

THAMYRES MACHADO DAVID

**Sistemas Baseados em Conhecimento para Avaliação de Energia Solar para
Residências e Comércio**

THAMYRES MACHADO DAVID

**Sistemas Baseados em Conhecimento para Avaliação de Energia Solar para
Residências e Comércio**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia e
Ciências do Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista, para obtenção
do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Energia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paloma Maria Silva
Rocha Rizol

Coorientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de
Souza

Guaratinguetá - SP
Fevereiro de 2025

D250s	David, Thamyres Machado Sistemas baseados em conhecimento para avaliação de energia solar para residências e comércios / Thamyres Machado David - Guaratinguetá, 2024. 120 f : il. Bibliografia: f. 90-96 Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025. Orientadora: Profa. Dra. Paloma M. Silva Rocha Rizol Coorientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza 1. Energia solar. 2. Sistema especialistas (Computação). 3. Gestão do conhecimento. CDU 620.91(043)
-------	--

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O impacto do desenvolvimento desta pesquisa se dá na forma acadêmica, social, regional, nacional e, principalmente, ambiental. No Brasil não existe uma quantidade significativa de pesquisas neste segmento na área residencial, além do que até o momento, não existe pesquisa alguma sobre a abordagem prática proposta.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The impact of the development of this research is academic, social, regional, national and, mainly, environmental. In Brazil, there is no significant amount of research in this segment in the residential area, and to date, there is no research on the proposed practical approach.

THAMYRES MACHADO DAVID

**Sistema Especialista: uso do software CLIPS para avaliação de energia solar
para residências e comércios**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Doutora em Engenharia Mecânica.

Data da defesa: 06/02/2025

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL**
Data: 13/02/2025 20:28:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL
Orientadora - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **JOSE ALEXANDRE MATELLI**
Data: 14/02/2025 10:29:50-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **RUBENS ALVES DIAS**
Data: 14/02/2025 11:21:35-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **SILVIO GIUSEPPE DI SANTO**
Data: 14/02/2025 15:18:41-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. SILVIO GIUSEPPE DI SANTO
USP

Documento assinado digitalmente
 **ELISANGELA MARTINS LEAL**
Data: 14/02/2025 16:57:22-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. ELISANGELA MARTINS LEAL
UFOP

DADOS CURRICULARES

THAMYRES MACHADO DAVID

NASCIMENTO	12.01.1993 – São João de Meriti / RJ
FILIAÇÃO	Arthur David Filho Ana Lúcia Machado
2013/2017	Curso de Graduação - Bacharel em Engenharia de Produção UNESA – Resende RJ
2023-	Curso de Graduação - Bacharel em Engenharia Elétrica UNESA – Resende RJ
2018-2020	Curso Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> Mestrado em Engenharia de Produção FEG/UNESP
2020-2025	Curso Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> Doutorado em Engenharia FEG/UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio e generosidade. Em especial a minha filha Maria Clara, que mesmo sendo muito nova demonstrou paciência e compreensão. Eu te amo incondicionalmente. Agradeço especialmente também a minha querida irmã Carolina por ter me encorajado e me ajudado todos esses anos de pós-graduação. Agradeço com todo meu amor ao Luciano pela paciência, por se fazer presente, pelo incentivo, pela dedicação, amor e companheirismo. Capaz de acreditar em mim, mesmo quando eu não acredito, capaz de vivenciar e vibrar minhas conquistas como se fossem suas. Obrigada por todo cuidado e admiração. Eu te amo eternamente.

Agradeço imensamente a Profa. Dr^a. Paloma Maria Silva Rocha Rizol não apenas por ter sido uma orientadora impecável e presente mesmo com diversas outras atividades, mas também pela amizade e pelo acolhimento desde o primeiro dia que nos conhecemos. De todos esses 6 anos de orientação e amizade não teve uma só vez que você não acreditou em mim. Professora, obrigada por tudo, por todo o ensinamento da área acadêmica e pelos vários outros conselhos para a vida.

Agradeço ao meu coorientador, Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza pela amizade, confiança e oportunidade para desenvolver este trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro concedido durante o curso. Às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar. Aos funcionários da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento. Gratidão eterna a todos vocês

RESUMO

O uso da energia é importante em todos os setores, considerado primordial em atividades industriais, comerciais e residenciais. Em vista disso e dos problemas ambientais causados por fonte de energia com origem de combustível fóssil, métodos de geração de energia com fonte renovável vêm sendo cada vez mais abordados. Estudos que estimam o impacto e avaliações das tecnologias solares em residências são escassos. Nesse sentido, o método aplicado aborda o desenvolvimento de uma base de conhecimento para diagnóstico preliminar e avaliação de energia solar para residências e comércios, obtendo assim um Sistema Especialista. O Sistema Especialista foi construído e validado a partir da experiência de especialistas da área de energia solar fotovoltaica, o que é certamente um recurso valioso para um contexto de gestão do conhecimento. Este estudo ilustra o potencial para esclarecer consideravelmente consumidores de energia para a adoção de energia solar fotovoltaica em suas residências ou comércios, um Sistema Especialista que tem como usuário final uma pessoa que desconheça completamente sobre o tema energia solar, contribuindo para a acessibilidade de qualquer indivíduo. Uma vez encerrado o processo de validação da ferramenta, o Sistema Especialista foi submetido a um grupo de dois “não especialistas” visando avaliar a facilidade quanto ao uso da ferramenta. O resultado da avaliação geral dos dois “não especialistas” foi similar, em que a simplicidade de operação e a velocidade de resposta da ferramenta agradou a todos. Vale destacar que este é o primeiro estudo empírico realizado no Brasil, um país de relevância crucial para o desenvolvimento da energia solar.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar Fotovoltaica; Gestão Energética; Sistema Especialista; *CLIPS*; Gestão do conhecimento.

ABSTRACT

The use of energy is important in all sectors, considered essential in industrial, commercial and residential activities. In view of this and the environmental problems caused by energy sources originating from fossil fuels, renewable energy generation methods have been increasingly addressed. Studies that estimate the impact and evaluations of solar technologies in homes are scarce. In this sense, the applied method addresses the development of a knowledge base for preliminary diagnosis and evaluation of solar energy for homes and businesses, thus obtaining an Expert System. The Expert System was built and validated based on the experience of experts in the field of photovoltaic solar energy, which is certainly a valuable resource for a knowledge management context. This study illustrates the potential to considerably enlighten energy consumers for the adoption of photovoltaic solar energy in their homes or businesses, an Expert System that has as its end user a person who is completely unfamiliar with the subject of solar energy, contributing to the accessibility of any individual. Once the tool validation process was complete, the Expert System was submitted to a group of two “non-experts” to assess how easy the tool was to use. The results of the overall assessment by the two “non-experts” were similar, with everyone agreeing that the tool was easy to use and quick to respond. It is worth noting that this is the first empirical study conducted in Brazil, a country of crucial importance for the development of solar energy.

KEYWORDS: Photovoltaic Solar Energy; Energy Management; Expert System; CLIPS; Knowledge Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de publicações por ano com as palavras-chaves “home energy management system” OR “residential energy management system”	18
Figura 2 - Publicações de países com as palavras chaves “home energy management system” OR “residential energy management system”	18
Figura 3 - Publicações com as palavras-chave “home energy management system” OR “residential energy management system” AND "brazil"	19
Figura 4 - Prioridades relativas: Fatores internos	20
Figura 5 - Usina fotovoltaica flutuante	26
Figura 6 - Fluxograma do método	33
Figura 7 - Modelo de ciclo de vida Incremental	38
Figura 8 - Aquisição do conhecimento	46
Figura 9 - Processo de entrevista: perguntas	50
Figura 10 - Base de conhecimento	53
Figura 11 - Sistema Baseado em Conhecimento	54
Figura 12 - Regra	54
Figura 13 - Exemplo de interface no CLIPS associado a regra	56
Figura 14 - Fatura energética	58
Figura 15 - Entradas utilizadas no Sistema Baseado em Conhecimento	59
Figura 16 - Classes	63
Figura 17 - Defclasses	63
Figura 18 - Janelas do CLIPS	65
Figura 19 - Dinamismo da agenda	66
Figura 20 - Menu de opções	67
Figura 21 - Exemplo 1 (entradas associadas)	68
Figura 22 - Exemplo 1 (saída)	69
Figura 23 - Exemplo 2 (entradas associadas)	70
Figura 24 - Exemplo 2 (saída)	71
Figura 25 - Interface <i>CLIPS</i> com entradas do caso apresentado para validação	73
Figura 26 - Instância correspondente	73
Figura 27 - Saída do caso apresentado para validação	74
Figura 28 - Lista 1	76
Figura 29 - Lista 1 após a avaliação dos especialistas	80
Figura 30 - Lista de validação final	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Publicações em SCOPUS	17
Tabela 2 - Marcos sobre a fonte solar	22
Tabela 3 - Maiores usinas solares do Brasil	25
Tabela 4 - Ciclos de desenvolvimento do SE	39
Tabela 5 - Caso apresentado para validação	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CLIPS	Language Integrated Production System
FIT	Tarifas <i>feed-in</i>
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
GW	Gigawatt
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
LCOE	Custo nivelado de eletricidade
MW	Megawatt
SF	Sistema fotovoltaico
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SGE	Sistema de gestão da energia
TE	Tarifa de Energia Consumida
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição
TWh	Terawatt-hora
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
1.3	JUSTIFICATIVA	16
1.4	CONTRIBUIÇÕES	20
2	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	21
2.1.1	Contexto histórico no brasil	21
2.1.2	Vantagens da energia solar	22
2.1.3	Tecnologias e aplicações de sistemas fotovoltaicos	23
2.1.4	Estudos relacionados	26
2.2	LEI Nº 14.300 - MARCO LEGAL DA MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA	29
2.3	GESTÃO DO CONHECIMENTO	30
3	MATERIAL E MÉTODO	32
3.1	SISTEMA ESPECIALISTA	34
3.1.1	Componentes de um Sistema Especialista	35
3.1.2	Vantagens e desvantagens do Sistema Especialista	35
3.2	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA	36
3.3	ENGENHARIA DO CONHECIMENTO	41
3.4	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	44
4	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA	45
4.1	AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO	45
4.1.1	Tarifação	47
4.1.2	Seleção dos especialistas	48
4.1.3	Processamento de documentos	48
4.1.4	Abordagem direta	49
4.1.5	Abordagem observacional	50
4.1.6	Reuniões com especialistas	51
4.2	REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO	52
4.2.1	Heurísticas	59
4.3	ESTRUTURA FUNCIONAL – IMPLANTAÇÃO COMPUTACIONAL	60
4.3.1	Orientação a objeto	61

4.3.2 Interface	64
4.3.3 Dados de saída: indicadores propostos	67
4.4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	72
4.4.1 Verificação e Validação - Exemplo de um caso	72
4.4.2 Verificação e Validação da base de conhecimento	75
5 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE A	99
ANEXO A.....	105
ANEXO B.....	116

1 INTRODUÇÃO

O uso da energia é importante em todos os setores, considerado primordial em atividades de serviços. Em vista disso e dos problemas ambientais causados por fonte de energia com origem de combustível fóssil, métodos de geração de energia com fonte renovável vêm sendo cada vez mais abordados. E por ser uma fonte sustentável, é altamente promovida por seus privilégios ambientais, pois não emite gases nocivos, como dióxido de carbono, contribuindo para a desaceleração do aquecimento global. A pesquisa, o desenvolvimento e a melhoria contínua da tecnologia das fontes energia renovável são essenciais para aumentar a eficiência energética para uso benéfico em todos os segmentos de consumidores (DINCER; EZZAT, 2018).

O setor residencial possui um aspecto energético indefinido devido a uma ampla variedade de tamanhos de estrutura, geometrias e pelo comportamento de consumo que varia amplamente (SWAN; UGURSAL, 2009). A fim da estabilidade da rede elétrica, redução do uso da energia neste setor, além de outros fatores, é comentado uma gestão otimizada de todos os recursos energéticos, de acordo com os requisitos e preferências dos usuários finais. No futuro, o amplo uso de Sistema de Gerenciamento de Energia em Casa Inteligente aumentará significativamente e modificará o modo de utilização da eletricidade. Entre as atribuições da gestão, têm-se a necessidade da restrição de consumo de energia e a exploração de eficiência energética (JOELSSON; GUSTAVSSON, 2008; SOARES et al., 2015; MARTINEZ-PABON; EVELEIGH; TANJU, 2017; G.K; J, 2020).

A implantação da gestão de energia residencial teve início na década de 1980 e baseava-se em algoritmo de gerenciamento de energia otimizado a fim de reduzir o custo sob uma estrutura de preço em relação ao tempo de uso e na consideração do tamanho operacional, tipo de equipamento e processo, localização geográfica divididos em níveis de funções de gerenciamento (básico, avançado e total) (CAPEHART; MUTH; STORIN, 1982; RAHMAN; BHATNAGA, 1986). Em estudos mais recentes sobre os sistemas de gestão energética em residência, em uma casa com aspecto de um consumo inteligente, têm-se conexões de aparelhos, medidores inteligentes, termostatos e outros dispositivos por meio de uma rede que equilibra a necessidade de energia e reduz os custos (MARTINEZ-PABON; EVELEIGH; TANJU, 2018; BEAUDIN, 2012; SIANO, 2014; ZAREIPOUR; SCHELLENBERG, 2012).

Como suporte a aplicação dos Sistemas de Gestão Energética em Residência (SGER) tal como o controle e monitoramento de vários eletrodomésticos, têm-se explorado a inteligência artificial (IA). Alguns exemplos das técnicas de IA aplicadas nesse segmento é

baseado em redes neurais artificiais, controle lógico difuso e o sistema de inferência neuro *fuzzy* adaptável e Sistema Especialista (SHAREEF et al., 2018). No presente trabalho fez-se o uso do Sistema Especialista em vista dos conhecimentos obtidos. O objetivo do Sistema Especialista é obter o conhecimento acumulado durante toda a vida profissional de um especialista ou de vários especialistas, representar este conhecimento e transmiti-lo ao usuário final, tendo como característica resolver problemas ou questões consideradas complexas.

Nesta sequência, conforme detalhado acima, com a revisão na literatura e também em relação ao contexto brasileiro, ainda é incipiente a aplicação de técnicas para otimizar sistemas de gestão de energia no setor residencial e comercial, evidenciando assim uma oportunidade de estudo com a utilização e aplicação de métodos de inteligência artificial.

No estudo de David et al. (2021) os autores identificaram, por meio de uma pesquisa qualitativa, aspectos potenciais para a implantação de sistemas fotovoltaicos em residências, que foram seis (“Desconhecimento sobre o tema”; “Falta de prioridade”; “Cultural”; “Uniformização de normas”; “Falta de influenciadores” e “Custos”). Dois aspectos “Desconhecimento sobre o tema” e “Cultural” se refere a motivação para este trabalho, como forma de desmistificar esses dois aspectos construindo um Sistema Especialista que tem como usuário final uma pessoa que desconheça completamente sobre o tema energia solar, contribuindo para a acessibilidade de qualquer indivíduo.

É percebido muitas pesquisas envolvendo cálculos e desenvolvimento na tecnologia como forma de reduzir custos por exemplo (WANG; HASANI, 2022; SHEN et al., 2023), mas a falta de estudo de ordem prática e social é pouca observada (ZOGHI et al., 2015; MABVUTOA et al., 2017; ALBERTO et al., 2021), sendo esta a principal motivação deste trabalho. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver um Sistema Especialista (SE) para diagnóstico preliminar e avaliação de energia solar para residências e comércios.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal é desenvolver um Sistema Especialista para diagnóstico preliminar e avaliação da implementação de energia solar para residências e comércios.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Desenvolver uma base de conhecimento fundamentada em regras construída a partir das experiências de cinco especialistas da área de energia solar fotovoltaica;
- Delimitar o perfil de consumidor bem como os especialistas participantes do estudo; e
- Estabelecer indicadores de avaliação da implantação de energia solar fotovoltaica em residências e comércios.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Em vista da diversidade atribuída ao tema de pesquisa, o trabalho foi delimitado na análise gerencial e teórica de implementação de sistemas fotovoltaicos em residências e comércios, com foco em realizar uma revisão da literatura em artigos de alta relevância e em fontes institucionais de governo brasileiro.

A seleção do perfil de consumidor a princípio iria se limitar a todos os perfis do GRUPO B (Unidades consumidoras da Baixa Tensão), das Classes Residencial (Subgrupo B1), Rural (B2), Demais Classes (B3) e do GRUPO A (Unidades consumidoras da Alta Tensão - Subgrupos A1, A2 e A3), Média Tensão (Subgrupos A3a e A4), e de sistemas subterrâneos (Subgrupo AS). Com o desenvolvimento da pesquisa, foi inferido que os grupos selecionados para este trabalho seria somente o de GRUPO B, limitado aos seguintes subgrupos: Unidades consumidoras da Baixa Tensão, das Classes Residencial (Subgrupo B1), Rural (B2) e Demais Classes (B3).

O tipo de abordagem utilizada no trabalho foi a heurística para a busca de soluções, que requer representação de conhecimento especializado para ser implementada computacionalmente em um Sistema Baseado em Conhecimento. A essência dessa abordagem reside na aplicação de padrões seletivos que reduzem a dimensão do problema e pode ser usada para simular o padrão de decisão dos seres humanos. Os conhecimentos dos especialistas foram identificados por meios dos questionários e entrevistas e com a utilização dos conceitos correlacionados com a área pesquisada.

No que diz respeito as classes sociais, no Brasil utiliza-se o método aplicado pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP), que se baseia na Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) divididos em cinco faixas de renda ou classes sociais, sendo A com 2,8% de participação, B com 21% de participação, C com 48% de participação, D e E com 28,50% de participação. Neste trabalho, optou-se em delimitar pelas classes C e D. Para incluir as classes A e B precisariam ser abordado fatores que não faria nenhuma contribuição relevante

para o objetivo do presente trabalho, e a classe E não dispõe das características necessárias para o estudo. Vale destacar que a delimitação nas classes C e D também é corroborado pela utilização das mesmas classes no trabalho base deste estudo (David et al., 2021).

1.3 JUSTIFICATIVA

No que diz respeito a gestão de energia no contexto do uso residencial e comercial, estudos recentes abordam a necessidade de: utilização de perfis de consumo mais detalhados (análise de consumos); utilização de inteligência artificial para desenhar a tarifa de energia ótima; exploração das ferramentas de informação e da gestão de consumo; otimização de equipamentos eletrônicos; processamento dos dados em tempo real para previsão de demanda e estudo da curva de carga; utilização das saídas/entradas digitais do microcontrolador (GUPTA; NATARAJAN, 2018; JORDÃO, 2019; TONELLI, 2019); sistema de gerenciamento confiável que possa desenvolver abordagens para combinar o mercado local de energia (HOSSEINNEZHAD et al., 2020); adoção de técnicas avançadas para otimizar controladores lógicos difusos para lidar com problemas completos de SGER (SOETEDJO, NAKHODA; SALEH, 2018) e a cooperação de técnicas de IA de auto aprendizagem a fim de substituir o envolvimento do usuário nas configurações do SGER (SHAREEF et al., 2018). Com isso é evidenciado a falta de estudos aprofundados e detalhados sobre o tema da pesquisa.

Por outro lado, para destacar a contribuição desta pesquisa, foi realizado um estudo bibliométrico descritivo retrospectivo dos artigos e revisões publicados no período 1984 – 2022, com as palavras-chaves de “*home energy management system*”, “*residential energy management system*”, “*energy consumption*”, “*demand management*”, “*smart meter*” e “*expert system*” na base de dados de SCOPUS. A Tabela 1 apresenta os resultados do estudo proposto em relação ao número de publicações.

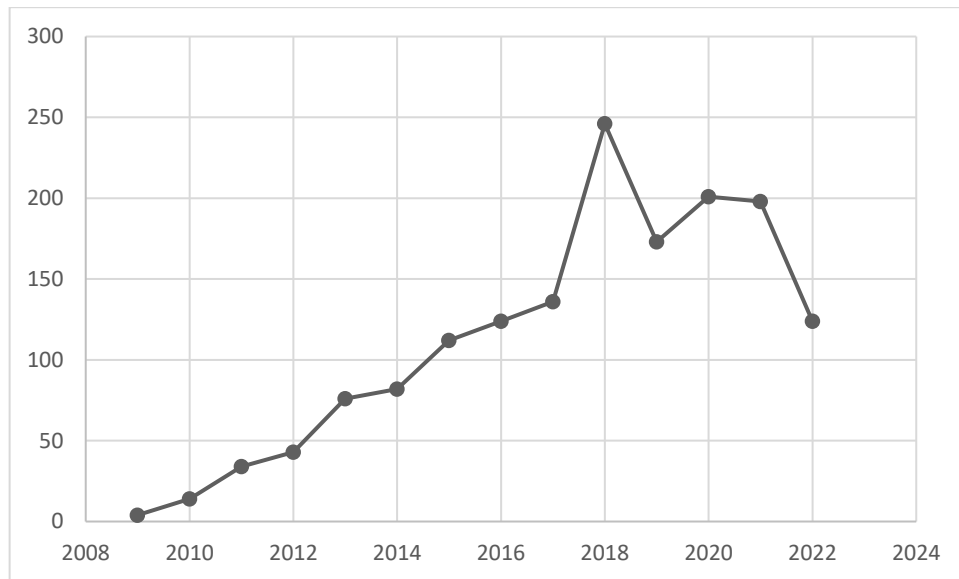
Tabela 1 - Publicações em SCOPUS

	Palavras-Chave	SCOPUS
A	<i>"home energy management system" OR "residential energy management system"</i>	1038
B	<i>"home energy management system" OR "residential energy management system" AND "expert system"</i>	6
C	<i>"home energy management system" OR "residential energy management system" AND "expert system" AND "energy consumption"</i>	2
D	<i>"home energy management system" OR "residential energy management system" AND "expert system" AND "energy consumption" AND "demand management"</i>	0
E	<i>"energy management" AND "industry" AND "expert system" AND "energy consumption" AND "demand management"</i>	0
F	<i>"energy management" AND "industry" AND "expert system" AND "solar energy"</i>	0

Fonte: Base de dados SCOPUS (2022)

Além disso, alguns resultados das combinações das palavras-chave da Tabela 1 são detalhados. Sendo assim, a fim de identificar a tendência das publicações, é plotado a quantidade de artigos por ano encontrados na base de dados de SCOPUS, pesquisado pelas palavras-chaves *"home energy management system" OR "residential energy management system"*, na qual é possível identificar que existe tendência de aumento nas publicações nos últimos treze anos, conforme ilustra a Figura 1.

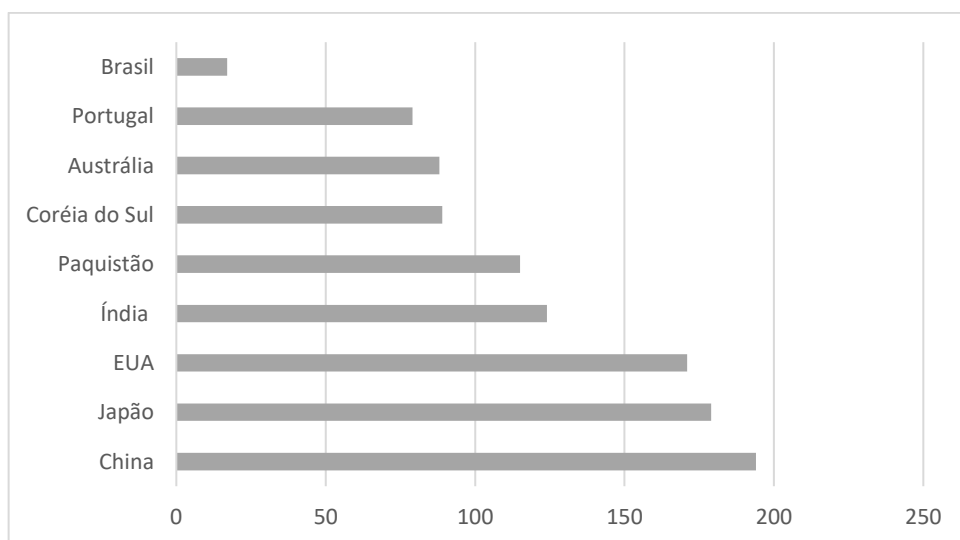
Figura 1 - Número de publicações por ano com as palavras-chaves “home energy management system” OR “residential energy management system”



Fonte: Base de dados SCOPUS (2022)

Conjuntamente, a Figura 2 apresenta o ranking dos 8 países com mais publicações e do Brasil com as palavras-chaves “home energy management system” OR “residential energy management system”. Nota-se que o país que lidera é a China com 194 publicações, seguido do Japão e Estados Unidos com 179 e 171 publicações, respectivamente, e o Brasil com 17 publicações.

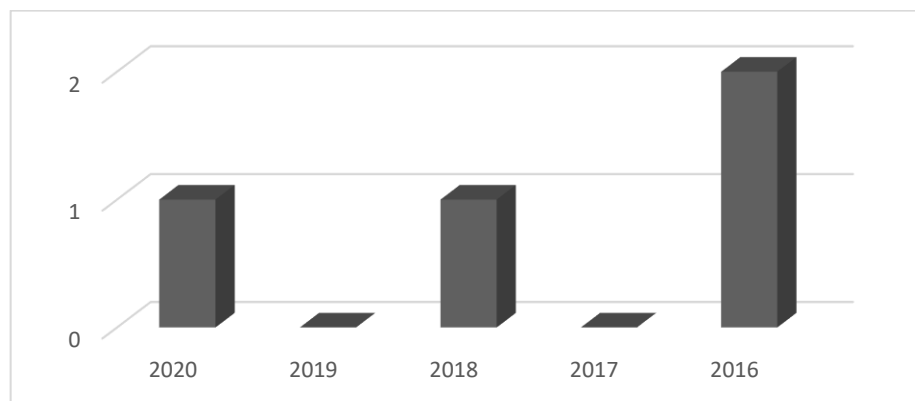
Figura 2 - Publicações de países com as palavras chaves “home energy management system” OR “residential energy management system”



Fonte: Base de dados SCOPUS (2022)

Por outro lado, ao inserir a palavra-chave "brazil", apenas 4 artigos são identificados quando é combinado com as palavras-chave *"home energy management system"* OR *"residential energy management system"*, corroborando com os estudos em âmbito nacional (ilustrado na Figura 3).

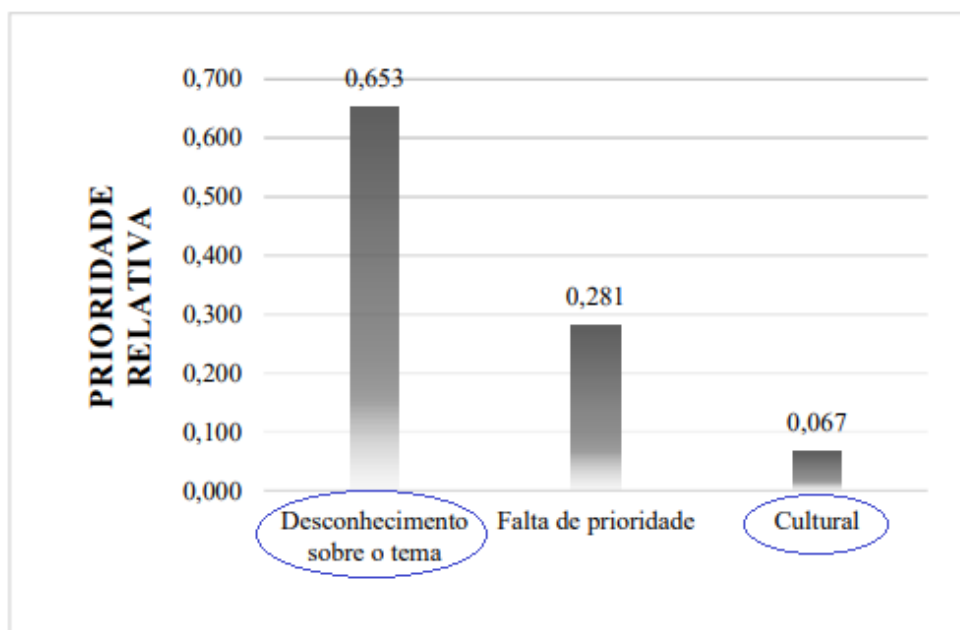
Figura 3 - Publicações com as palavras-chave *"home energy management system"* OR *"residential energy management system"* AND "brazil"



Fonte: Base de dados SCOPUS (2022)

E a última justificativa diz respeito a motivação para este trabalho, que se dá pelo trabalho base (DAVID et al, 2021) para esta tese. No estudo anterior seis aspectos (“Desconhecimento sobre o tema”; “Falta de prioridade”; “Cultural”; “Uniformização de normas”; “Falta de influenciadores” e “Custos”) mais relevantes divididos em dois grupos (Fatores Internos e Fatores Externos) de classificação foram descobertos. A Figura 4 exemplifica a prioridade relativa do grupo de fatores internos.

Figura 4 - Prioridades relativas: Fatores internos



Fonte: David et al, 2021.

Nesse sentido, dois aspectos “Desconhecimento sobre o tema” e “Cultural”, motivou o presente trabalho como forma de desmistificar esses aspectos mencionados construindo um Sistema Especialista que tem como usuário final uma pessoa que desconheça completamente sobre o tema energia solar, contribuindo para a acessibilidade de qualquer indivíduo.

1.4 CONTRIBUIÇÕES

O impacto do desenvolvimento desta pesquisa se dá na forma acadêmica, social, regional e nacional. No Brasil não existe uma quantidade significativa de pesquisas neste segmento na área residencial, além do que até o momento, não existe pesquisa alguma sobre a abordagem proposta de acordo com a base de dados SCOPUS.

É percebido muitas pesquisas envolvendo cálculos e desenvolvimento na tecnologia como forma de reduzir custos por exemplo (WANG; HASANI, 2022; SHEN et al., 2023), mas a falta de estudo de ordem prática e social é pouca observada (ZOGHI et al., 2015; MABVUTOA et al., 2017; ALBERTO et al., 2021), sendo esta a principal motivação e contribuição deste trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As tecnologias de energia solar fornecem soluções para a crescente necessidade de energia limpa a fim de mitigar as mudanças climáticas e melhorar a qualidade do ar. Durante os últimos anos, o uso da energia solar progrediu fortemente, em particular graças ao impressionante desenvolvimento da energia fotovoltaica, que se tornou uma das tecnologias energéticas mais competitivas em termos de custos. A fonte está se tornando a opção de menor custo para geração de eletricidade na maior parte do mundo, o que deve impulsionar o investimento nos próximos anos. À medida que os mercados para os vários sistemas de energia solar aumentam, os estudos e pesquisas na área também se desenvolvem (IEA, 2021).

O número de residências que dependem de energia solar fotovoltaica tem uma expectativa de crescimento para mais de 100 milhões até 2030. A nível de comparação, os dados de 2022 são de 25 milhões no Cenário de Emissões Zero Líquidas até 2050 (Cenário NZE). Pelo menos 190 GW serão instalados a partir de 2022 a cada ano e esse número continuará aumentando devido ao aumento da competitividade e ao crescente apetite por fontes de energia limpa. O custo do equipamento e instalação caiu mais de 80% na última década bem como também a entrada de modelos de negócios para complementar a compra de um sistema fotovoltaico, oferecendo opções de aluguel ou *leasing* que fornecem serviços adicionais de manutenção e, em alguns casos, combinados com contas de energia elétrica (IEA, 2022).

2.1.1 Contexto histórico no Brasil

Pelo motivo do Brasil apresentar características naturais favoráveis como altos níveis de irradiação solar e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar uma importante vantagem competitiva para a produção de silício de alta pureza, nos anos 1970 algumas universidades e institutos de pesquisa alemães se interessaram em iniciar colaborações científicas nesta área. Em seguida, um número considerável de outros grupos no Brasil também iniciaram suas atividades tanto na pesquisa científica quanto no avanço tecnológico de células e materiais solares. Nos anos seguintes, década de 1980, foram obtidas pesquisas aplicadas sobre coletores solares térmicos, refrigeração, fornos, fogões, secadores e destilação e fabricação de módulos e silício fotovoltaicos. O período posterior a 1994 foi marcado por uma

expansão significativamente maior das atividades de desenvolvimento e implantação de pesquisas e na década de 2000 foi dada uma maior ênfase na implantação de campo de sistemas fotovoltaicos (FERREIRA et al., 2018). A Tabela 2 detalha alguns marcos sobre a fonte solar (ABSOLAR, 2023).

Tabela 2 - Marcos sobre a fonte solar

Período	Marco
Janeiro - 2018	Energia solar fotovoltaica atinge primeiro gigawatt de capacidade instalada no Brasil
Maio - 2018	ANEEL — Agência Nacional de Energia Elétrica abre consulta pública número 10/2018 para revisar regras para geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil
Janeiro - 2019	Geração solar fotovoltaica centralizada atinge 2 gigawatts de capacidade instalada acumulada e se torna a sétima maior fonte de energia elétrica do Brasil, superando a nuclear
Junho - 2019	Geração solar fotovoltaica distribuída atinge seu primeiro gigawatt de capacidade instalada
Agosto - 2019	Todos os estados brasileiros aderem ao Convênio ICMS número 16/2015

Fonte: ABSOLAR, 2023.

