

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

CAROLINE BECKMANN

**ELABORAÇÃO DE PROCESSO DE DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE DO
ESTADO DO PARANÁ**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

CAROLINE BECKMANN

**ELABORAÇÃO DE PROCESSO DE DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE DO
ESTADO DO PARANÁ**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

CAROLINE BECKMANN

ELABORAÇÃO DE PROCESSO DE DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE DO ESTADO DO PARANÁ

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 7 de novembro de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A aluna foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

Orientador - UTFPR

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

UTFPR

Prof. Dr. Jorge Assade Leludak

UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade a mim concedida e por não me deixar fraquejar ou desistir dos meus objetivos, mesmo nos momentos mais difíceis desta trajetória.

Aos meus pais, Sandra Regina Beckmann e Gilberto Beckmann, por sempre me darem exemplo, apoio e incentivo a conquistar novos objetivos. E por serem sempre meu porto seguro, mesmo nos momentos mais difíceis, dando suporte para que eu sempre me levantasse.

Ao meu pequeno irmão Klaus Siegfried Beckmann, por seu amor e carinho, me dando forças a continuar e a ter esperanças de um mundo melhor. Quero ser um bom exemplo e lhe ensinar a lutar também pelos seus sonhos e objetivos.

Ao meu marido Ricardo Simões Klein, pelo apoio incondicional, amor, carinho e paciência, por acreditar nos meus sonhos e não me deixar desistir e por todo suporte durante a produção deste trabalho.

Ao professor Gerson Máximo Tiepolo, pela competência na orientação deste trabalho, por todo suporte e aprendizado a mim concedido, pela paciência e dedicação durante toda esta trajetória.

Agradeço à UTFPR pela oportunidade de fazer este curso de pós-graduação, e a todos os colegas do curso pela amizade e apoio.

Por fim, agradeço a todos os amigos que me apoiaram e colaboram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Beckmann, Caroline. **Elaboração de Processo de Diagnóstico da Viabilidade para Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede do Estado do Paraná**. 2016. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso – Especialização em Energias Renováveis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Atualmente, grande parte da energia elétrica produzida no Brasil é através de usinas hidrelétricas, devido as grandes bacias hidrográficas existentes. Entretanto, a exploração do potencial hidrelétrico no país tem se esgotado. A falta de chuvas, o desperdício da água e o crescente processo de urbanização tem aumentado o consumo de água, afetando os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas e consequentemente na geração de energia elétrica por esta fonte. Desta forma, o Brasil começa a se tornar favorável a produção de energia por outras fontes de energia renovável, como por exemplo, através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR). Este trabalho tem como objetivo elaborar um processo de diagnóstico da viabilidade para implantação de SFVCR no estado do Paraná. Para o desenvolvimento deste trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre conceitos de energia solar, efeito fotovoltaico, sistemas fotovoltaicos conectados à rede, geração de energia, resoluções normativas e sobre valores de produtividade total anual média para os municípios do estado do Paraná. Com base desses dados foi possível elaborar uma metodologia para a realização do diagnóstico de viabilidade de implementação de SFVCR no estado. O processo de validação da metodologia foi realizado com a aplicação de casos reais já implementados, cujo resultado final foi a geração de uma ferramenta computacional com a aplicação desta metodologia, e que demonstrou ser útil e inovadora, visto que possibilita a qualquer consumidor verificar o quão viável será a implantação de um SFVCR em um local pré-determinado do Paraná.

Palavras-chave: Energia, Solar, Renovável, Sistemas Fotovoltaico, Viabilidade, Paraná.

ABSTRACT

Beckmann, Caroline. **Preparation of Feasibility Diagnostic Process for Implementation of Photovoltaic Systems Connected to the Network of Paraná State**. 2016. 81f. Work Completion of course - Specialization in Renewable Energy. Federal Technological University of Paraná, Curitiba, 2016.

Currently, much of the electricity produced in Brazil is through hydroelectric plants, because the existing large watersheds. However, the exploitation of hydropower potential in the country has been exhausted. The lack of rain, the water waste and the growing process of urbanization has increased water consumption, affecting the levels of hydroelectric plant reservoirs and, thereafter, in the generation of electricity from this source. Thus, Brazil begins to become favorable to energy production by other sources of renewable energy, such as through on-grid PV systems. This study aims to develop a viability diagnosis process for on-grid PV systems deployment in the state of Paraná. To develop this work, it was made a literature review about concepts of solar energy, photovoltaic effect, photovoltaic systems connected to the network, power generation, normative resolutions and average annual total productivity values in municipalities of Paraná state's. Based on these data it was possible to develop a methodology for feasibility diagnosis of on-grid PV systems implementation in the state. The methodology validation process was performed using real cases already implemented, whose final result was the creation of a computational tool with the application of this methodology, and that proved to be useful and innovative, as it enables any consumer check how viable will be the introduction of a on-grid PV systems in a predetermined location in Paraná.

Keywords: Energy, Solar, Renewable, Photovoltaic Systems, Feasibility, Paraná.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema fotovoltaico conectado à rede aplicado a uma edificação	18
Figura 2: Imagem com a representação das componentes da radiação solar	20
Figura 3: Módulo fotovoltaico de silício policristalino	22
Figura 4: Esquema de uma casa com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica	23
Figura 5: Símbolo de módulo fotovoltaico.	26
Figura 6: Participação das fontes energéticas na matriz elétrica global	26
Figura 7: Matriz elétrica brasileira	27
Figura 8: Mapa fotovoltaico do estado do Paraná – Total Anual	34
Figura 9: Inclinação do telhado em graus.	37
Figura 10: Telhado com forma geométrica triangular	38
Figura 11: Telhado com forma geométrica retangular	39
Figura 12: Telhado com forma geométrica trapezoidal.	39
Figura 13: Telhado voltado próximo ao norte geográfico e sem sombreamento em sua área, com inclinação próxima a latitude do local.	45
Figura 14: Telhado voltado para o nordeste geográfico e sem sombreamento em sua área.	45
Figura 15: Telhado voltado para o oeste geográfico e com sombreamento parcial em sua área.	46
Figura 16: Telhado voltado para o sul geográfico e com sombreamento parcial em sua área.	46
Figura 17: Tela inicial do programa.	56
Figura 18: Tela do Questionário Elaborado	56
Figura 19: Botão de ajuda do questionário, informação 1.	57
Figura 20: Botão de ajuda do questionário, informação 2.	57

Figura 21: Botão de ajuda do questionário, informação 3.	58
Figura 22: Botão de ajuda do questionário, informação 4.	58
Figura 23: Botão de ajuda do questionário, informação 5.	58
Figura 24: Botão de ajuda do questionário, informação 6, telhado triangular.	59
Figura 25: Botão de ajuda do questionário, informação 6, telhado retangular.	59
Figura 26: Botão de ajuda do questionário, informação 6, telhado trapezoidal.	60
Figura 27: Botão de ajuda do questionário, informação 7.	60
Figura 28: Botão de ajuda do questionário, informação 8.	61
Figura 29: Tela de simulação da implantação.	61
Figura 30: Botão salvar relatório, arquivo gerado página 1.	62
Figura 31: Botão salvar relatório, arquivo gerado página 2.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede	24
Tabela 2: Pesos atribuídos a orientação geográfica do telhado.....	41
Tabela 3: Pesos atribuídos ao sombreamento do telhado	42
Tabela 4: Variação da irradiação para diferentes ângulos em relação a latitude de Curitiba.....	43
Tabela 5: Pesos atribuídos a inclinação do telhado	43
Tabela 6: Dados disponibilizados.....	49
Tabela 7: Pesos atribuídos em relação a orientação geográfica do telhado	50
Tabela 8: Pesos atribuídos em relação ao sombreamento do telhado.....	50
Tabela 9: Pesos atribuídos em relação a inclinação dos telhados em análise.....	51
Tabela 10: Resultado do processo de diagnóstico para os casos analisados	52
Tabela 11: Custo de disponibilidade a ser pago a concessionária.....	53
Tabela 12: Produtividade total anual média definida para cada caso em análise.	53
Tabela 13: Potência a ser instalada	54
Tabela 14: Área requerida para implementação do SFVCR	55
Tabela 15: Valores de produtividade total anual média para os municípios do estado do Paraná.....	71
Tabela 16: Valores de latitude local para os municípios do estado do Paraná	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

ANACE – *Associação Nacional dos Consumidores de Energia*

ANEEL – *Agência Nacional de Energia Elétrica*

BEN – *Balanco Energético Nacional*

EPE – *Empresa de Pesquisa Energética*

EPIA – *Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica*

FIEP – *Federação das Indústrias do Estado do Paraná*

NBR – *Norma Brasileira Regulamentadora*

REN - *Renovável*

SFVCR – *Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	TEMA.....	12
1.1.1	Delimitação do Tema.....	13
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	13
1.3	OBJETIVOS.....	13
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos.....	13
1.4	JUSTIFICATIVA.....	14
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	17
2.2	ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	17
2.2.1	Energia Solar.....	17
2.2.2	Energia Solar Fotovoltaica.....	20
2.3	TECNOLOGIAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	21
2.4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR).....	22
2.4.1	TERMINOLOGIA.....	25
2.5	GERAÇÃO DE ENERGIA.....	26
2.6	GERAÇÃO DISTRIBUIDA.....	28
2.7	CAPACIDADE INSTALADA DE SFV GLOBAL E BRASIL.....	30
2.8	RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL nº 482/2012.....	31
2.9	RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 517/2012.....	32
2.10	RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 687/2015.....	33
2.11	POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO ESTADO DO PARANÁ.....	34

3	METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DE IMPLEMENTAÇÃO POR SFVCR	36
3.1	QUESTIONÁRIO DE DIAGNÓSTICO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO SFVCR 36	
3.2	INCLINAÇÃO DO TELHADO	37
3.3	ÁREA DISPONÍVEL DE TELHADO	37
3.4	DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA	40
3.5	DETERMINAÇÃO DA ÁREA REQUERIDA	40
3.6	FATORES PARA VALIDAR O PROCESSO DE DIAGNÓSTICO	41
4	VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA PARA DIAGNÓSTICO.....	49
4.1	PROCESSO DE VALIDAÇÃO	49
4.2	DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE DIAGNÓSTICO	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
	ANEXO A - Valores de produtividade total anual média para os municípios do Paraná.....	71
	ANEXO B – Latitude local para os municípios do estado do Paraná	77

1 INTRODUÇÃO

A cada minuto incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do Sol do que a demanda de todos os habitantes do planeta em um ano (IBRIK *et.al.*, 2004).

