R. RESCHKE, J. **Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content**. RFC 7231. Jun. 2014. Disponível em: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7231>. Acesso em: 14 jan. 2024.

GOOGLE (a). **Tradutor**. [s.d.]. Disponível em: <https://translate.google.com/?sl=auto&tl=pt&text=off%20grid&op=translate&hl=pt>. Acesso em: 17 de fev. de 2024.

GOOGLE CLOUD. **Intents padrão**. [s.d.]. Disponível em: <https://cloud.google.com/dialogflow/es/docs/intents-default?hl=pt-br#:~:text=para%20mais%20informa%C3%A7%C3%B5es,-,Intent%20de%20fallback%20padr%C3%A3o,n%C3%A3o%20tiver%20nenhuma%20fala%20transcrita>. Acesso em: 13 fev. 2024.

GOOGLE. Documentação. *In: Dialogflow ES*. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://cloud.google.com/dialogflow/es/docs?hl=pt-br>. Acesso em: 27 maio 2023.

GOV. **90% dos lares brasileiros já tem acesso à internet no Brasil, aponta pesquisa**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2022/setembro/90-dos-lares-brasileiros-ja-tem-acesso-a-internet-no-brasil-aponta-pesquisa#:~:text=Conectividade-90%25%20dos%20lares%20brasileiros%20j%C3%A1%20tem%20acesso,internet%20no%20Brasil%2C%20aponta%20pesquisa&text=Em%202021%2C%20o%20n%C3%BAmero%20de,mais%20do%20que%20em%202019>. Acesso em: 10 fev. 2024.

GREENER (a). **Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2023**. [S. l.], fevereiro de 2023. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-2-semester/>. Acesso em: 7 jun. 2023.

GREENER (b). **Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2023**. Mercado Fotovoltaico. Setembro de 2023. Análise do primeiro trimestre de 2023.

HENRIQUE, Marcos. **Chave Estática de Transferência, Estudo e Soluções de Casos, Focados na Continuidade do Fornecimento e Aumento da Confiabilidade do Sistema**. 2011. (Tese de Mestrado). UFMG, Belo Horizonte – MG.

HIVECLOUD. **Frete CIF e FOB: conheça as diferenças e saiba como gerenciar**. Atualizado em 22/01/2024. Disponível em: <https://www.hivecloud.com.br/post/frete-cif-e-fob/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

HOSTGATOR. **Saiba o que é *Deploy* e as formas de realizá-lo**. 2023. Disponível em: <https://www.hostgator.com.br/blog/o-que-e-deploy-e-como-realiza-lo>. Acesso em: 03 fev. 2024.

HUDDAR, Ajinkya et al. **Dexter the college FAQ chatbot**. In: 2020 International Conference on Convergence to Digital World-Quo Vadis (ICCDW). IEEE, 2020. p. 1-5.

IBM. **Deploying software**. Disponível em: <https://www.ibm.com/docs/en/zos/2.4.0?topic=task-deploying-software>. Acesso em 01 setembro. 2024.

IMPrensa Nacional. **Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2024.

KAR, Rohan; HALDAR, Rishin. **Applying chatbots to the internet of things: Opportunities and architectural elements**. arXiv preprint arXiv:1611.03799, 2016. Acesso em: 4 jun. 2023.

KARVE, Shreya et al. **Context sensitive conversational agent using dnn**. In: 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). IEEE, 2018. p. 475-478. Acesso em: 4 jun. 2023.

KIKUTI, Elaine. **Estudo das propriedades químicas, elétricas e da microestrutura de filmes de óxidos coloridos crescidos sobre aço inoxidável por processos químico e eletroquímicos**. 2006. (Tese de Doutorado) UFSCAR, São Carlos- SP.

LACCHINI, C. **Análise econômica de sistemas fotovoltaicos residenciais no contexto brasileiro, com foco nos indicadores financeiros e nas tarifas locais de energia elétrica**. 2017. 156 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

Lei Nº14.300, de 06 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**.

MACIEL, Herison Bezerra. **Ferramentas e criação de chatbot – Maciel o robô acadêmico**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Software) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2019.