Em relação aos projetos de geração centralizada, a primeira Usina Fotovoltaica foi inaugurada em 2011, de iniciativa privada, com 1 MWp, no Município de Tauá, no nordeste do país. Em 2013, pela primeira vez, projetos de geração fotovoltaica foram habilitados a participar de um Leilão de Energia, embora nenhum projeto tenha sido contratado. Em 2012 foi promulgada a primeira legislação regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Resolução Normativa nº 482/2012, que estabelece as Condições Gerais para acesso da micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica (FERREIRA et al., 2018). Em 2022 essa lei passou por diversas mudanças que divide opiniões se ficou ou não mais atrativa para o consumidor final.

2.1.2 Vantagens da energia solar

A energia solar é um dos recursos energéticos mais limpos que não compromete ou contribui para o aquecimento global. O sol irradia mais energia em um segundo do que as pessoas usam desde o início dos tempos. A disponibilidade de energia barata e abundante com

riscos ambientais e ecológicos mínimos associados à sua produção e uso é um dos fatores importantes para a desejada melhoria na qualidade de vida das pessoas. A energia solar é um tipo de energia com grande potencial futuro, embora atualmente cubra apenas uma pequena parcela da demanda global de energia (SOLANGI et al., 2011).

Como a maior parte do território brasileiro está localizada entre os trópicos, a insolação diária chega a 8 horas em algumas regiões. Apesar das diversas características climáticas em todo o território brasileiro, a radiação solar é relativamente uniforme. A média anual de irradiação solar global horizontal diária em qualquer região do Brasil é maior do que na maioria dos países que tem mais capacidade instalada (MARCELINO et al., 2015). As principais vantagens dos sistemas on-grid são a alta produtividade, a ausência de banco de baterias e o desligamento automático em caso de falta de energia na rede, evitando fenômenos de ilhamento (FERREIRA et al., 2018).

A energia solar é muito vantajosa no aspecto ambiental em relação a qualquer outra fonte de energia e é considerada o eixo de qualquer programa de desenvolvimento sustentável. Como vantagens, essa fonte não esgota os recursos naturais; não causa emissão de CO₂ ou outros gases no ar ou gera resíduos líquidos ou sólidos; obtém-se a redução das linhas de transmissão das redes elétricas; tem-se o aumento da independência energética; tem-se diversificação e segurança do abastecimento de energia e a aceleração da eletrificação rural (o Brasil é um dos maiores países com uma grande área de extensão territorial, quinta maior do planeta, e em algumas regiões o fornecimento de energia pela rede convencional ainda é escasso) (MARCELINO et al., 2015).

2.1.3 Tecnologias e aplicações de sistemas fotovoltaicos

A energia solar é a energia radiante produzida pelo sol. Em muitas partes do mundo, a radiação solar direta é considerada uma das melhores fontes potenciais de energia. Para projetar sistemas de energia solar são necessários dados de radiação para o local estudado, essa radiação solar é geralmente medida por meio de redes de estações radiométricas com baixa resolução espacial. Para estimar a radiação algumas técnicas de interpolação/extrapolação são frequentemente usadas, mas são válidas para locais onde a variabilidade espacial da radiação não é significativa e são menos precisas se houver áreas complexas de terreno entre as estações radiométricas. Apesar do grande desenvolvimento na previsão de dados de radiação solar, há uma lacuna na extração de informações pertinentes a partir desses dados, razão pela qual alguns

métodos foram propostos para identificar e otimizar as estatísticas que representam a disponibilidade de radiação solar (BAÑOS et al. 2011).

O Silício é o elemento usado como semicondutor em sistemas fotovoltaicos, que consiste em muitos componentes, como células, módulos e painéis para geração de energia. O princípio de todo o processo é ativar elétrons para o fornecimento de energia, funciona com base no princípio de que os elétrons são ativados do estado de menor energia para o estado de maior energia a partir da adição de energia da luz solar. Essa ativação, por sua vez, cria um número de lacunas e elétrons livres no semicondutor, fornecendo assim eletricidade. Além disso, diversos meios de regulação e controle, dispositivos eletrônicos, conexões elétricas e dispositivos mecânicos são utilizados para melhor eficiência de operação (NADARAJAH; DIVAGAR, 2016).

No Brasil, tem-se a aplicação da tecnologia difundida principalmente em quatro grupos: os sistemas conectados à rede, on-grid; os sistemas fora da rede, off-grid; os sistemas híbridos e as usinas solares, geração centralizada (FERREIRA et al., 2018).

1- Sistemas conectados à rede, on-grid: o sistema fotovoltaico conectado à rede, geralmente instalado em telhados de casas e edifícios, consiste em placas fotovoltaicas que convertem a energia solar em eletricidade de corrente contínua em corrente alternada com tensão e frequência compatíveis com os padrões da rede elétrica à qual o sistema está conectado. É a modalidade mais utilizada no Brasil e é regulamentada pela lei 14300 de 2022.

A micro e minigeração distribuída é atualmente considerada uma inovação tecnológica nos mercados de eletricidade. Em meio à evolução da tecnologia digital, a redução dos custos das energias renováveis descentralizadas e a disseminação dos recursos energéticos distribuídos mudou o papel dos consumidores no mercado de energia elétrica (MARTINS; BRANCO; HALLACK, 2022).

2- Os sistemas fora da rede, off-grid: sistemas fotovoltaicos isolados ou independentes que geralmente são instalados em áreas de difícil acesso à rede elétrica como em áreas rurais. Neste caso, é necessário o uso de baterias. Essa tecnologia ainda é pouco utilizada devido ao alto custo das baterias necessárias. É difundido no Brasil em zonas rurais com sistemas pequenos de bombeamento solar ou somente para alimentar aparelhos elétricos de baixa tensão em locais isolados e remotos sem acesso à rede da concessionária. A energia gerada em corrente contínua pelo painel fotovoltaico é armazenada na bateria estacionária em corrente contínua e utilizada posteriormente para alimentação.

3 - Híbrida - a geração fotovoltaica funciona em conjunto com outras fontes como turbinas eólicas ou diesel. Por serem considerados mais complexos, tais sistemas requerem um controle capaz de integrar diferentes formas de geração de energia.

4 - Usinas solares - Esses sistemas, também conectados à rede, produzem muita eletricidade em um único ponto. O tamanho da planta varia de centenas de quilowatts e megawatts. Assim, as usinas costumam ter geração em larga escala e são vendidas em leilões promovidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (RIGO et al., 2022).

Uma usina de geração de energia a partir da tecnologia fotovoltaica possui vários componentes como matrizes e módulos de células solares e meios de controle ou regulação de sistemas para conexões elétricas e mecânicas. As usinas se caracterizam por serem projetadas para fornecer eficiências de conversão mais altas (KANNAN; VAKEESAN, 2016). A Tabela 3 detalha as maiores usinas solares do Brasil (PORTAL SOLAR, 2023).

Tabela 3 - Maiores usinas solares do Brasil

Planta	MW
São Gonçalo	475
Pirapora	321
Nova Olinda	292
Ituverava	292
Lapa	168
Juazeiro Solar	156
Guaimbê	150
Apodi	132
Paracatu	132
Tauá	1

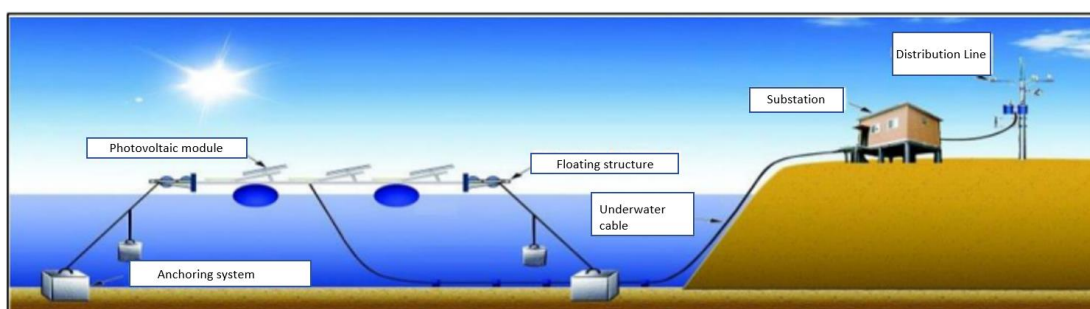
Fonte: PORTAL SOLAR, 2023.

Outra modalidade de usina que o Brasil se encontra em destaque são as usinas fotovoltaicas flutuantes. A principal diferença entre um sistema solar fotovoltaico convencional (em terra) e uma usina fotovoltaica flutuante (na água) é a plataforma flutuante (estruturas de suporte para fixação dos módulos fotovoltaicos, cabos e em alguns casos também inversores), juntamente com ancoragem e ancoradouro.

Basicamente, uma usina fotovoltaica flutuante é constituída de (Figura 5): (i) Módulos fotovoltaicos; (ii) Plataformas flutuantes que são estruturas de suporte para instalação dos módulos fotovoltaicos na água e suporte para os cabos elétricos e inversores, em alguns casos; (iii) Ancoragem e amarração para a fixação da plataforma flutuante nas margens e/ou no fundo

do corpo d'água e que deve ser capaz de resistir aos esforços causados pela variação do nível d'água e pelo vento; e (iv) Cabos elétricos podendo ser inclusive cabos subaquáticos (EPE, 2023).

Figura 5 - Usina fotovoltaica flutuante



Fonte: EPE, 2023.

As plantas solares flutuantes têm algumas vantagens sobre as montadas no solo como a utilização de infraestruturas de transmissão já existentes quando instaladas nas proximidades das usinas hidrelétricas; melhor rendimento devido ao efeito de resfriamento da água e menor impacto de sujeira nos painéis. No Brasil, é crescente a busca por sistemas fotovoltaicos flutuantes, principalmente na região nordeste que apresenta o maior potencial (SIQUEIRA; SOUSA; LESS, 2022; OLIVEIRA, 2023).

2.1.4 Estudos relacionados

Relacionados a este conceito, os estudos sobre energia solar estão cada vez mais em desenvolvimento, como o trabalho de Luo et al. (2018), em que uma melhoria foi desenvolvida no sistema de gerenciamento de energia em residências. Os autores propuseram uma forma de programar os recursos energéticos domésticos em um ambiente com energia solar fotovoltaica. O estudo proposto inclui três estágios: previsão, programação para o dia seguinte e operação real. Na fase de previsão, a previsão de curto prazo é realizada para gerar energia solar fotovoltaica prevista para o dia seguinte.

Ahmed et al. (2021) realizaram um método para analisar o efeito na curva de custo da carga consumida com a integração da energia solar fotovoltaica no sistema de gerenciamento de energia residencial inteligente. O problema foi modelado com um algoritmo para programar eletrodomésticos com e sem a disponibilidade de fontes de energia solar fotovoltaica. O método aplicado ao trabalho proposto tem um relevante custo-benefício e proporciona um incentivo ao

consumidor. Com base nos resultados, verificou-se que o desempenho da programação melhorou com a integração da energia solar fotovoltaica na configuração do sistema proposto.

Um estudo realizado em Minas Gerais mostra alguns impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial. Os autores inferiram que o principal efeito da adoção de energia fotovoltaica para as famílias está relacionado ao aumento do consumo propiciado pela renda extra gerada após o período de pagamento do financiamento pelo sistema solar, que, por sua vez, afeta setores produtivos. Os setores que mais crescem nas projeções são os de Artes, Cultura, Esporte e Recreação. Isso significa que uma parcela da renda extra das famílias que adotam os painéis fotovoltaicos seria consumida com esses bens e serviços (CARVALHO et al., 2019).

Em um outro estudo que aborda o tema de potencial técnico e de mercado no Brasil, sendo o técnico definido como a quantidade de energia elétrica máxima gerada caso toda a área aproveitável de telhados das residências brasileiras fosse coberta por sistemas fotovoltaicos e o de mercado aquele em que a quantidade de energia elétrica produzida é economicamente viável por sistemas fotovoltaicos dimensionados para atender apenas ao consumo mensal médio anual dos domicílios brasileiros (em condições atuais de financiamento), os autores estimaram que o potencial técnico brasileiro seja de aproximadamente 772 TWh por ano, e o Potencial de Mercado é de aproximadamente 48 TWh por ano (SANTOS; LUCENA, 2020).

Neste segmento de pesquisa, tem sido criados vários facilitadores e otimizadores para a eficiência total do sistema de energia solar, como no estudo de Ha et al. (2017), no qual os autores otimizaram os custos totais de energia em um modelo operacional de um *hub* de energia em uma área residencial. O problema de otimização é configurado com base na demanda de carga diária (como eletricidade, calor e refrigeração), nos preços de energia do tempo de uso e considera o envolvimento da geração solar fotovoltaica. Os resultados mostram que o modelo proposto prevê mudanças significativas nas características da energia solar e da energia comprada de concessionárias, levando a uma redução do custo total de energia em comparação com outros casos.

Além da forma habitual de se instalar energia solar fotovoltaica, em que o consumidor utiliza em torno de 95% da sua demanda de energia por esta fonte renovável, existem as formas híbridas que se combina alguns tipos de geração, isto foi analisado no trabalho de Xian et al. (2019). Os autores estudaram um edifício residencial de energia líquida zero com perspectiva de comercialização, que adota sistemas de energia solar que simultaneamente gera energia elétrica e minimiza as perdas de calor. Uma estrutura de tomada de decisão multicritério com

base nos critérios energéticos e econômicos foi desenvolvida para avaliar o desempenho do sistema e encontrar o layout favorável do sistema energético no edifício residencial. Como resultado, o sistema híbrido otimizado (integrado com solar fotovoltaico, solar térmico e vidro solar com isolamento térmico) foi suficiente para atingir a meta de energia líquida zero.

Ainda no mesmo segmento de modelo híbrido, num estudo foi desenvolvido um projeto piloto de rede inteligente residencial. A análise é baseada em dados de monitoramento detalhados medidos em intervalos de 5 minutos. Neste piloto, aparelhos inteligentes, bombas de calor, microcombinação de calor e energia e energia solar fotovoltaica foram instalados para avaliar sua eficiência, sua capacidade de reduzir o pico de compra de eletricidade e seus efeitos na autossuficiência e no uso local de eletricidade solar. Como resultado da avaliação, foram determinados diversos indicadores anuais e semanais, como compra e entrega de eletricidade, produção solar, geração flexível e carga (GERCEK; REINDERS, 2019). Um outro estudo que também aborda os modelos híbridos, foi possível inferir que o sistema proposto pode atingir a eficiência energética de 71,8% por meio da análise de um sistema de energia multigeração integrado à natureza, baseado em energia solar fotovoltaica para residências. O sistema compreende uma bomba de calor, um resfriador de absorção, painéis fotovoltaicos-térmicos, reatores fotoeletroquímicos e uma célula de combustível de membrana de troca de prótons para fornecer as saídas úteis de aquecimento, resfriamento, eletricidade, água quente, produção de hidrogênio e tratamento de águas residuais domésticas (KARACA; DINCER, 2020).

Um estudo realizado em 2021 (SINGH et al., 2021) utilizou como base o uso de regras para a geração de resultados. Com o subtema sendo sobre baterias, os autores propuseram um esquema de controle supervisionado para garantir o aproveitamento máximo da energia solar fotovoltaica com utilização efetiva da energia armazenada por baterias. A ação de controle proposta é baseada na tensão da bateria, irradiância solar e alimentação da rede para decidir a utilização da energia solar fotovoltaica ou da rede. O controle baseado em regras proposto emprega esses três parâmetros de entrada para obter uma fonte de alimentação confiável para a micro rede residencial. O sistema de micro redes propostas é realizado através de simulação e análise experimental e os resultados de desempenho foram considerados eficientes.

Um dos assuntos mais abordados no século atual é a busca pelo desenvolvimento sustentável, em vista disso vários estudos que abordam o tema são publicados (BORGES, et al. 2022; GRAINGER-BROWN et al., 2022; HIRAI; COMIM, 2022). Quando se trata de energia solar, a energia limpa que tem como característica corrobora diretamente para a mitigação do impacto ambiental. O estudo de Xiaolei et al. (2022) disserta de forma prática tais mitigações, como resultado pode reduzir anualmente as emissões de CO₂ em 102–217 toneladas com a taxa

de 31–66% com o desenvolvimento de um sistema de energia híbrida local baseado em energia solar fotovoltaica para um bairro residencial.

Neste mesmo segmento, em um estudo de Duschner et al. (2017) realizado na Alemanha, é comentado que para uma maior redução nas emissões de CO₂, o sistema solar térmico concorre com o armazenamento em bateria dos sistemas fotovoltaicos. Os autores destacam, por meio de um modelo de otimização linear, que os custos de investimento para sistemas solares térmicos devem cair, mas os custos para armazenamento de baterias dos sistemas fotovoltaicos ainda são muito altos.

2.2 LEI Nº 14.300 - MARCO LEGAL DA MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No Brasil, no que diz respeito a normas para a geração de energia solar como geração distribuída, até o ano de 2022 era orientado somente por Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Em janeiro de 2022 foi instituído o marco legal da micro e minigeração de energia, a Lei 14300. Nela é comentado que microgeradores são aqueles que geram até 75 kW de energia por meio de fontes renováveis (como a fotovoltaica e a eólica) e que minigeradores se classificam entre 75 kW até 10 MW (SIQUEIRA et al., 2022).

Antes do marco legal, o sistema de Compensação de Energia Elétrica era um procedimento no qual um consumidor de energia elétrica instala pequenos geradores em sua unidade consumidora e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade, sem qualquer taxa a ser paga, era fixado somente um pequeno custo pela disponibilidade da rede. Após o marco legal, foi estabelecido o pagamento de uma componente tarifária que antes não era cobrada, a TUSD no Fio B, que se refere aos custos de distribuição (esta cobrança será feita somente sobre a parcela injetada na rede da concessionária) (OLIVEIRA, 2023).

Como exemplificação, como era antes da reforma: um sistema fotovoltaico gerou 200 kWh/mês; consumiu 100 kWh/mês durante o dia e os outros 100 kWh/mês foi injetado na rede, o cliente tem 100 kWh/mês de crédito, assumindo uma tarifa de R\$ 1,00 por kWh, o cliente tem R\$ 100,00 de crédito para os próximos meses.

Após a reforma: No Brasil, TE (tarifa energia) e TUSD (tarifa de distribuição) estão presentes na nossa conta de energia, são as tarifas existentes, e cada uma tem uma porcentagem, a taxa será no Fio B, que equivale a tarifa de distribuição, sendo este 28%. Seguindo o mesmo exemplo anterior, de geração e uso da rede, e calculando a nova taxa:

$TAXA = (28) \cdot (0,15) = R\$ 4,20$, então seria $R\$ 100 - R\$ 4,2 = R\$ 95,80$ que retorna ao invés dos $R\$ 100,00$ de antes da lei (vale destacar que essa taxa é progressiva ao longo dos anos, o primeiro ano começa com 15% e chega até 90% em 2028). Dentre algumas pequenas mudanças e alterações, essa taxa foi a primordial.

Na geração de energia, é comumente usado o termo LCOE (*Levelized Cost of Energy* - Custo Nivelado de Energia) para fazer o comparativo dos custos das fontes de energia. É definido como o Custo Nivelado de Energia. O LCOE médio aumenta em 22% enquanto o tempo médio de retorno aumenta em 29%, isso ocorre porque a compensação não é mais realizada por meio de todos os componentes da tarifa, sendo exigido o pagamento do componente de transporte denominado Fio B. O referido prejuízo na viabilidade econômica do investimento em sistemas fotovoltaicos leva a uma redução no número esperado de adotantes desta tecnologia. Por outro lado, a redução do crescimento do mercado de geração distribuída leva a uma redução nas perdas de receita esperadas pelas distribuidoras em até 42%. Este é um notável impacto da nova Lei 14.300. Apesar disso, ainda é possível notar um crescimento anual no número total de consumidores ao longo dos anos (PV MAGAZINE, 2023).

Também é comentado a possibilidade da comercialização dos excedentes com as distribuidoras por meio de chamada pública. Esta última mudança é um marco na lei de energia solar pelo aspecto da possibilidade de se obter a contrapartida monetária e não se limitar a somente a compensação de energia elétrica (Brasil, 2022). Países pioneiros no segmento de energia solar fazem uso da venda do excedente há anos, comumente chamados de tarifa *feed in* (ZANDER, 2020; INÊS, et al., 2020; CHU; TAKEUCHI, 2022).

2.3 GESTÃO DO CONHECIMENTO

O conhecimento está intimamente ligado ao fazer e implica saber fazer e compreender. O conhecimento possuído por cada indivíduo é um produto de sua experiência e engloba as normas pelas quais ele avalia novos insumos de seu entorno. O conhecimento é uma mistura fluida de experiência estruturada, valores, informações contextuais, percepção especializada e intuição fundamentada que fornece um ambiente e uma estrutura para avaliar e incorporar novas experiências e informações. Ele se origina e é aplicado na mente dos conhecedores (HAJRIC, 2018).

A gestão do conhecimento (GC) é essencialmente sobre como obter o conhecimento certo para a pessoa certa no momento certo. Isso por si só pode não parecer tão complexo, mas implica um forte vínculo com a estratégia de uma organização, a compreensão de onde e de que formas o conhecimento existe, criando processos que abrangem as funções organizacionais e garantindo que as iniciativas sejam aceitas e apoiadas pelos membros organizacionais. A gestão do conhecimento também pode incluir a criação de novos conhecimentos, ou pode se concentrar apenas no compartilhamento, armazenamento e refinamento do conhecimento. A gestão do conhecimento não é gerenciar o conhecimento pelo conhecimento, o objetivo geral é criar valor e refinar os ativos de conhecimento (HAJRIC, 2018).

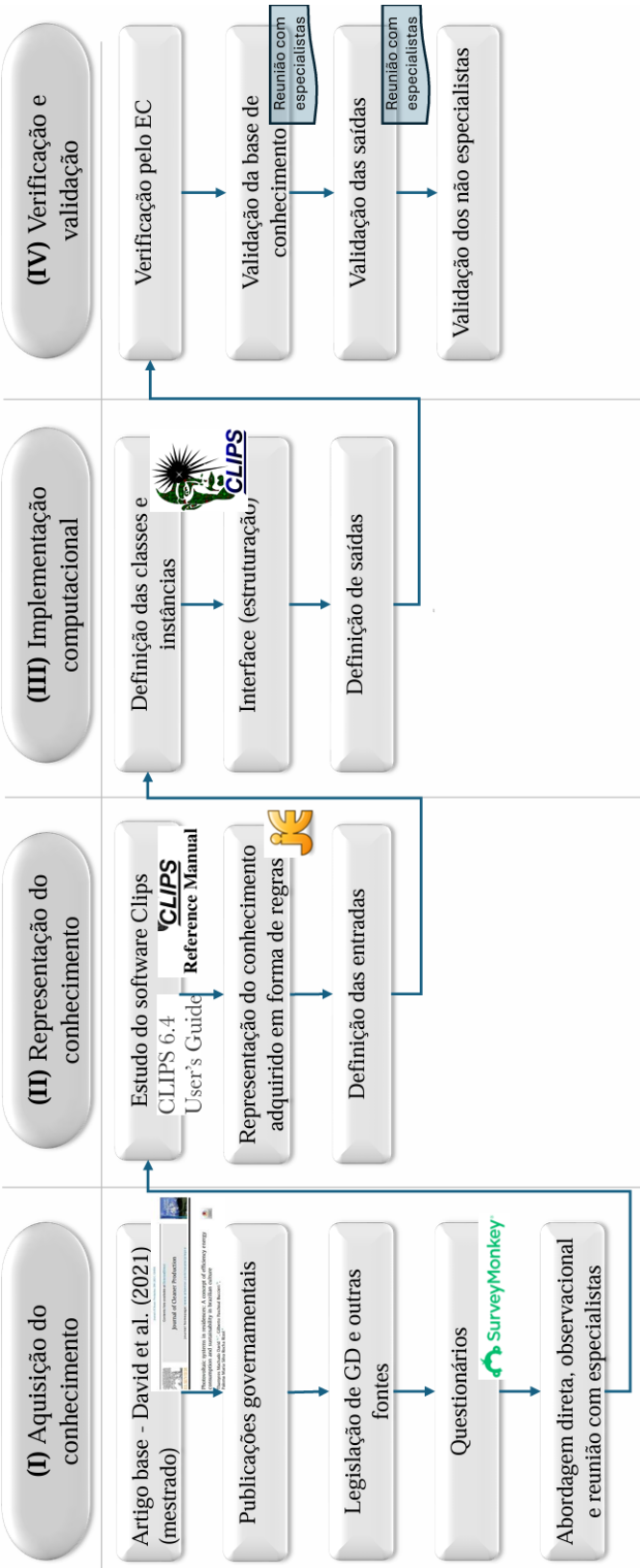
Ao longo dos séculos, muitas tentativas foram feitas para classificar o conhecimento e diferentes campos se concentraram em diferentes dimensões. No que diz respeito a GC são definidos dois tipos de conhecimento: o conhecimento explícito e o tácito. O primeiro refere-se ao conhecimento codificado, como o encontrado em documentos, enquanto o segundo refere-se ao conhecimento não codificado e muitas vezes pessoal/baseado na experiência (HAJRIC, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODO

Para a elaboração de trabalhos mais bem estruturados, é necessário a busca da melhor abordagem de pesquisa a ser utilizada para endereçar as questões da pesquisa, bem como seus respectivos métodos e técnicas para seu planejamento e condução tendo como resultado o embasamento científico adequado (MIGUEL, 2007). O presente trabalho caracteriza-se como pesquisa aplicada, com vista a compreender relações que envolvem o cotidiano com a espera de resultados aplicados e utilizados na solução de problemas reais. Em relação ao seu objetivo pode ser classificada como exploratória, por proporcionar maior familiaridade com o problema, visando explicitá-lo. Pode envolver também levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas experientes no problema pesquisado (MIGUEL, 2012; KOTHARI, 2013; PRODANOV; FREITAS, 2013).

Todos os processos do método do trabalho bem como do desenvolvimento do Sistema Especialista estão esquematizados na Figura 6. A Figura 6 mostra o fluxograma de todo o processo para desenvolver o presente estudo e começa com a aquisição do conhecimento especificamente com a análise do artigo utilizado como base. Nessa análise foi possível entender a necessidade do Sistema Especialista, os objetivos que ele iria ter, as fontes que iriam ser utilizadas e as dificuldades para sua construção.

Figura 6 - Fluxograma do método



Fonte: Própria.

Após esta primeira etapa de análise, foi avançado para a etapa de obtenção de conhecimento por meio de publicações e com os especialistas, em seguida a representação desse conhecimento, a implementação no software *CLIPS* dos códigos e a definição das saídas, e por fim, a verificação e validação com os especialistas.

3.1 SISTEMA ESPECIALISTA

Um Sistema Especialista é uma técnica de inteligência artificial que é capaz de resolver tarefas específicas de uma área de conhecimento supostamente com a mesma qualidade de um especialista humano. Em contraste, programas comuns como programas de folha de pagamento, processadores de texto, planilhas, jogos de computador e assim por diante, não se destinam a incorporar a experiência ou o conhecimento humano. O Sistema Especialista, algumas vezes referenciados como Sistemas Baseados em Conhecimento, utiliza conhecimento especializado (que pode conter traços de incertezas) para resolver problemas complexos, com desempenho intelectual comparável à de um especialista humano num domínio específico (GIARRATANO, 2023).

Para se obter um correto funcionamento de um Sistema Especialista, o programa utilizado para abordá-lo tem que ser sustentado por conhecimentos específicos e orientado a executar determinados padrões, elaborados por meio de bases de conhecimento obtidos por um ou mais especialistas da área ao qual o problema se relaciona. A base de conhecimento deve ser estruturada de forma completa e correta para posteriormente serem simuladas de tal forma que ao final o SE seja capaz de oferecer sugestões e indicações aos usuários. De forma resumida, o sistema precisa possuir uma base de conhecimento, base de regras e heurísticas sobre o domínio. Vale destacar que um SE pode ser aplicado nas mais diversas áreas do conhecimento como engenharia, agricultura, tecnologia da informação, química e eletrônica (FIGUEIREDO, 2011).

A ferramenta utilizada para construir o Sistema Especialista neste estudo é o Language Integrated Production System (*CLIPS*), que foi desenvolvido no Johnson Space Center da NASA de 1985 a 1996. O *CLIPS* é uma linguagem de programação baseada em regras útil para criar sistemas especialistas e outros programas na qual uma solução heurística é mais fácil de implementar e manter do que uma solução algorítmica. Escrito em C para portabilidade, o *CLIPS* pode ser instalado e usado em uma ampla variedade de plataformas. Desde 1996, o *CLIPS* está disponível como software de domínio público (CLIPSRULES, 2022).

Um Sistema Especialista baseado em regras escrito em *CLIPS* é um programa orientado a conhecimento em que os fatos e objetos estimulam a execução por meio do mecanismo de inferência. Para fins comparativos, um conjunto de dados incompletos é muito mais importante em um Sistema Especialista do que em linguagens como Java, C e Ada porque as regras de um Sistema Especialista geralmente não são executadas de forma sequencial (GIARRATANO, 2023).

3.1.1 Componentes de um Sistema Especialista

Os sistemas especialistas são compostos de três partes: a Base de Conhecimento, em que regras utilizadas nas resoluções são armazenados, nesta parte é possível inserir novos conhecimentos ou alterar conhecimentos antigos; Motor de Inferência, dispositivo que efetua as consultas na base de conhecimento gerando as respostas e compara as regras da base de conhecimento com as informações fornecidas pelo usuário; e a Interface com o Usuário, fonte de interação com o usuário, em que as questões são apresentadas ao sistema e as respostas/saídas são obtidas.

Um fator relevante de um Sistema Especialista é a agregação de conhecimento de mais de um especialista do mesmo assunto, que neste caso não possui as limitações físicas e emocionais consumidas por humanos. Como vantagem, têm-se a velocidade de determinação de soluções consistentes para determinado problema, preservação do conhecimento, estabilidade, melhoria da eficiência de processos e a inibição de problemas de interpretação (BINGHAM E EISENHARDT, 2011).

3.1.2 Vantagens e desvantagens do Sistema Especialista

De acordo com Giarrato e Riley (1998), os sistemas especialistas apresentam como vantagem maior disponibilidade (o conhecimento e a experiência de uma pessoa se torna acessível a outra pessoa); diminuição do risco de operação (o SE pode ser utilizado em ambientes não adequados para o ser humano); vários pontos-de-vista (o conhecimento de diversos especialistas humanos pode compor a base do SE a tornando completa); confiabilidade; maior explicação (o SE pode explicar em detalhes os motivos que o levaram a uma conclusão, enquanto que o ser humano pode apresentar cansaço ou não ser capaz de dar explicações); resposta rápida (um Sistema Especialista poderia levar apenas segundos para dar

uma resposta ou conclusão comparado a um especialista humano que poderia variar de horas ou dias); custo significativamente reduzido devido à maior disponibilidade do conhecimento; preservação do conhecimento (com o uso dos softwares, é possível preservar o conhecimento adquirido) e por fim, a imparcialidade (respostas constantes, sem emoção e completas em todas as vezes, respostas oferecidas pelo SE são sempre imparciais, enquanto o julgamento de especialistas humanos pode ser comprometido por diversas razões).

Como desvantagens, os sistemas especialistas típicos não podem generalizar por meio de analogia para raciocinar sobre novas situações; um gargalo de aquisição de conhecimento resulta em uma tarefa demorada e trabalhosa de construção de um Sistema Especialista; a aquisição de conhecimento dos especialistas pode ser difícil por serem profissionais de alto valor; a dificuldade de validação (as soluções dadas por um SE devem passar pelos especialistas); integração com bases de dados e conhecimento eventual (representar conhecimento profundo de causa implícita a um efeito pode ser altamente complexo).

3.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA

O processo de desenvolvimento de um Sistema Baseado em Conhecimento é conhecido por engenharia de conhecimento composto de quatro etapas principais descrita a seguir:

- 1 - Aquisição de conhecimento
- 2 - Representação do conhecimento
- 3 - Implementação computacional
- 4 - Verificação e validação

O profissional responsável por conduzir estas etapas é o engenheiro de conhecimento (KINGSTON, 2004). O perfil do engenheiro de conhecimento consiste de competência que visa entendimento profundo da engenharia de conhecimento e das ferramentas, também precisa ser organizado para ter a capacidade de analisar requisitos de projeto e planejar a solução geral logo nos estágios iniciais, o EC precisa propor solução bem organizada e estruturada para diminuir a chance de ser incorreta, precisa ter paciência pois embora a implementação do protótipo inicial seja rápida, sua evolução por meio do modelo incremental pode ser demorada, também é necessário habilidade social para a interação com outras pessoas, em particular com os especialistas, precisa ser articulado para ter a facilidade de se fazer ser entendido, mesmo em uma área que não seja de sua especialidade, necessário também a autoconfiança pois a interação com um domínio de conhecimento com o qual o engenheiro de conhecimento não está familiarizado pode ser intimidante (KINGSTON, 2004).

Como em qualquer projeto, o sucesso do desenvolvimento de um Sistema Baseado em Conhecimento depende de um gerenciamento eficaz. Nesse sentido, em um Sistema Baseado em Conhecimento uma abordagem de gerenciamento típica envolve: gerenciamento das atividades; gerenciamento do Sistema Baseado em Conhecimento como produto e gerenciamento dos recursos (KINGSTON, 2004).

O gerenciamento das atividades neste trabalho se baseou em planejamento das etapas e definição de prazos. No total o trabalho obteve quatro etapas, que foram (1) a obtenção do conhecimento dos especialistas bem como de conhecimento de livros e artigos; (2) a representação do conhecimento obtido por meio de regras; (3) o terceiro passo a implantação computacional dessa representação, que neste trabalho foi no software *CLIPS*; e (4) a verificação e validação as inferências obtidas com as etapas anteriores. O gerenciamento do Sistema Baseado em Conhecimento (SBC) como produto, fundamentalmente se baseou nas correções e melhoramentos do sistema. E por fim, o gerenciamento dos recursos, baseou-se na otimização de todo o processo de cada atividade.