Segundo Tiepolo (2015), a geração de energia elétrica global, atualmente, é em maior número gerada por fontes de combustíveis fósseis e nuclear, entretanto, a tendência é de que as energias produzidas por fontes renováveis tenham sua participação aumentada, principalmente por meio de fontes de biomassa, eólica e solar.

Com relação ao Brasil, devido as grandes bacias hidrográficas existentes em sua topografia, a principal fonte de geração de energia elétrica do país são as usinas hidrelétricas (TIEPOLO, 2015).

O aproveitamento da energia solar como fonte de energia, é um assunto que muito tem se enunciado. A energia solar fotovoltaica tem sido uma das formas de energias renováveis mais investidas globalmente nos últimos anos (FIEP, 2013).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2015a), sob o olhar estratégico, em relação à energia solar, o Brasil possui uma série de características favoráveis. Uma delas seriam os altos níveis de irradiação, bem como, a vantagem de se poder instalar os sistemas solares próximos aos pontos de consumo e, principalmente em regiões urbanas, diminuindo as perdas entre o ponto de geração de energia elétrica e o consumidor final.

Conforme Tiepolo (2015), o Brasil começa a apresentar condições extremamente favoráveis para o incentivo à implantação deste tipo de fonte na matriz elétrica nacional, visto a queda acentuada dos componentes que compõem um SFVCR, e a elevação das tarifas de energia elétrica.

1.1 TEMA

Elaboração de processo de diagnóstico de viabilidade para implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná.

1.1.1 Delimitação do Tema

Análise do potencial fotovoltaico do estado do Paraná, e determinação da viabilidade de implementação de SFVCR em todos os municípios do estado através de um processo de diagnóstico aplicado a consumidores do Grupo B.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Embora pesquisas recentes tenham demonstrado o excelente potencial fotovoltaico no estado do Paraná, nem todo local é propício para se instalar um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR), mesmo apresentando excelentes valores de irradiação na região, visto que normalmente estes sistemas são instalados nas coberturas de edificações já existentes, cujas condições de geração nem sempre se aproximam das condições consideradas ideais.

Sendo assim, se faz necessário a realização do diagnóstico, caso a caso, de implementação do SFVCR.

Desta forma, fontes de dados de irradiação solar, como por exemplo, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), serão utilizados para a determinação do potencial fotovoltaico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é o de elaborar um processo de diagnóstico da viabilidade para implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) no estado do Paraná.

1.3.2 Objetivos Específicos

Declaram-se como objetivos específicos:

- a) Fazer a revisão bibliográfica sobre o tema;

- b) Verificar quais os níveis de produtividade apresentados no estado do Paraná por região/município;
- c) Elaborar metodologia para o diagnóstico da viabilidade de implantação de SFVCR no estado do Paraná;
- d) Validar o processo de diagnóstico através de comparações com dados reais de sistemas implantados em operação;
- e) Elaborar o processo para determinação da potência do SFVCR a ser instalado e área necessária.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo Vecchia (2010), a energia solar é à base da vida e sem ela não haveria nenhuma forma de sobrevivência. A energia é um dos principais vetores da infraestrutura necessários para o desenvolvimento humano de forma global, regional ou local e faz parte da agenda estratégica de qualquer nação.

O Brasil possui um total de 3.910 usinas em operação com um potencial total instalado de 140,10 GW, sendo que destas, 1.172 são sistemas hídricos e representam aproximadamente 66% do potencial total instalado, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015b). Essas usinas hídricas dependem que seus reservatórios estejam em níveis adequados para a produção de energia. Porém, ao longo dos últimos anos, as chuvas têm ficado cada vez mais ausentes e não estão suprimindo a necessidade dos reservatórios, afetando a produção de energia elétrica.

Além da falta de chuva, outro problema que tem afetado o nível dos reservatórios é o aumento do consumo de água no país. De acordo com Vecchia (2010), o maior desafio com relação à água está diretamente ligado ao desperdício e à distribuição das bacias hidrográficas. O crescente processo de urbanização provocou o aumento do consumo de água no uso doméstico.

Segundo a Agência Nacional de Consumidores de Energia (ANACE, 2013), o Brasil estava vivendo uma grave crise energética no país, visto que o sistema energético depende em sua grande maioria apenas da produção de energia elétrica gerada pelas usinas hídricas. Mesmo após os alertas de que o sistema elétrico estava frágil, nenhuma atitude corretiva foi tomada para que o problema não se

agravasse ainda mais. A falta de incentivo na produção de energia através de outras fontes de energias renováveis também tem sido determinante na piora do problema.

Sendo assim, é necessário buscar ampliar a matriz energética com outras fontes de energia renováveis, como por exemplo, com os sistemas fotovoltaicos que apresentam participação desprezível na produção de energia elétrica no país (ANEEL, 2015b).

De acordo com Torres (2012), a radiação solar incidente no Brasil é bem superior aos níveis registrados na Alemanha, por exemplo, visto que o país Europeu é o maior investidor em energia solar do continente Europeu. Enquanto a Alemanha registrou irradiação anual entre 900 e 1.250 kWh/m², em todo o território nacional brasileiro foram registrados valores entre 1.500 e 2.500 kWh/m².

Estes dados mostram que o Brasil tem condições extremamente favoráveis para o investimento em sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica, o que justifica o investimento desta fonte no setor energético brasileiro.

Segundo Torres (2012), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são sistemas silenciosos e de fonte renovável, que podem contribuir para a redução dos picos de demanda de energia diurna, além de não necessitarem de áreas extras para a instalação dos painéis, visto que os sistemas fotovoltaicos podem ser integrados as estruturas de casas e edificações.

Neste sentido, reconhecendo suas vantagens e também seus desafios, desenvolve-se esta pesquisa, a fim de desenvolver um processo de diagnóstico de implementação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede do estado do Paraná para auxiliar o consumidor local a verificar o potencial energético de sua unidade consumidora, bem como, apresentar os investimentos necessários para implementação do sistema solar fotovoltaico.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, será realizada uma pesquisa de referencial teórico utilizando como material de apoio livros, artigos, revistas e dissertações.

Em seguida, será desenvolvida uma metodologia para elaboração do processo de diagnóstico para implantação de um SFVCR, com base em dados de irradiação solar obtidos do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006).

Posteriormente, será validado o processo através de SFVCR já implantados ou analisados na região.

Por fim, serão elaboradas as conclusões finais deste trabalho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A monografia está estruturada em 5 capítulos. Primeiramente é abordado a introdução com seus objetivos e premissas, em seguida apresenta-se um detalhamento sobre as energias renováveis, as tecnologias envolvidas e o sistema adotado, bem como a capacidade instalada e a geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos. Na sequência, apresenta-se também um resumo sobre as resoluções normativas envolvidas no estudo e o potencial fotovoltaico para o estado do Paraná.

No Capítulo 1, apresenta-se uma introdução sobre o estudo desenvolvido, bem como, os problemas identificados, o objetivo proposto e a justificativa para o desenvolvimento deste trabalho.

O Capítulo 2, é composto pelo levantamento bibliográfico deste estudo, no qual é exemplificado o conceito de energia renovável, as principais tecnologias envolvidas e o tipo de sistema fotovoltaico adotado. Neste capítulo, apresenta-se também um resumo sobre as resoluções normativas para implementação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) e as capacidades de instalação e geração dos sistemas solares de forma nacional e global, bem como o potencial fotovoltaico para o estado do Paraná.

No Capítulo 3, é apresentada a metodologia elaborada para a realização do processo de diagnóstico da viabilidade de SFVCR no estado do Paraná.

O Capítulo 4, é composto pelas análises de validação do processo proposto, análise dos resultados e desenvolvimento do programa para diagnóstico.

No Capítulo 5, apresentam-se as conclusões da pesquisa de acordo com os resultados obtidos.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Segundo Albadó (2002), a energia pode ser definida como a quantidade de trabalho que um sistema físico é capaz de realizar. A energia não pode ser criada, consumida ou destruída, entretanto, ela pode ser convertida ou transferida para outras formas.

As energias renováveis são fontes de energia inesgotáveis que podem ser obtidas através do sol, vento, água e da decomposição de materiais orgânicos. São exemplos de fontes de energias renováveis: solar, eólica, hídrica, biomassa, entre outras.

Define-se por energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento. O emprego desta energia se dá por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, através dos aerogeradores, para a geração de energia elétrica, ou pelos moinhos (cata-ventos) para trabalhos mecânicos, como por exemplo, bombeamento d'água (ANEEL, 2015c).

A biomassa é todo recurso renovável com origem em resíduos sólidos, sendo eles: animais, vegetais, industriais e florestais, voltada para fins energéticos, ou seja, para a geração de energia elétrica através de fontes alternativas de energia (CORTEZ, 2008).

A energia das águas dos rios, das marés e das ondas é transformada em energia elétrica por meio de usinas hidrelétricas, maremotriz e ondomotriz.

De acordo com Villalva e Gazoli (2012), a energia renovável é normalmente associada à energia limpa, visto que, a energia renovável apresenta impactos ambientais reduzidos e quase não produz resíduo ou emissão de poluentes durante a sua operação.

Este trabalho se concentrará na energia solar.

2.2.1 Energia Solar

Conforme Albadó (2002), a energia solar é a fonte de energia menos poluente e menos finita conhecida até o presente momento.

O aproveitamento da energia solar pode ser empregado por meio de sistemas térmicos que convertem a energia radiante do sol em calor, ou por meio de sistemas fotovoltaicos que convertem a energia radiante do sol diretamente em energia elétrica (ALBADÓ, 2002).

A energia do sol é transformada em calor por meio de coletores solares. Estes coletores são responsáveis pela absorção e transferência da radiação solar para um fluido sob a forma de energia térmica (ALBADÓ, 2002).

A energia do sol pode ser transformada em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, que ocorre por meio das células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas são constituídas de materiais semicondutores que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade (PINHO E GALDINO, 2014).

Segundo Rütther (2004), através do efeito fotovoltaico as células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), define-se como módulo fotovoltaico, o arranjo de células fotovoltaicas conectadas em série ou paralelo, com baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica.

Na Figura 1, apresenta-se um sistema fotovoltaico.



Figura 1: Sistema fotovoltaico conectado à rede aplicado a uma edificação
Fonte: CAPITAL TERESINA (2015).

Segundo Greenpro (2015), a energia do Sol é expedida para a Terra através da radiação eletromagnética.

A radiação é composta por ondas eletromagnéticas com frequências e ondas diferentes. Quanto maior for a frequência da onda eletromagnética, maior será a energia transmitida e menor será seu comprimento (VILLALVA E GAZOLI, 2012).

