



Análise de implementação de painéis fotovoltaicos bifaciais em residências

10.56238/isevmjv3n4-004

Recebimento dos originais: 12/0/2024

Aceitação para publicação: 02/07/2024

José Francisco Resende da Silva

Doutor

UNESP-Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

<http://lattes.cnpq.br/3023885342426808>

jose.resende@unesp.br

Welington Souza Cezilio

Graduado

UNESP-Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

<http://lattes.cnpq.br/3023885342426808>

welington.cezilio@unesp.br

Kleber Rocha de Oliveira

Doutor

UNESP-Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

<http://lattes.cnpq.br/1264715890369153>

kleber.oliveira@unesp.br

Elói Fonseca

Doutor

Pesquisador Autônomo

<http://lattes.cnpq.br/1923388698992647>

eloifonseca1@gmail.com

RESUMO

As fontes de energia limpa e renováveis são fortemente debatidas e está sendo vista como ótima alternativa para suprir a demanda de energia da sociedade, seja por razões econômicas ou por motivação de menor emissão de carbono, conseqüentemente tem uma crescente busca por estas fontes de energia. Deste modo a energia solar ganha cada vez mais espaço, em especial em residências. Com isso tem-se o objetivo deste estudo, uma análise de implementação de um sistema solar bifacial em uma residência, pretendendo um melhor aproveitamento de geração por espaço instalado de sistema. A vantagem do bifacial é a geração pela face inferior, o que pode aumentar em até 25% a produção elétrica em cada painel.

Palavras chave. Painéis, bifaciais, sistemas, residências.

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda no setor solar fotovoltaico mundial, progressivamente mais países vem se destacando neste setor energético. O Brasil vem acompanhando este crescimento, tendo se aprimorado cada vez mais no setor. Uma das motivações de ganho do setor solar brasileiro foi a redução do preço dos módulos fotovoltaicos e a publicação da Normativa 482/2012, que determinou novas diretrizes para distribuição e geração no Brasil. Com a Normativa 482/2012, agora o cliente tem como base termos legais, para gerar e consumir a sua própria energia de modo eficiente, renovável e com nula produção de resíduos na geração de energia. Um fator consideravelmente bom do Brasil, é o clima que é predominantemente tropical, recebendo uma grande quantidade de radiação solar em todos os dias do ano. Com os índices variando de 5483 Wh/m^2 e 4444 Wh/m^2 entre as mais diferentes regiões do Brasil, segundo dados do CRESESB, (2023).

Por conta desse potencial brasileiro, é absolutamente provável que a execução de sistemas solares em comércios, indústrias e principalmente em residências, são ideias para o nosso cenário atual.

Com a ampla busca por painéis solares, os estudiosos da área desenvolvem outras tecnologias para inovar, como no caso dos painéis bifaciais.

A energia solar oriunda dos painéis fotovoltaicos está em um crescimento contínuo no país e no cenário mundial, mas até algum tempo atrás havia distinção. Até que em 2012, com a publicação da Resolução nº 482 que envolve a extensão de geração distribuída de pequeno porte, um setor que ganhou força no Brasil e que em 2020, alcançou a marca de 6 GW de potência instalada número alto comparado ao potencial total instalado da época, de acordo com dados da ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) [GLOW SOLAR, 2021].

Em meados de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) consolidou a primeira Resolução Normativa, a REN nº482, que definiu as condições gerais para o acesso à microgeração e minigeração distribuída no Brasil, além de elaborar completamente todo o sistema para que fosse possível a realização da compensação de energia elétrica. Apesar disso, após alguns anos, se fez indispensável alguns ajustes nesta resolução, com o propósito de minimizar os custos e o tempo para a conexão e expandir o público, o que foi modificado na Resolução nº 687, de 2015. E, a partir de então, é provável que toda e qualquer pessoa portadora de um CNPJ ou CPF, gere sua energia própria, proveniente de fontes renováveis [GLOW SOLAR, 2021]. A normativa nova de 2022, teve algumas alterações de prazos, todas as disposições da Lei 14.300 que não dependem de especificação da ANEEL ou adequação dos sistemas das concessionárias, já podem

ser aplicados de maneira imediata. A ANEEL, teve 180 dias para regularizar a Lei, ou seja, atualizar a Resolução Normativa REN n°482 para evitar conflitos com a Lei 14.300 [GOV 2022].

As principais alterações da Lei 14.300/2022, foi relacionado à potência instalada, que houve algumas mudanças na parte de minigeração distribuída, que para fontes não despacháveis reduziu o limite de 5MW, como era na REN482, para 3MW. E o limite maior de 75 kW (setenta e cinco quilowatts) se manteve, isso para sistemas conectados na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (GOV, 2022).

Associado a compensação de Energia elétrica, antes da resolução da Lei 14.300 contava-se com um sistema de compensação total, que se refere a um sistema de compensação de 1 para 1. No modelo antigo, tudo que era injetado na rede poderia ser consumido sem descontos por isso, mas evidente que, ainda pagando as taxas tributárias de PIS e COFINS, porém esse não tem relação direta com componentes tarifárias [GOV, 2022].

As principais colaborações deste trabalho:

- 1) uma análise de um sistema solar bifacial montado em uma residência, e averiguar o melhor aproveitamento destes painéis;
- 2) realizando uma análise comparativa com os painéis convencionais e averiguando a diferença entre ambos;
- 3) dimensionamento de sistema, com valores atualizados;
- 4) elaborar um estudo de viabilidade econômica, do projeto. O projeto tem como direcionamento um melhor aproveitamento de geração por espaço instalado de sistema.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste na análise de um sistema de painéis solares bifaciais, instalado em telhado de residência, com vistas a avaliar qual a melhor condição para se instalar e quais valores podem ser obtidos com esta instalação teórica, quando comparado a painéis convencionais.

3 METODOLOGIA

Levantamento de dados sobre painéis bifaciais.