Em relação ao modelo de desenvolvimento, o modelo de desenvolvimento incremental é utilizado neste trabalho, no qual envolve vários ciclos do processo de desenvolvimento do Sistema Especialista e provê a continuidade que conecta todas as etapas desse processo e possibilita que o SE seja colocado em uso mesmo sem estar totalmente completo.

O modelo Incremental (Figura 7) é baseado em incrementos de funcionalidade e uma adaptação bem-sucedida para SBC, onde cada nova regra amplia gradativamente a funcionalidade do sistema. A principal vantagem é que o incremento de funcionalidade é mais fácil de testar, verificar e validar do que em outros modelos, gerando custos de correção menores (KINGSTON, 2004).

Figura 7 - Modelo de ciclo de vida Incremental



Fonte: Kingston, 2004.

As etapas do modelo incremental são (KINGSTON, 2004):

Planejamento – Tem o objetivo de produzir um plano de trabalho formal: Determinar a viabilidade de construir o SBC e as tecnologias necessárias; gerenciar os recursos com a definição de como obter pessoal, tempo, dinheiro, software e hardware e alocá-los; definir e ordenar as atividades e definir datas de início e fim para cada uma; especificar o propósito do SBC e definir o que ele deve fazer e descrever como as funções do sistema serão obtidas.

Aquisição do conhecimento – Tem o objetivo de definir os requisitos de conhecimento do SBC: Listar quais e quem são as fontes, independente da disponibilidade; priorizar a lista de fontes em ordem de importância; listar a fonte em ordem de disponibilidade; selecionar as fontes com base na importância e disponibilidade; especificar como o conhecimento é adquirido (entrevistas e leituras); definir quais conhecimentos específicos das fontes serão úteis; organizar o conhecimento para facilitar a verificação e o entendimento dos desenvolvedores; detalhar as funções do SBC em nível técnico; agrupar as regras em fases de execução; descrever o sistema do ponto de vista do usuário; definir exatamente o que o SBC fará, pois será validado a partir destes requisitos.

Codificação – Tem o objetivo de produzir o projeto detalhado do SBC: Especificar como o conhecimento é representado (regras e lógica); detalhar a estrutura de controle (código

incorporado e grupos de regras); definir uma estrutura interna de modo a otimizar a compreensão; especificar a interface dos usuários e obter suas opiniões; especificar como o código será testado e como os testes serão analisados; especificar o que deve estar na base e como o conhecimento é nela organizado; definir como a base deve ser implementada; detalhar a interface com base na opinião dos usuários; documentar o projeto e especificar exatamente como o código será testado e verificado. E a verificação do conhecimento, que tem o objetivo de determinar a correção, completude e consistência do sistema; implementar os procedimentos formais de testes; documentar o resultado dos testes; analisar o resultado dos testes e documentar as recomendações e conclusões.

Avaliação do Sistema Especialista – Tem o objetivo de reconhecer o que foi aprendido e gerar recomendações de melhorias e correções: Sintetizar os resultados dos testes e verificação; recomendar eventuais modificações no sistema; validar a correção do sistema com relação aos requisitos e às necessidades do usuário e se o SBC está completo, relatório final; senão, relatório intermediário.

Tabela 4 - Ciclos de desenvolvimento do SE

	Funções do protótipo SE	Verificação	Validação
1	Aquisição do conhecimento (literatura)	jan/22	mai/22
2	Regras, Classes e explicação	jun/22	out/22
3	Saídas obtidas, Relatórios	nov/22	jan/23

Fonte: Própria.

Como pode ser observado na tabela de ciclos de desenvolvimento do protótipo SE (Tabela 4), obteve-se as três etapas e a evolução das principais funcionalidades e o cronograma com a verificação e validação. Vale destacar que neste processo de desenvolvimento, cada etapa foi verificada pelo Engenheiro de Conhecimento antes de ser submetida aos especialistas para validação.

Para Culbert et al. (1990) o ciclo de vida do Sistema Especialista pode ser dividido em quatro fases: a fase de definição do problema; a fase de protótipo inicial; a fase de protótipo expandido e a fase de entrega/manutenção.

Fase de definição do problema: esta fase é semelhante à fase de definição de requisitos de um programa convencional. O objetivo é definir o que o Sistema Especialista deve fazer. As atividades podem ser divididas da seguinte forma: (1) Discutir a área de domínio geral e os tipos de problemas que os gerentes de sistema gostariam de resolver. Fornecer informações gerais sobre o que são os sistemas especialistas e do que eles são capazes; (2) Identificar quem

são os especialistas e providenciar o acesso a eles. Identificar os usuários do Sistema Especialista; (3) Reunião. Discutir a área do problema com os especialistas, os usuários e os gerentes para garantir um entendimento consistente da finalidade do Sistema Especialista; (4) Entrevistas com especialistas pelo menos duas ou três vezes e ler qualquer documentação aplicável ou material de referência; (5) Entrevistas com usuários potenciais do Sistema Especialista; (6) Selecionar um subconjunto representativo do problema completo que pode ser desenvolvido rapidamente em um protótipo inicial para demonstrar a viabilidade; (7) Examinar as metodologias de representação do conhecimento e escolha uma ferramenta ou *shell* para o desenvolvimento do protótipo.

Fase de Protótipo Inicial: esta etapa é semelhante à fase de projeto de um programa convencional. O objetivo é demonstrar rapidamente a viabilidade do projeto e estabelecer as técnicas de representação do conhecimento mais adequadas. As atividades durante esta fase incluem o seguinte: (1) Desenhar a arquitetura do sistema. Selecionar um método de representação de conhecimento e um mecanismo de inferência; (2) Identificar e definir as interfaces entre o Sistema Especialista e quaisquer fontes externas de informação (bancos de dados, usuários, outros programas, hardware); (3) Construir o protótipo inicial, focando na base de conhecimento e técnicas de inferência. Desenvolver as seções de código apenas conforme necessário para dar suporte aos módulos de raciocínio; (4) Demonstrar a base de conhecimento parcialmente concluída para os especialistas do domínio pelo menos duas ou três vezes.

Fase de Protótipo Expandido: Esta etapa é semelhante à fase de codificação de um programa convencional. O objetivo é expandir as capacidades do Sistema Especialista em toda a sua extensão. As atividades durante esta fase são iterativas e as etapas seguintes podem ser repetidas várias vezes até que um protótipo satisfatório seja concluído. Etapas: (1) Demonstrar o protótipo. Incentivar o uso de problemas reais e casos anteriores para comparação. Este é o momento em que os requisitos se tornam mais consistentes e rígidos; (2) Examinar criticamente o protótipo inicial. O desenvolvimento adicional pode continuar a partir desta base ou pode ser apropriado jogar fora o protótipo inicial (mantendo a base de conhecimento) e começar com um novo modelo; (3) Discutir as necessidades da interface do usuário com os usuários. Ao final desta fase, o Sistema Especialista deve estar totalmente funcional. Como no estágio anterior, todos os requisitos coletados durante este estágio devem ser documentados.

Fase de entrega/manutenção: Nesta etapa, o Sistema Especialista deve primeiro ser transferido para o ambiente de entrega. Depois que o Sistema Especialista estiver em execução no ambiente de destino, o teste final de verificação e validação pode ser feito. Finalmente, após a entrega formal do Sistema Especialista, uma etapa de manutenção pode ser iniciada.

3.3 ENGENHARIA DO CONHECIMENTO

A engenharia do conhecimento fornece orientação sobre quando e como aplicar técnicas específicas de apresentação de conhecimento para resolver problemas específicos. A gestão do conhecimento facilita a obtenção, armazenamento e disseminação do conhecimento usando a tecnologia da informação. Os métodos para gerenciar o conhecimento tornaram-se uma questão relevante e a gestão do conhecimento desenvolveu uma ampla gama de tecnologias e aplicações tanto para pesquisa acadêmica quanto para aplicações práticas (LAI, 2007; WIELINGA et al., 1997).

Sistemas inteligentes, incluindo lógica difusa, redes neurais, computação evolutiva, mineração de dados e otimização são complementares entre si e permitem soluções de novos problemas para manifestar características que geralmente são consideradas sinais de comportamentos inteligentes. A engenharia do conhecimento pode ser considerada como uma mistura composta por inteligência artificial, computação, psicologia e muitos outros campos (LU; RUAN, 2007). Pode-se dividir aproximadamente o desenvolvimento da engenharia do conhecimento no período de transferência de conhecimento e no período de modelagem do conhecimento (STUDER et al., 1998).

O poder de resolução de problemas exibido pelo desempenho de um agente inteligente é principalmente consequência de sua base de conhecimento e apenas secundariamente uma consequência do método de inferência empregado. Os sistemas especialistas devem ser ricos em conhecimento, mesmo que sejam pobres em métodos. Até meados dos anos 1980, a inteligência artificial concentrou sua atenção quase exclusivamente no desenvolvimento de métodos inteligentes de inferência. Mas o poder de seus sistemas não reside no método de inferência, o poder reside no conhecimento. Em segundo lugar, a experiência mostrou que esse conhecimento é, em grande parte, um conhecimento heurístico: julgador, experiencial e incerto. Esse conhecimento geralmente é "privado" para um especialista, não porque o especialista não esteja disposto a compartilhar publicamente o que sabe, mas porque muitas vezes é incapaz de fazê-lo. Esse conhecimento pode ser extraído por uma análise cuidadosa e metódica de uma segunda parte (um engenheiro do conhecimento), operando no contexto de muitos problemas específicos de desempenho (FEIGENBAUM, 1982).

Embora aspectos como acessibilidade, capacidade de aprendizado e usabilidade do conhecimento sejam propriedades importantes do conhecimento em um contexto de gestão do conhecimento, o aspecto mais importante do conhecimento na gestão do conhecimento é seu conteúdo e não sua representação ou implementação. O tamanho do grão usado para descrever

o conhecimento na gestão do conhecimento pode variar de acordo com o escopo e os objetivos das atividades de gestão, mas sem dúvida será maior do que o tamanho do grão usado para a engenharia do conhecimento. Na gestão do conhecimento, normalmente se usa noções de coleções de conceitos, fatos, regras, procedimentos em vez de elementos de conhecimento individuais (WIELINGA et al., 1997). Na engenharia do conhecimento é estabelecido alguns princípios (SHADBOLT; MILTON, 1999):

Princípio 1: Reconhecer que existem diferentes tipos de conhecimento. Os filósofos vêm pensando sobre o conhecimento há milhares de anos. Parte de seu esforço tem sido a identificação de diferentes tipos de conhecimento. Uma distinção é entre conhecimento declarativo (conhecimento dos fatos) e conhecimento processual (conhecimento de como fazer as coisas). Uma maneira popular de pensar sobre isso é a diferença entre “saber que” e “saber como” (Ryle, 1949). Essa distinção foi reconhecida e usada por muito tempo na psicologia. Na engenharia do conhecimento, esses dois tipos são frequentemente chamados de conhecimento estático e conhecimento dinâmico.

Outra classificação bem conhecida de conhecimento é a de conhecimento tácito (não pode ser articulado com facilidade) e conhecimento explícito (pode ser articulado com facilidade). Uma maneira particularmente importante de classificar o conhecimento é até que ponto ele é abstrato (aplica-se a muitas situações) ou específico (aplica-se a uma ou algumas situações). O campo da lógica também inspirou outros tipos importantes de conhecimento: conceitos, atributos e valores.

Princípio 2: Reconhecer que existem diferentes tipos de especialistas – e *expertise*. Não só existem diferentes tipos de conhecimento, mas existem diferentes tipos de especialistas. É importante identificar os diferentes tipos de especialistas envolvidos em um projeto e adaptar os métodos de acordo. A diferença entre o conhecimento que pode ser articulado facilmente e o conhecimento que não pode ser articulado facilmente é uma distinção muito importante tanto para a engenharia do conhecimento quanto para a gestão do conhecimento. Psicólogos e engenheiros do conhecimento descobriram que os especialistas variam em quão bem eles podem articular seu conhecimento. Isso ocorre porque a natureza do conhecimento dos especialistas varia de acordo com seu treinamento e experiência.

Existem diferentes tipos de especialistas, desde aqueles cujo conhecimento de um domínio é quase completamente tácito, até aqueles cujo conhecimento é quase completamente explícito. Além das diferenças na capacidade de articular o conhecimento, os especialistas variam em quão bem eles se lembram de informações em um determinado contexto. Estudos em psicologia têm mostrado repetidamente que os especialistas não são capazes de lembrar as

mesmas coisas durante as entrevistas do que quando estão realizando uma tarefa. Além disso, a capacidade de recordar a mesma informação em diferentes tarefas pode variar entre os indivíduos. Por exemplo, aqueles com experiência em ensinar outras pessoas em uma sala de aula geralmente são melhores em explicar seus conhecimentos do que aqueles sem tal experiência. Outro ponto é que os especialistas podem variar na validade do conhecimento que podem articular, as pessoas são tendenciosas e propensas a erros quando tentam explicar algo e tentam manter uma boa impressão ou se exhibir, racionalizam ou interpretam mal o que acontece. Em vista disso, os engenheiros do conhecimento criaram vários métodos para superar esses problemas, como agregar conhecimento de várias fontes e validar conhecimento entre fontes.

Princípio 3: Reconhecer que existem diferentes maneiras de representar o conhecimento. Uma das grandes conquistas do campo da inteligência artificial é a produção de uma gama de formas de representação do conhecimento. As explicações dessas representações incluem várias formas de lógica, regras e redes semânticas. Produzir diferentes representações do conhecimento é uma parte importante da inteligência artificial, uma vez que a facilidade de resolver um problema é quase completamente determinada pela forma como o problema é conceituado e representado. O mesmo pode ser dito para a tarefa de comunicar conhecimento. Uma analogia bem escolhida, uma anedota ou um diagrama pode fazer toda a diferença na hora de tentar comunicar uma ideia difícil a alguém, principalmente alguém que não é especialista na área.

Princípio 4: Reconhecer que existem diferentes maneiras de usar o conhecimento. As pessoas usam o conhecimento de maneiras diferentes, dependendo da tarefa que estão realizando. Várias maneiras de classificar tarefas foram criadas na engenharia do conhecimento. Uma classificação adaptada e refinada a partir de ideias em psicologia é uma hierarquia de tarefas intensivas em conhecimento com base no tipo de problema que está sendo resolvido. Os engenheiros do conhecimento criaram modelos que definem o tipo de conhecimento que formam as entradas e saídas da tarefa, bem como o conhecimento é transformado para satisfazer um objetivo ou conjunto de objetivos. Isso pode não apenas aumentar a eficiência da análise de tarefas e modelagem de processos, mas também permite identificar como o mesmo conhecimento é usado de forma diferente dependendo do contexto em que é usado.

Princípio 5: Usar métodos estruturados. Este princípio segue os quatro primeiros. É mostrado que existem diferentes tipos de conhecimento, diferentes tipos de especialistas, diferentes formas de representar o conhecimento e diferentes formas de usar o conhecimento. Portanto, é preciso uma maneira de relacionar esses tipos de conhecimento, especialistas,

representações e tarefas em conjunto para realizar uma atividade orientada ao conhecimento. Para isso, são necessários métodos bem definidos e estruturados de forma que as técnicas e ferramentas corretas sejam utilizadas dependendo da situação e, principalmente, dos objetivos envolvidos. Usando esses métodos, ninguém tentará entrevistar especialistas sobre conhecimentos que eles não podem articular ou representá-los de uma forma que ninguém entenderá, por exemplo.

3.4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

O objetivo de qualquer método é produzir um código confiável e que seja verificável. Um método de desenvolvimento de software para sistemas especialistas deve servir a um propósito semelhante ao software convencional. O principal obstáculo para verificação e validação eficaz é o uso de métodos que não produzem requisitos rastreáveis e testáveis (CULBERT et al., 1990).

A verificação, portanto, desempenha um papel importante na garantia da confiabilidade dos sistemas especialistas e é do interesse de todos os criadores de sistemas especialistas garantir que a verificação seja realizada em seus sistemas antes dos métodos tradicionais de teste. A verificação está intimamente ligada à atividade de aquisição de conhecimento, na medida em que as anomalias reveladas na base de conhecimento orientarão o próximo ciclo de aquisição de conhecimento e refinamento da base de conhecimento (PREECE, 1992).

Considera-se que a verificação significa verificar uma base de regras para anomalias como conhecimento redundante ou deficiente. É definido formalmente quatro tipos de anomalia com base na semântica da lógica, alguns dos quais com vários casos especiais: Redundância (Regras inutilizáveis e regras redundantes), Ambivalência (Conjuntos de regras conflitantes), Circularidade (circuito de inferência), Deficiência (Regras ausentes e valores ausentes) (PREECE, 1992).

A verificação visa eliminar erros no sistema e é normalmente uma tarefa de software e programação. A validação está mais preocupada com a qualidade do sistema, a medida em que executa sua tarefa, o grau de precisão e a robustez. Implicitamente, a verificação faz parte da validação (KEEFE; PREECE, 1996). A validação é realizada comparando os resultados fornecidos pelo protótipo com os apresentados. Ao validar um sistema baseado em regras, os usuários querem ter certeza de que o sistema funcionará adequadamente em todos os casos; isto é, que as regras que o sistema aplica em cada caso sejam apropriadas.

4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA

4.1 AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

O processo de aquisição de conhecimento é uma parte relevante para o desenvolvimento do Sistema Especialista, neste processo é identificado quais conhecimentos serão adquiridos bem como os métodos utilizados para essa aquisição. Neste trabalho, o conhecimento foi obtido por meio dos especialistas, sendo complementado por literatura da área, como o trabalho base a esta tese de David et al. (2021), que teve como objetivo a identificação de aspectos potenciais para gestão de sistemas solares fotovoltaicos em residências. David et al. (2021) ainda propõe uma lista de aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências, fornecendo uma importante referência para o mapeamento, comparação, evolução e investimento adequado para a avaliação dos tomadores de decisão.

Todas as regiões do Brasil foram escolhidas devido aos diferentes fatores presentes em legislações de energia, podendo assim contribuir com diversos setores em todas as regiões. Da mesma forma, o grupo de especialistas da área de energia solar previamente selecionado no trabalho de David et al. (2021) passou a fazer parte deste estudo.

Como forma de explicar com mais detalhes é colocado de maneira esquematizada cada etapa do processo de aquisição do conhecimento. Na Figura 8 é abordado de forma visual todos os recursos usados. Com detalhes, no item a) da Figura 8 é mostrado o questionário que os cinco especialistas responderam, vale dizer que uma parte dele se encontra no APÊNDICE A para poder ser observado algumas perguntas e respostas obtidas. No item b) da Figura 8 é mostrado o marco legal da microgeração e minigeração distribuída no Brasil, que prevê toda a legislação para o sistema de compensação de energia elétrica com a instalação de energia solar fotovoltaica (de forma completa no ANEXO A).

O item c) um artigo científico que este trabalho usa como base e consta com todos os detalhes em “1.3 JUSTIFICATIVA”. O item d) engloba um relatório governamental que possui uma vasta gama de informações a respeito da energia solar no Brasil e foi usado como aquisição do conhecimento bem como de forma secundária na presente tese.

E por fim, o item e) engloba todos os documentos adicionais, como: outros artigos científicos com relevância significativa; publicações de associações e agências do setor (sendo estes dois primeiros mencionados devidamente referenciados ao longo do trabalho) e informações obtidas a partir do método.

4.1.1 Tarifação

Em relação a legislação energética, o Brasil é regido pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL, sendo responsável pelas diretrizes que as concessionárias de energia devem seguir. Como se tem bastante diversidade em todo o território nacional (aspectos geográficos, ambientais e econômicos), tipos de modalidade tarifárias diferentes são aplicadas para se adequarem à demanda do consumidor local.

Existem as tarifas A e B, sendo A para potências de transformadores maiores de médias e altas tensões (entre 112,5 a 1000 kVA) e B para consumidores com baixa tensão (transformadores de 15 a 75 kVA). Dentro dessas duas categorias existem várias características (ANEEL, 2022).

Os consumidores que usam a modalidade do grupo A tem a tarifação binômia, que são cobrados pela energia que consomem em kWh/mês e pela potência contratada (a demanda contratada em kW). Para os consumidores do grupo B existe a tarifação monômia, que são cobrados apenas pela energia que consomem em kWh/mês independente de potência.

Os consumidores do grupo A possuem 2 modalidades de tarifas: a Horária Verde e a Horária Azul, que são focadas no uso em relação ao horário de consumo. A tarifação binômia é caracterizada pela demanda inferior a 150 kW (quando se têm valores superiores a esta quantidade, é obrigatório escolher uma tarifa horária) e pelas diferenças na cobrança do kWh que se diferencia em relação a Ponta e Fora Ponta (uso em horários específicos no dia). Além dos valores correspondentes a Ponta e Fora ponta, tem o valor específico de demanda contratada, que dependerá do correto dimensionamento e controle para não haver ultrapassagens dessa quantidade e gerar multas para o consumidor (ANEEL, 2022).

Existem também algumas reduções de custos a partir de alguns enquadramentos de perfis como na classe rural, grupo A 10%, Grupo B 60%, irrigação 70 a 90% no Grupo A e 60 a 73% no Grupo B. No enquadramento de irrigação (usadas comumente no Nordeste) dependendo de outros fatores como negociações com a própria concessionária, pode haver ainda mais desconto, que pode ser de 98% num determinado horário reservado para consumo (ANEEL, 2022).

A fim de uma exemplificação básica, tomamos como exemplo um consumidor do grupo B, modalidade B2 (bombeamento de água para irrigação) que tem uma média de consumo de 6000 kWh/mês. No acordo feito pela concessionária, desses 6000 kWh/mês ele consome 2.600 kWh/mês no horário reservado, nesse horário o kWh custa R\$ 0,098. Sendo assim, ele irá pagar R\$ 2.040,00 (referente aos 3.400 kWh/mês fora do horário reservado, $3400 \times 0,6$)

mais R\$ 254,80 (referente aos 2.600 kWh/mês dentro do horário reservado, $2600 \times 0,098$), totalizando R\$ 2.294,80.

4.1.2 Seleção dos especialistas

A seleção dos especialistas teve como critério a definição de um perfil no qual vários critérios foram necessários (DAVID et al., 2021). Nesse sentido, foram elaboradas para este trabalho as características aos cinco especialistas selecionados. Para obter informações aprofundadas do conhecimento empírico, a escolha deste grupo foi considerada crucial para o desenvolvimento deste trabalho. Algumas características para o perfil selecionado foram especificadas como: os cargos ocupados pelos especialistas que são em empresas de instalação de Sistema Fotovoltaicos Conectados à rede; membros de associações que representam e promovem o setor fotovoltaico brasileiro no País, como por exemplo, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR); ou por pessoas que tenham uma experiência comprovada na área pesquisada, porém com o foco em gestão. Como características secundárias, têm-se: experiência na área de mais de cinco anos; ter disponibilidade para responder a pesquisa em tempo hábil, entendendo e repassando as informações requeridas.

Em relação a aspectos gerais, características como se expressar com clareza não só seu conhecimento formal, mas principalmente sua própria experiência, pois não seriam úteis frases como “a solução é óbvia” ou “não sei explicar, apenas sei que é assim”, mesmo vindas de especialistas qualificados e reconhecidos. Outro detalhe é a proximidade do especialista, embora a comunicação por meio da internet seja um grande facilitador, às vezes o domínio de conhecimento exige a presença do especialista para dar detalhes de um determinado processo.

4.1.3 Processamento de documentos

Uma vez finalizado o processo de seleção de especialistas, o passo seguinte foi o de estabelecer um cronograma de reuniões e métodos de transferência de informações e conhecimento, que possibilitasse a participação de todos os cinco especialistas.

Duas pesquisas independentes realizadas no trabalho de David et al. (2021) foram utilizadas como base para elaboração do presente trabalho. De acordo com David et al. (2021) ambas as pesquisas foram aplicadas separadamente por meio de questionários ao mesmo grupo de especialistas. O objetivo foi de colher informações sobre aspectos potenciais para a implantação de sistema fotovoltaico em residências. Os questionários foram submetidos aos

especialistas por meio da aplicação da ferramenta Survey Monkey (www.surveymonkey.com), pela qual um link específico de acesso foi enviado a cada um deles por meio de e-mails. O retorno das informações foi coletado diretamente pela plataforma, tabulado e em seguida analisado, visando preparar material para as demais etapas da pesquisa.

A primeira pesquisa do trabalho de David et al. (2021) teve como objetivo identificar os aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências (foi utilizado um questionário aberto). Os aspectos obtidos foram analisados e unificados quando obtinham o mesmo significado a fim de diminuir a quantidade.

A segunda pesquisa do trabalho de David et al. (2021), que foi submetido aos mesmos especialistas da primeira pesquisa, contou com seis questões no total em relação aos aspectos pontuando de acordo com suas opiniões e experiências os pesos de um sobre o outro, para obter matrizes de comparação individuais. Com os resultados obtidos, foi possível fazer a divisão em dois grupos desses aspectos e obter também uma lista de prioridades deles.

Na primeira etapa deste trabalho, cada especialista do grupo reuniu informações adicionais do setor de energia solar em residências com que trabalham (consumos e características de projetos) com o objetivo de propiciar um entendimento e alinhamento geral ao Engenheiro de Conhecimento. Estas informações permitem ao EC planejar a abordagem direta junto aos especialistas, bem como estabelecer e alinhar as informações deles.

Destacaram-se nesse processo as seguintes análises: dos consumos de energia, dos comentários dos especialistas referentes aos aspectos levantados no trabalho de David et al. (2021), análise de modalidade tarifária, características sobre condições físicas e climáticas no local de instalação (visita técnica) e formas de pagamento do sistema fotovoltaico.

O resultado desta etapa foi à elaboração de um relatório geral contendo o consenso do grupo de especialistas e Engenheiro de Conhecimento à luz dos conhecimentos adquiridos. Parte do conteúdo deste relatório foi utilizada pelo EC para formar a base do conhecimento do SE.

4.1.4 Abordagem direta

Com base no relatório preliminar que foi elaborado no processamento de documentos, o engenheiro de conhecimento começa o processo de entrevistas aos especialistas. Assim, foram realizadas entrevistas estruturadas (sobre algum assunto específico) e não estruturadas

(perguntas de aspecto generalizado). Ao terminar as entrevistas, foi obtido um resumo desses conhecimentos.

Figura 9 - Processo de entrevista: perguntas

Questão 1: Como especialista na área de energia solar, quais perguntas devem ser feitas para ser viável e favorável se instalar energia solar em residências e/ou indústrias?

(As perguntas podem ser relacionadas a qualquer tema da área pesquisada. Se possível, detalhe ou comente sobre a pergunta que expuser)

Identificação de aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências: "Desconhecimento sobre o tema"; "Falta de prioridade"; "Cultural"; "Uniformização de normas"; "Falta de influenciadores" e "Custos".

Questão 2: Na sua opinião, existe algum comentário que seja pertinente sobre energia solar em residência ou comércio relacionado aos aspectos descobertos no primeiro trabalho? Comentários adicionais.

Fonte: Própria.

Este resumo de conhecimentos foi enviado a todos os especialistas como forma de aprová-lo. O resultado desse trabalho foi à elaboração do relatório geral, o qual foi passado ao grupo de especialistas para análise coletiva e estabelecimento de um consenso. Este tipo de abordagem é importante para evitar alguma interpretação errada. Durante o processo de entrevista foram feitas perguntas como mostrado na Figura 9.

4.1.5 Abordagem observacional

Outra técnica utilizada durante o processo de aquisição do conhecimento foi a abordagem observacional por meio de visitas agendadas a cada um dos especialistas enquanto projetavam os sistemas solares fotovoltaicos. Nessas visitas, o Engenheiro de Conhecimento pode analisar o especialista desenvolvendo atividades e solicitar explicação de cada processo.

Foram levantadas as características e as decisões tomadas pelo especialista nos pontos de interesse do Engenheiro de Conhecimento. Este tipo de abordagem permite revisar detalhadamente, junto ao especialista, os procedimentos e conhecimentos por ele demonstrados ou verbalizados, evitando a imprecisão ou superficialidade na transferência do conhecimento.

Um resumo dos conhecimentos adquiridos por meio da abordagem observacional foi escrito pelo Engenheiro de Conhecimento e enviado aos especialistas para aprovação. O resultado desse trabalho foi a inclusão de conhecimentos adicionais ao relatório geral previamente elaborado, o qual mais uma vez foi passado ao grupo de especialistas para análise coletiva e estabelecimento de um consenso.

4.1.6 Reuniões com especialistas

Em todo processo de aquisição do conhecimento foram realizadas várias reuniões junto aos especialistas, sendo estas individuais. Comunicação por meio de e-mail foi também utilizada bem como encontros presenciais, possibilitando a troca de informações com o objetivo de formalizar o processo e criar rastreabilidade e transparência.

Todas as técnicas apresentadas nessa seção compuseram o processo de aquisição de conhecimento do presente trabalho e é resumido como segue:

- **Processamento de documentos:** Cada especialista foi entrevistado pessoalmente. O resultado desta sessão foi validado individualmente pelos especialistas. No total, foram realizadas cinco entrevistas pessoais.
- **Abordagem direta:** Cada especialista foi entrevistado pessoalmente duas vezes, sendo uma delas estruturada. No total foram realizadas dez entrevistas com os especialistas.
- **Abordagem Observacional:** Cada especialista foi também observado uma vez desempenhando atividades em seu local de trabalho. No total, foram realizadas cinco sessões de observação, uma para cada especialista.

Aproximadamente 105 questões sobre diferentes tópicos do processo de análise foram levantadas. Estas questões foram divididas em grupos e subgrupos, uma vez que existiam diferenças entre as características específicas.

Os principais grupos de questões estruturadas foram:

Grupo A – características de consumo de energia (faixa de consumo adequada, pretensão de aumento de energia)

Grupo B – manutenção (limpeza, troca de inversor solar)

Grupo C – Informações gerais sobre processos que especialistas realizam

Grupo D – informação sobre mudança de modalidade tarifária

Grupo E – Característica de bandeiras tarifárias

Grupo F – Características de modalidades tarifárias de diversas regiões do Brasil

Grupo G – Característica sobre custo de disponibilidade

Grupo H – Venda do excedente de energia solar (nova lei)

Grupo I - Características sobre condições físicas do local de instalação

Grupo J - Características sobre o pagamento do sistema solar

Grupo K – informações sobre lições aprendidas

Grupo L – Perguntas específicas.

Nas entrevistas pessoais, as novas ideias obtidas foram incluídas no próximo questionário para aprimoramento de todo o processo. Foi observado uma redução do número de questões pessoais e adicionais de verificação para os grupos criados. Ao final do processo de aquisição de conhecimento, desenvolveu-se a etapa de representação de conhecimento com vistas à implantação da base de conhecimento do SE. O desenvolvimento desse processo é detalhado na seção 4.2.

4.2 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

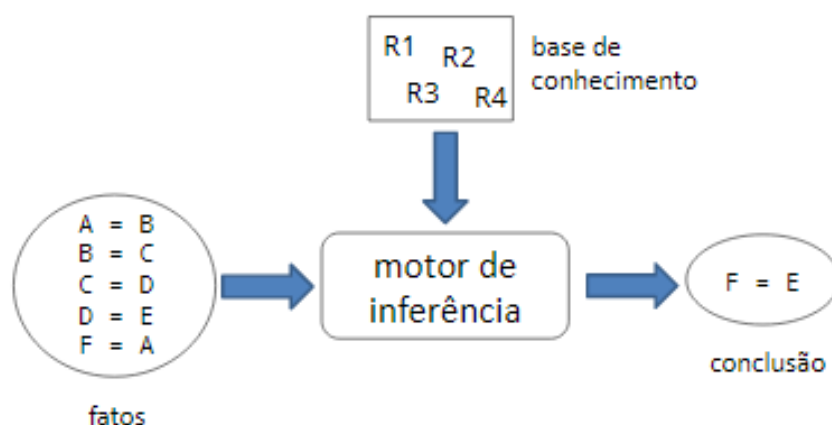
Para este trabalho no que diz respeito a representação do conhecimento, foi utilizado o mecanismo de conjunto de regras, que é identificado como a base de conhecimento. Sendo assim, a ferramenta usada para o desenvolvimento do Sistema Baseado em Conhecimento foi o *CLIPS*, que é uma linguagem de programação baseada em regras útil para criar sistemas especialistas e outros programas onde uma solução heurística e mais fácil de implementar e manter do que uma solução algorítmica.

O *CLIPS* é uma ferramenta de Sistema Especialista e foi projetada para facilitar o desenvolvimento de software para modelar o conhecimento ou a experiência humana. Existem três maneiras de representar o conhecimento no *CLIPS*: (1) Regras, que se destinam principalmente ao conhecimento heurístico baseado na experiência; (2) Funções genéricas, que

se destinam principalmente ao conhecimento processual; e (3) Programação orientada a objetos, também destinada principalmente ao conhecimento processual. Os cinco recursos geralmente aceitos da programação orientada a objetos são as classes, manipuladores de mensagens, abstração, encapsulamento, herança e polimorfismo. As regras podem combinar padrões em objetos e fatos (GIARRATANO, 2023). No *CLIPS*, o EC pode desenvolver um software usando apenas regras, objetos ou uma mistura de objetos e regras, neste trabalho foi usado uma mistura de objetos e regras, que formam um sistema integrado, pois as regras podem combinar padrões em fatos e objetos.