A NBR 10899, define radiação solar como sendo a densidade de fluxo de energia, que pode ser medida em kW/m^2 ou em mW/cm^2 (ABNT, 2006).

O espectro de radiação solar pode ser definido como o conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas transmitidas pelo Sol. Estes espectros transportam a energia que pode ser capturada pela forma de calor ou energia elétrica (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

A energia do Sol é advinda das reações que ocorrem em seu núcleo. “Os átomos de hidrogênio combinam-se entre si para formar átomos de hélio, libertando energia” - Princípio da Fusão Nuclear. A energia radiada, também conhecida por irradiação medida em J/m^2 ou kWh/m^2 , chega à terra por meio de propagação de ondas eletromagnéticas através do espaço. Antes de penetrar na atmosfera, o valor do fluxo de energia solar radiada, irradiância, é da ordem dos 1373 W/m^2 (constante solar). Nesta fase a atmosfera da terra torna-se um obstáculo à radiação devido às moléculas que a formam (LEOTE, 2009).

A radiação solar que atinge uma superfície da Terra é composta por raios solares que chegam em todas as direções. Pode-se quantificar a radiação solar, através da grandeza física denominada de irradiância, que pode ser expressa em W/m^2 . Na superfície da Terra a irradiância da luz solar medida é em torno de 1000 W/m^2 (VILLALVA E GAZOLI, 2012).

A irradiância global é o potencial solar recebido em uma unidade de área por uma superfície horizontal, composta pela soma da irradiância direta e da irradiância difusa, de acordo com NBR 10899.

Conforme descrito na NBR 10899, a irradiância difusa é o potencial radiante do céu recebido por uma superfície horizontal em uma unidade de área, sendo descontado a irradiância direta. A irradiância direta é a irradiância solar incidente em uma superfície, sem que tenha sido distribuída pela superfície terrestre, podendo ser normal ou horizontal (ABNT, 2006).

Segundo Viana (2010) a radiação solar ao penetrar na atmosfera sofre diversos processos físicos e chega à superfície terrestre composta de duas parcelas: radiação direta e radiação difusa, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Imagem com a representação das componentes da radiação solar
 Fonte: TIEPOLO (2015).

A radiação total, que é a incidente sobre uma superfície inclinada, inclui as duas componentes, direta e difusa, mais uma parcela devida à radiação refletida na superfície e nos elementos do entorno, que é função do albedo do local (VIANA, 2010).

2.2.2 Energia Solar Fotovoltaica

A história da primeira célula solar começou em março de 1953 quando Calvin Fuller, um químico dos *Bell Laboratories (Bell Labs)*, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades elétricas (um processo chamado “dopagem”). Fuller produziu uma barra de silício dopado com uma pequena concentração de gálio, que o torna condutor, sendo as cargas móveis positivas (e por isso é chamado silício do “tipo p”). Seguindo as instruções de Fuller, o físico Gerald Pearson, seu colega nos Bell Labs, mergulhou esta barra de silício dopado num banho quente de lítio, criando assim na superfície da barra uma zona com excesso de elétrons livres, portadores com carga negativa (e por isso chamado silício do “tipo n”). Na região onde o silício

“tipo n” fica em contato com o silício “tipo p”, a “junção p-n”, surge um campo elétrico permanente (VALLÉRA *et al.*, 2006).

Ao caracterizar eletricamente esta amostra, Pearson verificou que produzia uma corrente elétrica quando a amostra era exposta à luz. Pearson tinha acabado de fazer a primeira célula solar de silício (VALLÉRA *et al.*, 2006).

Segundo Pinho e Galdino (2014), o efeito fotovoltaico ocorre em materiais semicondutores caracterizados pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (bandas de valência) e de outra totalmente vazia (bandas de condução).

2.3 TECNOLOGIAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Segundo Pinho e Galdino (2014), atualmente existem no mercado diversas tecnologias de células fotovoltaicas, sendo mais comum encontrar as de silício monocristalino, silício policristalino e as de filme fino.

Segundo Rüter (2004), dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas, pode-se destacar por ordem decrescente de maturidade e utilização as seguintes tecnologias: silício cristalino (c-Si); silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou simplesmente a-Si); telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe₂ ou CIS e Cu(InGa)Se₂ ou CIGS).

As células fotovoltaicas de silício cristalino podem ser divididas em monocristalino e policristalino, sendo diferenciadas pelo processo de fabricação.

Neste trabalho, será adotado para o processo de diagnóstico da viabilidade para implantação de SFVCR os módulos compostos por células fotovoltaicas de silício policristalino.

As células de silício policristalino, são formadas por diversos cristais, que são fundidos e posteriormente solidificados direcionalmente (AMÉRICA DO SOL, 2015).

Segundo Pinho e Galdino (2014), as células de silício policristalino são economicamente mais viáveis que as células de silício monocristalino, visto que, exigem um processo de fabricação menos rigoroso.

Tudo isto reflete no custo final das células, que acaba sendo menor que as monocristalinas, e fez também a tecnologia abranger a maior fatia do mercado de módulos solares (AMÉRICA DO SOL, 2015).

A Figura 3 ilustra um módulo de silício policristalino.



Figura 3: Módulo fotovoltaico de silício policristalino
Fonte: FARIAS *et al.* (2010).

2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR)

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com a interligação do sistema público de energia, sendo considerados isolados ou conectados à rede elétrica.

Para este trabalho, estará sendo pesquisado apenas os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), visto que é o tema do trabalho proposto.

Segundo Pinho e Galdino (2014), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede não utilizam armazenamento de energia, visto que, toda a energia gerada e não consumida é injetada diretamente na rede elétrica. Este sistema tem por objetivo principal gerar eletricidade para consumo local sendo uma fonte complementar de energia, e desta forma reduzir ou suprir o consumo da rede pública.

Os SFVCR são constituídos por painéis fotovoltaicos e inversores. Neste sistema não existe banco de baterias, e a energia elétrica gerada é “armazenada” na rede elétrica da concessionária (URBANETZ, 2010).

Ressalta-se que quando ocorre ausência de energia na rede elétrica, os SFVCR são desconectados automaticamente, evitando assim o fenômeno conhecido como ilhamento (RÜTHER, 2010).

A Figura 4 mostra os elementos que são utilizados em uma instalação fotovoltaica interligada à rede.

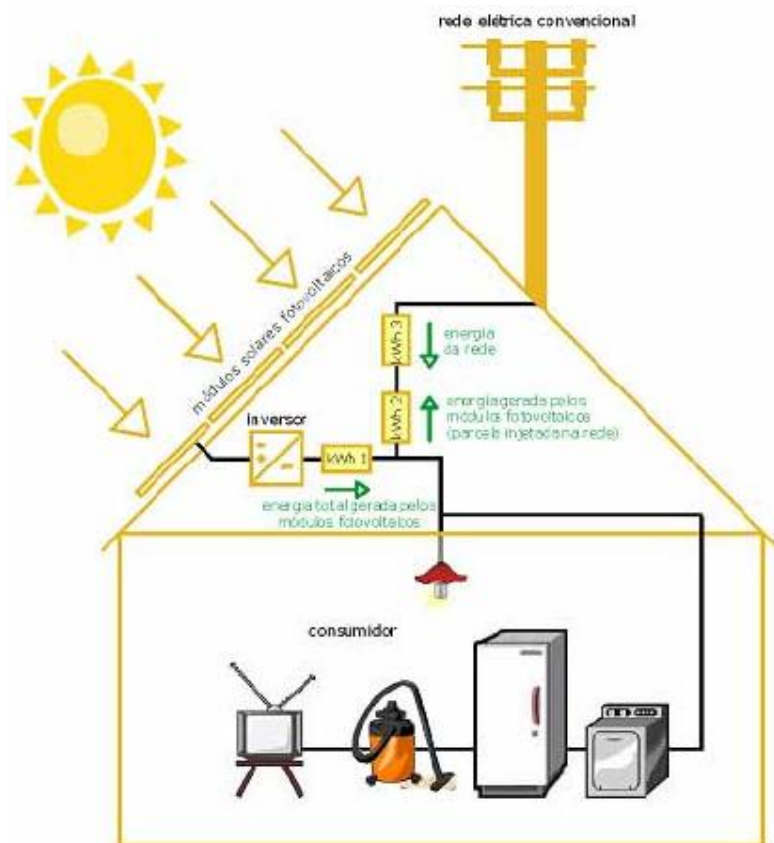


Figura 4: Esquema de uma casa com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica
Fonte: Rüter (2004).

Os sistemas conectados apresentam algumas vantagens, dentre elas:

"(...) atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras. Podem ser integrados à edificação sobrepondo ou substituindo elementos de

revestimento – e, portanto, próximos ao ponto de consumo, ou do tipo central FV [Usinas Solares], sendo esta tipicamente distante do ponto de consumo (URBANETZ, 2010) ”.

Segundo Câmara (2011), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR) podem ser de grande porte (as centrais fotovoltaicas) ou de pequeno porte (descentralizada e instalada em edificações urbanas).

Na Tabela 1, apresenta-se a classificação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede conforme a NBR 11704.

Tabela 1: Classificação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede
Fonte: NBR 11704 (2008).

Tipo de Sistema		Alimentação dos Consumidores	Acumulação de Energia Elétrica	Componentes Básicos	Aplicações Típicas
Sistemas Conectados à Rede Elétrica	Puros	Tensão Alternada	Não	Inversor	Aplicações residências, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
	Híbridos	Tensão Alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residências, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia, etc.

Nota: Todos dos tipos de sistema possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.

2.4.1 TERMINOLOGIA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) serve como base para que haja um padrão quando se fala em energia fotovoltaica. A NBR 10899 – 2006 define os termos técnicos relativos à conversão fotovoltaica de energia radiante solar em energia elétrica. A seguir, alguns termos encontrados na norma, relevantes para o entendimento deste trabalho (ABNT, 2006).

- **Albedo:** Índice relativo à fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devida a refletância dos arredores e do solo onde está instalado um dispositivo, sendo a irradiância devida ao albedo simbolizada por "Galb".
- **Ângulo de incidência (θ):** ângulo entre o raio incidente (direção do Sol) e a normal à superfície da célula ou módulo.
- **Arranjo ou gerador fotovoltaico:** Um ou mais painéis fotovoltaicos interligados eletricamente, de modo a prover uma única saída de corrente elétrica.
- **Célula solar ou célula fotovoltaica:** Dispositivo fotovoltaico elementar especificadamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica.
- **Irradiação total:** Irradiância total integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia.
- **Irradiância total:** Potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebida em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer, simbolizada por " G_{TOT} ".
- **Módulo fotovoltaico:** unidade básica formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica, representada pela Figura 5, onde o triângulo indica o polo positivo.