MAIS POLÍMEROS. **CIF ou FOB: Qual a diferença? O preço do frete muda?** Publicado em 23/04/2023. Disponível em: [https://maispolimeros.com.br/2019/04/23/cif-ou-fob/#:~:text=FOB%20\(Free%20On%20Board\)%20pode,quando%20a%20mercadoria%20%C3%A9%20despachada](https://maispolimeros.com.br/2019/04/23/cif-ou-fob/#:~:text=FOB%20(Free%20On%20Board)%20pode,quando%20a%20mercadoria%20%C3%A9%20despachada). Acesso em: 09 fev. 2024.

MAZON, S. **Desenvolvendo Chatbots com Watson Conversation**. Disponível em: <https://medium.com/botsbrasil/desenvolvendo-chatbots-com-watson-conversation-64a3b2cddb30>. Acesso em: 4 jun. 2023.

MEDIUM. **O que é Processamento de Linguagem Natural**. Publicado em BOTS Brasil por Jessica Rodrigues. Disponível em: <https://medium.com/botsbrasil/o-que-%C3%A9-o-processamento-de-linguagem-natural-49ece9371cff>. Acesso em 04 jun. 2023.

MENDONÇA, Gabriel. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede a partir das características de inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos [manuscrito]**. Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia-2016.

MENEZES, Alex Vilarindo et al. Análise de operação do primeiro ano de um sistema fotovoltaico conectado à rede de 21, 75 kWp na cidade de Palmas-TO segundo a Resolução 482/2012 da ANEEL. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2016. p. 1-8.

MIATO, Bruna. **Imposto de Renda 2024: Receita Lança Chatbot para Ajudar na Declaração; Veja como funciona o Léo**. Publicado em 16 março 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/imposto-de-renda/noticia/2024/03/16/imposto-de-renda-2024-receita-lanca-chatbot-para-ajudar-na-declaracao-veja-como-funciona-o-leo.ghtml>. Acesso em 07 de out. 2024.

MICHAELIS. **Morfema**. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. 2024. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/palavra/7mM4D/morfema/>. Acesso em: 11 fev. 2024.

MICROSOFT. **Documentação do SDK do Bot Framework**. 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pdf?url=https%3A%2F%2Flearn.microsoft.com%2Fpt-br%2Fazure%2Fbot-service%2Ftoc.json%3Fview%3Dazure-bot-service-4.0/>. Acesso em 15 fev. 2024.

MORAES, S. **Atlas é Apresentado e Mostra o Potencial do Tocantins na Geração de Energia Solar**. Secretaria da Comunicação. Governo do Tocantins. 2021. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/atlas-e-apresentado-e-mostra-o-potencial-do-tocantins-na-geracao-de-energia-solar/77cqb7tiljg>. Acesso em: 06 fev. 2024.

MOZILLA. **Identificando recursos na web**. 2023. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt->

BR/docs/Web/HTTP/Basics_of_HTTP/Identifying_resources_on_the_Web. Acesso em 04 de out. 2024.

NASCIMENTO, Igor. **Lemmanization vs. Stemming: quando usar cada uma?** Disponível em: https://www.alura.com.br/artigos/lemmatization-vs-stemming-quando-usar-cada-uma?srsId=AfmBOoqi5vxzDPiRLMcO2__BBfm6M3sxvvd1IYo8QIPY8GNvh56M7-nX. Acesso em: 04 de out. 2024.

NEOSOLAR. **Perguntas Frequentes (FAQ).** Disponível em <https://www.neosolar.com.br/forum/aprenda/perguntas-frequentes>. Acesso em 27 jan. 2024.

NEXTRONIC. **Perguntas frequentes (FAQ).** [s.d.]. Disponível em: <https://www.nextronic.com.br/faq-perguntas-frequentes?nomodal>. Acesso em 27 jan. 2024.

NIPPES, Guilherme de Oliveira. **Análise de Custos de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede e Isolados.** Tese de Graduação pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro-2019.

NOLL, Jones Luis; PRETTO, Fabrício. **Implementação de infraestrutura como código para provisionamento e deploy de aplicações.** Revista Destaques Acadêmicos, v. 12, n. 4, 2020.

NORVIG, Peter; RUSSELL, Stuart. **Inteligência artificial.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2013.

NUNES, Ivan de Castro. **Entenda o que é hospedagem cloud e quais as melhores opções do mercado.** Publicado em 20 de agosto de 2019. Site Rock content. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/hospedagem-cloud/#:~:text=O%20servi%C3%A7o%20de%20hospedagem%20%C3%A9,necessidade%20de%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20do%20site>. Acesso em 12 fev. 2024.