No esquema da Figura 10, pode-se identificar como é caracterizado a base de conhecimento no *CLIPS*, que é representado pelo conjunto de regras e pela orientação a objetos. Sendo assim, uma conclusão só pode ser obtida a partir de tais características e com isso gerar um modelo de relações lógicas entre as regras capazes de estabelecer uma cadeia de inferência (ou linha de raciocínio).

Figura 10 - Base de conhecimento

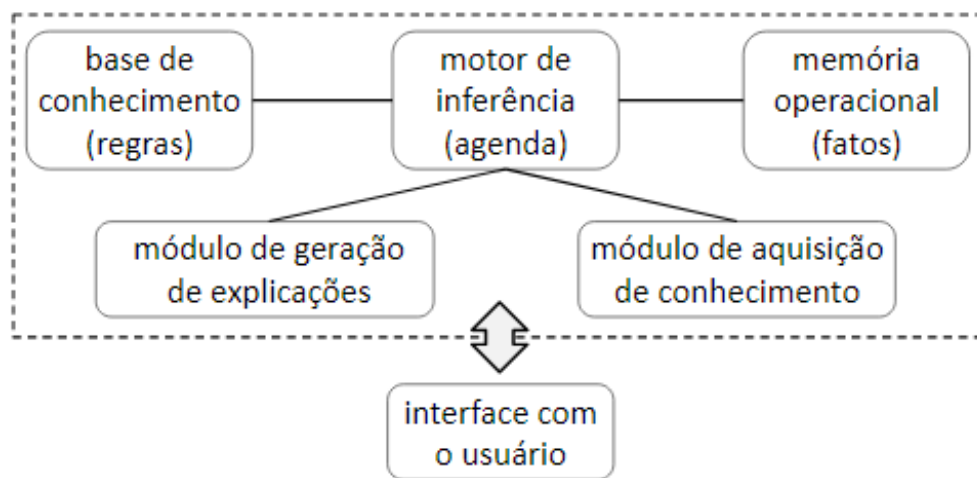


Fonte: MATELLI, 2008.

Ainda no mesmo segmento tem-se a Figura 11, que é um esquema mais detalhado de um Sistema Baseado em Conhecimento. É possível verificar alguns conjuntos como a base de conhecimento, onde estão representadas as regras e que são de longo prazo. Com o tempo essa base é alimentada cada vez mais à medida que novos conhecimentos vão sendo adquiridos, trata-se do desenvolvimento incremental (para este conjunto costuma-se dizer que nunca é finalizado e sim melhorado). Existe também uma memória operacional onde estão guardados os fatos e são de curto prazo pois tende-se a esquecer depois de um tempo. Tem o motor de

inferência associado a agenda no *CLIPS*. Um módulo de aquisição de conhecimento que não é muito utilizado por questões de validação, pois ele cria de forma automática as regras. Existe também um item super relevante que é o módulo de geração de explicações, no qual aborda o entendimento do porquê uma regra específica foi ativada e gerou uma conclusão a partir dela. E por fim a interface com o usuário, em que é abordado toda a interação com o *CLIPS*. Nos parágrafos a seguir é mostrado um exemplo aplicado do estudo.

Figura 11 - Sistema Baseado em Conhecimento



Fonte: MATELLI, 2008.

As regras no *CLIPS* devem estar entre parênteses como também cada um dos padrões de regras e ações. Uma ação é na verdade uma função que normalmente não tem valor de retorno, mas executa alguma ação útil, como um (assert) ou (retract). A regra tem relação direta com as informações das classes que foram definidas. Toma-se como exemplo a regra da Figura 12.

Figura 12 - Regra

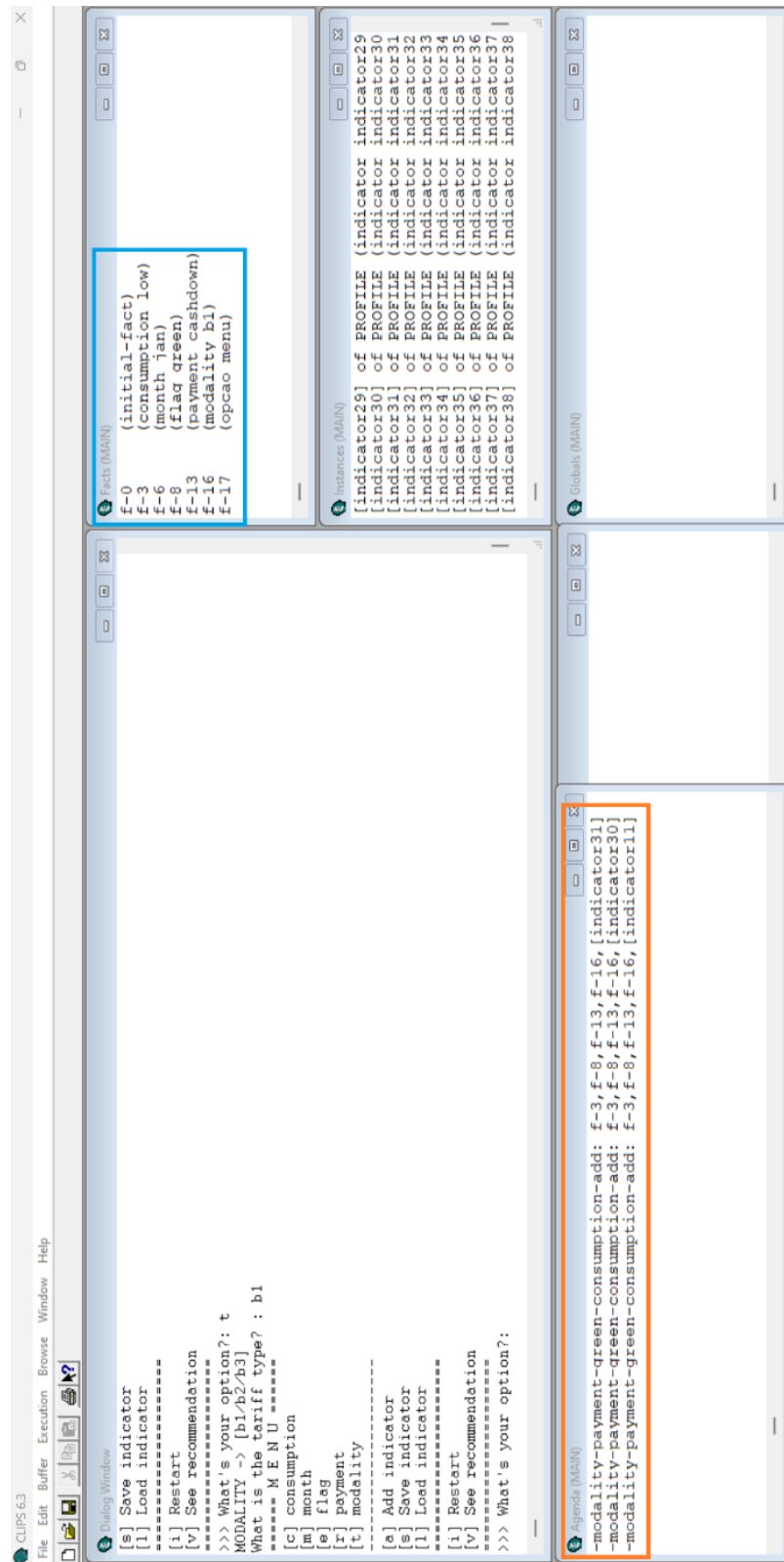
```

400 ;;;1111 - Rule 13.1
401 (defrule rule-modality-payment-green-consumption-add
402   (consumption ?consumption)
403   (flag ?flag)
404   (payment ?payment)
405   (modality ?modality)
406   ?profile <- (object (is-a PROFILE) (modality ?modality) (payment ?payment) (flag1 ?flag ?consumption) )
407 =>
408   (bind ?indicator-profile (send ?profile get-indicator))
409   (assert (recommendation ?indicator-profile) )
410 )
  
```

Fonte: Própria.

O símbolo “ $\Rightarrow$ ” que segue os padrões em uma regra é chamado de seta, no exemplo da Figura 12 é exemplificado na sétima linha. A seta representa o início da parte *THEN* de uma regra *IF-THEN* (e pode ser lida como “implica”). A parte da regra antes da seta é chamada de lado esquerdo (LHS) e a parte da regra após a seta é chamado o lado direito (RHS) (GIARRATANO, 2023).

Figura 13 - Exemplo de interface no CLIPS associado a regra



Fonte: Própria.

Ao colocar as informações de entrada (fatos) como destacado em azul em “Facts (MAIN)” na Figura 13 (Consumo baixo; mês de janeiro; bandeira tarifária verde; tipo de pagamento à vista e modalidade tarifária B1) apareceu na agenda do *CLIPS* “Agenda (MAIN)” destacado em laranja três regras que foram ativadas. Isso ocorreu, pois os três indicadores satisfazem a regra como premissa, porque tanto o indicador 11 quanto os indicadores 30 e 31 tem um consumo parecido, bandeiras tarifárias parecidas e tem a modalidade de tarifa igual.

Vale mencionar que a agenda é caracterizada pela coleção de ativações que são regras que combinam com entidades padrão (zero ou mais ativações podem estar na agenda). Quando várias ativações estão na agenda, o *CLIPS* determina automaticamente qual ativação é apropriada para disparar. O *CLIPS* ordena as ativações na agenda em termos de prioridade crescente ou saliência.

Este é um exemplo aplicado pois os fatos são informações dinâmicas. Os fatos são uma das formas básicas de alto nível para representar informações em um sistema *CLIPS*. Cada fato representa uma informação que foi colocada na lista atual de fatos, chamada de lista de fatos. Os fatos são a unidade fundamental de dados usada pelas regras (GIARRATANO, 2023).

Os fatos podem ser removidos ou retraídos. Quando um fato é retraído, os demais fatos não têm seus índices alterados, podendo haver índices de fatos “faltantes”. Como uma analogia, quando um jogador de futebol deixa um time e não é substituído, os números das camisas dos outros jogadores não são todos ajustados por causa do número ausente (GIARRATANO, 2023). Como o exemplo mostrado na Figura 13, os fatos utilizados foram o <f-0>, <f-3>, <f-6>, <f-8>, <f-13>, <f-16> e <f-17>.

Vale ainda ressaltar, como forma de exemplificação, que as informações de entrada descritas na Figura 13 podem ser todas obtidas na fatura de energia. A fatura de energia contém algumas informações padronizadas independente da concessionária de energia, sendo necessário então somente a análise da fatura para a obtenção dessas informações. Para o exemplo da Figura 13 toma-se como fonte a fatura energética da Figura 14.

Figura 14 - Fatura energética

enel Ampla Energia e Serviços S. A.
Avenida Oscar Niemeyer, nº 2000, Bloco 01, Sala 701, Aqwa Corporate,
Santo Cristo, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 20220-297
CNPJ 33.050.071/0001-58 - Inscrição Estadual: 80.046.561

DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA

CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA B1 RESIDENCIAL-CONV. Residencial Residencial d)	TIPO DE FORNECIMENTO BIFÁSICO	DATAS DE LEITURA 04/12/2023	LEITURA ANTERIOR 04/12/2023	LEITURA ATUAL 03/01/2024	Nº DE DIAS 30	PRÓXIMA LEITURA 02/02/2024
---	---	---------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-------------------------	--------------------------------------

THAMYRES MACHADO DAVID

INSTALAÇÃO / UNIDADE CONSUMIDORA	
Nº DO CLIENTE	

MÊS/ANO 01/2024	VENCIMENTO 10/01/2024 b)	TOTAL A PAGAR R\$ 220,09
---------------------------	------------------------------------	------------------------------------

INFORMAÇÕES FISCAIS

NOTA FISCAL Nº 049003668 - SÉRIE ÚNICA / DATA DE EMISSÃO: 03/01/2024
EMITIDO EM CONTINGÊNCIA - Pendente de Autorização
Consulte pela Chave de Acesso em:
<http://dfe-portal.sefazvirtual.rs.gov.br/NF3e/consulta>
chave de acesso:
3324 0133 0500 7100 0158 6600 0049 0036 6820 1648 8098
Protocolo de autorização: 3332400000025632 - 03/01/2024 às 10:37:14-03:00
CFOP 5258: VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA A NÃO CONTRIBUINTE
Data de apresentação: 03/01/2024

MENSAGENS IMPORTANTES

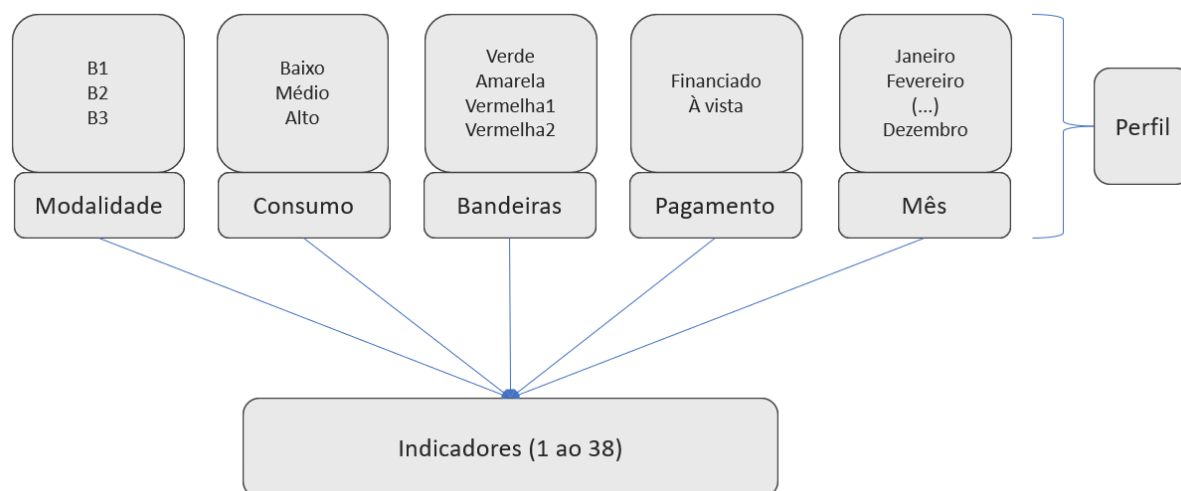
Períodos: Band. Tarif.: Verde : 05/12 - 03/01 Bandeira verde em janeiro/24, sem custos adicionais na fatura. Informações: www.aneel.gov.br

DESCRIÇÃO DO FATURAMENTO								Tributos		Base Calc (R\$)		Alíquota (%)	Valor (R\$)	CONSUMO / kWh			
Item de Fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc ICMS (R\$)	Alíquota ICMS	ICMS	Tarifa unit (R\$)	PIS/PASEP	COFINS	ICMS		MÊS/ANO	CONSUMO FATURADO (kWh)	DIAS	TIPOS DE FATURAMENTO
Energia Ativa Fornecida TE	kWh	230	0,38157	87,76	3,10	87,76	18,00%	15,79	0,29946	213,52	0,78	1,66		JAN/24	230,00	29	LIQ
Energia Ativa Fornecida TUSD	kWh	230	0,75052	172,62	6,11	172,62	18,00%	31,07	0,58888	213,52	3,54	7,55		FEB/24	211,00	30	LIQ
CIP - ILLUM PUB PREF MUNICIPAL				14,65	0,00	0,00	0,00%	0,00		280,36	18,00	46,86		MAR/24	179,00	30	LIQ
														ABR/24	184,00	31	LIQ

Fonte: Própria.

A primeira informação diz respeito ao consumo e aparece no *CLIPS* (Figura 13) como “consumption”. Essa informação é dada como “low” pois na interface com o usuário é perguntado se este consumo é baixo, médio ou alto; sendo identificado como baixo o consumo entre 200kWh/mês e 400kWh/mês. No item da fatura de energia (Figura 14) destacado em vermelho item a) aparece o histórico de consumo dos últimos 4 meses, sendo necessário somente calcular a média desse consumo $[(230 + 211 + 179 + 184) / 4] = 203,5$ kWh/mês. O segundo aspecto perguntado é o mês de referência da fatura de energia, sendo o exemplo identificado como mês de janeiro (destaque em cinza item b). O terceiro aspecto diz respeito a bandeira tarifária vigente, no exemplo é constatada a verde que está destacada em amarelo item c). O quarto aspecto é pessoal e diz respeito sobre a forma que será feito o pagamento do sistema fotovoltaico, se será pago à vista ou parcelado, no exemplo citado optou-se por pagamento à vista, identificado na interface (Figura 13) como “cashdown”. O quinto e último item solicitado é a modalidade tarifária, presente na fatura de energia como B1 destacado em roxo item d).

Figura 15 - Entradas utilizadas no Sistema Baseado em Conhecimento



Fonte: Própria.

No que diz respeito as entradas utilizadas no Sistema Baseado em Conhecimento, a Figura 15 identifica cada aspecto e suas relações secundárias. O “PERFIL” de consumidor é interagido com a “MODALIDADE” tarifária e tem como opções “B1”, “B2” e “B3”; o aspecto “CONSUMO” que pode ser “BAIXO”, “MÉDIO” e “ALTO”; as “BANDEIRAS” tarifárias caracterizadas por “VERDE”, “AMARELA”, “VERMELHA1” (patamar 1) e “VERMELHA2” (patamar 2); e por fim o “PAGAMENTO”, sendo “À VISTA” ou “FINANCIADO”.

4.2.1 Heurísticas

Heurística é o conhecimento com relações informais devido a convivência prática de causa e efeito originado a partir da experiência prática, é o modo de se relacionar informalmente com o domínio. Essas relações informais de causa e efeito é chamado de heurística. De forma resumida, são atalhos mentais pela recorrência de convivência com determinado problema ou aspectos que permite obter rapidamente a solução ou inferência respectivamente. Pode-se dizer que método de inferência heurística aplicado ao Sistema Especialista é baseado na conclusão a partir de regras práticas fundamentadas na experiência (BINGHAM E EISENHARDT, 2011).

Vale ainda dizer que um conjunto de especialistas pode não ter uma mesma opinião sobre determinado problema e mesmo assim ser obtido por cada um uma solução viável, pois não necessariamente os especialistas chegam na resolução da mesma forma, em vista de justamente terem tido experiências diferentes em iguais situações.

Um exemplo aplicado ao presente estudo refere-se ao seguinte trecho da análise da validação, em que se é questionado sobre o uso de um medidor inteligente, pois o uso desse medidor isenta o consumidor de falhas e erros nas medições de energia mensal gerada e consumida. O especialista prontamente responde que *o uso do medidor ainda não faz um impacto significativo e talvez não deva ser considerado no estudo e ainda comenta que se um consumidor com um sistema solar instalado venha a ter um problema relacionado a medição, é necessário somente sinalizar a concessionária do possível erro e ele fará a verificação, constatado o erro a concessionária o corrige e credita a energia “perdida” no próximo mês, frisando que assim não há uma interferência significativa*. Outro exemplo diz respeito sobre o aspecto do consumidor ter pretensão de mudança de residência nos três anos seguintes a instalação do sistema de energia solar, pois a pretensão de mudança de residência incorre num custo adicional com homologação de projeto e custo de instalação, o especialista responde que *este aspecto não precisa ser considerado em vista de que os consumidores que decidem colocar um sistema solar em sua residência não tem pretensão de mudança de casa*.

4.3 ESTRUTURA FUNCIONAL – IMPLANTAÇÃO COMPUTACIONAL

Características do Sistema Especialista

O Sistema Especialista apresenta as seguintes características específicas:

- O protótipo é direcionado para pessoas com nenhum ou pouco conhecimento sobre energia solar, seu funcionamento e aplicações. Foi todo pensado e elaborado para auxiliar este tipo de usuário, não devendo ser usado por usuários que tenham conhecimento sobre a fonte de energia estudada na tese. A necessidade foi percebida pois é uma fonte de energia relativamente nova no qual muito pessoas ainda não tem conhecimento, mesmo se tendo leis de incentivos para usuários residenciais.

- Indica recomendação/orientação a adoção ou não de energia solar para o usuário e gera um relatório contendo uma análise individual. Antes do relatório individualizado e característico para o usuário, é gerado também uma lista de conceitos básicos para se ter entendimento do relatório.

- É utilizado um shell (*CLIPS*) que permite o foco somente no domínio e na base de conhecimento, ao invés de se ocupar da programação altamente técnica dos aspectos cognitivos de sistemas especialistas.

- O relatório obtido pelo usuário o permite ter uma visão global da sua decisão para se instalar energia solar fotovoltaica, pois é ministrada poucas perguntas (entradas) no qual disponibiliza para este usuário um apoio secundário para sua decisão. O protótipo não disponibiliza dados de dimensionamentos e *payback* por exemplo, em vista de existirem vários softwares com tal finalidade.

- No relatório é abordado os seguintes aspectos: modalidade tarifária; tipos de tarifas; aspectos de geração distribuída; custo de disponibilidade; aspectos de kWh/mês e custo nivelado de eletricidade.

- A estratégia de ser poucas perguntas do Sistema Especialista (SE) ao usuário é um importante requisito do projeto. De acordo com o consenso do grupo de desenvolvimento (EC e os especialistas), um número grande de perguntas poderia desmotivar o uso da ferramenta pois poderia complicar o entendimento do usuário que tem como característica justamente não ter um conhecimento aprofundado sobre o assunto.

Nesse sentido, após todas as entradas solicitadas pelo software serem informadas, o protótipo de SE tem como função, então, propor as recomendações e indicações para a adoção de energia solar fotovoltaica de acordo com o perfil informado por meio da geração do relatório explicativo e detalhado sobre a recomendação.

4.3.1 Orientação a objeto

O programa base deste estudo, o *CLIPS*, é caracterizado por ser um software de domínio público mantido independentemente. O *CLIPS* é chamado de ferramenta de Sistema Especialista porque é um ambiente completo para desenvolvimento de sistemas especialistas que inclui recursos como um editor integrado e uma ferramenta de depuração. Nesse sentido, temos a palavra *shell*, que é reservada para aquela parte do *CLIPS* que realiza inferências ou raciocínios. O Shell é a ferramenta de propósito específico, projetada para certos tipos de aplicação na qual apenas a base de conhecimento é programada. As vantagens são: evitar a

programação do motor de inferência; evitar a manutenção do motor de inferência; concentrar os esforços da equipe na elaboração da base de conhecimento; manter o foco no domínio do conhecimento; tornar a verificação e validação menos difícil. O *shell CLIPS* fornece os elementos básicos de um Sistema Especialista: (I) lista de fatos e lista de instâncias: memória global para dados; (II) base de conhecimento: contém todas as regras, a base de regras; e (III) mecanismo de inferência: controla a execução geral das regras. Sendo assim o *shell* escolhido é o *CLIPS* (RILEY, 2021).

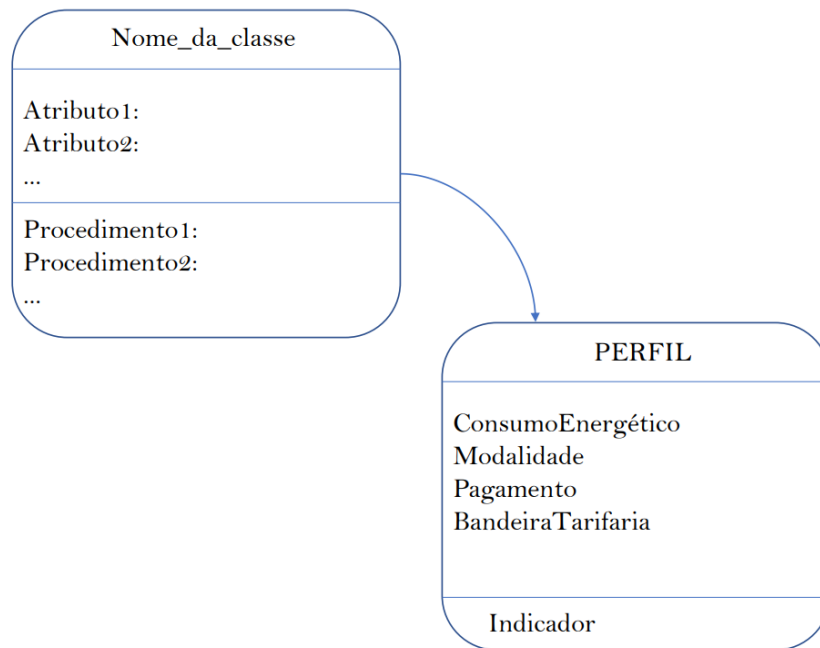
Vale dizer que o conhecimento relacionado ao objetivo do trabalho, desenvolver um Sistema Especialista para diagnóstico preliminar e avaliação de energia solar para residências e comércios, é representado na forma de regras e orientação a objetos e que problemas de síntese apresentam naturalmente encadeamento direto.

A orientação a objetos utilizada no estudo se caracteriza como um paradigma de programação que permite implementar o conhecimento representado através de quadros e rede semânticas, que facilita o gerenciamento e a expansão do código computacional e pode servir também como modo de representação do conhecimento. É baseada em quatro conceitos fundamentais: Abstração; Herança; Polimorfismo e Encapsulamento.

Abstração: engloba a escolha das classes e respectivos atributos e procedimentos relevantes para a representação do conhecimento. Sendo assim, um objeto é um modelo de alguma entidade do mundo real, sendo estas representadas através de classes. Uma classe é descrita por uma coleção de atributos e procedimentos e um objeto específico de uma classe é uma instância dela. Um objeto no *CLIPS* é definido como um símbolo (*symbol*), uma expressão (*string*), um número decimal (*a floating-point*), um número inteiro (*integer number*) ou um valor de vários campos (*a multifield value*).

No presente trabalho, as classes foram divididas da seguinte forma (Figura 16): Os atributos como “consumo”, “modalidade”, “pagamento”, “bandeira tarifária” e procedimento como sendo o “indicador” de saída. Para essa sintaxe foram utilizados os objetos de “*SYMBOL*” e “*FLOAT*” nos atributos.

Figura 16 - Classes



Fonte: Própria.

Como forma de relacionar com a programação do *CLIPS*, a Figura 17 mostra como foi especificada a classe em “*Defclasses*” que descreve exatamente como será abordado cada aspecto e os objetos (*SYMBOL* e *FLOAT*) utilizados e as instâncias correspondente programadas no *CLIPS*. No total foram definidos 38 perfis de consumidores.

Figura 17 - Defclasses

```

5 ;; - consumption :: low/medium/high
6 ;; - month      :: jan/feb/mar/apr/may/jun/jul/aug/sep/oct/nov/dec
7 ;; - flag       :: green/yellow/red1/red2
8 ;; - payment    :: cashdown/funded
9 ;; - modality   :: b1/b2/b3
10 ;;
11 ;;
12 ;;=====
13
14
15 ;;*****
16 ;;* DEFCLASSES *
17 ;;*****
18
19 (defclass PROFILE (is-a USER)
20   (slot indicator (type SYMBOL) )
21   (slot modality  (type SYMBOL) (allowed-values b1 b2 b3 ) (default b3) )
22   (slot tariff    (type FLOAT) )
23   (slot payment   (type SYMBOL) (allowed-values cashdown funded ) (default funded) )
24   (multislot flag1 (type SYMBOL) )
25   (multislot flag2 (type SYMBOL) )
26   (multislot flag3 (type SYMBOL) )
27   (multislot flag4 (type SYMBOL) )
28 )
  
```

Figura 17 - Defclasses

```

32 ;;* DEFINSTANCES *
33 ;;*****
34
35 (definstances PROFILE_BRASIL "Profile of Brasil"
36   (indicator1 of PROFILE
37     (indicator indicator1)
38     (modality b1)
39     (tariff 0.8)
40     (payment cashdown)
41     (flag1 green medium)
42     (flag2 yellow low)
43     (flag3 red1 high)
44     (flag4 red2 high)
45   )
46   (indicator2 of PROFILE
47     (indicator indicator2)
48     (modality b1)
49     (tariff 1.1)
50     (payment cashdown)
51     (flag1 green medium)
52     (flag2 yellow low)
53     (flag3 red1 high)
54     (flag4 red2 high)
55   )
56   (indicator3 of PROFILE
57     (indicator indicator3)
58     (modality b1)
59     (tariff 1.05)
60     (payment cashdown)
61     (flag1 green medium)
62     (flag2 yellow low)
63     (flag3 red1 high)
64     (flag4 red2 high)
65   )
66   (indicator4 of PROFILE
67     (indicator indicator4)
68     (modality b2)
69     (tariff 0.9)
70     (payment cashdown)
71     (flag1 green medium)
72     (flag2 yellow low)
73     (flag3 red1 high)
74     (flag4 red2 high)
75   )
76   (indicator5 of PROFILE
77     (indicator indicator5)
78     (modality b2)
79     (tariff 0.8)
80     (payment cashdown)
81     (flag1 green medium)
82     (flag2 yellow low)
83     (flag3 red1 high)
84     (flag4 red2 high)
85   )
86   (indicator6 of PROFILE
87     (indicator indicator6)
88     (modality b2)
89     (tariff 1.05)
90     (payment cashdown)
91     (flag1 green medium)
92     (flag2 yellow low)
93     (flag3 red1 high)
94     (flag4 red2 high)
95   )
96   (indicator7 of PROFILE
97     (indicator indicator7)
98     (modality b1)
99     (tariff 0.9)
100    (payment cashdown)
101    (flag1 green medium)
102    (flag2 yellow low)
103    (flag3 red1 high)
104    (flag4 red2 high)
105  )
106  (indicator8 of PROFILE
107    (indicator indicator8)
108    (modality b1)
109    (tariff 1.1)
110    (payment cashdown)
111    (flag1 green medium)
112    (flag2 yellow low)
113    (flag3 red1 high)
114    (flag4 red2 high)
115  )
116  (indicator9 of PROFILE
117    (indicator indicator9)
118    (modality b1)
119    (tariff 1.1)
120    (payment cashdown)
121    (flag1 green medium)
122    (flag2 yellow low)
123    (flag3 red1 high)
124    (flag4 red2 high)
125  )
126  )

```

Fonte: Própria.

Herança: Classes podem ser hierarquizadas em superclasses, classes e subclasses. Uma subclasse herda procedimentos e atributos de sua classe superior e o mesmo ocorre com atributos, que são aqueles definidos na superclasse e são herdados pelas subclasses.

Polimorfismo: caracterizado pelos procedimentos herdados que podem assumir diferentes formas em diferentes classes, em outras palavras, polimorfismo é a capacidade de diferentes objetos responderem à mesma mensagem de maneira especializada.

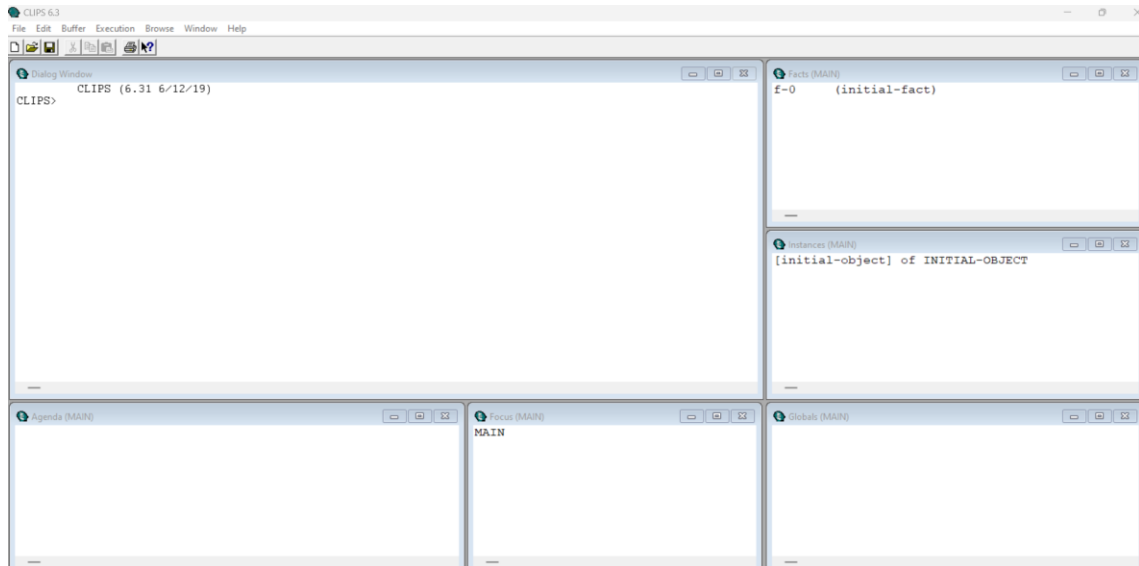
Encapsulamento: é a validade restrita de um procedimento no contexto de uma classe, a forma que um mesmo procedimento assume no contexto de uma classe é válida apenas neste contexto. Assim, se algum procedimento for modificado, isto não afeta os procedimentos dos demais. Os procedimentos, indicadores nesse estudo, são encapsulados, significando que são válidos apenas no contexto da classe em que estão definidos, o que contribui para facilitar o gerenciamento e alguma alteração ou inclusão posterior no código.

4.3.2 Interface

O *CLIPS* tem janelas para comunicação com o usuário. A Figura 18 mostra a janela de fatos (*facts MAIN*); a janela instâncias (*instances MAIN*) que exhibe os objetos e os atributos,

tem também a janela global (*globals MAIN*) que registra as variáveis globais, que são aquelas que possuem validade que transcende o contexto das regras.

Figura 18 - Janelas do *CLIPS*



Fonte: Própria.