Figura 5: Símbolo de módulo fotovoltaico.
Fonte: ABNT (2006).

- **Sistema fotovoltaico:** Conjunto de elementos composto de arranjo (s) fotovoltaico (s), podendo incluir dispositivos para controle, condicionamento, supervisão, proteção e armazenamento de energia elétrica; fiação; fundação e estrutura de suporte. O termo em inglês BOS (*balance off system*) se refere ao sistema fotovoltaico, não incluindo os módulos fotovoltaicos.

2.5 GERAÇÃO DE ENERGIA

Somando toda a geração de energia elétrica global, 76,30% são gerados a partir de combustíveis fósseis e nuclear (não renováveis), onde os outros 23,70% são gerados a partir de energias renováveis, sendo destes, 16,6% são Hidroelétricas, 3,7% Eólica, 2,0% Biomassa, 1,2% Solar Fotovoltaica, 0,4% através de geotérmicas, CSP e oceânica (REN21, 2016). A Figura 6 apresenta o percentual de participação das fontes na geração de energia elétrica global.

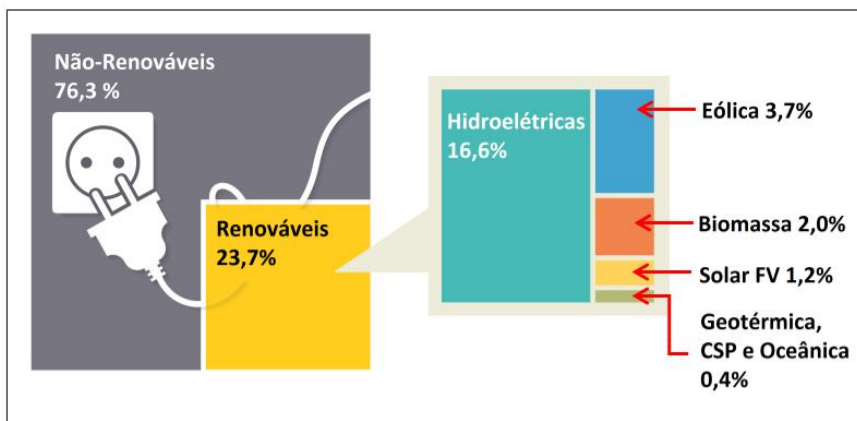


Figura 6: Participação das fontes energéticas na matriz elétrica global.
Fonte: Adaptado de REN21 (2016).

Quanto ao Brasil, ao contrário da tendência mundial, apresenta uma matriz eletro energética predominantemente renovável, sendo 74% proveniente de energias renováveis, com destaque para a geração hidráulica que corresponde a 64% da oferta interna (BEN, 2016). Na Figura 7, é representado a matriz Elétrica Brasileira para o ano de 2015.

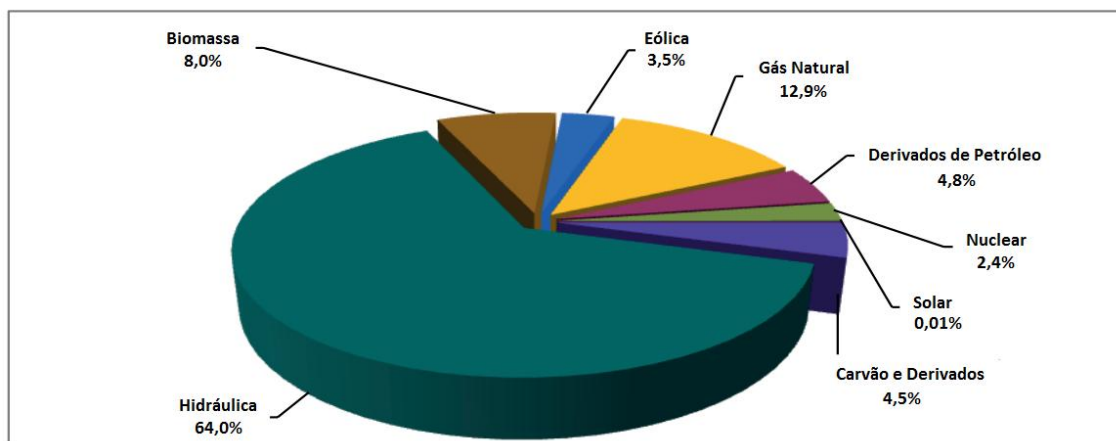


Figura 7: Matriz elétrica brasileira
Fonte: BEN (2016).

O aumento da demanda energética do Brasil associada a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e em conjunto com a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais está impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental (PEREIRA *et. al.*, 2006).

Pelo quarto ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período, houve redução da oferta de energia hidráulica, sendo que em 2015 o decréscimo foi de 3,2% em relação ao ano anterior (BEN, 2016). Em 2015, ocorreu um avanço da participação das energias renováveis na matriz elétrica de 74,6% para 75,5%, visto que houve redução da geração térmica a base de derivados de petróleo e incremento da geração a base de biomassa e eólica (BEN, 2016).

A inserção das energias renováveis (não hidráulicas) na matriz elétrica brasileira vem passo a passo aumentando e se faz bem visível quando analisado o mesmo período, passando de 7,70% em 2012 (MME, 2015a), para 8,7% em 2013

(MME, 2015b), para 9,4% em 2014 (MME, 2015c) e chegando a 10,2% em 2015 (BEN, 2016).

2.6 GERAÇÃO DISTRIBUIDA

Entende-se como geração distribuída, a energia elétrica gerada pelo próprio consumidor a partir de fontes renováveis, tais como, hidráulica, solar, eólica, biomassa e cogeração, na qual a parte excedente é fornecida para a rede de distribuição de sua localidade (ANEEL, 2015a).

Este princípio é conhecido como o processo de micro e de mini geração distribuída de energia elétrica, que tem como objetivo associar estas inovações a economia financeira, realizar a consciência socioambiental e a auto sustentabilidade (ANEEL, 2015a).

Segundo Polizel (2007), não há uma definição conceitual clara entre os especialistas sobre a geração distribuída. Em diversos países são utilizadas diferentes definições, que podem ser fundamentadas na potência, na tensão e ainda na forma de conexão.

Conforme o art. 14 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, define-se por geração distribuída o seguinte enunciado:

“Art. 14 (...) considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I – hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II – termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, (...).

Parágrafo único: Os empreendimentos termelétricos que utilizarem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput”.

A geração distribuída pode proporcionar benefícios ao sistema elétrico, tais como, adiar o investimento em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, diminuir o impacto ambiental e reduzir o carregamento das redes elétricas, minimizando perdas e diversificando a matriz energética (ANEEL, 2015a).

Para se aderir a um sistema de micro ou de mini geração distribuída, compete ao consumidor arcar com todos os custos dos geradores e financiamentos realizados para este fim. Sendo assim, cabe ao consumidor analisar a relação custo/benefício para a instalação dos geradores levando em consideração o tipo de fonte de energia renovável, tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização, valor da tarifa à qual a unidade consumidora será submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2015a).

De acordo com Mota (2011), a importância da geração distribuída vem aumentando ao longo dos últimos anos devido à busca por tecnologias que resultem em maior eficiência, confiabilidade e menor custo.

Segundo Moreira *et al.* (2004), há uma lista de vantagens para a implementação da geração distribuída, dentre as quais:

- Atendimento mais rápido ao crescimento da demanda, ou à demanda reprimida, por ter um tempo de implantação inferior ao de acréscimos à geração centralizada e reforços das respectivas redes de transmissão e distribuição;
- Aumento da confiabilidade do suprimento, por adicionar fonte não sujeita a falhas na transmissão e distribuição e por constituir uma geração mais próxima às solicitações do mercado;
- Aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuídas, conseqüentemente, exigindo menores reservas centrais;
- Redução das perdas na transmissão e dos respectivos custos e adiamento no investimento para reforçar o sistema de transmissão;
- Redução dos riscos de planejamento, pois, normalmente representam projetos menores;
- Aumento da eficiência energética, redução simultânea dos custos das energias elétrica e térmica, colocação dos excedentes da primeira no mercado a preço competitivo;

- Redução de impactos ambientais da geração, pela melhor utilização dos combustíveis tradicionais e, em certos tipos de cogeração, com a eliminação de resíduos industriais poluidores;
- Benefícios gerais decorrentes da maior eficiência energética obtida pela conjugação da geração distribuída com a geração centralizada e das economias resultantes;
- Maiores oportunidades de comercialização e de ação da concorrência no mercado de energia elétrica, na diretriz das Leis que reestruturam o setor elétrico;
- Período de construção é, em geral, bastante reduzido em relação às alternativas convencionais;
- Possibilidade de utilização de insumos energéticos de menor valor comercial, permitindo a minimização dos custos operacionais de um projeto;

De acordo com Mota (2011), as desvantagens da geração distribuída são mínimas, porém, a complexidade da operação tende a se tornar cada vez maior, dado ao maior planejamento, controle, manutenção, medidas de segurança, e a avaliação por parte do produtor se a diminuição da demanda pela distribuidora não irá afetar os preços correntes anteriormente praticados.

2.7 CAPACIDADE INSTALADA DE SFV GLOBAL E BRASIL

Segundo a Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica – EPIA (2016), a energia solar fotovoltaica global experimentou um novo ano de progresso em 2015, com crescimento de mais de 25% em relação ao ano de 2014, atingindo uma capacidade acumulada de 229 GW.

Foram adicionados em todo o mundo 50 GW em 2015, acima dos 40,20 GW em 2014, estabelecendo um novo recorde para o setor de energia solar fotovoltaica, (EPIA, 2016).

Este crescimento se dá, principalmente pelo crescimento dos mercados asiáticos e americanos e em certa medida, devido à emergência de novos mercados (EPIA, 2016).

Os três principais mercados de 2015 para instalação de sistemas fotovoltaicos foram a China, o Japão e os Estados Unidos, com respectivamente 15,1 GW, 10 GW, 7,30 GW de potência adicionada (EPIA, 2016).

Três países europeus ficaram entre os dez melhores mercados de energia solar do mundo em 2015. O Reino Unido ficou em quarto lugar com 3,70 GW, a Alemanha em sexto com 1,50 GW e a França em décimo lugar com 0,90 GW (EPIA, 2016).

Pela primeira vez, a Índia atingiu o quinto lugar do desenvolvimento anual de instalação de energia solar com 2 GW de potência instalada em 2015. (EPIA, 2016).

No Brasil a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos é de aproximadamente 21 MW, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2016).