OLIVEIRA, Cláudio Luís V.; ZANETTI, Humberto Augusto P. **Node.js: programe de forma rápida e prática.** São Paulo: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786558110217. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786558110217/>. Acesso em: 16 jan. 2024.

OLIVEIRA, G. D.; VENSON, R.; MARCELINO, R. **Redes neurais aplicadas no desenvolvimento de chatbots: Uma análise bibliométrica.** ARTEFACTUM-Revista de estudos em Linguagens e Tecnologia, v. 17, n. 2, 2018. Acesso em 04 jun. 2023.

ONS. **Sobre o SIN: O Sistema em Números.** Operador Nacional do Sistema. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 02 fev. 2024.

PACETE, Luiz Gustavo. **Em xeque no Brasil, Telegram lidera lista de apps mais baixados.** [S. l.], 21 mar. 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/03/em-xeque-no-brasil-telegram-lidera-lista-de-apps-mais-baixados/>. Acesso em: 20 dez. 2023.

PASSOS, Fabiano. **Seguidor Solar-Tracker: vantagens e desvantagens.** Portal Solar, [s.d.]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/seguidor-solar-tracker-vantagens-e-desvantagens>. Acesso em: 19 jan. 2023.

PINHO, Marcelo Almeida. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Tese de Doutorado pela Universidade de São Paulo (USP). Versão corrigida. 2012.

PNE 2050, 2020. **Plano Nacional de Energia 2050**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

POLATIDIS, Nikolaos. **Chatbot for admissions**. arXiv preprint arXiv:1408.6762, 2014.

POLYEXCEL. **Veja o que é cabo não halogenado e qual sua importância**. Disponível em: <https://polyexcel.com.br/industria/veja-o-que-e-cabo-nao-halogenado-e-qual-sua-importancia/>. Acesso em 04 de out. 2024.

PORTAL SOLAR (a). **FAQ Solar**. [entre 2014 e 2024]. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/faq-solar>. Acesso em 27 jan. 2024.

PORTAL SOLAR (b). **Sistema de Energia Solar Off Grid**. [entre 2014 e 2024]. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>. Acesso em 11 fev. 2024.

PORTAL SOLAR (c). **Impactos Ambientais da Energia Solar**. [entre 2014 e 2024]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-impactos-ambientais>. Acesso em: 06 de out. de 2024.

PORTAL SOLAR. **Simulador de energia solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/calculadora-solar>. Acesso em 6 jun. 2023.

PREÇO DO SISTEMA DE SUPORTE DE TUBO DE MONTAGEM NO SOLO GALVANIZADO PARA PAINÉIS SOLARES. **Made In China (Connecting Buyers with Chinese Suppliers)**, 2024, em português. Disponível em: https://pt.made-in-china.com/co_artsignenergy/product_Galvanized-Ground-Mount-Pipe-Bracket-System-Price-Solar-Panel-Pole-Mounting-System_rorshgosg.html. Acesso em: 30 jan. 2024.

RAHANE, Wasudeo et al. **Artificial intelligence based solarbot**. In: 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT). IEEE, 2018. p. 601-605.

RASA. **Introduction to Rasa Open Source**. Disponível em: <https://rasa.com/docs/rasa/>. Acesso em 4 jun. 2023.

REIS, Tiago. **Alíquota: entenda o que é e saiba como ela funciona**, atualizado em 05/04/2023. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/aliquota/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

RECEITA FEDERAL. **Assistente Virtual da Receita já Responde Dúvidas sobre DCTFWeb**. Atualizado em 01 de nov. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2021/novembro/assistente-virtual-da-receita-ja-responde-duvidas-sobre-dctfweb>. Acesso em: 07 de out. 2024.

RISTEMI, Imet; TRPKOVSKA, Marika Apostolova; CICO, Betim. **Mygitissues web application as a solution in dealing with issues on github**. In: 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). IEEE, 2019. p. 1-4.

ROBERTO, José. **Dia juliano**. Site Astronomia no zênite. Publicado em 24 de maio de 2015. Última revisão em janeiro/2022. Disponível em: <https://www.zenite.nu/dia-juliano>. Acesso em: 26 jan. 2023.