Estudos de Estrutura para instalação. A estrutura mais adequada é aquela que utiliza a parte superior das residências em cobertura de concreto(laje) embutidos, podendo ser escolhido os telhados embutidos ou também os de fibrocimento que sem encontram em maior quantidade, que possuem uma boa reflexão da superfície.

A metodologia de análise para o comparativo e obtenção dos resultados realizada em planilha do Excel, com todos os dados bases para os cálculos sendo anotados na planilha. Informações base da região de instalação foram captadas no site do CRESESB, tendo os dados de irradiação solar média com valores representados em (kWh/ m²*dia), adquirindo também o ângulo ideal para o melhor aproveitamento do painel que é de 23° graus posicionados para o norte.

O local de instalação escolhido foi o município de Rosana no interior do estado de São Paulo(SP), latitude 22° 34' 48" S e longitude 53° 03' 32" O.

4 DESENVOLVIMENTO

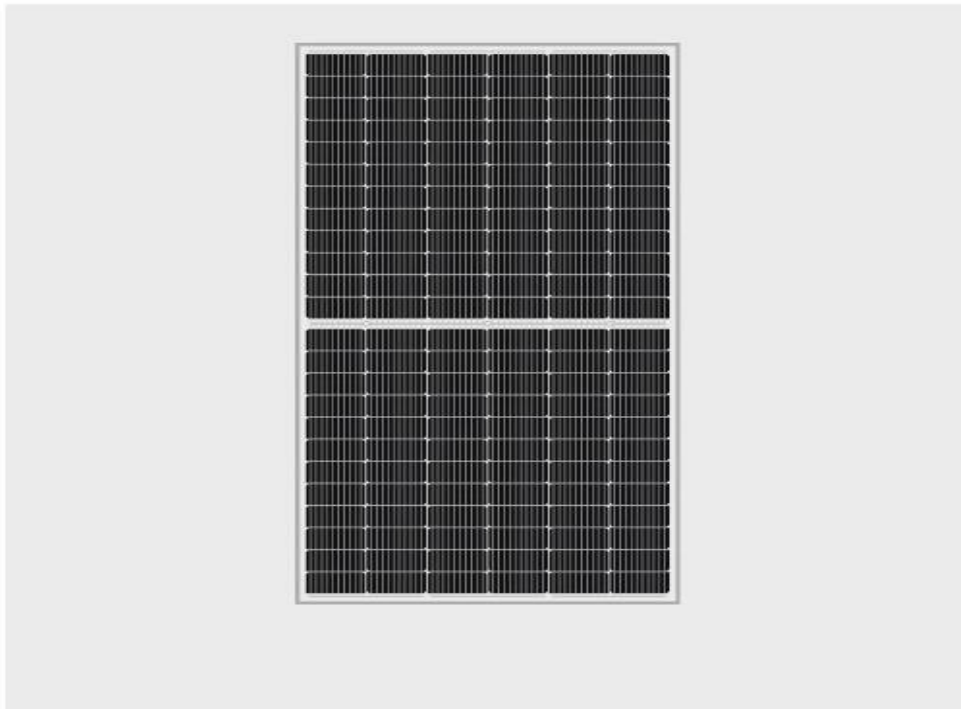
4.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O estudo consiste na análise de um sistema de painéis solares bifaciais em residências, analisando qual a melhor maneira de se obter o melhor aproveitamento da incidência solar. Sabe-se que em grandes instalações tem se um bom aproveitamento, porém em residências pode se criar algum tipo de estrutura de montagem ideal para os sistemas solares fotovoltaicos bifaciais, com uma superfície refletora que aproveite melhor os raios refletidos pela cobertura da casa e adequação da altura dos painéis em relação a superfície refletora, assim com uma estrutura bem dimensionada é possível diminuir os espaços utilizados e diminuindo a quantidade de equipamentos consequentemente.

Os tipos de construções para a confecção do projeto são, o telhado embutido ou superfícies de edifícios é uma alternativa para instalação dos painéis, visto que contém uma superfície com uma reflexão considerável que boa parte das vezes é de concreto, que se posicionado da maneira correta pode-se obter um aproveitamento considerável, ligado a tecnologia bifacial. Outra alternativa seria a instalação de painéis solares bifaciais com 2 funções, que seria a cobertura com uma utilidade secundária e a de geração de energia elétrica com as placas como principal finalidade. Essa instalação dos painéis é possível com a utilidade de servir de cobertura também, pois a um material que serve para a vedação entre os espaços de uma placa e outra. No caso deste estudo os telhados de fibrocimento (antigos telhados de “amianto”) foram a opção, pois se encontram em maior quantidade e seria bom ter os resultados dos estudos desta implementação de painéis monofaciais e bifaciais para a análise.

Será registrada e determinada toda parte da estrutura dos módulos com as vedações necessárias para os painéis utilizados na parte de cobertura. Os equipamentos selecionados para a análise, como painéis comuns e bifaciais, inversor e demais itens necessários. A figura 1 mostra o painel solar monofacial escolhido para o comparativo.

Figura 1. Placa Solar Fotovoltaica 555W Monocristalina Sunova 72MDH 30mm



A tabela 1 traz as informações padrões do painel solar monocristalino de células comuns.

Tabela 1. Especificações Painel Solar 555W Monocristalino.

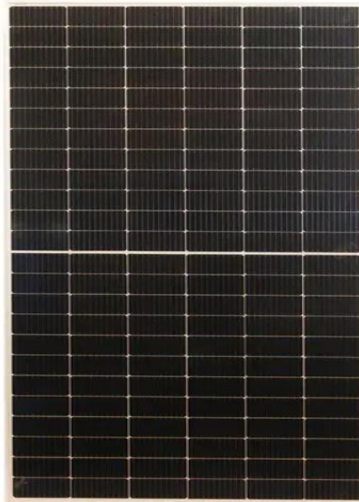
| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Potência Nominal | 555W |
| Tensão | 40,89Vcc |
| Corrente | 13,58A |
| Eficiência | Face Frontal 21,5% |
| Tipo de célula | Monocristalina |
| Fabricante | Sunova |

Em meio a várias inovações, as placas da Sunova Solar são desenvolvidas com a tecnologia Half-Cell (ou seja, células cortadas ao meio para tornar o sistema mais eficiente) e proteção contra a problemática dos Hot Spots (com um circuito desenhado eventualmente para evitar ocorrência de pontos quentes que podem surgir por conta de sombreamento nos painéis solares).