2.8 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL nº 482/2012

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 entrou em vigor em 17 de abril de 2012, afim de que, o consumidor brasileiro pudesse fazer a geração da sua própria energia elétrica por meio de fontes renováveis e ainda poder fornecer a energia excedente gerada para a rede de distribuição elétrica de sua localidade (ANEEL, 2015e).

Um dos intuitos da norma é simplificar a conexão das centrais geradoras dos consumidores à rede das distribuidoras de energia elétrica, afim de permitir que a energia excedente produzida seja repassada para a rede, gerando um crédito de energia para o consumidor (ANEEL, 2015e).

De acordo com esta Resolução, o sistema de compensação de energia seria realizado a partir da energia ativa gerada pela unidade consumidora por meio da micro ou mini geração distribuída compensando o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2015e).

Os acessos de micro geração e mini geração distribuída deverão levar em consideração os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e as normas técnicas internacionais para complementação. Competem as distribuidoras de energia adequar os seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar as normas técnicas para este fim. O consumo a ser faturado é calculado pela diferença entre a energia consumida e a energia injetada. Esta diferença deveria ser utilizada,

preferencialmente, para compensação de outras unidades consumidoras dentro do mesmo ciclo de faturamento. Cabe ao consumidor definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (ANEEL, 2015e).

Os sistemas de medição deverão ser adequados pela distribuidora local dentro do prazo para realização de vistoria e ligação das instalações. A compensação de energia elétrica deverá se iniciar assim que o ponto de conexão for aprovado (ANEEL, 2015e).

Também será de responsabilidade da distribuidora coletar as informações das unidades geradoras junto aos micros e mineradores distribuídos, além do envio dos dados constantes (ANEEL, 2015e).

2.9 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 517/2012

A Resolução Normativa ANEEL nº 517/2012 entrou em vigor em 11 de dezembro de 2012 e apresenta uma alteração da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, bem como o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

Nesta Resolução, define-se que a geração de energia produzida pela unidade consumidora através das centrais geradoras e que é cedida à distribuidora local, será por meio de um empréstimo gratuito, e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa por meio de créditos que serão gerados, nesta mesma unidade ou de outra unidade consumidora que possua a mesma titularidade de Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda (ANEEL, 2015d).

A potência instalada no sistema de micro ou de mini geração distribuída ficará limitada a carga instalada para unidades consumidoras do grupo B ou à demanda contratada para as unidades consumidoras do grupo A. Caso o consumidor deseje aumentar a potência instalada do seu sistema, deverá ser feita uma solicitação junto ao órgão competente (ANEEL, 2015d).

Os custos de eventuais ampliações ou reforços do sistema de distribuição deverão ser arcados pela própria distribuidora local (ANEEL, 2015d).

A energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será computada por meio de créditos. Estes créditos serão calculados pela diferença entre a energia consumida e a energia injetada (ANEEL, 2015d).

Caso o consumidor opte por utilizar seus créditos em mais de uma unidade consumidora, que devem obrigatoriamente ser atendidas pela mesma rede de distribuição, este deverá definir a ordem de prioridade de compensação das unidades participantes, sendo que a unidade consumidora onde está instalado o sistema de geração deve ser o primeiro a ser compensado (ANEEL, 2015d).

Os créditos expirados e os créditos ativos no momento do encerramento da relação contratual do consumidor serão revertidos em favor da modicidade tarifária (ANEEL, 2015d).

Na fatura mensal da unidade consumidora deverá ser informado o saldo positivo de energia ativa em kWh e o valor total de créditos que irão expirar no próximo mês (ANEEL, 2015d).

Para as unidades consumidoras que são atendidas em tensão primária com equipamentos de medição instalados no secundário dos transformadores deverá ser descontada a perda por transformação da energia injetada (ANEEL, 2015d).

2.10 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 687/2015

A Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 entrou em vigor em 01 de março de 2016 e apresenta uma alteração da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, bem como os módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

Nesta Resolução, define-se por microgeração distribuída, as centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW. A minigeração distribuída, são as centrais geradoras de energia elétricas com potência instalada entre 75 kW e 5 MW (ANEEL, 2016a).

O potencial instalado para mini e micro geração distribuída ficará limitada à potência disponibilizada para cada unidade consumidora onde a central geradora for conectada, sendo proibido a divisão da central em outras unidades menores com o intuito de se enquadrar nos limites da potência. Se o consumidor desejar instalar uma central geradora com potencial superior ao limite estabelecido, este deverá solicitar o aumento da potência junto a distribuidora (ANEEL, 2016a).

Os créditos gerados pela energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora terão um prazo de 60 meses para sua utilização, os créditos que forem expirados serão revertidos em prol da modicidade tarifária. Os

consumidores livres e especiais não se aplicam ao sistema de compensação de energia (ANEEL, 2016a).

O consumidor que tenha alugado ou arrendado terrenos não serão incluídos no sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2016a).

2.11 POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO ESTADO DO PARANÁ

No estado do Paraná a irradiação total anual média é de 1.986 kWh/m².ano, com produtividade total anual média estimada em 1.490 kWh/kWp.ano para uma taxa de desempenho de 75% (TIEPOLO, 2015).

Na Figura 8, apresenta-se o mapa fotovoltaico do estado do Paraná.

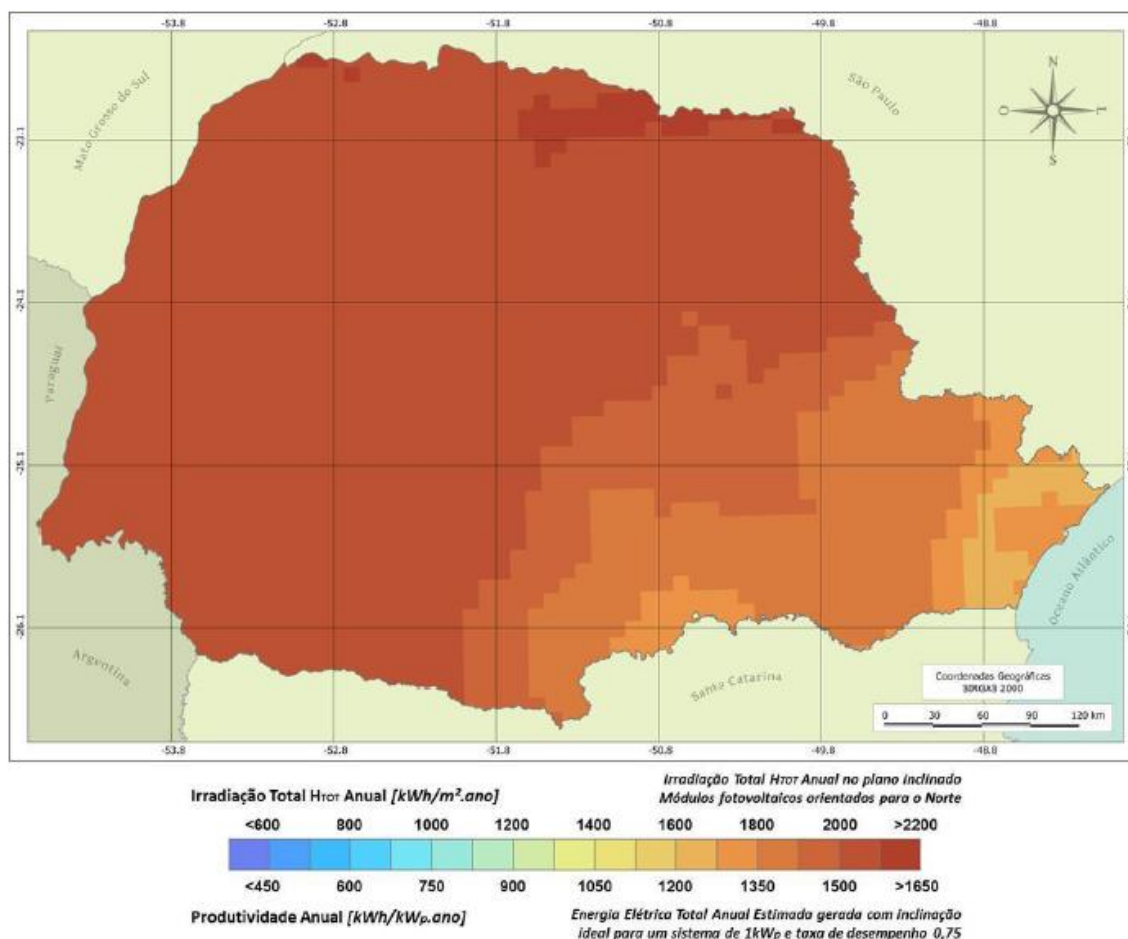


Figura 8: Mapa fotovoltaico do estado do Paraná – Total Anual
Fonte: TIEPOLO (2015).

Entre todos os 399 municípios do estado do Paraná, a cidade que possui os menores valores de irradiação e produtividade total anual média é a cidade de Matinhos com 1.687 kWh/m².ano e 1.265 kWh/kWp.ano, respectivamente (TIEPOLO, 2015).

A cidade com maior média total anual de irradiação e produtividade é a Prado Ferreira com 2.107 kWh/m².ano e 1.580 kWh/kWp.ano, respectivamente (TIEPOLO, 2015).

No anexo A, apresenta-se os valores de produtividade total anual média para os 399 municípios do estado do Paraná.

Segundo Tiepolo (2015), os valores de irradiação e de produtividade apresentados no estado do Paraná são elevados, em geral superiores aos valores apresentados pelos países europeus onde se concentra boa parte da capacidade instalada mundial.

3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DE IMPLEMENTAÇÃO POR SFVCR

Para realizar o processo de diagnóstico da viabilidade para implantação de um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) no estado do Paraná, elaborou-se um questionário para obter informações necessárias sobre a unidade consumidora em análise.

Com base nas informações fornecidas pelo usuário será feita a análise de viabilidade de implementação do SFVCR e posteriormente o cálculo do potencial fotovoltaico necessário e da área requerida para implementação do sistema.

3.1 QUESTIONÁRIO DE DIAGNÓSTICO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO SFVCR

Para que seja possível verificar se o local de instalação do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) é viável, é necessário definir algumas características do local aonde será implementado o sistema.

Sendo assim, elaborou-se um questionário de diagnóstico para definir as informações necessárias.