Existe também duas janelas importantes, a janela de diálogo (*dialog window*) e agenda (*agenda MAIN*). A agenda é a lista de todas as regras que têm suas condições satisfeitas (e ainda não foram executadas). Cada módulo tem sua própria agenda. A agenda funciona de forma semelhante a uma pilha (a regra principal da agenda é a primeira a ser executada). Quando uma regra é ativada recentemente, sua colocação na agenda é baseada (em ordem) nos seguintes fatores:

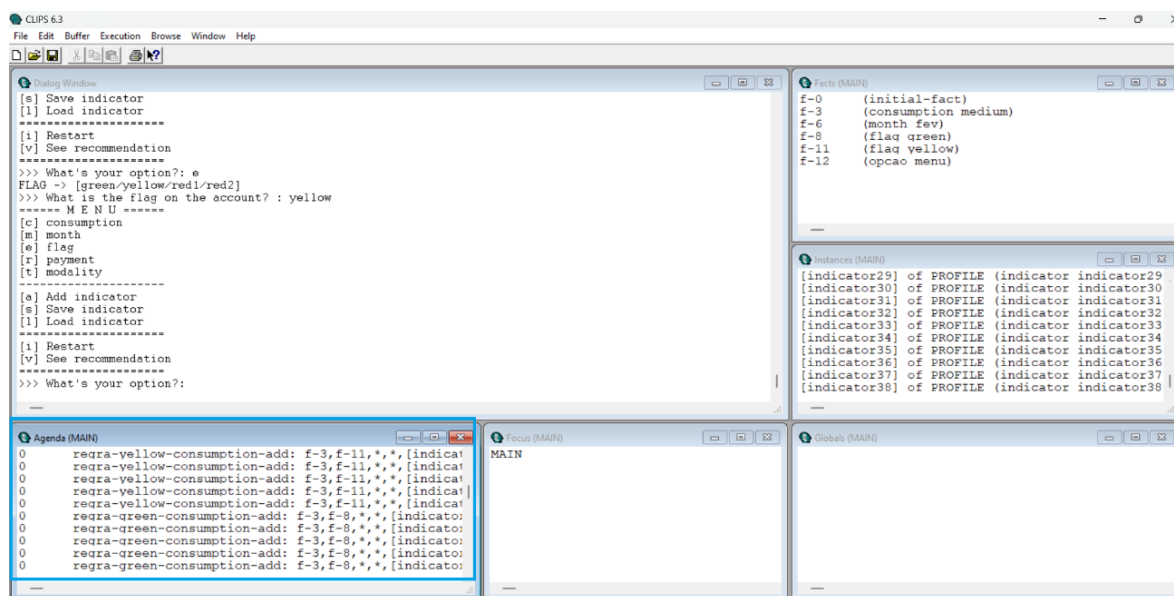
a) As regras recém-ativadas são colocadas acima de todas as regras de menor relevância e abaixo de todas as regras de maior saliência;

b) As ações do lado direito (RHS) da regra selecionada são executadas. O uso da função *return* no RHS de uma regra pode remover o foco atual da pilha de foco. O número de regras disparadas é incrementado para uso com o limite de disparo de regras.

c) Se uma regra é ativada (juntamente com várias outras regras) pela mesma afirmação ou retratação de um fato, e as etapas a e b não conseguem especificar uma ordenação, a regra é ordenada arbitrariamente (não aleatoriamente) em relação ao outras regras com as quais foi ativado. Assim, a ordem em que as regras são definidas tem um efeito arbitrário na resolução de conflitos (que é altamente dependente da implementação subjacente atual das regras).

Uma característica muito importante e fundamental do Sistema Especialista é que em algum momento de quando o programa está sendo executado precisa aparecer na agenda mais de uma regra, isso deve ocorrer pelo fato de que se tiver somente uma regra da agenda tem-se a característica de um algoritmo e não de um Sistema Especialista. Sendo assim, ao aparecer mais de uma regra na agenda, fica comprovado então o Sistema Especialista para determinado domínio (GIARRATANO, 2023; RILEY, 2021).

Figura 19 - Dinamismo da agenda

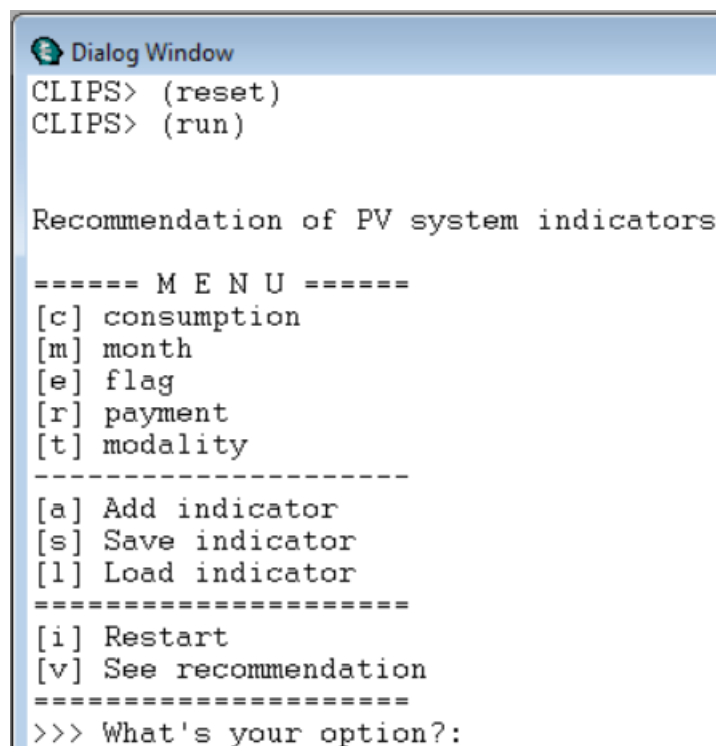


Fonte: Própria.

É necessário a possibilidade do Sistema Especialista decidir qual regra será executada primeiro obtendo assim a característica do dinamismo da agenda. Em vista disso, é exemplificado na Figura 19 uma demonstração desse dinamismo ocorrido com a execução do programa.

E por fim, tem a janela de diálogo, em que é feita a comunicação entre o usuário e o protótipo SE. Com o intuito de facilitar para atingir vários grupos de pessoas, foi criada uma interface simples. A interface do usuário é executada no encadeamento principal e cada comando inserido é executado usando um encadeamento recém-criado separado. Na Figura 20 é mostrado uma parte do menu de opções da janela de diálogo, as perguntas principais. Conforme as questões são respondidas, é solicitado ainda algumas *subperguntas* atreladas a questão principal.

Figura 20 - Menu de opções



```

Dialog Window
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)

Recommendation of PV system indicators

===== M E N U =====
[c] consumption
[m] month
[e] flag
[r] payment
[t] modality
-----
[a] Add indicator
[s] Save indicator
[l] Load indicator
=====
[i] Restart
[v] See recommendation
=====
>>> What's your option?:

```

Fonte: Própria.

Na parte de consumo do menu de opções, é solicitado ao usuário uma informação qualitativa a respeito do consumo, sendo baixo, médio ou alto (o próprio menu especifica e orienta o usuário a respeito do *range*). É perguntado também a referência do mês para a verificação da bandeira tarifária, sobre a forma de pagamento do sistema fotovoltaico e sobre a modalidade tarifária do consumidor.

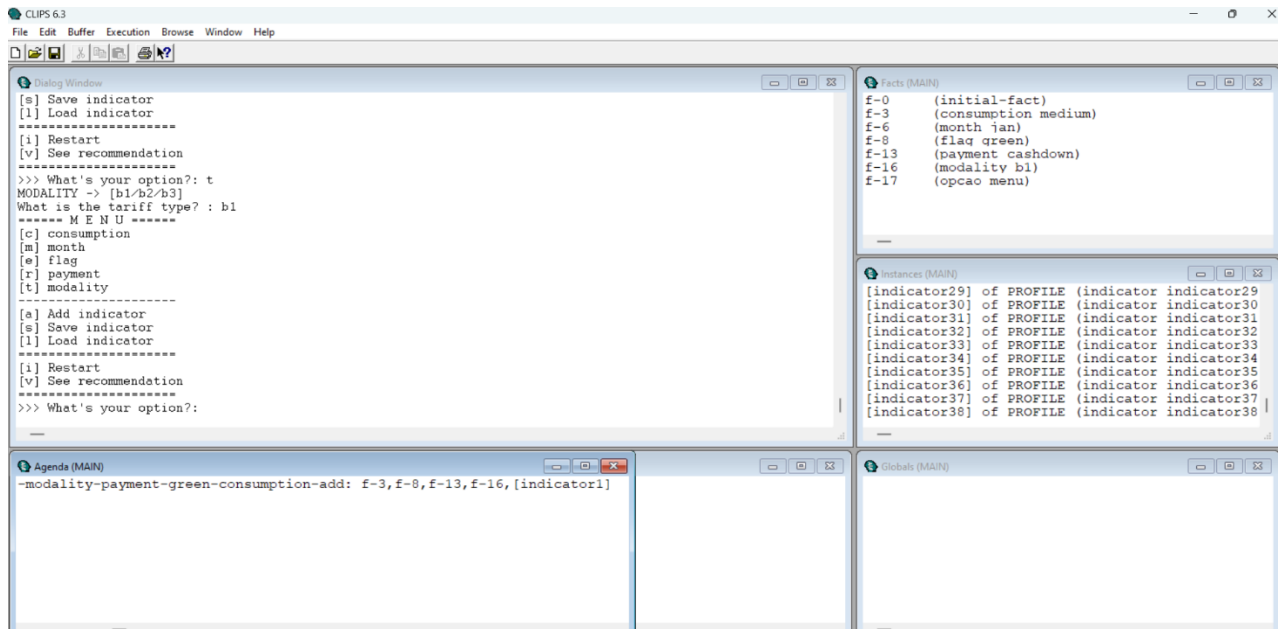
4.3.3 Dados de saída: indicadores propostos

De acordo com as informações fornecidas pelo usuário, pode-se ter como saída um ou mais indicadores. Cada indicador tem uma descrição diferente. Nas quatro Figuras a seguir são exibidos dois exemplos de saída de dois indicadores e suas respectivas entradas associadas ao *CLIPS*.

No exemplo 1 (Figura 21) é possível verificar em ‘Facts (Main)’ as entradas associadas como: o consumidor ter um consumo de energia médio (*consumption médium*); a bandeira tarifária ser verde (*flag green*); a intenção de pagamento do sistema de energia solar fotovoltaica

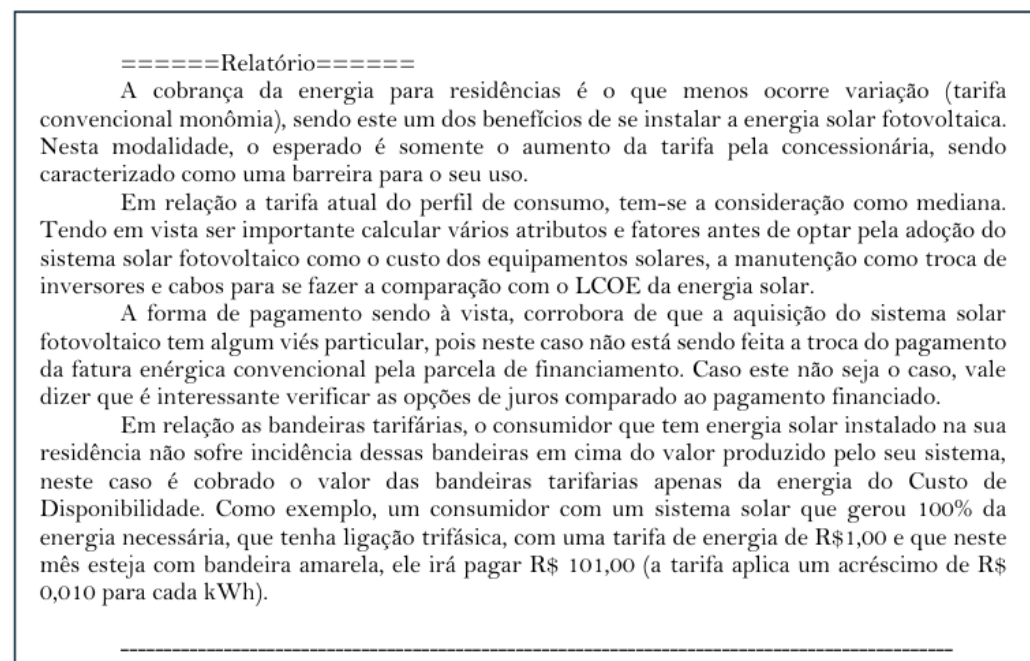
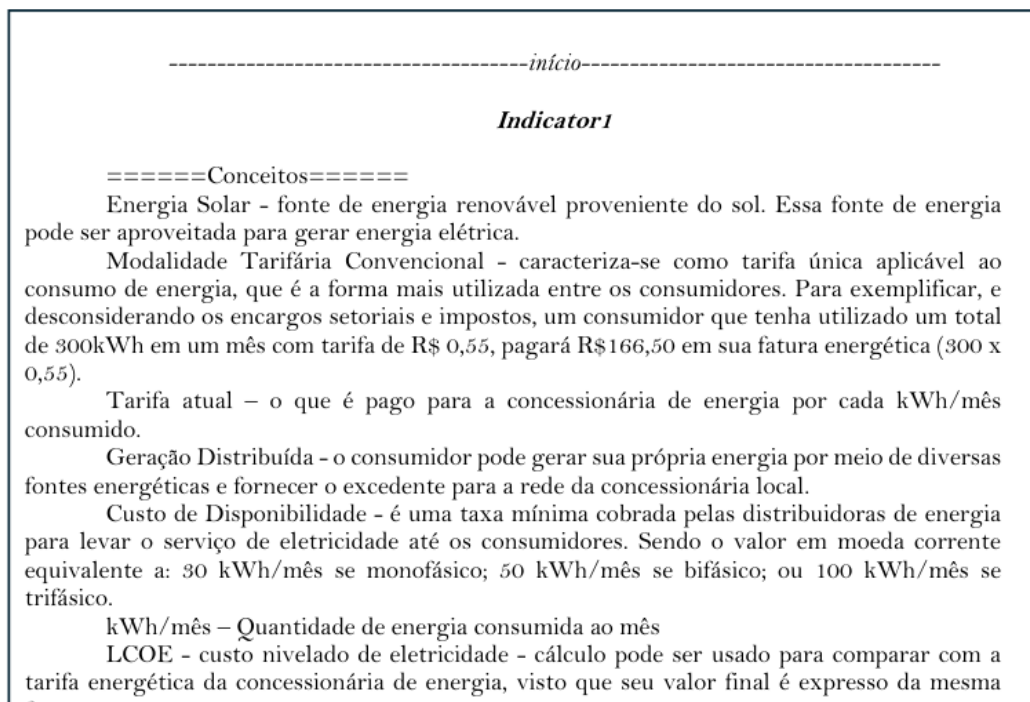
ser à vista (*payment cashdown*) e a modalidade tarifária ser B1 (unidade consumidora residencial) (*modality b1*).

Figura 21 - Exemplo 1 (entradas associadas)



Fonte: Própria.

Figura 22 - Exemplo 1 (saída)

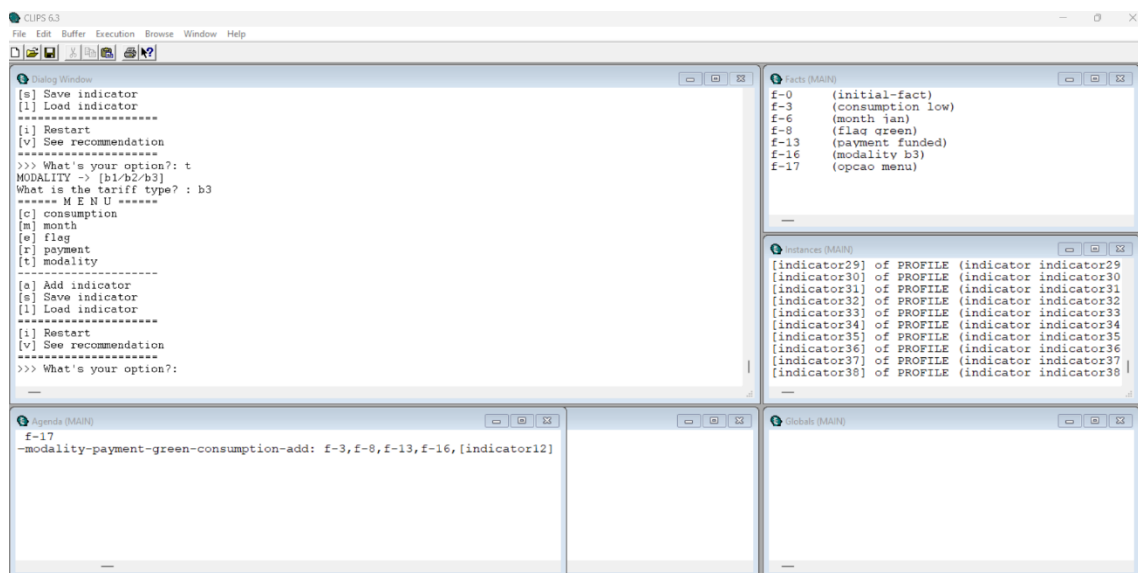


Fonte: Própria.

Na Figura 22 é mostrada a saída associada com as entradas escolhidas. Na saída do indicador 1 primeiro é descrito de forma simples alguns conceitos necessários para o entendimento do relatório gerado. Esse relatório busca, de acordo com as informações alimentadas de entrada, fornecer uma orientação personalizada para o consumidor da decisão de se instalar um sistema de energia solar fotovoltaico.

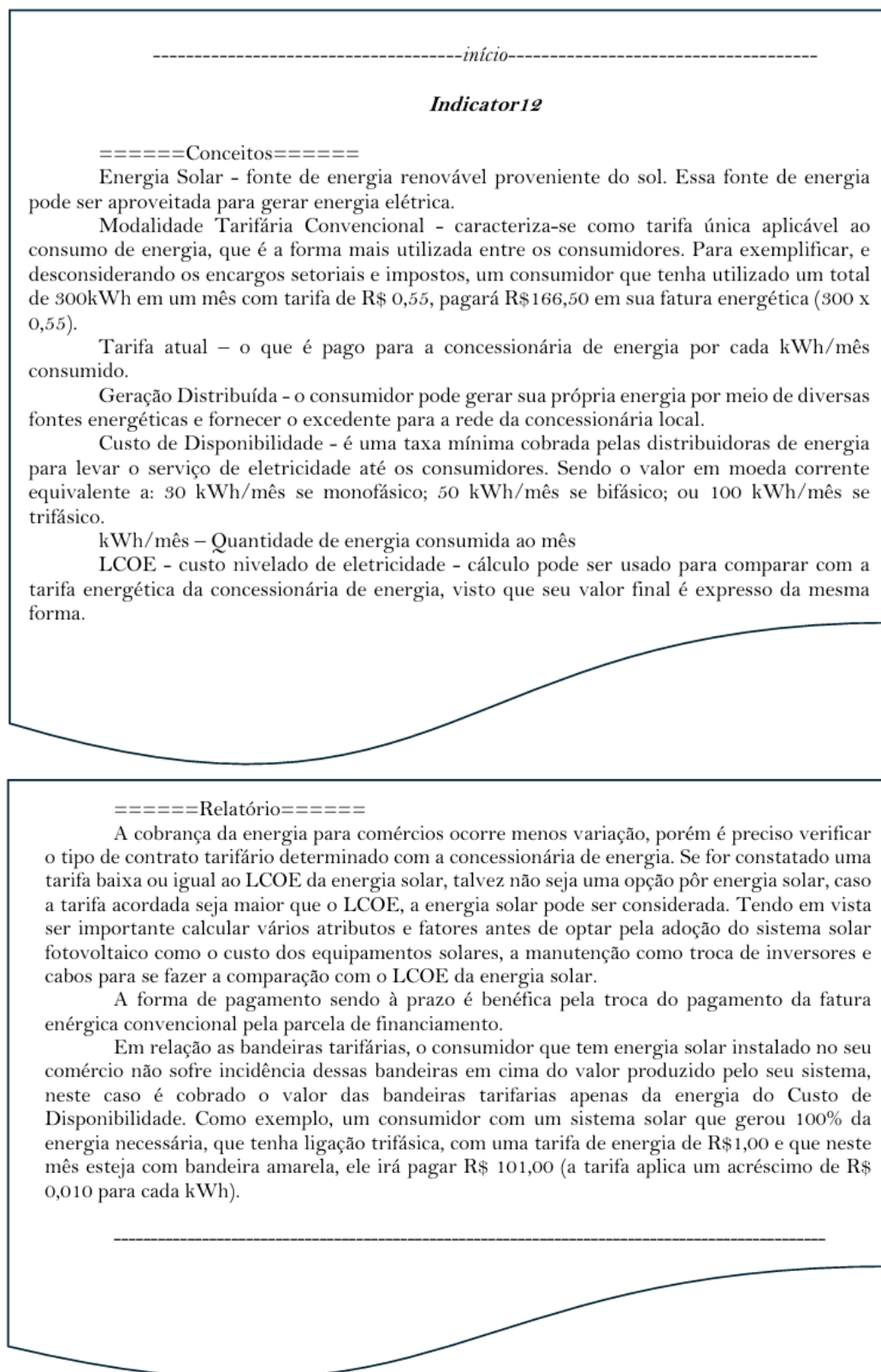
No exemplo 2 (Figura 23) é possível verificar em ‘Facts (Main)’ as entradas associadas como: o consumidor ter um consumo de energia baixo (*consumption low*); a bandeira tarifária ser verde (*flag green*); a intenção de pagamento do sistema de energia solar fotovoltaica ser financiado (*payment funded*) e a modalidade tarifária ser B3 (unidade consumidora comercial) (*modality b3*).

Figura 23 - Exemplo 2 (entradas associadas)



Fonte: Própria.

Figura 24 - Exemplo 2 (saída)



Fonte: Própria.

Na Figura 24 também é mostrada a saída associada com as entradas escolhidas e o mesmo processo de análise descrito no exemplo 1 vale para o exemplo 2. Vale ressaltar que com os dois exemplos pode ser percebido que o usuário precisará incluir poucas informações no sistema, informações estas que ele precisa somente buscar na fatura de energia (como descrito no item 4.2), e vai ser gerado um relatório explicativo que o ajudará com a decisão da instalação ou não de um sistema de energia solar fotovoltaica.

4.4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

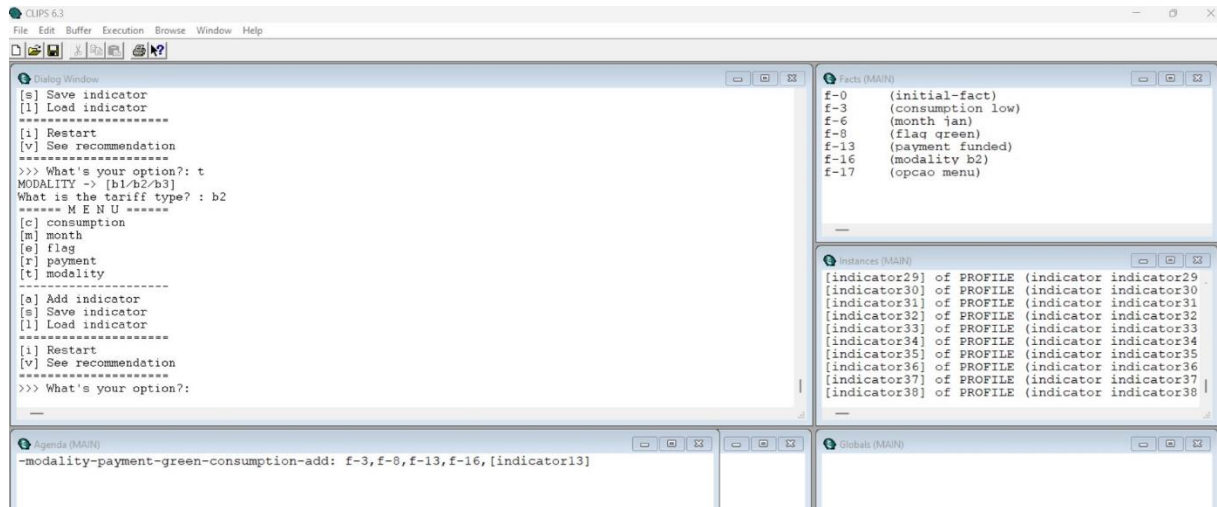
Conforme mencionado no item 3.2 (PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA), a verificação e validação é uma etapa de extrema importância no processo de desenvolvimento de um Sistema Baseado em Conhecimento. Sendo assim, os itens a seguir discorrem sobre o processo de verificação e validação de um exemplo de um caso aplicado bem como o processo de verificação e validação da base de conhecimento.

4.4.1 Verificação e Validação - Exemplo de um caso

Cada nova versão do protótipo foi verificada pelo EC antes de ser submetida aos especialistas para validação. O método adotado foi uma lista de verificação. Para cada conjunto de entradas, a lista contém as saídas esperadas e assim se verificava se o protótipo reproduziria as saídas previstas.

A fim de ilustrar esse processo é apresentado a seguir um caso submetido para validação que especificava as entradas como mostrado na Figura 25. Na Figura 25 é possível ver a interface no *CLIPS* e as entradas registrada no item “*Fats (MAIN)*” superior direito. Como forma de ilustrar e caracterizar, essas mesmas características se relacionam com a instância da Tabela 5 e da Figura 26.

Figura 25 - Interface *CLIPS* com entradas do caso apresentado para validação



Fonte: Própria.

Tabela 5 - Caso apresentado para validação

Modalidade tarifária	Tarifa	Forma de pagamento	Bandeira tarifária1	Bandeira tarifária2	Bandeira tarifária3	Bandeira tarifária4
B2	1.05	Parcelado	Verde com consumo baixo	Amarela com consumo médio	Vermelha patamar 1 com consumo baixo	Vermelha patamar 2 com consumo baixo

Fonte: Própria.

Figura 26 - Instância correspondente

```

176 (indicator13 of PROFILE
177     (indicator indicator13)
178     (modality b2)
179     (tariff 1.05)
180     (payment funded)
181     (flag1 green low)
182     (flag2 yellow medium)
183     (flag3 red1 low)
184     (flag4 red2 low)
185 )

```

Fonte: Própria.

Figura 27 - Saída do caso apresentado para validação

-----início-----

Indicator13

=====Conceitos=====

Energia Solar - fonte alternativa, renovável e sustentável de energia que provém da radiação eletromagnética (luz e calor) emanada diariamente pelo sol.

Modalidade Tarifária Convencional - caracteriza-se como tarifa única aplicável ao consumo de energia, que é a forma mais utilizada entre os consumidores. Para exemplificar, e desconsiderando os encargos setoriais e impostos, um consumidor que tenha utilizado um total de 300kWh em um mês com tarifa de R\$ 0,55, pagará R\$166,50 em sua fatura energética (300 x 0,55).

Tarifa atual - o que é pago para a concessionária de energia por cada kWh/mês consumido.

Tarifa Branca - Nos dias úteis, o valor da Tarifa Branca varia em três postos horários: ponta, intermediário e fora ponta. Nos finais de semana e feriados nacionais todas as horas são consideradas posto fora ponta. As tarifas dos horários intermediário e ponta são maiores do que a convencional.

Geração Distribuída - o consumidor pode gerar sua própria energia por meio de diversas fontes energéticas e fornecer o excedente para a rede da concessionária local.

Custo de Disponibilidade - é uma taxa mínima cobrada pelas distribuidoras de energia para levar o serviço de eletricidade até os consumidores. Sendo o valor em moeda corrente equivalente a: 30 kWh/mês se monofásico; 50 kWh/mês se bifásico; ou 100 kWh/mês se trifásico.

kWh/mês - Quantidade de energia consumida ao mês

LCOE - custo nivelado de eletricidade - cálculo pode ser usado para comparar com a tarifa energética da concessionária de energia, visto que seu valor final é expresso da mesma forma.

=====Relatório=====

A cobrança da energia para a área rural tem alguns aspectos interessantes, como uma tarifa diferenciada para alguns consumidores como a tarifa de irrigação, que o valor da tarifa em determinado horário fica infinitamente inferior ao normal que é cobrado. Caso a sua tarifa seja para irrigação, é preciso analisar fatores de consumo para a correta análise do LCOE da energia solar fotovoltaica. Caso não seja, é necessário somente comparar com a tarifa cobrada da concessionária. Para o segundo caso, que é fora de contrato, o esperado é somente o aumento da tarifa pela concessionária, sendo caracterizado como uma barreira para o seu uso.

Em relação a tarifa atual do perfil de consumo, tem-se a consideração como boa. Tendo em vista ser importante calcular vários atributos e fatores antes de optar pela adoção do sistema solar fotovoltaico como o custo dos equipamentos solares, a manutenção como troca de inversores e cabos para se fazer a comparação com o LCOE da energia solar fotovoltaica.

A forma de pagamento sendo à prazo, é importante consultar várias linhas de crédito para se obter a melhor taxa de juros. Uma forma de validar é verificar se a parcela de financiamento ficará igual ou menor comparada com a que é pago de energia para a concessionária local.

Em relação as bandeiras tarifárias, o consumidor que tem energia solar instalado na sua residência não sofre incidência dessas bandeiras em cima do valor produzido pelo seu sistema, neste caso é cobrado o valor das bandeiras tarifárias apenas da energia do Custo de Disponibilidade. Como exemplo, um consumidor com um sistema solar que gerou 100% da energia necessária, que tenha ligação trifásica, com uma tarifa de energia de R\$1,00 e que neste mês esteja com bandeira amarela, ele irá pagar R\$ 101,00 (a tarifa aplica um acréscimo de R\$ 0,010 para cada kWh).

Fonte: Própria.

Na ocasião da sessão de validação, o SE inferiu a saída como mostrada na Figura 27. O especialista concordou com o relatório de saída, porém achou necessário *colocar mais explicações sobre a tarifa de irrigação com a modalidade B2* e explicou que *a característica da tarifa de irrigação é um conceito complexo para ser entendido com facilidade e pelo fato dessa modalidade ser mais comum somente no norte e nordeste do país*. Assim, esse novo

conhecimento é implementado no protótipo, que é reapresentado em nova sessão. Esse processo foi repetido até que o especialista julgasse que as respostas eram satisfatórias.

Resumidamente, foram então definidas todas as informações, dados e observações relevantes, em seguida o Engenheiro do Conhecimento (EC) as colocou em formas de classes, regras e definiu as possíveis saídas. Após a conclusão dessas etapas, o EC validou com os especialistas as saídas obtidas de acordo com os dados de entradas colocadas no software, no qual obteve resultado satisfatório. Para cada conjunto de entradas, a lista contém as saídas esperadas e assim se verificava se o programa reproduziria as saídas previstas. Se o especialista concordasse com as soluções apresentadas pela nova versão do programa, era então considerada validada. E se não concordasse, deveria ser reprogramado de modo a eliminar os erros e novamente passaria pela validação do especialista.

4.4.2 Verificação e Validação da base de conhecimento

No desenvolvimento do protótipo SE, o processo de verificação e validação de cada ciclo de desenvolvimento passa pela avaliação do EC e dos especialistas, respectivamente. Cabe lembrar que a verificação é de responsabilidade do EC e consiste na eliminação de erros semânticos e de sintaxe introduzidos durante a implantação do protótipo SE. A validação é de responsabilidade dos especialistas, que devem testar o desempenho e a utilidade do protótipo, além de julgar se as soluções apresentadas são corretas. Durante o processo de validação, os especialistas contam com o apoio do EC, que deve posteriormente corrigir eventuais erros encontrados.

Durante o processo de verificação do protótipo SE, alguns importantes detalhes relacionados a regras foram revisados pelo EC com objetivo de evitar: redundância – quando duas ou mais regras possuem premissas idênticas e levam a conclusões idênticas; conflito - quando duas regras possuem premissa idêntica e levam a conclusões conflitantes; sem_saída - regras cujas ações não afetam qualquer conclusão e não são usadas por outras regras para gerar outras conclusões; desnecessárias – regras com fatos que não são usados no processo de inferência ou conclusões não afetadas por qualquer outra regra ou função ou falhas em cobrir todos os possíveis valores das entradas; inatingíveis - regra que indica que suas premissas jamais serão satisfeitas, pela ausência de certas regras ou pela falta de dados de entrada.

Para o processo de validação foram elaboradas listas de validação para o protótipo SE (1 e 2). Dessa forma, uma primeira lista de validação do SE (versão 1) foi elaborada, ajustada

e verificada pelo EC e posteriormente submetida aos especialistas. A lista de validação 1 pode ser observada de forma parcial na Figura 28.

Figura 28 - Lista 1

Lista de validação

Neste documento são apresentadas uma lista de recomendações inseridas no programa CLIPS, que se referem aos dados que o sistema deverá produzir (saída) de acordo com as condições de entrada informadas pelo usuário, as quais devem ser validadas pelos especialistas.

Arquivos de requisitos

A instalação de sistema de energia solar nos tempos atuais representa uma economia significativa frente ao cenário energético, portanto a preocupação com este item é vital para a economia de energia.

Arquivo de explicações

Energia solar é a geração limpa de eletricidade pelos painéis de energia fotovoltaica, que transformam a luz do sol diretamente em energia elétrica. Quando as partículas de energia da luz do sol (fótons) incidem sobre os painéis solares, ocorre a geração de uma corrente elétrica que pode ser direcionada e utilizada para alimentar residências, empresas e indústrias.

Etapa de explicações

O uso de energia elétrica em residências e indústrias representa um dos custos mais elevados, dessa forma, a aplicação de fontes de energia mais barata deve ser considerada.

O consumidor que possui uma quantidade mínima de uso de kWh/mês requer uma especial atenção no estudo para adquirir ou não um sistema fotovoltaico na unidade consumidora.

a unidade consumidora dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês

a unidade consumidora dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos.