Os painéis solares da Sunova têm um alto desempenho e se diferenciam por sua resistência e durabilidade, com qualidade assegurada pela dupla inspeção no el Test (um rigoroso teste que comprova a robustez das células fotovoltaicas).

A figura 2 mostra o painel solar bifacial escolhido para o comparativo.

Figura 2. Painel Solar 575W Monocristalino Bifacial Half-Cell Sine Energy - SN575-144MTB



A tabela 2 traz as informações padrões do painel solar monocristalino de células bifaciais.

Tabela 2. Especificações Painel Solar 555W Monocristalino

| | |
|-------------------------|--|
| Potência Nominal | 575W |
| Tensão | 42,24Vcc |
| Corrente | 13,63A |
| Eficiência | Face Frontal 22,25 % Bifacial 27,81 % |
| Tipo de célula | Monocristalina |
| Fabricante | Sine Energy |
| Registro INMETRO | 003207/2023 |

Tendo uma elevada geração de energia por conta, da junção das tecnologias, Half-Cell, TopCon, Multi-busbar, células monocristalinas e Design Bifacial oferecem eficiência média de 27,81%. Este painel solar fotovoltaico bifacial atinge produção em média de 2.875W por dia com apenas 5 horas de sol pleno e podendo alcançar até 3.594kW por dia com 25% de ganho de potência bifacial.

Tempo de utilidade do painel aumentado com a tecnologia Anti-PID, a degradação potencial induzida é menor ao longo da vida útil do painel. Desse modo, a perda de potência ocorre em um ritmo mais lento e tem menor impacto na geração de energia.

O módulo solar SN575-144MBT estrutura robusta para durar muito tempo, para suportar condições climáticas adversas, permitindo uma durabilidade superior.

Com o módulo solar bifacial de 575W, temos a possibilidade de uma série de aplicações, sendo mais adequado para sistemas conectados à rede em áreas abertas, residências e empresas que sejam instalados no solo ou em telhados de fibrocimento (antigos telhados de “amianto”) para aproveitar a luz solar refletida na superfície e captada pelas células da parte inferior.

A figura 3 contém o inversor solar escolhido.

Figura 3. Inversor solar fotovoltaico GROWATT on-grid



A seguir na tabela 3 têm-se as especificações técnicas mais relevantes do inversor:

Tabela 3. Especificações Inversor solar fotovoltaico GROWATT on-grid

| | |
|----------------------------------|-------------------|
| Potência Nominal | 2kW |
| Tensão Máxima de Entrada | 500Vcc |
| Tensão Nominal(Saída) | (180V-280) |
| Corrente DC Máx. por MPPT | 13A |
| Corrente Máx. de saída | 16A |
| Eficiência | 97,2% |
| Tipo de Inversor | On-grid |
| Fabricante | GROWATT |

O telhado embutido ou superfícies de edifícios é uma alternativa para instalação dos painéis, visto que contém uma superfície com uma reflexão considerável que boa parte das vezes é de concreto, que se posicionado da maneira certa obtém-se um aproveitamento considerável, quando se considera a tecnologia bifacial.

Na análise desta instalação considerou-se que os painéis fossem projetados com o intuito de geração na parte inferior, ou seja, correspondendo ao modelo de placa solar bifacial, para posteriormente ser comparada com o módulo solar monofacial, sendo instalado na mesma armação. A estrutura deve ser posicionada um pouco mais acima da laje ou no caso deste estudo acima do telhado de fibrocimento da área de lazer da residência, em uma altura no mínimo de 1,2 metros.

A figura 4 a seguir mostra como os painéis devem ser agrupados e inclinados, tendo que

haver ajuste somente na parte da altura dois painéis em relação a cobertura.

Figura 4. Instalação de módulos com a inclinação para painéis bifaciais em cobertura de concreto



A próxima seção expõe os resultados e testes da formulação proposta.

4.2 TESTES E RESULTADOS:

A estrutura mais adequada é aquela que utiliza a parte superior das residências em cobertura de concreto(laje) embutidos, podendo ser escolhido os telhados embutidos ou também os de fibrocimento que sem encontram em maior quantidade, que possuem uma boa reflexão da superfície.

A metodologia de análise para o comparativo e obtenção dos resultados foi feita em planilha do Excel, com todos os dados bases para os cálculos sendo anotados na planilha. Informações base da região de instalação foram captadas no site do CRESESB, tendo os dados de irradiação solar média com valores representados em (kWh/ m²*dia), adquirindo também o ângulo ideal para o melhor aproveitamento do painel que é de 23° graus posicionado para o norte.

O local de instalação escolhido foi o município de Rosana no interior do estado de São Paulo(SP), latitude 22° 34' 48" S e longitude 53° 03' 32" O. Em seguida os dados climáticos foram obtidos no CRESESB, que estão expressos nas figuras 5 e 6 a seguir:

Figura 5. Valores de irradiação solar em Rosana – SP

Estação: Rosana

Município: Rosana, SP - BRASIL

Latitude: 22,601° S

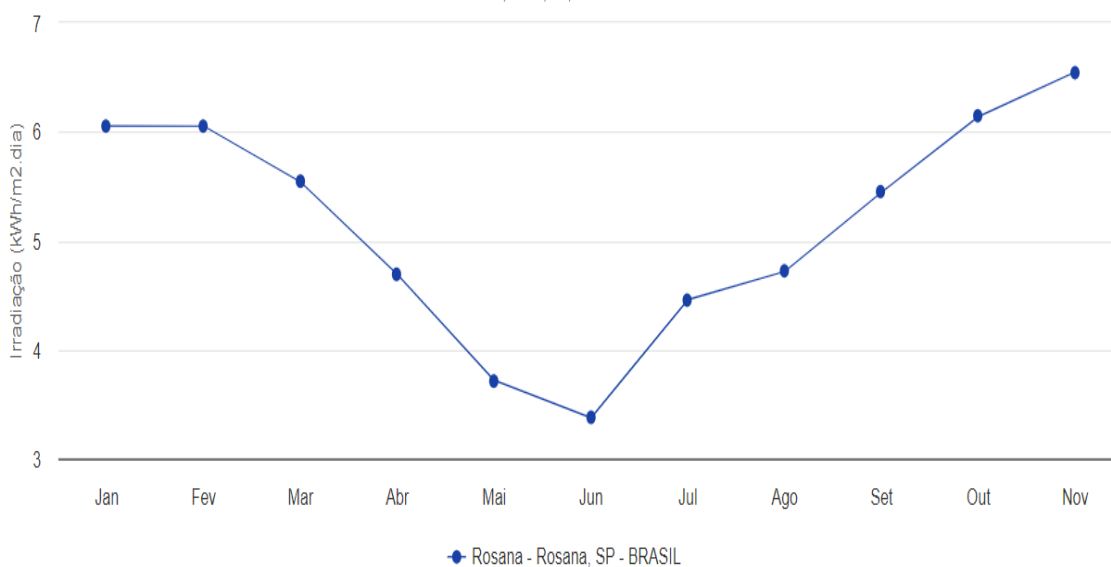
Longitude: 53,049° O

Distância do ponto de ref. (22,58° S; 53,058889° O): 2,5 km

| # | Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | | Média | Delta |
|---|-------------------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | | | |
| ✓ | Plano Horizontal | 0° N | 6,05 | 6,05 | 5,54 | 4,69 | 3,72 | 3,37 | 3,56 | 4,46 | 4,72 | 5,45 | 6,14 | 6,55 | 5,02 | 3,17 | |
| ✓ | Ângulo igual a latitude | 23° N | 5,45 | 5,76 | 5,71 | 5,33 | 4,59 | 4,35 | 4,51 | 5,27 | 5,02 | 5,31 | 5,60 | 5,78 | 5,22 | 1,43 | |

Figura 6. Irradiação solar em localidades próximas (plano horizontal)

22,58° S; 53,058889° O



O local da implementação teórica do sistema foi uma residência do município de Rosana, distrito Primavera – SP. O ponto de instalação selecionado foi a área de lazer da casa. As figuras 7 e 8 a seguir mostram o telhado onde irá ser projetado a estrutura com os painéis:

Figura 7. Telhado da análise da implementação na residência

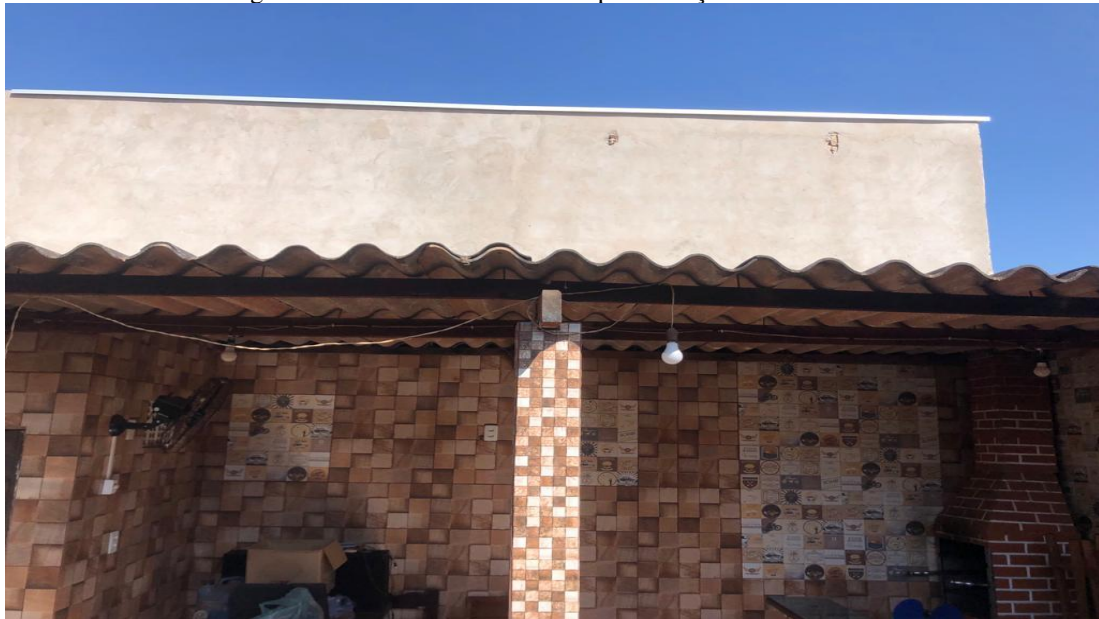


Figura 8. Local da residência onde será analisado a implementação



A estrutura montada com os painéis ficará posicionada voltada ao norte geográfico, com inclinação de 23 graus, que seria inclinada em direção das árvores na figura 8, a estrutura seria adaptada em uma altura de 1,3 metros do telhado de fibrocimento, estrutura esta que seria fixada na parede superior ao lado do telhado, dando mais segurança na questão de sustentação do projeto.

O dimensionamento do sistema monofacial para comparar com os valores do bifacial foi realizado com dados da residencial escolhida. Com a casa definida, foi adquirida a conta de energia

referente ao mês, porém além dos dados do mês referente teve outras informações importantes dos meses anteriores.

As figuras 9 e 10 mostram a conta de energia referente ao período de pandemia ano de 2021, pois as novas tarifas de energia foram colocadas no débito automático, não sendo impresso mais a partir desta data.