- a) Município do estado do Paraná que será implementado o SFVCR;
- b) Orientação geográfica do telhado;
- c) Valores do consumo mensal de energia dos últimos 12 meses (kWh/mês);
- d) Sombreamento no telhado (total, parcial, sem sombreamento);
- e) Inclinação do telhado;
- f) Dimensões do telhado para o cálculo da área disponível onde será implementado o sistema SFVCR;
- g) Tipo de medidor da unidade consumidora (monofásico, bifásico ou trifásico);
- h) Tarifa de energia vigente, com impostos, em (R\$/kWh);

3.2 INCLINAÇÃO DO TELHADO

A inclinação do telhado onde será instalado o SFVCR pode ser calculada através da equação 1:

$$\tan g (i) = \frac{b}{a} \quad (1)$$

Onde: "i" corresponde a inclinação do telhado (Graus), "b" corresponde a altura do telhado em metros (m) e "a" corresponde a largura do telhado em metros (m). Na Figura 9, apresenta-se um telhado com as medidas "a" e "b" para o cálculo da inclinação do telhado.

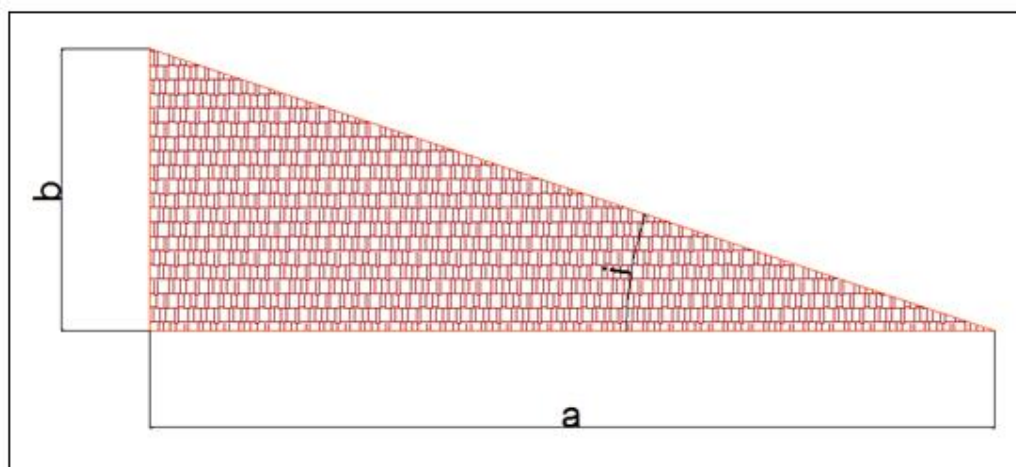


Figura 9: Inclinação do telhado em graus.
Fonte: Autoria própria (2016).

3.3 ÁREA DISPONÍVEL DE TELHADO

A área disponível de telhado onde será instalado o SFVCR pode ser calculada através das equações a seguir, de acordo com a forma geométrica.

- Triangular

$$A = \frac{b \times h}{2} \quad (2)$$

Onde: "A" corresponde a área do telhado (m²), "b" corresponde a base do telhado (m) e "h" corresponde a altura do telhado (m). Na Figura 10, apresenta-se um telhado com a forma geométrica triangular.

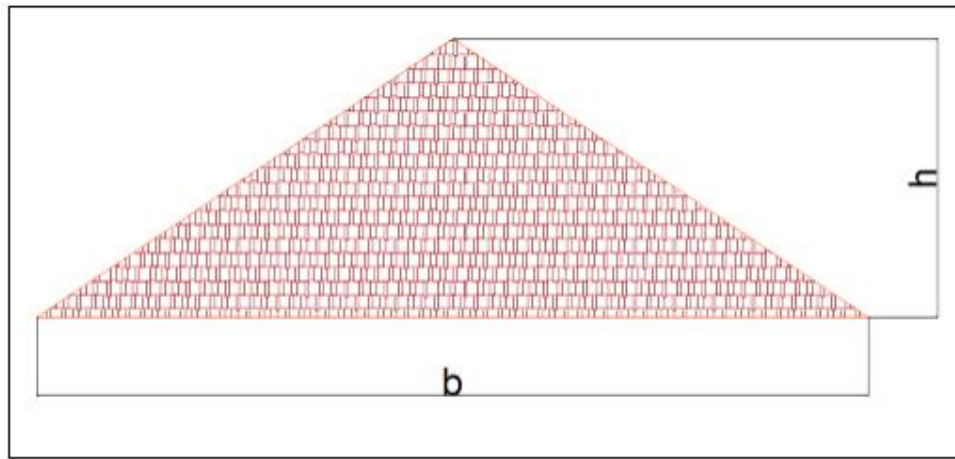


Figura 10: Telhado com forma geométrica triangular.
Fonte: Autoria própria (2016).

- Retangular

$$A = b \times h \quad (3)$$

Onde: "A" corresponde a área do telhado (m²), "b" corresponde a base do telhado (m) e "h" corresponde a altura do telhado (m). Na Figura 11, apresenta-se um telhado com a forma geométrica retangular.

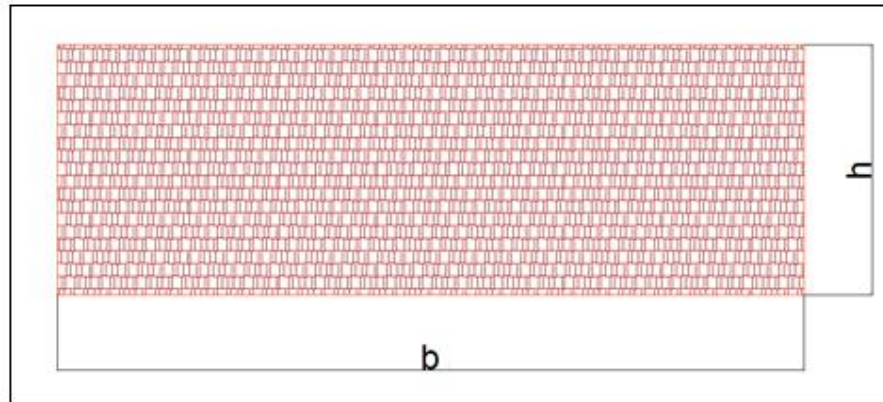


Figura 11: Telhado com forma geométrica retangular.
Fonte: Autoria própria (2016).

- Trapezoidal

$$A = \frac{(B + b) \times h}{2} \quad (4)$$

Onde: "A" corresponde a área do telhado (m²), "B" corresponde a base maior do telhado (m), "b" corresponde a base menor do telhado (m) e "h" corresponde a altura do telhado (m). Na Figura 12, apresenta-se um telhado com a forma geométrica trapezoidal.

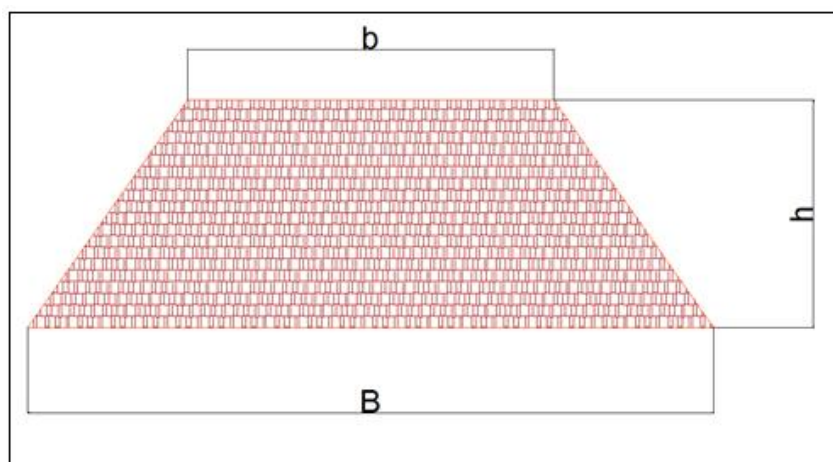


Figura 12: Telhado com forma geométrica trapezoidal.
Fonte: Autoria própria (2016).

3.4 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA

Neste estudo, a potência necessária para garantir a geração de energia elétrica da unidade consumidora solicitada será calculada considerando que o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) a ser instalado estará nas condições ideais de geração de energia elétrica, ou seja: orientação do telhado voltada para o norte geográfico, telhado sem sombreamento e com inclinação do telhado igual a latitude do local.

Será considerado para o cálculo da potência instalada os valores de produtividade total anual média determinadas para cada município do estado do Paraná, apresentadas no anexo A, deste trabalho.

A determinação da potência instalada para um sistema SFVCR pode ser calculada através da equação 5:

$$P_{FV} = \frac{E}{P} \quad (5)$$

Onde: " P_{FV} " corresponde a potência instalada (kWp), "E" corresponde a energia média mensal a ser gerada pelo SFVCR (kWh) e "P" corresponde a produtividade média mensal do município (kWh/KWp).

3.5 DETERMINAÇÃO DA ÁREA REQUERIDA

A área requerida para implementação do painel solar fotovoltaico pode ser calculada através da seguinte equação:

$$A = \left(\frac{P_{FV}}{E_{FF}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde: A é a área necessária (m^2), P_{FV} corresponde a potência de pico (kWp) e E_{FF} é a eficiência da tecnologia adotada (%).

Para este estudo, será considerado como padrão, a eficiência de painéis solares fotovoltaicos de silício policristalino, correspondente a aproximadamente 16% (NEOSOLAR, 2016).

3.6 FATORES PARA VALIDAR O PROCESSO DE DIAGNÓSTICO

Para definir se a implementação do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) é viável na unidade consumidora solicitada, será atribuído pesos para cada um dos fatores analisados e respondidos no questionário de diagnóstico.

Os pesos que foram atribuídos a cada fator analisado variaram de 1 a 4. Quanto mais próximo das condições ideais de geração de energia elétrica para um SFVCR for a resposta do usuário, maior será o peso atribuído.

Os módulos de um SFVCR instalados no hemisfério sul, obtém máxima irradiação anual e máxima geração de energia, quando estes estão voltados para o norte geográfico (URBANETZ, 2010). Sendo assim, quanto maior o desvio azimutal do telhado em relação ao norte, menor será a geração de energia.

Desta forma, para as quatro orientações geográficas principais, foram atribuídos os pesos conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Pesos atribuídos a orientação geográfica do telhado

Orientação Geográfica	Peso
Norte	4
Nordeste	3,5
Noroeste	3,5
Leste	3
Oeste	3
Sudeste	2
Sudoeste	2
Sul	1

Os sistemas SFVCR que apresentam sombreamento em sua área produzem menos energia, e mesmo que este sombreamento seja em uma área pequena do painel, a produção de energia será afetada no sistema por inteiro.

Desta forma, com relação ao sombreamento do telhado, foram atribuídos os pesos, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Pesos atribuídos ao sombreamento do telhado

Sombreamento	Peso
Sem Sombreamento	4
Sombreamento Parcial	2,5
Sombreamento Total	1

Quando a inclinação dos módulos de um SFVCR corresponde à latitude local, maior é a geração de energia elétrica produzida pelo sistema (URBANETZ, 2010).