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos.

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês e pretende ter um aumento de energia consumida

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês e pretende ter um aumento de energia consumida - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos.

Figura 28 – Lista 1

a unidade consumidora dispõe do uso de um medidor inteligente

a unidade consumidora dispõe do uso de um medidor inteligente – o uso do medidor inteligente isenta o consumidor de falhas e erros nas medições de energia mensal gerada e consumida.

a unidade consumidora não dispõe do uso de um medidor inteligente

a unidade consumidora não dispõe do uso de um medidor inteligente – o uso do medidor inteligente isenta o consumidor de falhas e erros nas medições de energia mensal gerada e consumida.

a unidade consumidora dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar

a unidade consumidora dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar – a unidade consumidora possui espaço de telhado ou solo adequados para a quantidade de placas que necessita, a estrutura do telhado está em condições adequadas para sustentar as placas solares, existe pouco ou é nulo o sombreamento por conta de prédios ou árvores no espaço de instalação.

a unidade consumidora não dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar

a unidade consumidora não dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar – a unidade consumidora possui espaço de telhado ou solo adequados para a quantidade de placas que necessita, a estrutura do telhado está em condições adequadas para sustentar as placas solares, existe pouco ou é nulo o sombreamento por conta de prédios ou árvores no espaço de instalação.

o consumidor tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar

o consumidor tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar – a pretensão de mudança de residência ou indústria incorre num custo adicional com homologação de projeto e custo de instalação. É questionado sobre 3 anos pois este é o tempo médio de payback que fica viável para o consumidor adquirir um sistema FV. O consumidor deixaria de pagar o financiamento de sistema solar e poderia arcar com os custos extras de homologação e instalação.

o consumidor não tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar

o consumidor não tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar – a pretensão de mudança de residência ou indústria incorre num custo adicional com homologação de projeto e custo de instalação. É questionado sobre 3 anos pois este é o tempo médio de payback que fica viável para o consumidor adquirir um sistema FV. O consumidor deixaria de pagar o financiamento de sistema solar e poderia, em teoria, arcar com os custos extras de homologação e instalação.

Figura 28 – Lista 1

o consumidor tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar

o consumidor tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar - de acordo com a nova lei, é possível a venda do excedente de energia para a própria concessionária.

o consumidor não tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar

o consumidor não tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar - de acordo com a nova lei, é possível a venda do excedente de energia para a própria concessionária.

com o financiamento do sistema solar, o payback é com tempo menor que 4 anos

Com o financiamento do sistema solar, o payback é com tempo menor que 4 anos - um payback maior que 4 anos é considerado inviável a instalação.

com o financiamento do sistema solar, o payback não é com tempo menor que 4 anos

Com o financiamento do sistema solar, o payback não é com tempo menor que 4 anos - um payback maior que 4 anos é considerado inviável a instalação.

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor - parcelas iguais não afetam o orçamento do consumidor pois o valor que ele pagará de financiamento é o mesmo valor ou menos que o valor da fatura de energia.

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento não são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento não são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor - parcelas iguais não afetam o orçamento do consumidor pois o valor que ele pagará de financiamento é o mesmo valor ou menos que o valor da fatura de energia.

O consumidor recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada

O consumidor recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada - tem algumas modalidades tarifárias que o consumidor paga até 98% de desconto.

O consumidor não recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada

O consumidor recebe algum incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada - tem algumas modalidades tarifárias que o consumidor paga até 98% de desconto.

O local de instalação do sistema solar tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao

O local de instalação do sistema solar tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao - É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 Kwh/m²ao ano.

O local de instalação do sistema solar não tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao

Figura 28 – Lista 1

O local de instalação do sistema solar não tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao - É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 Kwh/m²ao ano.

Por fim fase de explicações

Explicação sobre **faixa de consumo e incentivos da concessionária**

Faixa de consumo no Grupo B: Para a instalação de um sistema solar em uma residência, é estimado um consumo mínimo em vista de fatores como: custo de disponibilidade, parcelas de financiamento bancário, payback viável. O consumidor que tem um consumo maior que 330kWh/ usa uma quantidade que torna possível a instalação do sistema solar no âmbito financeiro. Caso o consumidor tenha um consumo menor que 330kWh/mês mas tem a pretensão do aumento de energia, como a instalação de um ar condicionado por exemplo, a instalação se torna favorável também.

Faixas de consumo entre 330 kWh/mês e 10.000 kWh/mês, desde que sejam no grupo B, em que se paga a tarifa binômia, a instalação a nível financeiro é favorável. Pois ou irá se pagar as parcelas com o valor pago em energia para concessionária ou o valor ainda é menor, tendo dois vieses de economia (a curto e longo prazo).

~~Faixa de consumo no Grupo A: no grupo A, tem que verificar a demanda contratada (quantidade e se existe frequentemente a ultrapassagem dessa demanda), os incentivos que sem tem no contrato acordado com a concessionária (tem se incentivos no qual tem se a redução de tarifa).~~

Manutenção: o consumidor tem que prever em orçamento futuro a troca do inversor de energia, que dura em torno de 10 anos (colocar este custo na conta de payback). O consumidor tem que estar ciente que precisará periodicamente verificar a limpeza dos painéis solares (poeira, folhas) pois isto baixa a produção de energia. É necessário acompanhar mensalmente se a geração do sistema está sendo como o previsto.

Irradiação solar: É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 kWh/m² ao ano para se instalar um sistema solar. Caso seja menor que 5,5 kWh/m² ao ano, é necessário a análise completa e minuciosa de outros fatores como payback, faixa de consumo, tarifa de energia.

Melhorias por inclinação de painéis: Caso o telhado da instalação do sistema não tenha uma orientação favorável em relação a latitude, é indicado realizar uma estruturação metálica para corrigir a mesma. Fazendo um estudo completo de como isso aumentará a produção de energia ou o quanto poderá ser comprado a menos de placas solares.

Linha de crédito: para a compra do sistema solar é indicado fazer com financiamento pois assim é possível fazer o abatimento das parcelas com o que é economizado com a conta de energia. No Brasil existem algumas linhas de créditos específicas para o financiamento de sistema solar e também por meio de bancos que os consumidores já possuem contas, a fim de se obter uma taxa de juros atrativa.

Fonte: Própria.

A primeira lista de validação do protótipo SE (versão 1) foi elaborada pelo EC a partir do relatório geral do protótipo SE, descrito na seção 4.1 (aquisição do conhecimento). Os especialistas puderam validar as funções da versão inicial do protótipo como explicações genéricas e relatórios de saída gerados. Também puderam sugerir melhorias, tanto nas informações de tela e encontradas na interação com o sistema, como nos textos de explicação e recomendação dos arquivos de saída (a Figura 29 mostra a lista 1 após a avaliação dos especialistas). Os comentários dos especialistas estão destacados em azul na Figura 29.

Figura 29 - Lista 1 após a avaliação dos especialistas

Lista de validação

Neste documento são apresentadas uma lista de recomendações inseridas no programa CLIPS, que se referem aos dados que o sistema deverá produzir (saída) de acordo com as condições de entrada informadas pelo usuário, as quais devem ser validadas pelos especialistas.

Arquivos de requisitos

A instalação de sistema de energia solar nos tempos atuais representa uma economia significativa frente ao cenário energético, portanto a preocupação com este item é vital para a economia de energia.

Arquivo de explicações

~~Energia solar é a geração limpa de eletricidade pelos painéis de energia fotovoltaica, que transformam a luz do sol diretamente em energia elétrica. Quando as partículas de energia da luz do sol (fótons) incidem sobre os painéis solares, ocorre a geração de uma corrente elétrica que pode ser direcionada e utilizada para alimentar residências, empresas e indústrias.~~
 Conceito poderia ser simplificado

Etapa de explicações

O uso de energia elétrica em residências e indústrias representa um dos custos mais elevados, dessa forma, a aplicação de fontes de energia mais barata deve ser considerada.

O consumidor que possui uma quantidade mínima de uso de kWh/mês requer uma especial atenção no estudo para adquirir ou não um sistema fotovoltaico na unidade consumidora.

a unidade consumidora dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês

a unidade consumidora dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos. (custo de manutenção deve estar incluído neste cálculo)

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar.

Figura 29 – Lista 1 após a avaliação dos especialistas

Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos. (custo de manutenção deve estar incluído neste cálculo)

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês e pretende ter um aumento de energia consumida

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês e pretende ter um aumento de energia consumida - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos. (custo de manutenção deve estar incluído neste cálculo)

a unidade consumidora dispõe do uso de um medidor inteligente

a unidade consumidora dispõe do uso de um medidor inteligente - o uso do medidor inteligente isenta o consumidor de falhas e erros nas medições de energia mensal gerada e consumida. (pela minha experiência, o uso do medidor ainda não faz um impacto significativo e talvez não deva ser considerado neste estudo. Um consumidor com um sistema solar instalado ocorre de ter um problema relacionado a medição, é necessário somente sinalizar a concessionária do possível erro e ele fará a verificação, constatado o erro ela os corrige e credita a energia "perdida" no próximo mês, assim não há uma interferência significativa)

a unidade consumidora não dispõe do uso de um medidor inteligente

a unidade consumidora não dispõe do uso de um medidor inteligente - o uso do medidor inteligente isenta o consumidor de falhas e erros nas medições de energia mensal gerada e consumida. (pela minha experiência, o uso do medidor ainda não faz um impacto significativo e talvez não deva ser considerado neste estudo. Um consumidor com um sistema solar instalado ocorre de ter um problema relacionado a medição, é necessário somente sinalizar a concessionária do possível erro e ele fará a verificação, constatado o erro ela os corrige e credita a energia "perdida" no próximo mês, assim não há uma interferência significativa)

a unidade consumidora dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar

a unidade consumidora dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar - a unidade consumidora possui espaço de telhado ou solo adequados para a quantidade de placas que necessita, a estrutura do telhado está em condições adequadas para sustentar as placas solares, existe pouco ou é nulo o sombreamento por conta de prédios ou árvores no espaço de instalação.

a unidade consumidora não dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar

a unidade consumidora não dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar - a unidade consumidora possui espaço de telhado ou solo adequados para a quantidade de placas que necessita, a estrutura do telhado está em condições adequadas para sustentar as placas solares, existe pouco ou é nulo o sombreamento por conta de prédios ou árvores no espaço de instalação.

Figura 29 – Lista 1 após a avaliação dos especialistas

o consumidor tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar

o consumidor tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar – a pretensão de mudança de residência ou indústria incorre num custo adicional com homologação de projeto e custo de instalação. É questionado sobre 3 anos pois este é o tempo médio de payback que fica viável para o consumidor adquirir um sistema FV. O consumidor deixaria de pagar o financiamento de sistema solar e poderia arcar com os custos extras de homologação e instalação. (este aspecto não precisa ser considerado em vista de que os consumidores que decidem colocar um sistema solar em sua residência não tem pretensão de mudança de casa)

o consumidor não tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar

o consumidor não tem pretensão de mudança de residência/indústria nos 3 anos seguintes a instalação do sistema solar – a pretensão de mudança de residência ou indústria incorre num custo adicional com homologação de projeto e custo de instalação. É questionado sobre 3 anos pois este é o tempo médio de payback que fica viável para o consumidor adquirir um sistema FV. O consumidor deixaria de pagar o financiamento de sistema solar e poderia, em teoria, arcar com os custos extras de homologação e instalação. (este aspecto não precisa ser considerado em vista de que os consumidores que decidem colocar um sistema solar em sua residência não tem pretensão de mudança de casa)

o consumidor tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar

o consumidor tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar – de acordo com a nova lei, é possível a venda do excedente de energia para a própria concessionária.

o consumidor não tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar

o consumidor não tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar – de acordo com a nova lei, é possível a venda do excedente de energia para a própria concessionária.

com o financiamento do sistema solar, o payback é com tempo menor que 4 anos

Com o financiamento do sistema solar, o payback é com tempo menor que 4 anos – um payback maior que 4 anos é considerado inviável a instalação.

com o financiamento do sistema solar, o payback não é com tempo menor que 4 anos

Com o financiamento do sistema solar, o payback não é com tempo menor que 4 anos – um payback maior que 4 anos é considerado inviável a instalação.

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor – parcelas iguais não afetam o orçamento do consumidor pois o valor que ele pagará de financiamento é o mesmo valor ou menos que o valor da fatura de energia.

Figura 29 – Lista 1 após a avaliação dos especialistas

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento não são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento não são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor - parcelas iguais não afetam o orçamento do consumidor pois o valor que ele pagará de financiamento é o mesmo valor ou menos que o valor da fatura de energia.

O consumidor recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada

O consumidor recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada - tem algumas modalidades tarifárias que o consumidor paga até 98% de desconto.

O consumidor não recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada

O consumidor recebe algum incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada - tem algumas modalidades tarifárias que o consumidor paga até 98% de desconto.

O local de instalação do sistema solar tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao

O local de instalação do sistema solar tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao - É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 Kwh/m²ao ano.

O local de instalação do sistema solar não tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao

O local de instalação do sistema solar não tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao - É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 Kwh/m²ao ano.

Por fim fase de explicações

Explicação sobre **faixa de consumo e incentivos da concessionária**

Faixa de consumo no Grupo B: Para a instalação de um sistema solar em uma residência, é estimado um consumo mínimo em vista de fatores como: custo de disponibilidade, parcelas de financiamento bancário, payback viável. O consumidor que tem um consumo maior que 330kWh/ usa uma quantidade que torna possível a instalação do sistema solar no âmbito financeiro. Caso o consumidor tenha um consumo menor que 330kWh/mês mas tem a pretensão do aumento de energia, como a instalação de um ar condicionado por exemplo, a instalação se torna favorável também.

Faixas de consumo entre 330 kWh/mês e 10.000 kWh/mês, desde que sejam no grupo B, em que se paga a tarifa binômica, a instalação a nível financeiro é favorável. Pois ou irá se pagar as parcelas com o valor pago em energia para concessionária ou o valor ainda é menor, tendo dois vieses de economia (a curto e longo prazo).

Figura 29 – Lista 1 após a avaliação dos especialistas

~~Faixa de consumo no Grupo A: no grupo A, tem que verificar a demanda contratada (quantidade e se existe frequentemente a ultrapassagem dessa demanda), os incentivos que sem tem no contrato acordado com a concessionária (tem se incentivos no qual tem-se a redução de tarifa).~~

Manutenção: o consumidor tem que prever em orçamento futuro a troca do inversor de energia, que dura em torno de 10 anos (colocar este custo na conta de *payback*). O consumidor tem que estar ciente que precisará periodicamente verificar a limpeza dos painéis solares (poeira, folhas) pois isto baixa a produção de energia. É necessário acompanhar mensalmente se a geração do sistema está sendo como o previsto.

Irradiação solar: É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 kWh/m² ao ano para se instalar um sistema solar. Caso seja menor que 5,5 kWh/m² ao ano, é necessário a análise completa e minuciosa de outros fatores como *payback*, faixa de consumo, tarifa de energia.

Melhorias por inclinação de painéis: Caso o telhado da instalação do sistema não tenha uma orientação favorável em relação a latitude, é indicado realizar uma estruturação metálica para corrigir a mesma. Fazendo um estudo completo de como isso aumentará a produção de energia ou o quanto poderá ser comprado a menos de placas solares.

Linha de crédito: para a compra do sistema solar é indicado fazer com financiamento pois assim é possível fazer o abatimento das parcelas com o que é economizado com a conta de energia. No Brasil existem algumas linhas de créditos específicas para o financiamento de sistema solar e também por meio de bancos que os consumidores já possuem contas, a fim de se obter uma taxa de juros atrativa.

Fonte: Própria.

Após a validação da lista 1, um conjunto de funcionalidades é acrescentado a lista anterior e renomeada de acordo com a nova versão para o protótipo SE. A nova lista de validação passa por um processo de verificação pelo EC, antes de ser submetida aos especialistas para as sessões de validação. Caso os especialistas concordem com as afirmações apresentadas pela nova versão do SE, esta é considerada validada e operacional. Do contrário, o SE deverá ser reprogramado de modo a eliminar os erros apontados e novamente submetido para validação dos especialistas. A lista de validação final, versão 2, que faz parte da documentação do ciclo de desenvolvimento do SE, aqui desenvolvido, pode ser observada de forma parcial na Figura 30.

Figura 30 - Lista de validação final

Lista de validação

Neste documento são apresentadas uma lista de recomendações inseridas no programa CLIPS, que se referem aos dados que o sistema deverá produzir (saída) de acordo com as condições de entrada informadas pelo usuário, as quais devem ser validadas pelos especialistas.

Arquivos de requisitos

A instalação de sistema de energia solar nos tempos atuais representa uma economia significativa frente ao cenário energético, portanto a preocupação com este item é vital para a economia de energia.

Arquivo de explicações

Energia solar

Energia solar é uma fonte de energia renovável proveniente do sol. Essa fonte de energia pode ser aproveitada para gerar energia elétrica.

Etapa de explicações

O uso de energia elétrica em residências e indústrias representa um dos custos mais elevados, dessa forma, a aplicação de fontes de energia mais barata deve ser considerada.

O consumidor que possui uma quantidade mínima de uso de kWh/mês requer uma especial atenção no estudo para adquirir ou não um sistema fotovoltaico na unidade consumidora.

a unidade consumidora dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês

a unidade consumidora dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos.

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos.

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês e pretende ter um aumento de energia consumida

a unidade consumidora não dispõe do uso de pelo menos 300kWh/mês e pretende ter um aumento de energia consumida - a verificação da quantidade de uso de kWh/mês está diretamente ligada ao tempo de retorno de investimento que o consumidor irá ter quando adquirir o sistema solar. Quantidades menores que 300kWh/mês faz o consumidor ter um payback de pelo menos 7 anos.

Figura 30 – Lista de validação final

a unidade consumidora dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar

a unidade consumidora dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar - a unidade consumidora possui espaço de telhado ou solo adequados para a quantidade de placas que necessita, a estrutura do telhado está em condições adequadas para sustentar as placas solares, existe pouco ou é nulo o sombreamento por conta de prédios ou árvores no espaço de instalação.

a unidade consumidora não dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar

a unidade consumidora não dispõe de condições físicas adequadas para a instalação do sistema solar - a unidade consumidora possui espaço de telhado ou solo adequados para a quantidade de placas que necessita, a estrutura do telhado está em condições adequadas para sustentar as placas solares, existe pouco ou é nulo o sombreamento por conta de prédios ou árvores no espaço de instalação.

o consumidor tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar

o consumidor tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar - de acordo com a nova lei, é possível a venda do excedente de energia para a própria concessionária.

o consumidor não tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar

o consumidor não tem pretensão de venda de energia com a instalação do sistema solar - de acordo com a nova lei, é possível a venda do excedente de energia para a própria concessionária.

com o financiamento do sistema solar, o payback é com tempo menor que 4 anos

Com o financiamento do sistema solar, o payback é com tempo menor que 4 anos - um payback maior que 4 anos é considerado inviável a instalação.

com o financiamento do sistema solar, o payback não é com tempo menor que 4 anos

Com o financiamento do sistema solar, o payback não é com tempo menor que 4 anos - um payback maior que 4 anos é considerado inviável a instalação.

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor - parcelas iguais não afetam o orçamento do consumidor pois o valor que ele pagará de financiamento é o mesmo valor ou menos que o valor da fatura de energia.

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento não são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor

com o financiamento do sistema solar, as parcelas do financiamento não são iguais ou menores que a constatada na fatura de energia do consumidor - parcelas iguais não afetam o orçamento do consumidor pois o valor que ele pagará de financiamento é o mesmo valor ou menos que o valor da fatura de energia.

Figura 30 – Lista de validação final

O consumidor recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada

O consumidor recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada - tem algumas modalidades tarifárias que o consumidor paga até 98% de desconto.

O consumidor não recebe incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada

O consumidor recebe algum incentivo financeiro da concessionária de energia, como tarifa diferenciada - tem algumas modalidades tarifárias que o consumidor paga até 98% de desconto.

O local de instalação do sistema solar tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao

O local de instalação do sistema solar tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao - É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 Kwh/m²ao ano.

O local de instalação do sistema solar não tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao

O local de instalação do sistema solar não tem uma irradiação solar maior ou igual a 5,5 Kwh/m²ao - É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 Kwh/m²ao ano.

Por fim fase de explicações

Explicação sobre **faixa de consumo e incentivos da concessionária**

Faixa de consumo no Grupo B: Para a instalação de um sistema solar em uma residência, é estimado um consumo mínimo em vista de fatores como: custo de disponibilidade, parcelas de financiamento bancário, payback viável. O consumidor que tem um consumo maior que 330kWh/ usa uma quantidade que torna possível a instalação do sistema solar no âmbito financeiro. Caso o consumidor tenha um consumo menor que 330kWh/mês mas tem a pretensão do aumento de energia, como a instalação de um ar condicionado por exemplo, a instalação se torna favorável também.

Faixas de consumo entre 330 kWh/mês e 10.000 kWh/mês, desde que sejam no grupo B, em que se paga a tarifa binômica, a instalação a nível financeiro é favorável. Pois ou irá se pagar as parcelas com o valor pago em energia para concessionária ou o valor ainda é menor, tendo dois vieses de economia (a curto e longo prazo).

Manutenção: o consumidor tem que prever em orçamento futuro a troca do inversor de energia, que dura em torno de 10 anos (colocar este custo na conta de payback). O consumidor tem que estar ciente que precisará periodicamente verificar a limpeza dos painéis solares (poeira, folhas) pois isto baixa a produção de energia. É necessário acompanhar mensalmente se a geração do sistema está sendo como o previsto.

Figura 30 – Lista de validação final

Irradiação solar: É considerado favorável uma incidência maior que 5,5 kWh/m² ao ano para se instalar um sistema solar. Caso seja menor que 5,5 kWh/m² ao ano, é necessário a análise completa e minuciosa de outros fatores como payback, faixa de consumo, tarifa de energia.

Melhorias por inclinação de painéis: Caso o telhado da instalação do sistema não tenha uma orientação favorável em relação a latitude, é indicado realizar uma estruturação metálica para corrigir a mesma. Fazendo um estudo completo de como isso aumentará a produção de energia ou o quanto poderá ser comprado a menos de placas solares.

Linha de crédito: para a compra do sistema solar é indicado fazer com financiamento pois assim é possível fazer o abatimento das parcelas com o que é economizado com a conta de energia. No Brasil existem algumas linhas de créditos específicas para o financiamento de sistema solar e também por meio de bancos que os consumidores já possuem contas, a fim de se obter uma taxa de juros atrativa.

Fonte: Própria.

A segunda lista de validação do SE (versão 2) foi elaborada a partir da primeira lista de validação (versão 1), contendo todas as observações de melhorias e sugestões efetuadas pelos especialistas na versão inicial do protótipo SE, bem como com o conjunto das novas funcionalidades da versão 1 do protótipo SE.

Uma vez encerrado o processo de validação da ferramenta, o SE foi submetido a um grupo de dois “não especialistas” como descrito no item 4.3 na primeira característica descrita visando avaliar a facilidade quanto ao uso da ferramenta. A atividade foi iniciada com uma explicação básica do EC a cada indivíduo sobre a ferramenta e objetivo da atividade. As características dos dois não especialista foram as seguintes: a) o Não especialista A é classificado como B1, que é o residencial; e b) e o não especialista B era B3, que é comercial. Os dois “não especialistas” puderam operar livremente pela ferramenta, escolhendo de forma independente as entradas. O resultado da avaliação geral dos dois “não especialistas” foi similar, em que a simplicidade de operação e a velocidade de resposta da ferramenta agradou a todos. Não houve dificuldade quanto ao entendimento dos questionamentos do protótipo aos usuários. O reduzido número de perguntas para a obtenção da recomendação também foi elogiado pelos dois “não especialistas” bem como o relatório de saída contendo uma explicação de termos que são importantes para o entendimento total da saída gerada.

5 CONCLUSÃO

No presente estudo foi feita a aplicação de uma técnica de Inteligência Artificial denominada Sistema Especialista. Para demonstrar a adequação deste escopo, foi desenvolvido um Sistema Especialista para diagnóstico preliminar e avaliação de energia solar para residências e comércios. Vale destacar que a avaliação de se ter ou não um sistema solar fotovoltaico instalado pode ser complexa devido a fatores econômicos, culturais, técnicos, mercadológicos e políticos, exigindo competências multidisciplinares para análise e integração de informações, que nem sempre estão disponíveis

A base de conhecimento do sistema foi construída e validada a partir da experiência de especialistas da área de energia solar fotovoltaica. Este estudo inicial ilustra o potencial para esclarecer consideravelmente consumidores de energia para a adoção de energia solar fotovoltaica em suas residências ou comércios, um Sistema Especialista que tem como usuário final uma pessoa que desconheça completamente sobre o tema energia solar, contribuindo para a acessibilidade de qualquer indivíduo.

Também é importante frisar que a formação do grupo de especialistas de uma mesma área, com experiências multidisciplinares, propicia a troca de experiências bem-sucedidas, oportunidades de aperfeiçoamento entre os especialistas e a transferência de conhecimento. De acordo com os especialistas, os indicadores de saída gerados pela ferramenta fornecem informações completas e com profundidade adequada quando confrontado com o objetivo do SE. Um ponto relevante comentado por eles foi o relato do protótipo ser uma ferramenta de ordem teórica e que pode ser usado de forma complementar, sendo possível o uso conjunto com os estudos de viabilidade padronizados muito utilizados nessa área para avaliação do consumidor, caracterizado pela proposta orçamentária comercial.

Por fim, vale comentar que na área de energia solar é explorado mais amplamente nos estudos os aspectos tecnológicos dos equipamentos, estudos empíricos como o presente trabalho, com resultados teóricos, que tem como resultado a aplicabilidade prática para um amplo grupo de pessoas e que contribui para o impacto social é pouco abordado. Como sugestões de pesquisas futuras, é relevante a criação do método para o setor industrial a fim da expansão do código computacional e a inclusão de novas utilidades e a edição e adaptação dos fatores para aplicação em outros países.

REFERÊNCIAS

- ABE, J.O.; POPOOLA, A.P.I.; AJENIFUJA, E.; POPOOLA, O.M. Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. **International Journal of Hydrogen Energy**, Oxford, v. 44, n. 29, p. 15072-15086, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 53, v. 149, n. 76, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bandeiras tarifárias**, Brasília, [S.d.] . Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- AHMED, F. *et al.* Enhanced system architecture for smart home energy management system using knapsack algorithm with integration of solar photovoltaic energy source. **Applied Solar Energy**, New York, v. 57, p. 242–251, 2021.
- ALBERTO, Y.G.G. *et al.* Social impact of renewable energy systems: solar energy system in vulnerable community case study. **Bulletin of Electrical Engineering and Informatics**, Indonesia, v. 10, n. 5, p. 2337 – 2344, 2021.
- ALI EK; IBRAHIM D. A new integrated solar energy based system for residential houses. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 221. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil, infográfico**. ABSOLAR, São Paulo, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil infográfico**. ABSOLAR, São Paulo, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Estatísticas e análises exclusivas do mercado solar fotovoltaico**. ABSOLAR, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/>. Acesso em: 2 nov. 2023.
- BAÑOS, R., MANZANO-AGUGLIARO F.; MONTROYA, F.G.; GIL, C.; ALCAYDE, A. J. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United States, v. 15, n. 4, p. 1753-1766, 2011.
- BEAUDIN, M.; ZAREIPOUR, H.; SCHELLENBERG, A. Residential energy management using a moving window algorithm. *In*: IEEE PES INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES CONFERENCE EUROPE, Berlin, 3., p. 1 - 8, 2012. **Proceedings ISGT Europe**[...]. Berlin: IEEE, 2012.
- BINGHAM, C.B.; EISENHARDT, K.M. Rational heuristics: the ‘simple rules’ that strategists learn from process experience. **Strategic Management Journal**, Hoboken, v. 32, n.13. p. 1437-1464, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/smj.965>. Acesso em: 28 out. 2023
- BRADSHAW, A; MARTINO JANNUZZI, G. Governing energy transitions and regional economic development: Evidence from three brazilian states. **Energy Policy**, Guildford, v. 126, 2019.

BRASIL. LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). **Diário Oficial da União**, Seção: 1 - Página: 4, Brasília, 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 05 jun. 2023.

CÂMARA LEGISLATIVA. Marco Legal Geração Distribuída. Brasília, 2022 Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/843782-LEI-INSTITUI-MARCO-LEGAL-DA-MICRO-E-MINIGERACAO-DE-ENERGIA>. Acesso em: 05 fev. 2023.

CAPEHART, B.; MUTH, E. J.; STORIN, M. O. Minimizing residential electrical energy costs using microcomputer energy management systems. **Computers and Industrial Engineering**, New York, v. 6, n. 4, p. 261–269, 1982.

CARVALHO, M. M; MAGALHÃES, A. S; DOMINGUES, E. P. Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 29, n. 2, p. 459-485. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/rYXdfgJnQdFfYKMcyYzKp9G/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 28 maio 2023.

CHU, L; TAKEUCHI, K. The non-operating solar projects: Examining the impact of the feed-in tariff amendment in Japan. **Energy Policy**, Guildford, v. 160, 2022.

CULBERT, C; RILEY, G; SAVELY, R. An expert system development methodology that supports verification and validation. **Expert Systems with Applications**, Houston, v.1, n.2, P.93-102, 1990.

DAVID, T. M; BUCCIERI, G. P; ROCHA RIZOL, P. M. S. Photovoltaic systems in residences: A concept of efficiency energy consumption and sustainability in brazilian culture. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 298, 2021.

DINCER, I; EZZAT, M. 3.5 solar energy production. **Comprehensive Energy Systems**, Amsterdam, v.1, part. A, 2018.

DUSCHNER, T.; KLÄRNER, M.; TRINKL, C.; ZÖRNER, W.; HAMACHER, T. technological optimization of solar energy supply concepts for residential buildings. In: IEA SHC SOLAR HEATING AND COOLING CONFERENCE FOR BUILDINGS AND INDUSTRY, Abu Dhabi, 2017. **Proceedings [...]** Nova York: Curran Associates, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas)**. EPE, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 07 jun. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudos do plano decenal de expansão de energia 2032**. Brasília: MME/EPE, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota técnica solar fotovoltaica flutuante**. Brasília: MME/EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-solar-fotovoltaica-flutuante>. Acesso em: 18 jul. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2027**. Brasília: MME/EPE, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese 2022: Ano base 2021** / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2022.

FERREIRA, A.; KUNH, S. S.; FAGNANI, K. C.; SOUZA, A.T.; TONEZER, C.; SANTOS, G; H. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United States, v. 81, p.181-191, 2018. ISSN 1364-0321.

FIGUEIREDO, C. J. *et al.* Uso de sistemas especialistas para a avaliação de um processo agroindustrial. 2011.

FEIGENBAUM, EA. **Knowledge engineering for the 1980s**. Stanford University Stanford, California, USA. 1982.

FREITAS, B. M. R. What's driving solar energy adoption in Brazil? Exploring settlement patterns of place and space, **Energy Research and Social Science**, Países Baixos, v. 89, 2022.

GERCEK, C.; REINDERS, A. Smart appliances for efficient integration of solar energy: a dutch case study of a residential smart grid pilot. **Applied sciences**, Basel, v. 9, n. 3, 2019.

GIARRATANO, J.C. **CLIPS 6.4 User's Guide**. Clips, Houston, 2023. Disponível em: <https://clipsrules.net/?q=Documentation>. Acesso em: 29 jul. 2023.

GIARRATANO, J. C.; RILEY, G. **Expert systems: Principles and programming**. 3rd ed. Boston: PWS Publishing Company, 1998.

GRAINGER-BROWN, J; MALEKPOUR, S; RAVEN, R; TAYLOR, E. Exploring urban transformation to inform the implementation of the Sustainable Development Goals, **Cities**, [S.l.], v. 131, 2022.

GUPTA, S.; NATARAJAN, K. P. Fuzzy logic based smart home energy management system. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING, COMMUNICATION AND NETWORKING TECHNOLOGIES, 9., 2018, Bengaluru. **Proceedings [...]** [S.l.]: IEEE, 2018,

HA, T. *et al.* Energy hub modeling to minimize residential energy costs considering solar energy and BESS. **Journal of Modern Power Systems and Clean Energy**, Nanjing, v.5, p. 389–399. 2017.

HIRAI, T; COMIM, F. Measuring the sustainable development goals: A poset analysis, **Ecological Indicator**, New York, v. 145, 2022.

HOFFMANN, A. S.; CARVALHO, G. H.; CARDOSO JR, R. A. F.; Environmental licensing challenges for the implementation of photovoltaic solar energy projects in Brazil. **Energy Policy**, Guildford, v. 132, p. 1143-1154, 2019.

HOSSEINI, S.E.; WAHID, M.A. Hydrogen from solar energy, a clean energy carrier from a sustainable source of energy. **International Journal of Energy Research**, Chichester, v. 44, p. 4110–4131, 2019.

IGLESIAS, C.; VILAÇA, P. On the regulation of solar distributed generation in Brazil: A look at both sides, **Energy Policy**, Guildford, v. 167, 2022.