Figura 9. Conta de energia Elektro da residência

ELEKTRO Seu Código [REDACTED]

www.elektro.com.br Nota Fiscal / Conta de energia elétrica [REDACTED]
Conta do Mês [REDACTED] Vencimento [REDACTED] Valor R\$ [REDACTED]

FEVEREIRO/2021 13/03/2021

VFI [REDACTED] CÉLULO ROSANA SP

CPF / CNPJ: [REDACTED] Data de Emissão: 23/02/2021

Dados de Cadastro

Medidor/Constante [REDACTED] Classificação RESIDENCIAL / RESIDENCIAL NORMAL MOROFÁSICO

Tensão Nominal ou contratada(v) 127 Limite adequados de tensão (v) 117 A 133 Débito Aut. RG:0567

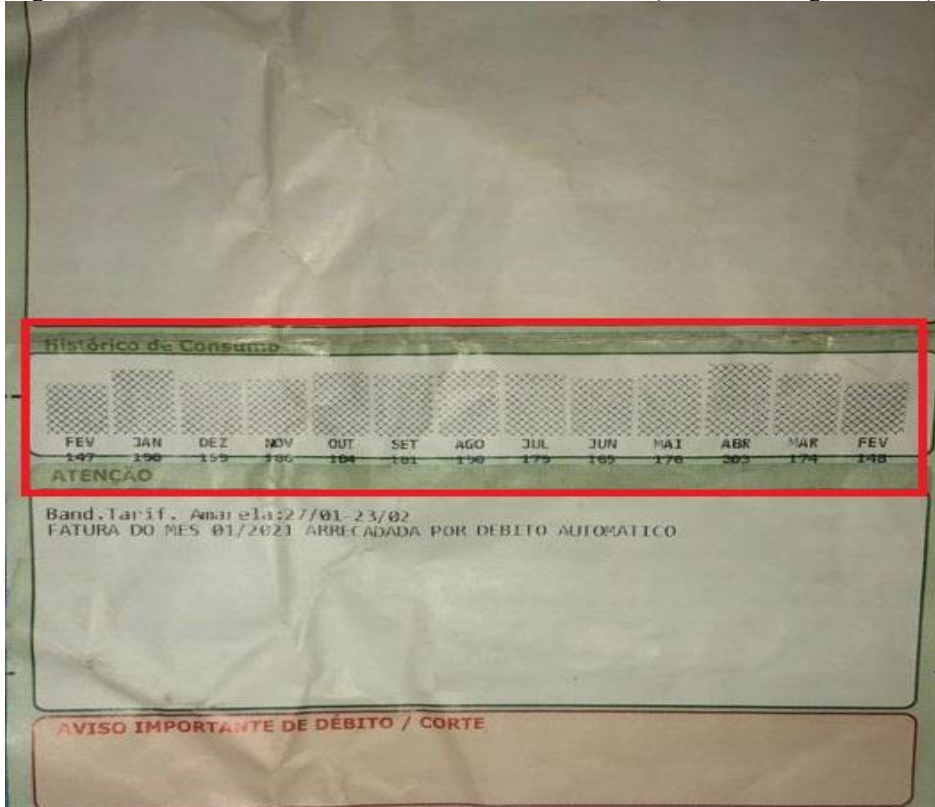
| Item | Leitura | | Anterior | Dias do Período | Composição do Fornecimento |
|---------|----------|-------|----------|-------------------|--|
| | Anterior | Atual | | | |
| CONSUMO | 39322 | 39469 | 26/01/21 | 28 | Energia 35,75 Distribuição 20,25 Transmissão 8,26 Perdas 6,20 Encargos 13,09 Tributos 16,64 |
| | | | Atual | F. Potência Médio | |
| | | | 23/02/21 | | |

Detalhamento da Conta AS [1.5.107.6]

| CCI* Descrição do Produto | Qtde | Tarifa Fornec. | Valor Fornec. | Base Calc. | Aliq. Imposto | Valor ICMS (Fornec+Imp) | Valor Total |
|---|------|----------------|---------------|------------|---------------|-------------------------|-------------|
| 0601 CONSUMO TE | 147 | 0,252880 | 37,17 | 44,57 | 12,00% | 5,34 | 42,51 |
| 0601 CONSUMO TUSD | 147 | 0,302170 | 44,41 | 53,26 | 12,00% | 6,39 | 50,80 |
| 0601 AD.B.AMAR. | 147 | 0,013401 | 1,97 | 2,36 | 12,00% | 0,28 | 2,25 |
| 0699 VALOR DO COFINS | | | | 100,19 | 3,80% | | 3,80 |
| 0699 VALOR DO PIS | | | | 100,19 | 0,82% | | 0,83 |
| 0699 COBRANCA ILM PUBLICA PARA A PREFEITURA | | | | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 11,98 |
| Total da fatura | | | 83,55 | | | 12,01 | 112,17 |

*CCI - Código Classificação do Item

Figura 10. Valores consumo referentes aos meses anteriores (Conta de energia Elektro).



Em ambos os sistemas serão ligados à rede (On-grid), por esse motivo não se faz necessária a implementação de um banco de baterias para o armazenamento do excesso da energia elétrica não consumido, sendo exportada esse excesso de energia para própria rede elétrica e utilizada nos períodos em que a produção de energia é nula. Desta forma tornando o projeto muito mais vantajoso, pois baterias têm um alto custo.