Os valores de latitude local determinadas para cada município do estado do Paraná, estão apresentadas no anexo B, deste trabalho.

Para atribuir pesos a este parâmetro, verificou-se a influência da mudança de latitude em relação a irradiação no local e conseqüentemente ao potencial de energia a ser gerada. Sendo assim, adotou-se como exemplo a cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná e obteve-se através do programa RADIASOL os valores de irradiação incidente e verificou-se a diferença percentual em relação a latitude local de 25°, considerando sem desvio azimutal (orientação igual ao norte geográfico) e sem sombreamento.

Desta forma, para as inclinações com variação de até 5° para mais ou para menos da latitude local, adotou-se peso 4, visto que a diferença da irradiação entre estas latitudes representou menos de 0,05% de variação da irradiação média diária anual na latitude local. Para as inclinações com variação entre 5,1° e 10° para mais ou para menos da latitude local, adotou-se peso 3, visto que a diferença da irradiação em relação a latitude local para estas inclinações representou menos de 1,50 %. As inclinações com variação entre 10,1° e 15° para mais ou para menos da latitude local receberam peso 2, visto que a diferença da irradiação em relação a

latitude local representou valores acima de 1,70%, chegando até a uma diferença de 2,61%. Para diferenças superiores as citadas, tanto para mais quanto para menos, adotou-se valor 1, visto que as diferenças de irradiação foram superiores a 3,30%. O percentual de variação da irradiação dos ângulos entre 0° e 50° em relação à latitude local da cidade de Curitiba, adotado como modelo para este trabalho, encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4: Variação da irradiação para diferentes ângulos em relação a latitude de Curitiba

Latitude	Irradiação (Wh/m ²)	Δ (%)
0°	4.611	5,26
5°	4.707	3,29
10°	4.781	1,77
15°	4.833	0,7
20°	4.862	0,1
25°	4.867	0
30°	4.849	0,37
35°	4.807	1,23
40°	4.740	2,61
45°	4.654	4,38
50°	4.545	6,62

Sendo assim, foram atribuídos pesos referente a inclinação do telhado, conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Pesos atribuídos a inclinação do telhado

Inclinação	Peso
Igual a Latitude Local	4
Latitude Local até ± 5°	4
Latitude Local ± 5,1° até ± 10°	3
Latitude Local ± 10,1° até ± 15°	2
Latitude Local superior a ± 15,1°	1

Cabe ressaltar que a fatura de energia elétrica do consumidor nunca será zerada (R\$0,00) com a implementação do SFVCR, visto que, a concessionária de energia cobra o “Custo de Disponibilidade” dos consumidores residenciais e iluminação pública.

De acordo com o tipo de medidor da unidade consumidora, a distribuidora de energia cobra esse “Custo de Disponibilidade”. A seguir, apresenta-se o tipo de medidor e o respectivo custo aplicado ao faturamento mensal das unidades consumidoras do Grupo B (residencial), segundo a Resolução Normativa ANEEL 414/2010.

- a) Monofásico: 30 kWh;
- b) Bifásico: 50 kWh;
- c) Trifásico: 100 kWh.

Sendo assim, a energia elétrica mensal a ser gerada pelo SFVCR, deverá ser equivalente à energia média mensal utilizada pelo consumidor menos a energia cobrada pelo seu fornecimento (custo de disponibilidade) (TIEPOLO, 2015).

- Consumidor monofásico:

$$\text{Energia a ser gerada} = \text{Energia média mensal} - 30 \text{ kWh}$$

- Consumidor bifásico:

$$\text{Energia a ser gerada} = \text{Energia média mensal} - 50 \text{ kWh}$$

- Consumidor trifásico:

$$\text{Energia a ser gerada} = \text{Energia média mensal} - 100 \text{ kWh}$$

Desta forma, de acordo com o resultado obtido após a aplicação dos pesos em relação a cada resposta do questionário informada pelo usuário, pode-se definir se o empreendimento é “Viável”, “Provavelmente Viável”, “Pouco Viável” ou “Inviável”.

Os sistemas considerados “viáveis”, são aqueles sistemas que apresentaram todas as suas características nas condições ideais de energia elétrica ou muito próximas delas, ou seja, orientação do telhado voltada para o norte geográfico, telhado sem sombreamento e inclinação do telhado igual a latitude local.

Na Figura 13, apresenta-se o exemplo de um telhado nas condições próximas das ideais.



Figura 13: Telhado voltado próximo ao norte geográfico e sem sombreamento em sua área, com inclinação próxima a latitude do local.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

Os sistemas considerados “provavelmente viáveis”, são os sistemas SFVCR que apresentaram algumas das suas características nas condições consideradas ideais para geração de energia ou muito próximas delas, e outras características diferentes das ideais, porém não tão distintas destas. Na Figura 14, apresenta-se um telhado com algumas condições ideais.

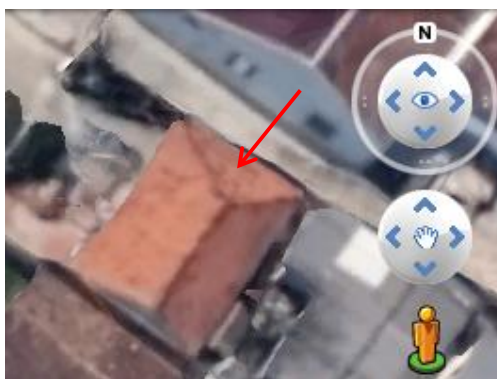


Figura 14: Telhado voltado para o nordeste geográfico e sem sombreamento em sua área.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

São considerados sistemas “pouco viáveis”, os sistemas que apresentaram características distintas das ideais, ou seja, telhados voltados para leste, oeste ou sul, telhados que apresentaram sombreamento parcial ou total, e inclinação distante da latitude local. Na Figura 15, apresenta-se um telhado com condições distintas das ideais.

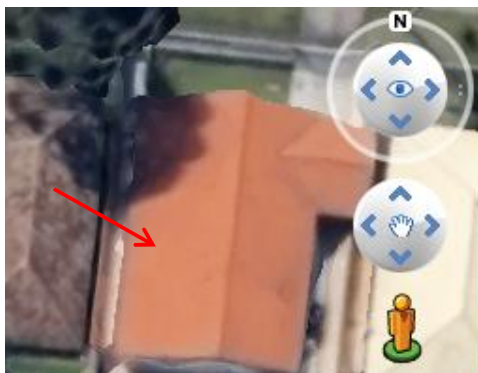


Figura 15: Telhado voltado para o oeste geográfico e com sombreamento parcial em sua área.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

Por fim, são considerados sistemas “inviáveis”, os sistemas SFVCR que apresentaram características muito diferentes das condições consideradas ideais para geração de energia elétrica, por exemplo, telhados voltados para o sul, que apresentaram sombreamento em toda sua área ou em sua maior parte, e inclinação muito distante da latitude local. Na Figura 16, apresenta-se um telhado com condições diferentes das ideais.



Figura 16: Telhado voltado para o sul geográfico e com sombreamento parcial em sua área.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

Cabe ressaltar, que os telhados considerados pouco viáveis ou inviáveis nesta análise, necessitam de estudo detalhado realizado por empresas especializadas em implementação de SFVCR para que sua inviabilidade seja confirmada, visto que este estudo se trata de uma análise preliminar. Destaca-se também, que a análise é feita em relação a aplicação do sistema diretamente no telhado existente.

Os termos utilizados neste trabalho como “viável”, “provavelmente viável”, “pouco viável” e “inviável” dizem respeito a produtividade estimada em cada uma destas situações, e quão próximas elas estão da produtividade prevista em SFVCR nas condições consideradas ideais de geração de energia elétrica. Consequentemente, quanto mais próximo o SFVCR a ser implantado estiver das condições consideradas ideais, maior será a sua produtividade estimada ao longo da sua vida útil, no caso 25 anos, e menor será o tempo de retorno do investimento realizado.

Desta forma, foi estipulado um processo de avaliação em função do resultado dos pesos obtidos, que deverão seguir os seguintes passos, nesta ordem:

- Passo 1:

Se a soma dos pesos "Orientação Geográfica", "Sombreamento" e "Inclinação" for igual a 12, o SFVCR será considerado "Viável", ou seja, são telhados que apresentam as três características nas condições ideais para geração de energia elétrica;

- Passo 2:

Para os telhados que apresentarem "Orientação Geográfica" com peso 3,5 (Nordeste ou Noroeste) ou peso 4 (Norte):

– Se a soma dos pesos "Orientação Geográfica", "Sombreamento" e "Inclinação" estiver no intervalo entre 8 e 11,50, os SFVCR serão considerados “Provavelmente Viáveis”, visto que os sistemas se apresentam nas condições muito próximas das ideais de geração de energia elétrica;

– Se a soma dos pesos "Orientação Geográfica", "Sombreamento" e "Inclinação" for inferior a 8, os SFVCR serão considerados “Pouco Viáveis”, devido ao fato de uma das condições estar muito distinta das consideradas ideais.

- Passo 3:

Para os telhados cuja "Orientação Geográfica" resultar em peso 3 (Leste ou Oeste), os sistemas SFVCR serão considerados “Pouco Viáveis”,

visto que a irradiação solar nestes telhados se concentra em apenas um período do dia, diminuindo a geração de energia elétrica;

- Passo 4:

Serão considerados também SFVCR “Pouco Viáveis”, os telhados que obtiverem como resposta "Inclinação" igual a peso 1, pois estes telhados estarão praticamente na horizontal, ou com inclinação muito superior a latitude do local;

- Passo 5:

Serão considerados SFVCR “Inviáveis”, aqueles telhados que apresentarem "Orientação Geográfica" com peso 1 (orientados para o Sul) ou peso 2 (orientados para o Sudeste ou Sudoeste), ou ainda "Sombreamento" com peso 1 (sombreamento total do SFVCR). Os telhados voltados para o Sul, Sudeste ou Sudoeste recebem uma pequena parcela da irradiação solar durante o ano inteiro, sendo que em telhados com sombreamento total, a produção de energia nos SFVCR é afetada ainda de forma mais significativa.

4 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA PARA DIAGNÓSTICO

Para realizar a validação da metodologia desenvolvida para análise da viabilidade da implantação de um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) no estado do Paraná, foram coletados dados reais de sistemas já implantados, e analisados os parâmetros de instalação, tais como: inclinação, orientação geográfica e sombreamento, conforme o método elaborado.