INÊS, C; LUZ GUILHERME, P; ESTHER, M.G.; SWANTJE, G. STEPHEN, H; LARS, H. Regulatory challenges and opportunities for collective renewable energy prosumers in the EU, **Energy Policy**, Guildford, v. 138, 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Approximately 100 million households rely on rooftop solar PV by 2030: Part of Technology and innovation pathways for zero-carbon-ready buildings by 2030**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/approximately-100-million-households-rely-on-rooftop-solar-pv-by-2030>. Acesso em: 02 set. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications**. 3th ed. Paris: IEA, 2021.

JABASH SAMUEL, G.K.; JASPER J. MANFIS based smart home energy management system to support smart grid. **Peer-to-Peer Networking and Applications**. 2020.

JOELSSON, A.; GUSTAVSSON, L. District heating and energy efficiency in detached houses of differing size and construction. **Applied Energy**, Guildford, v. 86, n. 2, p. 126–134, 2009.

JORDÃO, T. M. C. C. **Viabilidade econômica de medidas de gestão de consumo integradas com tarifas dinâmicas no setor residencial**. 2019 107 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019.

KANNAN, N.; VAKEESAN, D. Solar energy for future world: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United Kingdom, v. 62, p. 1092-1105, 2016, ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>. Acesso em: 01 ago. 2023.

KINGSTON, J. Conducting feasibility studies for knowledge based systems. **Knowledge-Based Systems**, Australia, v. 17, p. 157–164, 2004.

KOTHARI, C. **Research methodology: methods and techniques**. New Delhi: New Age International, 2013.

LAI, L.F. A knowledge engineering approach to knowledge management. **Information Sciences**, China, v. 177, n. 19, p. 4072-4094. 2007.

LAMPIS, A. *et al.* Energy transition or energy diversification? Critical thoughts from Argentina and Brazil, **Energy Policy**, Australia, v. 171, 2022.

- LAZARO, L.L.B. *et al.* Energy transition in Brazil: Is there a role for multilevel governance in a centralized energy regime?. **Energy Research and Social Science**, Holanda, v. 85, 2022.
- LU, J.; RUAN, D. Intelligent knowledge engineering systems. **Knowledge-Based Systems**, Australia, v. 20, n. 5, p. 437-438, 2007.
- LUO, F. *et al.* A multistage home energy management system with residential photovoltaic penetration. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, New Jersey, v. 15, p. 116-126, 2019.
- MABVUTOA, M. *et al.* The potential of solar energy for sustainable water resource development and averting national social burden in rural areas of Zambia. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, Sarajevo, v. 5, n. 1, p. 1 – 7, 2017.
- MARCELINO, R.B.P. *et al.* Energia solar para tratamento de efluentes: revisão de tecnologias internacionais e sua aplicabilidade no Brasil. **Environmental Science and Pollution Research**, Alemanha, v. 22, p. 762-773, 2015.
- MARTINS, V.A.; BRANCO, D.A.C.; HALLACK, M.C.M. Economic effects of micro- and mini-distributed photovoltaic generation for the brazilian distribution system. **Energies**, China, 2022.
- MARTINEZ-PABON, M.; EVELEIGH, T.; TANJU, B. Optimizing residential energy management using an autonomous scheduler system, **Expert Systems with Applications**, Houston, 2017.
- MARTINHO, V.J.P.D. Interrelationships between renewable energy and agricultural economics: an overview, **Energy Strategy Reviews**, Países Baixos, v. 22, p. 396-409, 2018.
- MATELLI, J. A. **Sistemas baseados em conhecimento para projeto de plantas de cogeração a gás natural**. 2008. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.
- MAYA, B. *et al.* The impact of the sustainable development goals on a network of 276 international organizations. **Global Environmental Change**, Chipre, v. 76, 2022.
- MIGUEL, P.A.C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, Brasil, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.
- MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- NADARAJAH, K.; DIVAGAR, V. Solar energy for future world: - a review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United States, v. 62, p. 1092-1105, 2016.
- OLIVEIRA, A. C. L. *et al.* Spatial analysis of energy indicators and proposition of alternative generation sources for the Brazilian territory, **Journal of Cleaner Production**, Países Baixos, v. 356, 2022.

OLIVEIRA, F. A. **Instalações de sistemas solares flutuantes**. Canal solar, Campinas, 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/instalacoes-de-sistemas-solares-flutuantes/>. Acesso em: 17 maio 2023.

PAULA, D.R. *et al.* Competitive business model of photovoltaic solar energy installers in Brazil, **Renewable Energy**, Grécia, v. 181, p 39 – 50, 2022.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information, **Energy and Buildings**, Suíça, v. 40, n. 3, p. 394-398, 2008.

PORTAL SOLAR. Maiores usinas de energia solar do brasil. Portal Solar, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/maiores-usinas-de-energia-solar-do-brasil>. Acesso em: 05 fev. 2023.

PREECE, A.; SHINGHAL, R.; BATAREKH, A. Principles and practice in verifying rule-based systems. **The Knowledge Engineering Review**, Reino Unido, v. 7, n. 2, p. 115-141, 1992.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Nova Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

PV MAGAZINE. Brasil e o terceiro país com maior potencial de solar flutuante no mundo. 2023. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2023/03/22/brasil-e-o-terceiro-pais-com-maior-potencial-de-solar-flutuante-no-mundo>. Acesso em: 3 fev. 2024.

RAHMAN, S.; BHATNAGAR, R. Computerized energy management systems—why and how. **Journal of Microcomputer Applications**, Reino Unido, v. 9, n. 4, p. 261–270, 1986.

RAHUL, S.; SYED MUHAMMAD, A.; JAMIL ASGHAR, M.S. Supervisory control strategy for the effective solar energy utilization in a residential microgrid system using a cost-effective controller. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, Portugal, v. 132, 2021.

RILEY, G. **CLIPS basic programming guide: Version 6.40**. 2021. v.1

ROBERT M. O. K.; ALUN, D. P. The development, validation and implementation of knowledge-based systems, **European Journal of Operational Research**, Países Baixos, v. 92, n. 3, p. 458-473, 1996.

SANTOS, A. J. L.; LUCENA, A. F. P. Potenciais técnico e de mercado de energia solar fotovoltaica de geração distribuída no setor residencial brasileiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, Fortaleza. **Anais CBENS**. Fortaleza: ABES, 2020.

SACCARDO, R.R. *et al.* Investment in photovoltaic energy: an attempt to frame Brazil within the 2030 passage target of the Paris agreement, **Cleaner Energy Systems**, Estados Unidos, v. 5, 2023.

SCOPUS. **Base de dados Scopus**. 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com>. Acesso em: 02 jun. 2022.

SEMADESC. **Semagro entrega licença prévia para usina termelétrica de biomassa em Selvíria**. SEMADESC, Campo Grande, 2018. Disponível em: <https://www.semalesc.ms.gov.br/semagro-entrega-licenca-previa-para-usina-termeletrica-de-biomassa-em-selviria/>. Acesso em: 01 jul. 2024.

SHADBOLT, N.; MILTON, N. From knowledge engineering to knowledge management. **British Journal of Management**, Reino Unido, v. 10, p. 309–322. 1999.

SHAREEF, H. *et al.* A. Review on home energy management system considering demand responses, smart technologies, and intelligent controllers. **Computer Science IEEE**, Estados Unidos, v. 6, 2018.

SHEN, C. *et al.* Recent advances in multispectral solar energy technologies for the building sector, **Renewable Energy**, Estados Unidos, v. 202, p. 1146-1147. 2023.

SIANO, P. Demand response and smart grids—a survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United States, v. 30, p. 461–478, 2014.

SIQUEIRA, D.C.; SOUSA, V.D.; LESS, D.F. Sistema fotovoltaico flotante, principales obstáculos y desafíos de implementación en Brasil: revisión de la literatura. **Research, Society and Development**, Brasil, v. 11, n.1, 2022.

SOETEDJO, A.; NAKHODA, Y.; SALEH, C. Embedded fuzzy logic controller and wireless communication for home energy management systems. **Electronics**, Reino Unido, v. 7, n. 189. 2018.

SOLANGI, K.H. *et al.* A review on global solar energy policy, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United Kingdom, v. 15, n. 4, p. 2149 - 2163, 2011. ISSN 1364-0321.

STUDER, R.; RICHARD BENJAMINS, V.; FENSEL, D. Knowledge engineering: principles and methods, **Data and knowledge engineering**, Países Baixos, v. 25, p. 161-197, 1998.

SWAN, L.G.; UGURSAL, V.I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: a review of modeling techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United States, v. 13, n. 8, p. 1819–1835, 2009.

WANG, Y.; HASANI, J. Energy generation from a system based on solar energy and fuel cell technology with the option of storing electrical energy, **Energy Reports**, Reino Unido, v. 8, p. 4988-5004, 2022.

WERNER, D.; LAZARO, L. L. B. The policy dimension of energy transition: The Brazilian case in promoting renewable energies (2000–2022), **Energy Policy**, Guildford, 2023.

WIELINGA, B.; SANDBERG, J.; SCHREIBER, G. Methods and techniques for knowledge management: what has knowledge engineering to offer? **Expert Systems With Applications**, Houston, v. 13, n. 1, p. 73-84, 1997.

XIAN, L. *et al.* Energetic and economic evaluation of hybrid solar energy systems in a residential net-zero energy building, **Applied Energy**, Guildford, v. 254, 2019.

XIAOLEI, Y. *et al.* System modelling and optimization of a low temperature local hybrid energy system based on solar energy for a residential district. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 267, 2022.

ZANDER, K. Unrealised opportunities for residential solar panels in Australia. **Energy Policy**, Guildford, v. 142, 2020.

ZOGHI, I.; SADAT, J.; ELISANI, A.H. Assessment of sun model in estimating the solar energy received in arid and semi-arid areas (Case study: Isfahan province, Iran). **Journal of Environmental Studies**, Portugal, v. 41, n. 2, p. 415 – 427, 2015.

APÊNDICE A

Questionário

Este questionário se enquadra numa pesquisa no âmbito de uma tese de doutorado em engenharia de energia, realizada na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", com o tempo médio de resposta de 13 minutos. Os resultados obtidos serão usados apenas para fins acadêmicos, sendo realçado que as respostas dos inquiridos representam apenas a sua opinião individual. Não existem respostas certas ou erradas. Por isso lhe solicitamos que responda de forma espontânea e sincera.

Este questionário tem como base a busca do conhecimento tácito, para Asheim e Vang (2007) distinguem três categorias principais de base de conhecimento: "analítica", "sintética" e "simbólica", que contêm diferentes combinações de conhecimento tácito e codificado.

Base analítica: Inovação pela criação de novos conhecimentos; Importância do conhecimento científico, muitas vezes baseado em processos dedutivos e modelos formais e conhecimento predominantemente científico.

Base sintética: Importância do conhecimento aplicado, muitas vezes através de processos indutivos e domínio do conhecimento tácito devido a habilidade adquirida pela experiência, saber prático.

Base simbólica: Inovação por recombinação do conhecimento existente de novas maneiras; aprendizagem por meio da interação na comunidade profissional e confiança em conhecimento tácito, habilidades práticas e habilidades de busca e de pesquisa.

Sendo assim, a pergunta a seguir toma como base o saber empírico, que vai além do conhecimento analítico.

Questão 1: Como especialista na área de energia solar fotovoltaica, quais perguntas devem ser feitas para ser viável e favorável se instalar energia solar em residências e/ou indústrias?

(As perguntas podem ser relacionadas a qualquer tema da área pesquisada. Se possível, detalhe ou comente sobre a pergunta que expuser)

Especialista 1:

A faixa de consumo de energia é adequada?

O consumidor que tem um consumo maior que 300kWh/mês usa uma quantidade que torna possível a instalação do sistema FV no âmbito financeiro, em vista do custo de disponibilidade.

Existe pretensão de aumento no consumo de energia?

É considerado adequado também a pretensão de um aumento de consumo de energia, como a instalação de ares-condicionados por exemplo. São feitos estudos de acordo com os aparelhos que se pretende comprar e com isso usa-se como base para estimar o consumo futuro e assim dimensionar o sistema FV adequado para o consumidor.

Existirá manutenção?

É extremamente importante incluir a troca do inversor solar (a cada 5 anos, ou a cada 10 anos, dependendo do fabricante) nas estimativas de *payback*, em vista de ser um equipamento com custo elevado e o sistema FV durar mais de 30 anos.

Foi feita uma visita técnica no local de instalação?

Quando é iniciado um projeto FV para residências, é importante verificar as instalações antes de efetivar a compra do sistema FV.

Como as bandeiras tarifárias afetam a conta de energia?

De acordo com a nova lei deferida em 6 de janeiro de 2022, com o aumento progressivo do valor das bandeiras tarifárias, a instalação de energia solar em residências diminui este faturamento devido ao fato de ser cobrado relativo somente ao que é usado da rede da concessionária local e não pelo que é gerado.

Existe pretensão de venda do excedente de energia?

Também de acordo com a nova lei, será possível a venda do excedente de energia para a própria concessionária.

Identificação de aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências: "Desconhecimento sobre o tema"; "Falta de prioridade"; "Cultural"; "Uniformização de normas"; "Falta de influenciadores" e "Custos".

Questão 2: Na sua opinião, existe algum comentário que seja pertinente sobre energia solar em residência ou comércio relacionado aos aspectos descobertos no primeiro trabalho? Comentários adicionais.

Na minha opinião, o aspecto "desconhecimento sobre o tema" está se tornando menos impactante, em vista da alta exaltação do tema em diversos meios de comunicação. O tema "Falta de prioridade" também está sendo abordado pois cada vez mais temos o aumento da conta de energia, tornando prioridade para os consumidores fazer a troca pela renovável.

Especialista 2:

O payback é com tempo menor que 4 anos?

O consumo do cliente é considerado baixo, menor que 350 kWh/mês?

Se for mais baixo que 350 kWh/mês e mesmo assim quer se instalar um sistema FV, tem a opção do autoconsumo remoto, no qual é possível colocar mais uma unidade consumidora no rateio e assim tem uma faixa de consumo considerada favorável. Exemplo: juntar duas contas de energia (de 250kWh/mês, totalizando 500kWh/mês) e fazer um sistema FV só para as duas

Como será feito o pagamento desse sistema solar?

Uma das maiores vantagens de se instalar sistemas FV é a "troca" de dívidas que se tem. Por exemplo, o consumidor paga a fatura normalmente todo mês, e as linhas de créditos no mercado oferecem créditos de financiamentos para se instalar o sistema FV em que o consumidor pagará uma parcela parecida com a que já paga para a concessionária, não gerando "novas" dívidas e assim tendo retorno dentro de 3 a 4 anos.

Há sombreamento no local?

Muitos consumidores querem instalar sistemas FV mas não contam com os fatores externos que podem prejudicar o sistema FV. São exemplos árvores e prédios próximos ao local. A instalação não se torna desfavorável, porém o sistema precisa ser dimensionado considerando as perdas que irá sofrer.

Qual o valor da Tarifa de energia da concessionária de energia? É maior que o custo unitário da energia solar?

Quais as coordenadas geográficas e condições físicas do local?

Identificação de aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências: "Desconhecimento sobre o tema"; "Falta de prioridade"; "Cultural"; "Uniformização de normas"; "Falta de influenciadores" e "Custos".

Questão 2: Na sua opinião, existe algum comentário que seja pertinente sobre energia solar em residência ou indústria relacionado aos aspectos descobertos no primeiro trabalho? Comentários adicionais.

O aspecto "uniformização de normas" está sendo desmitificados com novas leis e melhorias de leis no setor, como a lei proposta este ano em 6 de janeiro. Em relação ao aspecto "Custos", tem-se conseguido baixar mais os preços por meio da competitividade entre fornecedores e a desenvolvimento tecnológico.

Especialista 3:

A faixa de consumo de energia é adequada?

Existe pretensão de aumento no consumo de energia?

Existirá manutenção?

Há sombreamento no local?

Quais incentivos a indústria recebe da concessionária em relação a energia?

Deve ser feito um estudo em relação ao incentivo que a concessionária de energia disponibiliza para o consumidor. Nas várias regiões do Brasil, existem diversas formas de incentivo para a contratação de energia:

A modalidade B2 rural - bombeamento de água para irrigação dispõe um incentivo de uso de energia o custo ser mínimo (entre 0,03 a 0,08 centavos) em determinada faixa de horário no dia, geralmente a noite/madrugada. Comparando com o custo unitário de energia solar, que fica entre 0,2 a 0,3 centavos, essa modalidade é mais vantajosa.

Tem a modalidade também com demanda contratada, que geralmente o acordo feito com a concessionária a quantidade fica bem alta, sendo o valor também muito elevado. Nesse caso é quase sempre favorável a mudança de modalidade tarifária, o cliente ir para o grupo B por exemplo, e colocar um sistema solar com o consumo total dele, com ponta e fora ponta, e ele pagar somente o custo de disponibilidade.

Outra característica também que ocorre seria a o cliente de grupo A ter uma demanda contratada baixa, por motivos de economia, e ultrapassar essa demanda todo mês gerando multas extremamente altas. Nesse caso uma solução de eficiência seria aumentar a demanda contratada dele para parar de pagar multas e colocar energia solar, nesse caso iria ser pago a mais pela demanda, mas em comparação as multas de ultrapassagem seriam menores, e com a demanda aumentada, teríamos maior folga de inversor.

Identificação de aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências: "Desconhecimento sobre o tema"; "Falta de prioridade"; "Cultural"; "Uniformização de normas"; "Falta de influenciadores" e "Custos".

Questão 2: Na sua opinião, existe algum comentário que seja pertinente sobre energia solar em residência ou indústria relacionado aos aspectos descobertos no primeiro trabalho? Comentários adicionais.

(...)

Especialista 4:

Na minha opinião a maior pergunta a ser feita é em relação ao payback. Em quanto tempo será o retorno do investimento?

A segunda seria: É possível pagar as parcelas de financiamento só com o valor gasto na conta de energia?

A terceira: O telhado tem espaço e boa estruturação para receber o sistema solar? Pois as placas pesam em média 18Kg cada.

E a última seria sobre a irradiação solar: A região de instalação tem uma irradiação considerada boa?

É considerado favorável uma incidência maior que 6 Kwh/m² ao ano

Identificação de aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências: "Desconhecimento sobre o tema"; "Falta de prioridade"; "Cultural"; "Uniformização de normas"; "Falta de influenciadores" e "Custos".

Questão 2: Na sua opinião, existe algum comentário que seja pertinente sobre energia solar em residência ou indústria relacionado aos aspectos descobertos no primeiro trabalho? Comentários adicionais.

Os aspectos "cultural" e "falta de prioridade" estão sendo solucionados pela alta na tarifa de energia, a gente consegue verificar isto com a alta nos índices de instalações de sistema solar e a grande demora por parte da concessionária para analisar os projetos, pois a demanda de projetos para serem analisados aumentou muito e o pessoal especializado para fazer a análise destes projetos não cresceu da mesma forma, gerando diversos transtornos e aberturas de reclamações por parte das empresas de energia solar pois a demora ultrapassa o regulamentado por lei.

Especialista 5:

A empresa de instalação do sistema FV é considerada confiável?

Com a grande valorização da área de energia solar e o desemprego no país, a busca por oportunidade de trabalho no mercado de solar cresceu significativamente. Com isso, o mercado ficou competitivo e empresas que buscam os melhores descontos as vezes superdimensionam o projeto, deixando de entregar a energia prometida.

O tempo de retorno do investimento é considerado vantajoso?

Payback de mais de 6 anos por exemplo pode ser considerada desfavorável a aquisição de sistema solar em vista da desvalorização do dinheiro e entre outros fatores

Como será feito o pagamento do sistema de energia solar?

Uma das formas mais vantajosas é por meio de linhas de créditos específicas para este setor.

A instalação será feita em condomínios de casa, por exemplo?

Instalações em condomínios pode ser completamente favorável em vista do uso comum de energia ser alto. É possível a instalações em Carports (estacionamentos solares) e não usa espaço disponível de alto valor agregado.

Qual o contrato de energia (formatação) existente na empresa?

Qual a tarifa de energia do contrato com a concessionária?

Quais as condições físicas do local?

Identificação de aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências: "Desconhecimento sobre o tema"; "Falta de prioridade"; "Cultural"; "Uniformização de normas"; "Falta de influenciadores" e "Custos".

Questão 2: Na sua opinião, existe algum comentário que seja pertinente sobre energia solar em residência ou indústria relacionado aos aspectos descobertos no primeiro trabalho? Comentários adicionais.

(...)

ANEXO A

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 07/01/2022 | Edição: 5 | Seção: 1 | Página: 4

Órgão: Atos do Poder Legislativo

LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022

Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as [Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004](#), e [9.427, de 26 de dezembro de 1996](#); e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

CAPÍTULO I

DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Para fins e efeitos desta Lei, são adotadas as seguintes definições:

I - autoconsumo local: modalidade de microgeração ou minigeração distribuída eletricamente junto à carga, participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), no qual o excedente de energia elétrica gerado por unidade consumidora de titularidade de um consumidor-gerador, pessoa física ou jurídica, é compensado ou creditado pela mesma unidade consumidora;

II - autoconsumo remoto: modalidade caracterizada por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora;

III - consórcio de consumidores de energia elétrica: reunião de pessoas físicas e/ou jurídicas consumidoras de energia elétrica instituído para a geração de energia destinada a consumo próprio, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora;

IV - Conta de Desenvolvimento Energético (CDE): encargo setorial estabelecido pela [Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002](#);

V - consumidor-gerador: titular de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída;

VI - crédito de energia elétrica: excedente de energia elétrica não compensado por unidade consumidora participante do SCEE no ciclo de faturamento em que foi gerado, que será registrado e alocado para uso em ciclos de faturamento subsequentes, ou vendido para a concessionária ou permissionária em que está conectada a central consumidora-geradora;

VII - empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: conjunto de unidades consumidoras localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sem separação por vias públicas, passagem aérea ou subterrânea ou por propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento, em que as instalações para atendimento das áreas de uso comum, por meio das quais se conecta a microgeração ou minigeração distribuída, constituam uma unidade consumidora distinta, com a utilização da energia elétrica de forma independente, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento;

VIII - excedente de energia elétrica: diferença positiva entre a energia elétrica injetada e a energia elétrica consumida por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída de titularidade de consumidor-gerador, apurada por posto tarifário a cada ciclo de faturamento, exceto para o caso de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras ou geração compartilhada, em que o

excedente de energia elétrica pode ser toda a energia gerada ou a injetada na rede de distribuição pela unidade geradora, a critério do consumidor-gerador titular da unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída;

IX - fontes despacháveis: 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, com baterias cujos montantes de energia despachada aos consumidores finais apresentam capacidade de modulação de geração por meio do armazenamento de energia em baterias, em quantidade de, pelo menos, 20% (vinte por cento) da capacidade de geração mensal da central geradora que podem ser despachados por meio de um controlador local ou remoto;

X - geração compartilhada: modalidade caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil, instituída para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora;

XI - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;

XII - microrrede: integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistema de distribuição secundário capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica e também de forma isolada, controlando os parâmetros de eletricidade e provendo condições para ações de recomposição e de autorrestabelecimento;

XIII - minigeração distribuída: 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;

XIV - Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): sistema no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local, cedida a título de empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema,

Parágrafo único. Para todas as unidades referidas no **caput** do art. 26 desta Lei, o limite de potência instalada de que trata o inciso XIII do **caput** deste artigo é de 5 MW (cinco megawatts) até 31 de dezembro de 2045.

CAPÍTULO II

DA SOLICITAÇÃO DE ACESSO E DE AUMENTO DE POTÊNCIA

Art. 2º As concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão atender às solicitações de acesso de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com ou sem sistema de armazenamento de energia, bem como sistemas híbridos, observadas as disposições regulamentares.

§ 1º Os contratos firmados entre o consumidor e a concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica para fins de acesso ao sistema de microgeração ou minigeração distribuída devem ser celebrados com a pessoa física ou jurídica, consórcio, cooperativa, condomínio voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil instituída para esse fim, indicado como titular o da unidade consumidora na qual a microgeração ou minigeração distribuída será ou está instalada na ocasião da solicitação de acesso, garantida a possibilidade de transferência da titularidade antes ou depois da conexão da microgeração ou minigeração distribuída,

§ 2º Para realização de solicitações de acesso de uma unidade consumidora nova, com microgeração ou minigeração distribuída, as distribuidoras deverão efetuar concomitantemente a solicitação de conexão de uma nova unidade consumidora e a solicitação de parecer de acesso para microgeração ou minigeração distribuída conforme as disposições regulatórias.

§ 3º A Aneel deverá estabelecer um formulário-padrão para a solicitação de acesso para microgeração e minigeração distribuída, que deve ser protocolado na distribuidora, acompanhado dos documentos pertinentes, não cabendo a ela solicitar documentos adicionais àqueles indicados nos formulários padronizados, e a distribuidora deverá disponibilizar ao acessante todas as informações necessárias para elaboração dos projetos que compõem a solicitação de acesso.

§ 4º Na hipótese de vício formal sanável ou de falta de documentos nos estudos de responsabilidade do acessante necessários à elaboração dos projetos que compõem o parecer de acesso, a distribuidora acessada notificará o acessante sobre todas as pendências verificadas que deverão ser sanadas e protocoladas na distribuidora acessada em até 30 (trinta) dias contados da data de recebimento da notificação formal da distribuidora para esse fim, facultado prazo distinto acordado entre as partes.

Art. 3º Os consumidores participantes de consórcio, cooperativa, condomínio voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil instituída para empreendimento com múltiplas unidades consumidoras ou de geração compartilhada, na forma prevista nesta Lei, poderão transferir a titularidade das contas de energia elétrica de suas unidades consumidoras participantes do SCEE para o consumidor-gerador que detém a titularidade da unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída desses empreendimentos.

Art. 4º Os interessados em implantar projetos de minigeração distribuída devem apresentar garantia de fiel cumprimento, nos seguintes montantes, conforme regulamentação da Aneel:

I - 2,5% (dois e meio por cento) do investimento para centrais com potência instalada superior a 500 kW (quinhentos quilowatts) e inferior a 1.000 kW (mil quilowatts); ou

II - 5% (cinco por cento) do investimento para centrais com potência instalada maior ou igual a 1.000 kW (mil quilowatts).

§ 1º Ficam dispensadas da obrigação de que trata o **caput** deste artigo as centrais de microgeração ou minigeração distribuída enquadradas na modalidade de geração compartilhada por meio da formação de consórcio ou cooperativa e enquadradas na modalidade de múltiplas unidades consumidoras.

§ 2º Os projetos com potência instalada superior a 500 kW (quinhentos quilowatts) que estejam com parecer de acesso válido na data de publicação desta Lei devem apresentar as garantias de fiel cumprimento na forma deste artigo em até 90 (noventa) dias, contados da publicação desta Lei.

§ 3º O disposto no § 2º deste artigo não se aplica caso seja celebrado contrato com a distribuidora em até 90 (noventa) dias, contados da publicação desta Lei.

§ 4º O não cumprimento das disposições constantes dos §§ 2º e 3º deste artigo implica o cancelamento do parecer de acesso.

§ 5º Os valores referentes à execução da garantia de fiel cumprimento devem ser revertidos em prol da modicidade tarifária.

§ 6º O interessado poderá desistir da solicitação a qualquer tempo, e a garantia de fiel cumprimento será executada caso a desistência ocorra após 90 (noventa) dias da data de emissão do parecer.

§ 7º A garantia de fiel cumprimento vigorará até 30 (trinta) dias após a conexão do empreendimento ao sistema de distribuição.

§ 8º Regulamentação da Aneel definirá as condições para execução da garantia de fiel cumprimento, bem como para restituição dos valores aos interessados, nas mesmas condições em que foi prestada.

Art. 5º Fica vedada a transferência do titular ou do controle societário do titular da unidade com microgeração ou minigeração distribuída indicado no parecer de acesso até a solicitação de vistoria do ponto de conexão para a distribuidora, assegurada a destinação de créditos de energia às unidades

consumidoras beneficiárias, a partir do primeiro ciclo de faturamento subsequente ao do pedido.

Parágrafo único. A não observância da vedação prevista no **caput** deste artigo implica o cancelamento do parecer de acesso.

Art. 6º Fica vedada a comercialização de pareceres de acesso.

Art. 7º O prazo estabelecido para conclusão das melhorias e dos reforços de rede indicado no parecer de acesso poderá ser prorrogado, mediante comprovação de evolução do licenciamento ambiental ou das obras de implantação da usina a ser comunicada pelo acessante à distribuidora, o que implicará, por conseguinte, postergação do pagamento dos vencimentos dos contratos de uso do sistema de distribuição da concessionária.

CAPÍTULO III

DAS RESPONSABILIDADES FINANCEIRAS

Art. 8º Para o atendimento às solicitações de nova conexão ou de alteração da conexão existente para instalação de microgeração ou minigeração distribuída, deve ser calculada a participação financeira da concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, bem como a eventual participação financeira do consumidor-gerador titular da unidade consumidora onde a microgeração ou minigeração distribuída será instalada, consideradas as diretrizes e as condições determinadas pela Aneel.

§ 1º A responsabilidade de que trata o **caput** deste artigo abrange todos os custos referentes à ampliação de capacidade ou à reforma de subestações, de alimentadores e de linhas já existentes.

§ 2º O custo da obra deve considerar os critérios de mínimo dimensionamento técnico possível e de menor custo global para a conexão da central de microgeração e minigeração distribuída, observados as normas e os padrões de qualidade da prestação do serviço e de investimento prudente definidos pela Aneel.

§ 3º Se houver opção pela concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica ou pelo consumidor interessado na conexão da microgeração ou minigeração distribuída em realizar obras com dimensões maiores do que as estabelecidas no parecer de acesso, os custos adicionais deverão ser arcados integralmente pelo optante e ser discriminados e justificados perante a outra parte.

§ 4º A distribuidora é responsável técnica e financeiramente pelo sistema de medição da microgeração distribuída.

§ 5º Os custos de adequação do sistema de medição para conexão da minigeração distribuída são de responsabilidade do interessado.

§ 6º Os custos de eventuais melhorias ou de reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração distribuída serão integralmente arcados pela concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, não havendo participação financeira do consumidor.

§ 7º O consumidor-gerador interessado na conexão de central de microgeração ou minigeração distribuída pode optar por tensão diferente da informada pela concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, conforme as tensões definidas em regulamento específico, desde que haja viabilidade técnica do subsistema elétrico, e são de sua responsabilidade os investimentos adicionais necessários a esse atendimento.

CAPÍTULO IV

DA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Art. 9º Podem aderir ao SCEE os consumidores de energia, pessoas físicas ou jurídicas, e suas respectivas unidades consumidoras:

- I - com microgeração ou minigeração distribuída com geração local ou remota;
- II - integrantes de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras;
- III - com geração compartilhada ou integrantes de geração compartilhada;
- IV - caracterizados como autoconsumo remoto.

Parágrafo único. Não poderão aderir ao SCEE os consumidores livres que tenham exercido a opção de compra de energia elétrica, conforme as condições estabelecidas nos [arts. 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995](#), ou consumidores especiais que tenham adquirido energia na forma estabelecida no [§ 5º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996](#).

Art. 10. A concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica não pode incluir consumidores no SCEE quando for detectado, no documento que comprova a posse ou propriedade do imóvel onde se encontra instalada ou será instalada a microgeração ou minigeração distribuída, que o consumidor tenha alugado ou arrendado terrenos, lotes e propriedades em condições nas quais o valor do aluguel ou do arrendamento se dê em real por unidade de energia elétrica.

Art. 11. É vedado novo enquadramento como microgeração ou minigeração distribuída das centrais geradoras que já tenham sido objeto de registro, de concessão, de permissão ou de autorização no Ambiente de Contratação Livre (ACL) ou no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), ou tenham entrado em operação comercial para geração de energia elétrica no ACL ou no ACR ou tenham tido sua energia elétrica contabilizada no âmbito da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) ou comprometida diretamente com concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, no ACR, e a concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica deve identificar esses casos perante a Aneel.

§ 1º Unidades consumidoras com geração local, cuja potência nominal total dos transformadores seja igual ou inferior a uma vez e meia o limite permitido para ligação de consumidores do Grupo B, podem optar por faturamento idêntico às unidades conectadas em baixa tensão, conforme regulação da Aneel.

§ 2º É vedada a divisão de central geradora em unidades de menor porte para se enquadrar nos limites de potência para microgeração ou minigeração distribuída.

§ 3º (VETADO).

Art. 12. A cada ciclo de faturamento, para cada posto tarifário, a concessionária de distribuição de energia elétrica, conforme o caso, deve apurar o montante de energia elétrica ativa consumido e o montante de energia elétrica ativa injetado na rede pela unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em sua respectiva área de concessão.

§ 1º O excedente de energia elétrica de um posto tarifário deve ser inicialmente alocado no mesmo posto tarifário e sequencialmente para outros postos tarifários da mesma unidade consumidora que gerou a energia elétrica e, posteriormente, para uma ou mais das opções a seguir:

I - mesma unidade consumidora que injetou a energia elétrica, para ser utilizado em ciclos de faturamento subsequentes, transformando-se em créditos de energia elétrica;

II - outras unidades consumidoras do mesmo consumidor-gerador, inclusive matriz e filiais, atendidas pela mesma concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica;

III - outras unidades consumidoras localizadas no empreendimento com múltiplas unidades consumidoras que injetou a energia elétrica; ou

IV - unidades consumidoras de titular integrante de geração compartilhada atendidas pela mesma concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica.

§ 2º No caso de excedente de energia a que se refere o § 1º deste artigo, quando a unidade consumidora estiver em local diferente da geração, o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos o percentual de energia excedente alocado a essa unidade consumidora e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso.