Os métodos utilizados para obter o cálculo de dimensionamento de quantidade de placas solares e inversores, serão mostrados a seguir:

O Consumo mês(kWh) é igual à soma de todos 12 meses presente na fatura e conseqüentemente igual ao consumo anual, a equação 1 indicada a seguir:

$$\text{Consumo Anual}(kWh/\text{ano}) = \text{Consumo mês}(kWh) \quad (\text{Eq.1})$$

O Consumo médio mensal(kWh/ano), é o consumo anual dividido por 12 meses, que foi o período considerado, equação 2:

$$\text{Consumo médio mensal}(kWh/\text{mês}) = \frac{\text{Consumo Anual}(kWh/\text{ano})}{12 \text{ meses}} \quad (\text{Eq.2})$$

O Consumo diário(kWh/dia) é a resultante do consumo médio mensal dividido pela média dos dias totais dos 12 meses, que são 30 dias.

$$\text{Consumo diário}(kWh/dia) = \frac{\text{Consumo médio mensal}(kWh/mês)}{30 \text{ dias}} \quad (\text{Eq.3})$$

A Potência de pico(kW/Pico) é dada pelo consumo diário médio residência dividido pela média de irradiação diária, expressa na equação 4 a seguir:

$$\text{Potência de pico}(kW/Pico) = \frac{\text{Consumo diário}(kWh/dia)}{\text{Média de irradiação por dia}(kWh/m^2.dia)} \quad (\text{Eq.4})$$

Após a etapa das fórmulas e os demais parâmetros necessários, foi realizado a montagem da planilha Excel com base nos dados do CRESESB e das equações apresentadas. O primeiro passo na montagem da planilha foi a construção da tabela 4 com o levantamento de consumo da residência.

Tabela 4. Levantamento de dados de consumo de energia elétrica(Excel)

| Levantamento de dados do consumo de energia elétrica | | | |
|--|---------------|--|----------------------------|
| Mês | Consumo [kWh] | Energia mínima disponível por mês [kWh] | Consumo considerável [kWh] |
| Jan | 148 | 50 | 98 |
| Fev | 174 | 50 | 124 |
| Mar | 203 | 50 | 153 |
| Abr | 176 | 50 | 126 |
| Mai | 165 | 50 | 115 |
| Jun | 179 | 50 | 129 |
| Jul | 190 | 50 | 140 |
| Ago | 150 | 50 | 100 |
| Set | 161 | 50 | 111 |
| Out | 184 | 50 | 134 |
| Nov | 166 | 50 | 116 |
| Dez | 159 | 50 | 109 |
| Média | 171,25 | - | 121,25 |
| | | Consumo diário médio anual [kWh/dia](considerando mês 30 dias) | 5,708333333 |

A (Eq.4) será utilizada para obter a potência de pico do sistema, em conjunto com a variável do consumo diário médio anual que foi apresentado na tabela 4 e o menor índice de irradiação diária solar do ano, na figura 6, identificada na linha do ângulo igual a latitude. Com isso ocorrerá um adiciona, que é 25% em relação a potência de pico do dimensionamento solar fotovoltaico, uma medida de segurança utilizada em qualquer projeto solar para contar com uma margem caso algo ocorra de uma maneira que não foi prevista inicialmente. A tabela 5 mostra a potência de pico, que será a demanda do sistema.

Tabela 5. Potência de pico do projeto(Excel)

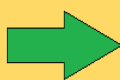
| | |
|-----------------|--------------------|
| kW/pico | 1,749680715 [kW/p] |
| Em Watts | 1749,680715 [W/p] |

O dimensionamento monofacial foi realizado na planilha Excel, com os equipamentos apresentados anteriormente, 4 módulos de 555W Half-cell da Sunova e um inversor da Growatt 2kW serão utilizados para a construção do projeto solar fotovoltaico experimental.

O sistema 1 que é o dimensionamento bifacial, sendo a melhor opção, foi elaborado na planilha Excel, com os modelos de painéis bifaciais, apresentados na figura 2 anteriormente, 4 módulos bifaciais de 575W Half-cell da Sine Energy e um inversor da Growatt 2kW serão utilizados para a construção do projeto solar fotovoltaico experimental.

Na tabela 6 mostra os valores dos materiais utilizados na implementação dos painéis fotovoltaicos, incluindo estrutura e os próprios painéis.

Tabela 6. Valores de Instalações módulos fotovoltaicos monofaciais(Excel)

| Painéis Fotovoltaicos  | Sistema 1 / 575 W (Bifacial) | Sistema 2 / 555W (Monofacial) | |
|---|---|-------------------------------------|-------------------|
| | Quantidade de Painéis Fotovoltaicos necessários | 3,042922983 | 3,888179367 |
| Quantidade de Painéis considerados | 4 | 4 | Placas |
| Potência do sistema/dia | 2,3 | 2,22 | kW/dia de Geração |
| Preço do Placas | R\$ 4.234,40 | R\$ 3.692,00 | R\$ |
| Preço de Instalação | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 | R\$ |
| Preço Total do Sistema(Painéis) | R\$ 5.234,40 | R\$ 4.692,00 | R\$ |

Na sequência em relação ao inversor escolhido para os sistemas monofacial e bifacial será o mesmo, para uma melhor comparação entre ambos e por conta que a diferença na potência do conjunto dos painéis de ambos os sistemas, apesar do sistema bifacial ter um valor de produção maior, estão dentro do valor permitido pelo inversor 2 kW, que alcança uma potência máxima de até 2,8kW, segundo dados do datasheet da Growatt. O preço final estimado da estrutura, é composto pelas estruturas dos painéis para o telhado de fibrocimento, cabos e os disjuntores responsáveis pela segurança do sistema, e será o mesmo custo para os dois projetos.

Tabela 7. Valor referente a quantidade de inversores e preço da estrutura(Excel)

| Inversores | Sistema 1 / 2kW (Bifacial) | Sistema 2 / 2kW (Monofacial) | |
|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------|
| Quantidade de Inversores necessários | 0,874840358 | 0,874840358 | Inversores |
| Quantidade de Inversores considerados | 1 | 1 | Inversores |
| Potência do sistema | 2 | 2 | kW |
| Preço do Inversores | R\$ 2.449,00 | R\$ 2.449,00 | R\$ |
| Preço de Instalação | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 | R\$ |
| Preço Total do Sistema(Inversores) | R\$ 2.949,00 | R\$ 2.949,00 | R\$ |
| Preço de Materiais(Estrutura) | R\$ 1.500,00 | R\$ 1.500,00 | R\$ |

Logo após, com a soma dos preços de painéis com as instalações, em conjunto com o inversor e os restantes dos materiais(estrutura), obtivemos o valor do projeto monofacial(sistema 2) sem o lucro, que é 9.141,00 reais(R\$), aonde o lucro estimado sobre o projeto seria de 25%, por ser um projeto de pequeno porte. Porém em cima deste valor será descontado os 4% de impostos sobre o sistema montado, conseguindo um lucro líquido de R\$ 1.828,20. O valor deste projeto considerando todos os encargos e o valor que será pago pelo cliente é R\$ 11.426,25. Todos os dados deste sistema com painéis monofaciais, estão na tabela 8 abaixo.