RODRIGUES, Jéssica. **O que é processamento de linguagem natural?**. Publicado em 14 de julho de 2017. Disponível em: <https://medium.com/botsbrasil/o-que-%C3%A9-o-processamento-de-linguagem-natural-49ece9371cff>. Acesso em: 04 jun. 2023.

SABHARWAL, N.; AGRAWAL, A. **Cognitive virtual assistants using Google Dialogflow: develop complex cognitive bots using the Google Dialogflow platform**. [Berkeley, CA]: Apress, 2020. Acesso em 4 jun. 2023.

SANTANA, Matheus Guilherme Souza. **Deploy de uma aplicação de gestão de restaurante utilizando a prática de Devops**. 2024.

SENADO FEDERAL. **Pis-Pasep**. [s.d.]. Disponível em: [https://www12.senado.leg.br/noticias/glossario-legislativo/pis-pasep#:~:text=Fundo%20cont%C3%A1bil%20institu%C3%ADdo%20em%201975,\)%2C%20ambos%20criados%20em%201970](https://www12.senado.leg.br/noticias/glossario-legislativo/pis-pasep#:~:text=Fundo%20cont%C3%A1bil%20institu%C3%ADdo%20em%201975,)%2C%20ambos%20criados%20em%201970). Acesso em: 09 fev. 2024.

SENDGRID. **What's a Webhook?** Disponível em: <https://sendgrid.com/en-us/blog/whats-webhook>. Acesso em: 16 jan. 2021.

SIRIUS. **Sistema on grid de energia solar: entenda como ele funciona**. Publicado em 02 set. 2021. Disponível em: <https://energiasirius.com/sistema-on-grid/#:~:text=Um%20sistema%20on%20grid%20%C3%A9,n%C3%A3o%20foi%20utilizado%20por%20ela>. Acesso em: 17 de jan. 2024.

SLACK. **O que é Slack. Slack Help Center**. [s.d.]. Disponível em: <https://slack.com/intl/pt-br/help/articles/115004071768-O-que-%C3%A9-o-Slack-#:~:text=O%20Slack%20%C3%A9%20um%20app,como%20as%20organiza%C3%A7%C3%B5es%20se%20comunicam>. Acesso em: 11 fev. 2024.

SOARES, Fernando de Jesus. **Movimento aparente do sol**. Publicado em 23 de agosto de 2015. Disponível em: <https://www.geografiaopinativa.com.br/2015/08/movimento-aparente-do-so.html>. Acesso em: 11 fev. 2024.

SOLFÁCIL. **7 melhores chatbots para Whatsapp**. [s.d.]. Disponível em: <https://blog.solfacil.com.br/energia-solar/melhores-chatbots-para-whatsapp/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

TELEGRAM. **Telegram bot features**. Disponível em: <https://core.telegram.org/bots/features>. Acesso em 20 dez. 2023.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; MOSZKOWICZ, M.; CAVALCANTE, E. S. C.; LYRA, F.J. M.; NOGUEIRA, A. M. B.; GALLEGOS, H. G. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Recife, Brasil. Editora Universitária da UFPE, 2000.

THOMAZ, Pedro; MANOELA, Joiris. **Net metering: Entenda como Funciona o Sistema de Compensação de Energia**. Disponível em: <https://www.way2.com.br/blog/net-metering/>. Acesso em 02 de out. 2024.

TURING, A. M. **Computing machinery and intelligence**. *Mind*, Volume LIX, Issue 236, October 1950, Pages 433–460, <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>. Disponível em: <https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238>. Acesso em 10 fev. 2023.

TURING, A. M. **Computing machinery and intelligence. Parsing the Turing Test**. [s.l.]: Springer, 2009. p. 23–65.

VANNALA, Rachana; SWATHI, S. B.; PURANAM, Yuvaraj. **AI Chatbot For Answering FAQ's**. In: 2022 IEEE 2nd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SeFeT). IEEE, 2022. p. 1-5

VU, Thi Ly et al. **Online faq chatbot for customer support**. In: Increasing Naturalness and Flexibility in Spoken Dialogue Interaction: 10th International Workshop on Spoken Dialogue Systems. Springer Singapore, 2021. p. 251-259.

WANTROBA, et al. **Um exemplo de uso do padrão XML na definição de uma linguagem especializada para a inteligência artificial**. Departamento de Ciência da Computação - Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Guarapuava-PR, Brasil; 2008.