§ 3º Sempre que o excedente ou o crédito de energia elétrica forem utilizados em unidade consumidora do Grupo A, em postos tarifários distintos do que foi gerado, deve-se observar a relação entre as componentes tarifárias que recuperem os custos pela compra de energia elétrica para revenda ao consumidor e respectivos encargos do posto em que a energia elétrica foi gerada e a do posto em que foi alocada, aplicável à unidade consumidora que os recebeu.

§ 4º O consumidor-gerador titular da unidade consumidora onde se encontra instalada a microgeração ou minigeração distribuída pode solicitar alteração dos percentuais ou da ordem de utilização dos excedentes de energia elétrica ou realocar os excedentes para outra unidade consumidora do mesmo titular, de que trata o § 1º deste artigo, perante a concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, e esta terá até 30 (trinta) dias para operacionalizar o procedimento.

Art. 13. Os créditos de energia elétrica expiram em 60 (sessenta) meses após a data do faturamento em que foram gerados e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor participante do SCEE faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo.

§ 1º Os créditos são determinados em termos de energia elétrica ativa, não estando sua quantidade sujeita a alterações em razão da variação nos valores das tarifas de energia elétrica.

§ 2º Para abatimento do consumo, devem ser utilizados sempre os créditos mais antigos da unidade consumidora participante do SCEE.

§ 3º Os créditos de energia elétrica existentes no momento do encerramento da relação contratual do consumidor participante do SCEE perante a concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica serão mantidos em nome do titular pelo prazo estabelecido no **caput** deste artigo, exceto se houver outra unidade consumidora sob mesma titularidade de pessoa física ou jurídica, inclusive matriz e filiais, consórcio, cooperativa ou condomínio voluntário ou edilício ou qualquer outra forma de associação civil instituída para esse fim, atendida pela mesma concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, e poderão ser, nesse caso, realocados para a respectiva unidade consumidora remanescente.

§ 4º A não solicitação de alocação dos créditos do consumidor-gerador para determinada unidade em até 30 (trinta) dias após o encerramento da relação contratual implicará a realocação automática pela concessionária para a unidade de maior consumo e assim sucessivamente, até a compensação integral dos créditos remanescentes.

§ 5º Para os empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras ou de geração compartilhada, caso exista saldo de créditos acumulado na unidade consumidora onde se encontra instalada a microgeração ou minigeração distribuída, o consumidor-gerador titular da unidade consumidora pode solicitar, com antecedência de 30 (trinta) dias prévios ao fim da relação contratual, a distribuição do saldo existente para outras unidades consumidoras de consumidores que façam parte dos referidos empreendimentos.

Art. 14. O consumidor-gerador titular da unidade consumidora onde se encontra instalada a microgeração ou minigeração distribuída deve definir as unidades consumidoras que receberão os excedentes de energia elétrica na forma deste artigo e estabelecer o percentual que será alocado a cada uma delas ou a ordem de prioridade para o recebimento, a seu critério.

Parágrafo único. Nos empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras ou geração compartilhada, os excedentes de energia somente podem ser alocados para as unidades consumidoras que fazem parte do referido empreendimento atendidos pela mesma concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica.

Art. 15. Os excedentes de energia provenientes de geração distribuída em unidades geradoras atendidas por permissionárias de energia elétrica podem ser alocados nas concessionárias de distribuição de energia elétrica onde a permissionária de distribuição de energia elétrica se encontra localizada, atendidas as normas estabelecidas pela Aneel.

Art. 16. Para fins de compensação, a energia injetada, o excedente de energia ou o crédito de energia devem ser utilizados até o limite em que o valor em moeda relativo ao faturamento da unidade consumidora seja maior ou igual ao valor mínimo faturável da energia estabelecido na regulamentação vigente.

§ 1º Para as unidades consumidoras participantes do SCEE não enquadradas no **caput** do art. 26 desta Lei, o valor mínimo faturável da energia deve ser aplicado se o consumo medido na unidade consumidora, desconsideradas as compensações oriundas do SCEE, for inferior ao consumo mínimo faturável estabelecido na regulamentação vigente.

§ 2º O valor mínimo faturável aplicável aos microgeradores com compensação no mesmo local da geração e cujo gerador tenha potência instalada de até 1,200 W (mil e duzentos watts) deve ter uma redução de até 50% (cinquenta por cento) em relação ao valor mínimo faturável aplicável aos demais consumidores equivalentes, conforme regulação da Aneel.

Art. 17. Após o período de transição de que tratam os arts. 26 e 27 desta Lei, as unidades participantes do SCEE ficarão sujeitas às regras tarifárias estabelecidas pela Aneel para as unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída.

§ 1º As unidades consumidoras de que trata o **caput** deste artigo serão faturadas pela incidência, sobre a energia elétrica ativa consumida da rede de distribuição e sobre o uso ou sobre a demanda, de todas as componentes tarifárias não associadas ao custo da energia, conforme regulação da Aneel, e deverão ser abatidos todos os benefícios ao sistema elétrico propiciados pelas centrais de microgeração e minigeração distribuída.

§ 2º Competirá ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), ouvidos a sociedade, as associações e entidades representativas, as empresas e os agentes do setor elétrico, estabelecer as diretrizes para valoração dos custos e dos benefícios da microgeração e minigeração distribuída, observados os seguintes prazos, contados da data de publicação desta Lei:

I - até 6 (seis) meses para o CNPE estabelecer as diretrizes; e

II - até 18 (dezoito) meses para a Aneel estabelecer os cálculos da valoração dos benefícios.

§ 3º No estabelecimento das diretrizes de que trata o § 2º deste artigo, o CNPE deverá considerar todos os benefícios, incluídos os locacionais da microgeração e minigeração distribuída ao sistema elétrico compreendendo as componentes de geração, perdas elétricas, transmissão e distribuição.

§ 4º Após o transcurso dos prazos de transição de que trata o **caput** deste artigo, a unidade consumidora participante ou que venha a participar do SCEE será faturada pela mesma modalidade tarifária vigente estipulada em regulação da Aneel para a sua classe de consumo, observados os princípios desta Lei.

Art. 18. Fica assegurado o livre acesso ao sistema de distribuição para as unidades com microgeração ou minigeração distribuída, mediante o ressarcimento, pelas unidades consumidoras com minigeração distribuída, do custo de transporte envolvido.

Parágrafo único. No estabelecimento do custo de transporte, deve-se aplicar a tarifa correspondente à forma de uso do sistema de distribuição realizada pela unidade com microgeração ou minigeração distribuída, se para injetar ou consumir energia.

Art. 19. As bandeiras tarifárias incidem somente sobre o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado e não se aplicam sobre a energia excedente que foi compensada conforme estabelecido no art. 12 desta Lei.

Art. 20. As instalações de iluminação pública poderão participar do SCEE, caso em que a rede pública de iluminação do Município será considerada uma unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, desde que atendidos os requisitos regulamentares da Aneel.

CAPÍTULO V

DAS CONCESSIONÁRIAS E PERMISSIONÁRIAS

Art. 21. Para todos os efeitos regulatórios, será considerada exposição contratual involuntária, entre outras hipóteses previstas em regulamento ou disciplinadas pela Aneel, a sobrecontratação de energia elétrica das concessionárias e permissionárias de distribuição em decorrência da opção de seus consumidores pelo regime de microgeração e minigeração distribuídas.

Art. 22. A partir de 12 (doze) meses após a publicação desta Lei, a CDE custeará as componentes tarifárias não associadas ao custo da energia incidentes e não remuneradas pelo consumidor-gerador sobre a energia elétrica compensada pelas unidades consumidoras participantes do SCEE nas distribuidoras de energia elétrica com mercado inferior a 700 GWh (setecentos gigawatts-hora) por ano.

Parágrafo único. Os custos de que trata o **caput** deste artigo serão suportados somente pelas unidades consumidoras que comprem energia em condições reguladas.

Art. 23. A concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica poderá contratar serviços ancilares de microgeradores e minigeradores distribuídos, por meio de fontes despacháveis ou não, para beneficiar suas redes ou microrredes de distribuição, mediante remuneração desses serviços conforme regulação da Aneel.

Parágrafo único. A Aneel regulamentará o disposto no **caput** deste artigo quanto à contratação de serviços ancilares a ser realizada por meio de chamada pública, com vistas à melhoria da eficiência e da capacidade, à postergação de investimentos por parte da concessionária em suas redes de distribuição, bem como a ações que propiciem a redução do acionamento termelétrico nos sistemas isolados com o objetivo de reduzir o uso de recursos da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC).

Art. 24. A concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica deverá promover chamadas públicas para credenciamento de interessados em comercializar os excedentes de geração de energia oriundos de projetos de microgeradores e minigeradores distribuídos, nas suas áreas de concessão, para posterior compra desses excedentes de energia, na forma de regulamentação da Aneel.

CAPÍTULO VI

DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS

Art. 25. A CDE, de acordo com o disposto nos [incisos VI e VII do caput do art. 13 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002](#), custeará temporariamente as componentes tarifárias não associadas ao custo da energia e não remuneradas pelo consumidor-gerador, incidentes sobre a energia elétrica compensada pelas unidades consumidoras participantes do SCEE, na forma do art. 27 desta Lei, e o efeito decorrente do referido custeio pela CDE será aplicável somente às unidades consumidoras do ambiente regulado.

Parágrafo único. As componentes tarifárias serão custeadas na forma do **caput** deste artigo, a partir de 12 (doze) meses após a data de publicação desta Lei, e serão parcialmente custeadas na forma das disposições transitórias desta Lei.

Art. 26. As disposições constantes do art. 17 desta Lei não se aplicam até 31 de dezembro de 2045 para unidades beneficiárias da energia oriunda de microgeradores e minigeradores:

I - existentes na data de publicação desta Lei; ou

II - que protocolarem solicitação de acesso na distribuidora em até 12 (doze) meses contados da publicação desta Lei.

§ 1º O faturamento das unidades referidas neste artigo deve observar as seguintes regras:

I - todas as componentes tarifárias definidas nas disposições regulamentares incidem apenas sobre a diferença positiva entre o montante consumido e a soma da energia elétrica injetada no referido mês com o eventual crédito de energia elétrica acumulado em ciclos de faturamento anteriores, observado o art. 16 desta Lei;

II - o faturamento da demanda, para as unidades consumidoras com minigeração distribuída pertencentes e faturadas no Grupo A, deve:

a) ser realizado conforme as regras aplicáveis às unidades consumidoras do mesmo nível de tensão até a revisão tarifária da distribuidora subsequente à publicação desta Lei; e

b) considerar a tarifa correspondente à forma de uso do sistema de distribuição realizada pela unidade com microgeração ou minigeração distribuída, se para injetar ou consumir energia, na forma do art. 18 desta Lei, após a revisão tarifária da distribuidora subsequente à publicação desta Lei.

§ 2º As disposições deste artigo deixam de ser aplicáveis quando, 12 (doze) meses após a data de publicação desta Lei, ocorrer:

I - encerramento da relação contratual entre consumidor participante do SCEE e a concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, exceto no caso de troca de titularidade, hipótese na qual o direito previsto no **caput** deste artigo continuará a ser aplicado em relação ao novo titular da unidade consumidora participante do SCEE;

II - comprovação de ocorrência de irregularidade no sistema de medição atribuível ao consumidor; ou

III - na parcela de aumento da potência instalada da microgeração ou minigeração distribuída cujo protocolo da solicitação de aumento ocorra após 12 (doze) meses após a data de publicação desta Lei,

§ 3º Os empreendimentos referidos no inciso II do **caput** deste artigo, além das disposições dos arts. 4º, 5º e 6º desta Lei, devem observar os seguintes prazos para dar início à injeção de energia pela central geradora, contados da data de emissão do parecer de acesso:

I - 120 (cento e vinte) dias para microgeradores distribuídos, independentemente da fonte;

II - 12 (doze) meses para minigeradores de fonte solar; ou

III - 30 (trinta) meses para minigeradores das demais fontes.

§ 4º A contagem dos prazos estabelecidos no § 3º deste artigo fica suspensa enquanto houver pendências de responsabilidade da distribuidora ou caso fortuito ou de força maior.

§ 5º Compete à distribuidora acessada implementar e verificar o cumprimento das disposições deste artigo.

§ 6º As disposições deste artigo deixam de ser aplicáveis em caso de não cumprimento dos prazos previstos no § 3º deste artigo pelo consumidor-gerador.

Art. 27. O faturamento de energia das unidades participantes do SCEE não abrangidas pelo art. 26 desta Lei deve considerar a incidência sobre toda a energia elétrica ativa compensada dos seguintes percentuais das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição:

I - 15% (quinze por cento) a partir de 2023;

II - 30% (trinta por cento) a partir de 2024;

III - 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;

IV - 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;

V - 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;

VI - 90% (noventa por cento) a partir de 2028;

VII - a regra disposta no art. 17 desta Lei a partir de 2029.

§ 1º Para as unidades de minigeração distribuída acima de 500 kW (quinhentos quilowatts) em fonte não despachável na modalidade autoconsumo remoto ou na modalidade geração compartilhada em que um único titular detenha 25% (vinte e cinco por cento) ou mais da participação do excedente de energia elétrica, o faturamento de energia das unidades participantes do SCEE deve considerar, até 2028, a incidência:

I - de 100% (cem por cento) das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição;

II - de 40% (quarenta por cento) das componentes tarifárias relativas ao uso dos sistemas de transmissão da Rede Básica, ao uso dos transformadores de potência da Rede Básica com tensão inferior a 230 kV (duzentos e trinta quilovolts) e das Demais Instalações de Transmissão (DIT) compartilhadas, ao uso dos sistemas de distribuição de outras distribuidoras e à conexão às instalações de transmissão ou de distribuição;

III - de 100% (cem por cento) dos encargos Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética (EE) e Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE); e

IV - da regra disposta no art. 17 desta Lei a partir de 2029.

§ 2º Para as unidades que protocolarem solicitação de acesso na distribuidora entre o 13º (décimo terceiro) e o 18º (décimo oitavo) mês contados da data de publicação desta Lei, a aplicação do art. 17 desta Lei dar-se-á a partir de 2031.

CAPÍTULO VII

DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 28. A microgeração e a minigeração distribuídas caracterizam-se como produção de energia elétrica para consumo próprio.

Parágrafo único. (VETADO).

Art. 29. Para a outorga de autorização de usinas fotovoltaicas pela Aneel destinadas ao ACL ou à autoprodução de energia elétrica, deverá ser apresentado estudo simplificado que contenha os dados de pelo menos 1 (um) ano de medição realizada por meio de medição satelital ou estação solarimétrica instalada no local do empreendimento, juntamente com o sumário de certificação de medições solarimétricas e de estimativa da produção anual de energia elétrica associada ao empreendimento, emitida por certificador independente, com base na série de dados apresentada.

Art. 30. A Aneel e as concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, a fim de cumprir as disposições desta Lei, deverão adequar seus regulamentos, suas normas, seus procedimentos e seus processos em até 180 (cento e oitenta) dias da data de publicação desta Lei.

Art. 31. Qualquer alteração de norma ou de procedimento das distribuidoras relacionada à microgeração ou minigeração distribuída ou às unidades consumidoras participantes do SCEE deverá ser publicada com prazo mínimo de 90 (noventa) dias para sua entrada em vigor.

Art. 32. A Aneel promoverá a divulgação dos custos e dos benefícios sistêmicos das centrais de microgeração e minigeração distribuída de forma a manter a transparência das informações à sociedade.

Art. 33. A [Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004](#), passa a vigorar com as seguintes alterações:

*Art. 2º

§ 5º

IV - geração distribuída.

.....* (NR)

Art. 2º-D Os montantes de energia elétrica de excedentes das concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, em função da variação de mercado provocada pela geração distribuída, serão considerados exposição contratual involuntária.

Art. 34. O [art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996](#), passa a vigorar acrescido do seguinte § 1º-J:

*Art. 26.

§ 1º-J As diretrizes de que trata o § 1º-G deste artigo também são aplicáveis aos microgeradores e minigeradores distribuídos.

.....* (NR)

Art. 35. Para fins desta Lei, os projetos de microgeração e minigeração distribuídas serão considerados sistemas de geração de energia renovável elegíveis para enquadramento no [inciso VI do caput e no § 3º do art. 1º da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000](#).

Parágrafo único. A Aneel deve garantir que as contratações de que trata o [inciso IV do § 5º do art. 2º da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004](#), sejam feitas por processos de concorrência por meio de chamadas públicas.

Art. 36. Fica instituído o Programa de Energia Renovável Social (PERS), destinado a investimentos na instalação de sistemas fotovoltaicos e de outras fontes renováveis, na modalidade local ou remota compartilhada, aos consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda de que trata a [Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010](#).

§ 1º Os recursos financeiros do PERS serão oriundos do Programa de Eficiência Energética (PEE), de fontes de recursos complementares, ou ainda de parcela de Outras Receitas das atividades exercidas pelas distribuidoras convertida para a modicidade tarifária nos processos de revisão tarifária.

§ 2º A distribuidora de energia elétrica deverá apresentar plano de trabalho ao Ministério de Minas e Energia que contenha, no mínimo, o investimento plurianual, as metas de instalações dos sistemas, as justificativas para classificação do rol de beneficiados, bem como a redução do volume anual do subsídio da Tarifa Social de Energia Elétrica dos consumidores participantes do PERS.

§ 3º A distribuidora de energia elétrica promoverá chamadas públicas para credenciamento de empresas especializadas e, posteriormente, chamadas concorrenciais para contratação de serviços com o objetivo de implementar as instalações dos sistemas fotovoltaicos, locais ou remotos, ou de outras fontes renováveis.

§ 4º O consumidor participante do PERS será faturado pela distribuidora de energia elétrica com base na regra do art. 17 desta Lei, e os volumes de energia excedentes oriundos da geração nas unidades atendidas pelo PERS poderão ser adquiridos pela distribuidora, conforme regulação da Aneel.

§ 5º Caberá à Aneel adaptar as normas pertinentes, no que couber, para viabilizar a formação dos recursos estabelecidos no § 1º deste artigo e demais medidas para a operacionalização dos procedimentos estabelecidos, e realizar o acompanhamento físico e contábil do PERS.

§ 6º As contratações a que se refere o § 3º deste artigo deverão ser feitas por processos de concorrência por meio de chamadas públicas, na forma da regulamentação da Aneel.

Art. 37. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 6 de janeiro de 2022; 201º da Independência e 134º da República.

JAIR MESSIAS BOLSONARO

Marcelo Pacheco dos Guimarães

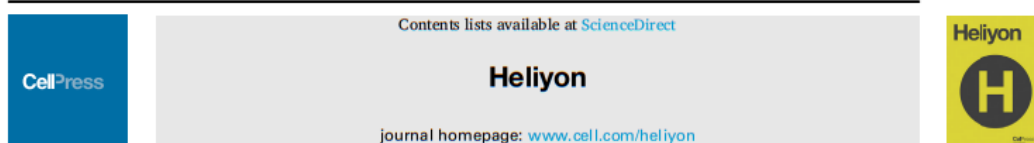
Bento Albuquerque

ANEXO B

Contribuições

Percentil 86% - Citações SCOPUS 40

Heliyon 6 (2020) e04452



Research article

Future research tendencies for solar energy management using a bibliometric analysis, 2000–2019

Thamyres Machado David^{a,*}, Paloma Maria Silva Rocha Rizol^{b,2},
 Marcela Aparecida Guerreiro Machado^{a,1}, Gilberto Paschoal Buccieri^{c,2}

^a Department of Production Engineering, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Guaratingueta, SP, Brazil

^b Department of Electrical Engineering, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Guaratingueta, SP, Brazil

^c Department of Energy, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Guaratingueta, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:
 Energy
 Green engineering
 Sustainable development
 Energy management
 Solar energy
 Photovoltaic solar energy
 Bibliometry

ABSTRACT

Using the Scopus database between the years of 2000 and 2019, a bibliometric study was done to analyze the scientific publications in the area of photovoltaic solar energy management. From the preliminary analysis of future research tendencies, ten possibilities of study topics were developed; and due to that it was possible to assume that even though many studies of technological development are found, some insights can still be approached in a way that the practical implementation of solar systems photovoltaic is better used. This data was validated by the analysis performed with the Scimat scientific mapping software under a longitudinal structure, verifying the future tendencies researches mentioned previously.

1. Introduction

The production of energy can cause environmental impact due to some pertinent factors such as the use of fossil fuels, and deforestation. With the gradual increase in energy consumption in the world, the use of renewable energy has grown with the use of natural resources that will not have a negative effect in the environment and by the generation of clean energy like the sun and the wind.

The increase in the energy demand and how we are going to supply it is one of the world's major issues and challenges [1]. Thus, the set of resources and changes in non-fuel sources of the energy system (i.e., wind, solar) become more prominent with the progress of the energy transition. Those fuels are different from fossil in two fundamental aspects: they are abundant, not scarce, but its instantaneous availability is limited, instead of being dispatched on demand [2].

The source of PhotoVoltaic (PV) solar energy is obtained through photovoltaic panels; being an abundant and sustainable source of energy, that is highly promoted for its environmental privileges because it does not emit harmful gases, such as carbon dioxides, contributing to the slowing of global warming and to meet global energy demand in a sustainable way [3]. The research, development and continuous

improvement of this solar technology is essential in order to increase the energy efficiency for beneficial use in all consumer segments [4, 5].

Due to the importance of the subject previously mentioned, solar PV energy management has been an important research topic since the 1970s. Between 1990 and 2000, the few articles found were focused on two themes: solar energy for heating [6, 7, 8, 9], and studies and development of solar energy in advanced countries [10, 11, 12, 13, 14] aimed at the application of this type of generation. During this period, there were no significant publications regarding energy management because of the recentness of the subject; Significant publications began in early the 2000s [15, 16, 17, 18].

In more recent studies on photovoltaic solar energy management, authors addressed the environmental performance of photovoltaic systems with life cycle assessment studies and efficiency improvements achieved in the conversion of solar cell devices [19, 20, 21]. Guidelines for comparison of solar energy forecasts have been identified as well as the prediction of certain factors that influence PV generation in other recent studies [22, 23].

This article intends to present a bibliometric and bibliographic analysis of publications on photovoltaic solar energy management in the

* Corresponding author.

E-mail address: md.thamyres@gmail.com (T.M. David).

¹ Address: Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bloco II, CEP: 12416-510.

² Address: Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bloco IV, CEP: 12416-510.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04452>

Received 23 October 2019; Received in revised form 27 February 2020; Accepted 10 July 2020

2405-8440/© 2020 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Percentil 98% - Citações SCOPUS 7

Journal of Cleaner Production 298 (2021) 126836



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro

Photovoltaic systems in residences: A concept of efficiency energy consumption and sustainability in brazilian culture

Thamyres Machado David ^{a,*}, Gilberto Paschoal Buccieri ^b,
Paloma Maria Silva Rocha Rizol ^a^a Department of Production Engineering, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Guaratingueta, SP, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bloco II, CEP: 12416-510, Brazil^b Department of Energy, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Guaratingueta, SP, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bloco IV, CEP: 12416-510, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 September 2020

Received in revised form

12 March 2021

Accepted 20 March 2021

Available online 26 March 2021

Handling editor: Bin Chen

Keywords:

Solar photovoltaic energy

Energy management

Distributed generation

Analytical hierarchical process

ABSTRACT

The production of energy can generate environmental impacts due to related factors such as the use of fossil fuels for a mechanical generation or even by flooding to reservoirs. The relevance of the subject refers to the strong urgency of better methods for optimization in the Brazilian energy sector, such as distributed generation, which is the focus of the research. Considering the concern with efficient energy consumption and sustainability, this work identifies potential aspects for the implementation of photovoltaic systems in residences. The applied method approach: a comprehensive literature review; institutional government sources and information provided by energy companies; two questionnaires involving specialists and decision makers limited to the residential sector; the Analytical Hierarchical Process as a tool to assist in the decision making of the identified aspects and a case study. As a result, six most relevant aspects were obtained, "lack of knowledge about the topic"; "lack of priority"; "cultural"; "standardization of standards"; "lack of influencers" and "costs", divided into two classification groups, internal and external factors, and energy savings of 50% monthly in the case study compared to the tariff paid for the conventional concessionaire. Through the identification of the most important aspects of solar photovoltaic systems in residences, it was possible to propose guidelines: the dissemination of the solar source in schools; the standardization of standards between states and a national standard for photovoltaic solar energy with a scope similar to ISO 50001 (energy management systems - requirements with guidelines for use); correct dimensioning of the system and management of energy consumption demand.

© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Over the years, the share of renewable energies in the energy matrices of developed and developing countries grows significantly through governance, public acceptance, markets, prices, and political determinants (Sequeira and Santos, 2018). Highlighting solar energy, considered a clean source, free of noise and which in recent years has been the main source of new energy capacity in several important markets such as China, India, Japan, and the United States (REN21, 2018), its growth exceeded expectations despite its

investment costs still being considered high. The expansion of the solar market worldwide is due in large part to the growing competitiveness of solar photovoltaic energy, combined with the growing demand for electricity and the growing awareness of the technology's potential to mitigate pollution, reduce carbon dioxide emissions and provide access to energy to those who do not have it through conventional energy concessionaires (REN21, 2018).

In recent years, much research has been carried out in the pursuit of sustainable development. The global transformation into low-carbon energy systems generates a cleaner energy system that integrates a greater share of renewable energy (Destek and Sinha, 2020; Deng and Lv, 2020; Bocken, 2014; David et al., 2020). The relevance of the subject points to the urgent need for better methods for optimization in the energy sector, the latter being the focus of the article. In Brazil, whose growth in electricity consumption was more than 20% from 2009 to 2019, more than 60% of

* Corresponding author.

E-mail addresses: thamyres.machado@unesp.br (T.M. David), gilberto.buccieri@yahoo.com (G.P. Buccieri), marcela.machado-freitas@unesp.br (P.M. Silva Rocha Rizol).<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126836>

0959-6526/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

RESEARCH

Open Access



Expert system: use of CLIPS software to evaluate solar energy for residences and businesses

Thamyres Machado David^{1*}, Teófilo Miguel de Souza² and Paloma Maria Silva Rocha Rizol²*Correspondence:
thamyres.machado@unesp.br¹ Department of Energy, UNESP - São Paulo State University, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bloco IV, Guaratingueta, SP 12416-510, Brazil² Department of Electrical, UNESP - São Paulo State University, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bloco IV, Guaratingueta, SP 12416-510, Brazil

Abstract

The use of energy is important in all sectors, considered essential in industrial, commercial and residential activities. In view of this and the environmental problems caused by energy sources with fossil fuel origin, methods of energy production with renewable sources have been increasingly addressed. Studies that estimate the impact and evaluations of solar technologies in homes are scarce. In this sense, the applied method addresses the use of CLIPS for the development of a knowledge base for preliminary diagnosis and evaluation of solar energy for homes and businesses, thus obtaining a prototype of an expert system, the method also approaches the use of artificial intelligence with a heuristic characteristic and its target audience is people with little or no knowledge in the area, thus contributing to the social impact. As a result, the developed programming helps people with little or no knowledge about solar energy and its residential application to have access and thus verify the applicability. It is worth noting that this is the first empirical study carried out in Brazil, a country of crucial importance for the development of solar energy.

Keywords: Energy management system, Expert system, Solar energy, Residential energy management

Introduction

The use of energy is important in all sectors, considered essential in industrial, commercial and residential activities. In view of this and the environmental problems caused by energy sources with fossil fuel origin, methods of producing energy with renewable sources have been increasingly addressed and, as it is a sustainable source, it is highly promoted due to its environmental privileges, as it does not emit harmful gases such as carbon dioxide, contributing to the slowdown of global warming. Research, development and continuous improvement of renewable energy technology are essential to increase energy efficiency for beneficial use in all consumer segments (Dincer and Ezzat 2018).

The residential sector is an undefined energy reservoir due to a wide variety of structure sizes, geometries and widely varying consumption behavior (Swan and Ugursal 2009). In order to ensure the stability of the electrical network, reduction of



© The Author(s) 2023. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

REVIEW

Open Access



Photovoltaic systems: a review with analysis of the energy transition in Brazilian culture, 2018–2023

Thamyres Machado David^{1*}, Teófilo Miguel de Souza¹ and Paloma Maria Silva Rocha Rizol²*Correspondence:
thamyres.machado@unesp.br¹ Department of Energy, UNESP,
Universidade Estadual Paulista,
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha,
333, Bloco IV, Guaratingueta, SP
12416-510, Brazil² Department of Electrical
Engineering, UNESP,
Universidade Estadual Paulista,
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha,
333, Bloco IV, Guaratingueta, SP
12416-510, Brazil

Abstract

Countries all over the world have been seeking ways and methods so that their electrical matrices can stand out using clean and renewable energy sources. In this context, this article presents a review with analysis of sector legislation on photovoltaic solar energy in Brazil. This study was grounded in four steps: (i) sample definition; (ii) theoretical basis; (iii) network analysis; and (iv) content analysis in two stages of research. Initially, a systematic literature review was carried out in order to map all the major and most cited works. The second stage consisted in reading and performing a critical analysis of government documents and reports from the energy sector in Brazil using a few bibliometric resources for such a purpose. Its results reveal that photovoltaic solar energy in Brazil has grown and expanded to different applications, since floating solar plants and subscription to solar energy are becoming increasingly attractive. Furthermore, a possible replacement of photovoltaic solar generation for thermoelectric plants has been investigated once there are a few positive aspects yet to be found thereof. As samples of the results obtained, we have that the replacement of works would allow the photovoltaic solar energy source to increase by 1% in the electrical matrix and would stop emitting 10,738,478 tons into the atmosphere, there would be a progressive decrease in the use of tariff flags (which affect directly to the final consumer) and a reduction in operating costs would also be achieved.

Keywords: Photovoltaic solar energy, Renewable energy, Energy transition, Energy management, Solar energy

Introduction

Use of energy is one of the most critical issues regarding sustainable development nowadays. Countries around the globe strive for ways and methods to make their electrical matrices increasingly attractive using clean and renewable energy sources. Solutions to energy generation issues must be compatible with the economic realities of a country, thus there must be a comprehensive economic analysis to exert a significant impact on the major problems of society.

Hydroelectric generation stands out if compared to other Brazilian electricity generation sources, as it accounts for 51% of the nation's overall electricity production. Hydro-power plants are important elements in expanding the supply of electricity in Brazil



© The Author(s) 2024. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Percentil 87%

Submetido – em revisão

Thamyres Machado David
Rubens Alves Dias
Paloma Maria Silva Rocha Rizol

IEEE Transactions on Education

IEEE Transactions on Education
Scholarship of Integration: Maximum Submission 10 Pages, Page Charges after 12 pages

DEMYSTIFYING SCIENTIFIC REVIEW ARTICLE WRITING IN THE ENGINEERING FIELD

Submission Status	Under Review
Manuscript ID	TE-2024-000418
Submitted On	26 November 2024 by Thamyres David
Submission Started	26 November 2024 by Thamyres David

This submission is under consideration and cannot be edited. Further information will be emailed to you by the journal editorial office.

[Submission overview](#) →

Capítulo de livro

Thamyres Machado David; Marcela Aparecida Guerreiro Machado; Paloma Maria Silva Rocha Rizol

In: Asociación de Universidades Grupo Montevideo (CAE/AUGM). (Org.). Comitê acadêmico de energia. (Org.). Energia. 1ed., 2021, v. 2, p. 126-141.

Sistemas fotovoltaicos residenciais: Uma análise política no Brasil

Thamyres Machado David ¹, Marcela Aparecida Guerreiro Machado ¹, Paloma Maria Silva Rocha Rizol ²

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Departamento de Produção. Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Pedregulho, 12516410 - Guaratinguetá, SP – Brasil.

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Departamento de Eletricidade. Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Pedregulho, 12516410 - Guaratinguetá, SP – Brasil.

paloma.rizol@unesp.br

Resumo. Com a necessidade da busca pelo desenvolvimento sustentável cada vez mais presente, a mitigação dos impactos ambientais causados pelo setor energético está sendo mais disseminada. Nesse sentido, o aumento das fontes de energias renováveis nas matrizes energéticas de vários países é uma realidade. Este trabalho pretende analisar as políticas públicas energéticas das maiores potências no segmento de energia solar, quais sejam: China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália, além de prover uma análise mais detalhada do Brasil levando-se em conta a evolução política energética desde os anos 1970, o estado atual da matriz energética do setor residencial, e as tarifas, legislações e incentivos financeiros para este setor.

1. Introdução

Ao longo dos anos, a participação das energias renováveis nas matrizes energéticas de países desenvolvidos e em desenvolvimento cresce significativamente, com destaque para a energia solar, considerada uma fonte limpa, livre de ruídos e que, em 2017, foi a principal fonte de nova capacidade de energia em vários mercados importantes, incluindo China, Índia, Japão e Estados Unidos. O seu crescimento superou as expectativas apesar dos seus custos de investimento ainda serem considerados altos. Segundo o REN21 (*Renewable Energy Policy Network*) [1], a expansão do mercado solar no mundo é devido, em grande parte, à crescente competitividade da energia solar fotovoltaica (FV), combinada com a crescente demanda por eletricidade e a crescente conscientização do potencial da tecnologia para mitigar a poluição, reduzir a emissão de CO₂ e para fornecer acesso à energia a quem não possui, pelas concessionárias convencionais energéticas.

O Brasil também apresenta um crescimento desta fonte energética, porém tímido se considerarmos o grande potencial solar presente em território nacional. Por exemplo, na Alemanha, líder de capacidade instalada no ano de 2015, a região com a maior incidência de irradiação solar não ultrapassa os índices de irradiação solar no local com menor incidência no Brasil [2].