Tabela 8. Valor Sistema Fotovoltaico Monofacial, Lucro, Imposto e Payback(Excel)

| | R | S | T | U | V | W |
|-------------------------------------|---|---------------|---|-------------------------------------|---|---|
| Preço Sem Lucro | | R\$ 9.141,00 | | R\$ | | |
| Lucro Bruto(25% do Preço Sem Lucro) | | R\$ 2.285,25 | | R\$ | | |
| Preço Sistema Total | | R\$ 11.426,25 | | R\$ | | |
| Lucro Líquido Projeto | | R\$ 1.828,20 | | R\$ | | |
| Com Maior Valor do mês | | | | | | |
| PayBack | | 5,584022402 | | Anos | | |
| Imposto | | R\$ 457,05 | | 4% - sobre o valor final do sistema | | |

Posteriormente com a soma do valor de módulos bifaciais com as instalações, em conjunto com o inversor e os restantes dos materiais(estrutura), com isso tem-se o valor do projeto bifacial

sem o lucro, R\$ 9.683,40. Deste modo o lucro estimado em cima do projeto seria de 25%, aonde em cima deste valor será descontado os 4% de impostos sobre o sistema após a montagem, concluísse com um lucro líquido de R\$ 1.936,20. O valor deste projeto considerando todos os encargos e o valor que será pago pelo cliente é R\$ 12.104,25, tendo uma diferença no custo final do projeto de R\$ 678,00, quando comparado ao sistema monofacial, sendo abaixo do custo do benefício que o sistema bifacial fotovoltaico irá proporcionar. A tabela 9 contém os dados de valores do projeto bifacial.

Tabela 9. Valor Sistema Fotovoltaico Bifacial, Lucro, Imposto e Payback(Excel)

| | R | T |
|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|
| Preço Sem Lucro | R\$ 9.683,40 | R\$ |
| Lucro Bruto(25% do Preço Sem Lucro) | R\$ 2.420,85 | R\$ |
| Preço Sistema Total | R\$ 12.104,25 | R\$ |
| Lucro Líquido Projeto | R\$ 1.936,68 | R\$ |
| Com Maior Valor do mês | | |
| PayBack | 5,915361834 | Anos |
| Imposto | R\$ 484,17 | 4% - sobre o valor final do sistema |

Com isso para o cálculo de Payback foi utilizado o valor de 0,84 R\$/kWh com os encargos já considerados, pois na época da fatura tínhamos um cenário de aumento tarifário por conta das bandeiras, sendo um valor um pouco superior do que o custo atual que seria de 0,754 R\$/kW segundo dados da NEOENERGIA [2023]. Com esse cenário considerado, atingiu-se o valor de 5,915 anos para o retorno do investimento na implementação dos painéis bifaciais e o tempo de 5,584 anos para o sistema de módulos comuns.

No cenário do sistema bifacial, terá uma adição na produção do painel por conta da face inferior, diante disto o painel vai produzir em modo geral no mínimo 12,5% a mais da sua potência nominal, e esse número de geração da parte de traz do painel é limitado por conta da parede na lateral do telhado(figura 7), que impossibilita a produção na parte infra do projeto no período da tarde, perdendo 6 horas de sol pleno nesta face. Se não houvesse essa limitação no caso desta instalação, esse valor poderia alcançar 25% de adição na produção geral de energia, quando comparado ao sistema com módulos monofaciais. Com essa instalação há uma possibilidade de

aumento exponencialmente na produção de energia em relação aos painéis monofaciais nos dias nublados, onde apresenta-se poucos raios diretos e muitos raios refletidos do sol, podendo chegar em mais de 40% de produção em dias nublados, sendo outra enorme vantagem em comparação a sistema fotovoltaico com painéis solares monofaciais.

Em analogia com o módulo monofacial, o bifacial pode ter uma vida útil de 5 anos a mais que o seu concorrente, podendo chegar em até 30 anos de uso. O índice de degradação é diferente entre os dois modelos de painéis e pode ser observado graficamente. A degradação induzida por luz(LID), tem início em 2% e a degradação anual de potência de 0,45% em painéis bifaciais e 0,55% em monofaciais, ou seja os bifaciais degradam menos ao passar do tempo e tem uma maior eficiência, devido ao vidro na parte inferior[CANASOLAR, 2022].

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação de um projeto solar fotovoltaico em uma residências é uma alternativa promissora para o cliente, pois com ele obtém-se a tão esperada fatura mínima de energia, pagando somente os encargos da distribuição de energia elétrica e economizando uma grande parte do valor na fatura de eletricidade residencial. Temos mais de 70 milhões de moradias sem projeto de energia solar fotovoltaico, dados de quantidade de casas no Brasil obtidos do [IBGE, 2022]. Segundo dados do G1 mais de 1,1 milhões de residências, já possuem energia solar em seus telhados, havendo uma grande quantidade de casas para a implementação de novos projetos solar fotovoltaicos [BRASIL, 2023].

Consequentemente seria interessante obter um maior rendimento para implementação da energia solar em residências, com um melhor aproveitamento do espaço disponível, gerando mais energia com um menor espaço ocupado, e o diferencial, com poucas mudanças, mostrou-se nesta análise teórica, que poucas alterações de estrutura são necessárias na implementação de sistemas fotovoltaicos bifaciais, em outros termos, uma ótima alternativa para melhorar a produtividade de energia elétrica do projeto. O sistema solar bifacial obteve a vantagem de ter uma potência maior em relação aos painéis monofaciais, isso se deve por conta da produção de energia pela face inferior, podendo ainda ser maior, se o projeto quando montado não tiver uma parede que prejudique a reflexão do sol no período da tarde, que é o caso deste sistema, que perde 6 horas de sol pleno na parte inferior.