WEXPATS. **Conheça o aplicativo LINE, e saiba por que ele é mais completo que o Whatsapp**. Publicado em 28 de outubro de 2021. Disponível em: <https://wexpats.com/pt/guide/as/jp/detail/8544/>. Acesso em: 17 fev. 2024.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**, 2012. São Paulo: Oficina de texto.

7 APÊNDICE

7.1 Código do *webhook*

```
/* INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
```

Aplicação web criada para armazenar e deletar questões não respondidas pelo Solar Info Bot e webhook para realizar estimativas do Dialogflow.

Criado em: 02 de setembro de 2023

Última modificação em: 22 de março de 2024

Autores do código: Ana Paula Nazareno Nolêto e Marcos Vinícius Pereira */

```
const { PrismaClient } = require('@prisma/client')  
const express = require('express')  
const cors = require('cors')  
const app = express()  
  
const PORT = process.env.PORT || 3100  
  
const prisma = new PrismaClient()  
  
app.use(express.json())  
app.use(cors());  
  
app.get('/', (req, res) => {  
  res.send("Webhook ligado com sucesso!")  
})  
  
app.get('/questions', async (req, res) => {  
  let questions = await prisma.question.findMany()  
  res.send(questions)  
})  
  
app.delete('/questions', async (req, res) => {  
  let id = await req.body.id  
  if (!id) {  
    res.status(400).send('O id da pergunta é obrigatório!')  
  }  
  await prisma.question.delete({  
    where: {  
      id: id  
    }  
  })  
  res.send()  
})
```

```

app.post('/webhook', async (req, res) => {
  let intent = await req.body.queryResult.intent.displayName
  let params = await req.body.queryResult.parameters
  let isFallback = await req.body.queryResult.intent.isFallback
  let session = req.body.session
  let context_name = `${session}/contexts/estimativa-followup`

  if (intent === 'Estimativa - select.number') {
    let consumo = params.consumo

    const PRODUTIVIDADE_SISTEMA_PALMAS = 1410/12

    // Calcular a razão entre consumo e produtividade mensal
    const razao = consumo / PRODUTIVIDADE_SISTEMA_PALMAS;

    const tabelaValores = [
      { kwp: 2, valor: 5.42 },
      { kwp: 4, valor: 4.39 },
      { kwp: 8, valor: 3.92 }
    ];

    // Escolher o valor apropriado com base na razão
    let valorEscolhido = tabelaValores[0];
    for (const linha of tabelaValores) {
      if (Math.abs(linha.kwp - razao) < Math.abs(valorEscolhido.kwp - razao)) {
        valorEscolhido = linha;
      }
    }

    const VALOR_KWP_GREENER = valorEscolhido.valor * 1000

    let total = razao * VALOR_KWP_GREENER

    // o calculo da estimativa deverá levar em consideração a produtividade do sistema
    // para a região e a referencia de preço por kW pico

    res.send({
      fulfillmentText: `Para a região de Palmas-TO a estimativa de custo para instalar um sistema fotovoltaico na
categoria RESIDENCIAL para o consumo de ${consumo} kWh é de R$ ${parseInt(total).toLocaleString('pt-BR')} `,
      outputContexts: [
        {
          name: context_name,
          lifespanCount: 1
        }
      ]
    })
  }
}

```

```
if (isFallback) {  
  res.send({  
    fulfillmentText: `Desculpe, no momento não tenho a resposta para essa questão.  
    Vou registrá-la e trabalhar para adicioná-la futuramente. Obrigado pela compreensão.  
    Se você tiver outras dúvidas sobre sistemas fotovoltaicos ou qualquer outro assunto, ficarei feliz em ajudar. 😊`  
  })  
  await prisma.question.create({  
    data: {  
      question: req.body.queryResult.queryText,  
    },  
  })  
}  
})  
  
app.listen(PORT, () => {  
  console.log(`Servidor rodando na porta ${PORT}`)
```

7.2 Links para acessar o Solar Info Bot

- 1) Acessar o Solar Info bot: <https://chatbot-tcc.vercel.app>
- 2) Acessar as *intents* cadastradas: <https://chatbot-tcc.vercel.app/intents.html>
- 3) Acessar as perguntas salvas que o Solar Info Bot não foi capaz de responder: <https://chatbot-tcc.vercel.app/questions.html>
- 4) Acessar o Solar Info Bot pelo Telegram: <https://t.me/SolarInfoBot>