A instalação do sistema bifacial deste estudo apresenta um custo de R\$ 12.104,25, referindo-se ao valor total do investimento para o projeto, com todos os encargos envolvidos. O montante pode ser financiado, para ser pago com um valor próximo ao da fatura de energia. A



diferença quando comparado ao sistema fotovoltaico monofacial apresenta um valor de R\$ 678,00 a maior, sendo compensatório esse acréscimo, levando-se em conta o retorno maior na produção de energia. O Payback apresenta-se ligeiramente superior, 3 meses, por conta do preço final do projeto com painéis bifaciais de 5,9 anos e de 5,6 anos para os painéis de única face. Esta diferença é irrelevante quando se compara os ganhos de produção.



REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 30 set. 2023.

ALDO SOLAR. Inversor solar fotovoltaico on grid growatt, 2023. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/68208-4/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-growatt-mic2000tl-x-2kw-monofasico-220v-1mppt-monitoramento>. Acesso em: 31 jul. 2023.

BRASIL tem 1,1 milhão de residências com telhado solar; São Paulo lidera lista: Veja o ranking dos dez estados com maior número de casas que utilizam este tipo de energia no país. G1: Jonathan Pereira, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2023/03/31/brasil-tem-11-milhao-de-residencias-com-telhado-solar-sao-paulo-lidera-lista.ghtml>. Acesso em: 8 out. 2023.

CANALSOLAR. Diferença entre módulos bifaciais e monofaciais: Além das diferenças estruturais, existe a distinção da durabilidade. Canal Solar, 21 jun. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/diferenca-entre-modulos-bifaciais-e-monofaciais/>. Acesso em: 16 out. 2023.

CANALSOLAR. Entenda os módulos fotovoltaicos bifaciais. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/modulos-fotovoltaicosbifaciais/>. Acesso em: 07 maio 2023.

CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. 2023.

EIA. WHAT is U.S. electricity generation by energy source?: EIA. [S. l.], 2023. Disponível em: [https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3#:~:text=Solar%20\(total\),3.4%25](https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3#:~:text=Solar%20(total),3.4%25). Acesso em: 7 jul. 2023.

ENERGIA solar ultrapassa 33 GW de capacidade operacional: CanalSolar. [S. l.], 17 ago. 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-ultrapassa-33-gw-de-capacidade-operacional-no-brasil/>. Acesso em: 6 out. 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Caderno sobre Ações de Eficiência Energética em Indústrias Brasileiras. 2020.

FRONTIN. Sérgio de Oliveira. Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: planejamento e engenharia. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora Ltda, 2017. 532 p.

GLOW SOLAR. O que é micro e minigeração distribuída. 3 fev. 2021. Disponível em: <https://glowsolar.com.br/noticias/o-que-e-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 7 jul. 2023.

GOV. LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. 6 jan. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 11 ago. 2023.

GREENYELLOW. Energia solar no mundo: saiba quais os maiores países. Blog, 25 abr. 2023. Disponível em: Energia solar no mundo: saiba quais os maiores países!. Acesso em: 5 jul. 2023.



IBGE. Domicílios brasileiros. GOV, 2022. Disponível em: [https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/21130-domicilios-brasileiros.html#:~:text=Segundo%20os%20resultados%20da%20PNAD,\(11%20milh%C3%B5es\)%20eram%20apartamentos.](https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/21130-domicilios-brasileiros.html#:~:text=Segundo%20os%20resultados%20da%20PNAD,(11%20milh%C3%B5es)%20eram%20apartamentos.) Acesso em: 9 out. 2023.

LIRA, Alcidemar Galdino de. Análise comparativa entre módulos solares fotovoltaicos dos tipos monocristalino half-cell, bifacial e PERC, aplicação de estudo de caso em uma usina de mineração. 2022.

LUZ SOLAR. Como funciona o sistema fotovoltaico?, 2021. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

MEDEIROS FILHO, Ricardo Machado de. Projeto e implantação de usina solar fotovoltaica com módulos de tecnologia bifacial. 2021.

NACIONAL Energia Sustentável. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.nacionalenergia.com/kitsolar>. Acesso em: 11 jul. 2023.

NEOENERGIA: Tarifas de Energia Elétrica, 22 ago. 2023. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/documents/d/sp/neoenergia-elektro-tarifas-energia-eletrica-grupo-b>. Acesso em: 9 out. 2023.

NEOSOLAR. Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 18 jul. 2023

PEREIRA, Osvaldo LS; GONÇALVES, Felipe F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema de Tubarão-SC. Revista Brasileira de Energia, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

PV MAGAZINE. China aims to add 160 GW of wind, solar capacity in 2023. Pv magazine, 3 jan. 2023. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2023/01/03/china-aims-to-add-160-gw-of-wind-solar-in-2023/#:~:text=The%20NEA%20said%20that%20if%20China%20reaches%20its%202023%20in%20stallation%20target%20of%20160%20GW%20of%20wind%20and%20solar%2C%20it%20would%20represent%20year%20on%20year%20growth%20of%202033%25.%20It%20added%20that%20it%20expects%20the%20country%27s%20cumulative%20solar%20capacity%20to%20reach%20490%20GW%20by%20the%20end%20of%202023%2C%20including%20430%20GW%20of%20wind%20power.> Acesso em: 7 jul. 2023.

SANTANDER, Entenda como funciona a energia solar. Santander, 2023. Disponível em: <https://www.santander.com.br/hotsite/santanderfinanciamentos/energia-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em: 7 jul. 2023.

VILLALVA, Marcelo Gradella. ENERGIA SOLAS FOTOLTAICOS: Conceitos e Aplicação: Sistemas Isolados e Conectados á Rede. 2ª Edição. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015. 224 p. v. 714e. ISBN 978-85-365-1489-5.