4.1 PROCESSO DE VALIDAÇÃO

Na Tabela 6, apresentam-se os dados disponibilizados que auxiliaram a responder o questionário de diagnóstico elaborado e que serão utilizados neste processo.

Tabela 6: Dados disponibilizados

Parâmetros	Município	Orientação	Sombreamento	Tipo de Medidor	Consumo Médio Mensal (kWh)	Inclinação do Telhado
Caso 1	Curitiba	Noroeste	Parcial	Trifásico	4.766,21	18°
Caso 2	Curitiba	Nordeste	Sem Sombreamento	Trifásico	4.766,21	19°
Caso 3	Curitiba	Nordeste	Parcial	Trifásico	4.766,21	11°
Caso 4	Campo Largo	Norte	Sem Sombreamento	Trifásico	966,67	25°
Caso 5	Curitiba	Noroeste	Parcial	Trifásico	5.270,14	24°
Caso 6	Curitiba	Norte	Parcial	Trifásico	2.499,15	28°
Caso 7	Curitiba	Norte	Parcial	Trifásico	1.576,40	19°
Caso 8	Curitiba	Noroeste	Parcial	Trifásico	456,11	17°
Caso 9	Curitiba	Noroeste	Sem Sombreamento	Trifásico	399,20	20°
Caso 10	Curitiba	Noroeste	Parcial	Bifásico	263,93	18°
Caso 11	Curitiba	Norte	Parcial	Trifásico	230,00	22°
Caso 12	Curitiba	Noroeste	Parcial	Trifásico	-	12°

Na Tabela 7, mostra-se os pesos atribuídos em relação a orientação geográfica do telhado.

Tabela 7: Pesos atribuídos em relação a orientação geográfica do telhado

Parâmetros	Orientação	Peso
Caso 1	Noroeste	3,5
Caso 2	Nordeste	3,5
Caso 3	Nordeste	3,5
Caso 4	Norte	4
Caso 5	Noroeste	3,5
Caso 6	Norte	4
Caso 7	Norte	4
Caso 8	Noroeste	3,5
Caso 9	Noroeste	3,5
Caso 10	Noroeste	3,5
Caso 11	Norte	4
Caso 12	Noroeste	3,5

Na Tabela 8, apresenta-se os pesos atribuídos em relação ao sombreamento do telhado para cada caso em análise.

Tabela 8: Pesos atribuídos em relação ao sombreamento do telhado

Parâmetros	Sombreamento	Peso
Caso 1	Parcial	2,5
Caso 2	Sem Sombreamento	4
Caso 3	Parcial	2,5
Caso 4	Sem Sombreamento	4
Caso 5	Parcial	2,5
Caso 6	Parcial	2,5
Caso 7	Parcial	2,5
Caso 8	Parcial	2,5
Caso 9	Sem Sombreamento	4
Caso 10	Parcial	2,5
Caso 11	Parcial	2,5
Caso 12	Parcial	2,5

Na Tabela 9, aponta-se os pesos atribuídos em relação a inclinação do telhado para cada caso em análise.

Tabela 9: Pesos atribuídos em relação a inclinação dos telhados em análise

Parâmetros	Latitude Local	Inclinação do Telhado	Δ Inclinação	Peso
Caso 1	25°	18°	-7°	3
Caso 2	25°	19°	-6°	3
Caso 3	25°	11°	-14°	2
Caso 4	25°	25°	0°	4
Caso 5	25°	24°	-1°	4
Caso 6	25°	28°	+3°	4
Caso 7	25°	19°	-6°	3
Caso 8	25°	17°	-8°	3
Caso 9	25°	20°	-5°	4
Caso 10	25°	18°	-7°	3
Caso 11	25°	22°	-3°	4
Caso 12	25°	12°	-13°	2

Na Tabela 10, mostra-se o somatório e o resultado do processo de diagnóstico para os casos analisados.

Tabela 10: Resultado do processo de diagnóstico para os casos analisados

Parâmetros	Pesos			Somatório	Resultado
	Orientação	Sombreamento	Inclinação		
Caso 1	3,5	2,5	3	9	Provavelmente viável
Caso 2	3,5	4	3	10,5	Provavelmente viável
Caso 3	3,5	2,5	2	8	Provavelmente viável
Caso 4	4	4	4	12	Viável
Caso 5	3,5	2,5	4	10	Provavelmente viável
Caso 6	4	2,5	4	10,5	Provavelmente viável
Caso 7	4	2,5	3	9,5	Provavelmente viável
Caso 8	3,5	2,5	3	9	Provavelmente viável
Caso 9	3,5	4	4	11,50	Provavelmente viável
Caso 10	3,5	2,5	3	9	Provavelmente viável
Caso 11	4	2,5	4	10,5	Provavelmente viável
Caso 12	3,5	2,5	2	8	Provavelmente viável

Dos 12 casos analisados, 1 se mostrou “Viável” e 11 se mostraram “Provavelmente Viáveis”, sendo que os resultados obtidos pela metodologia desenvolvida estão de acordo com o esperado, visto as condições em que os sistemas foram implantados.

Importante salientar que todos os SFVCR pesquisados encontram-se em operação, com valores de produtividade próximas das condições ideais de geração, o que confere confiabilidade no método desenvolvido.

Para determinar a potência a ser instalada nos SFVCR, preliminarmente definiu-se o custo de disponibilidade a ser pago para a concessionária, apresentado na Tabela 11, conforme medidor de energia elétrica.

Tabela 11: Custo de disponibilidade a ser pago a concessionária

Parâmetros	Tipo de Medidor	Energia Média Mensal a ser Paga (kWh)
Caso 1	Trifásico	100
Caso 2	Trifásico	100
Caso 3	Trifásico	100
Caso 4	Trifásico	100
Caso 5	Trifásico	100
Caso 6	Trifásico	100
Caso 7	Trifásico	100
Caso 8	Trifásico	100
Caso 9	Trifásico	100
Caso 10	Bifásico	50
Caso 11	Trifásico	100
Caso 12	Trifásico	100

No cálculo da potência instalada, definiu-se os valores de produtividade total anual média de acordo com o município do estado do Paraná em análise, conforme mostrado na Tabela 12.

Tabela 12: Produtividade total anual média definida para cada caso em análise.

Parâmetros	Município	Produtividade Anual Média (kWh/KWp)
Caso 1	Curitiba	1.372
Caso 2	Curitiba	1.372
Caso 3	Curitiba	1.372
Caso 4	Campo Largo	1.378
Caso 5	Curitiba	1.372
Caso 6	Curitiba	1.372
Caso 7	Curitiba	1.372
Caso 8	Curitiba	1.372
Caso 9	Curitiba	1.372
Caso 10	Curitiba	1.372
Caso 11	Curitiba	1.372
Caso 12	Curitiba	1.372

Desta forma, calculou-se para cada caso a correspondente potência a ser instalada em cada um dos casos analisados. Os valores definidos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Potência a ser instalada

Parâmetros	Energia média a ser gerada (kWh)	P_{FV} (kWp)
Caso 1	4.666,21	40,81
Caso 2	4.666,21	40,81
Caso 3	4.666,21	40,81
Caso 4	866,67	7,55
Caso 5	5.170,14	45,22
Caso 6	2.399,15	20,98
Caso 7	1.476,40	12,91
Caso 8	356,11	3,11
Caso 9	299,20	2,62
Caso 10	213,93	1,87
Caso 11	130,00	1,14
Caso 12	-	2,10

Para o caso 12, não calculou-se a potência a ser instalada, pois o SFVCR encontra-se em um escritório acadêmico, o Escritório Verde da UTFPR (primeiro SFVCR instalado no estado do Paraná, antes da regulamentação 482/2012 da ANEEL), no qual o consumo de energia é mínimo devido a sua construção ter sido realizada com características de máxima eficiência e sustentável, sendo que uma pequena parte da energia gerada é consumida na edificação, e o restante é consumida pela a universidade do qual o escritório faz parte. Desta forma, não foi possível obter os dados de consumo médio mensal para este empreendimento e apenas considerou-se a potência instalada real do SFVCR.

Calculou-se também, para cada caso em análise, a área requerida para a implementação do painel solar fotovoltaico, considerando a eficiência de painéis solares fotovoltaicos de silício policristalino. As áreas requeridas calculadas são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14: Área requerida para implementação do SFVCR

Parâmetros	A (m ²)
Caso 1	255,06
Caso 2	255,06
Caso 3	255,06
Caso 4	47,19
Caso 5	282,62
Caso 6	131,12
Caso 7	80,69
Caso 8	19,44
Caso 9	16,38
Caso 10	11,69
Caso 11	7,12
Caso 12	13,12

4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE DIAGNÓSTICO

Para que o usuário da unidade consumidora possa verificar se o local de instalação do sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) é viável, elaborou-se um programa computacional para sua aplicação. Este programa foi elaborado em Visual Basic 2013 e sua aplicação é bem simples e didática, seguindo o processo elaborado nesta pesquisa, de acordo com as premissas definidas.

O programa está disponível no site: <http://labens.ct.utfpr.edu.br/>

As imagens do *layout* do programa elaborado e suas respectivas telas são apresentadas nas figuras Figura 17 a Figura 31.

SEJA BEM-VINDO (A)

PROCESSO DE DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR) DO ESTADO DO PARANÁ

Nome do Cliente

06/10/2016

Início

Autoria: Caroline Beckmann
Gerson M. Tiepolo

Figura 17: Tela inicial do programa.
Fonte: Autoria Própria.

Questionário

DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DO SEU SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

Tenha em mãos sua conta de luz atual. Caso não saiba responder algumas das perguntas, clique no botão ajuda.

1. Informe o município do estado do Paraná onde será implementado seu sistema fotovoltaico conectado à rede Ajuda
2. Informe a orientação geográfica do telhado onde será implementado seu sistema fotovoltaico conectado à rede Ajuda
3. Informe se há sombreamento no telhado onde será implementado seu sistema fotovoltaico conectado à rede Ajuda
4. Informe o tipo de medidor da unidade consumidora onde será implementado seu sistema fotovoltaico conectado à rede Ajuda
5. Informe as medidas do telhado para o cálculo da inclinação ou a inclinação onde será implementado seu sistema fotovoltaico conectado à rede (Graus) a b Graus Ajuda
6. Informe a forma geométrica e as dimensões do telhado para o cálculo da área disponível onde será implementado seu sistema fotovoltaico conectado à rede

Triangular Retangular Trapezoidal

Base Altura Base Altura Base Maior Base Menor Altura

Ajuda Ajuda Ajuda
7. Informe a tarifa de energia vigente, com impostos, em (R\$/kWh) Ajuda
8. Informe o consumo mensal de energia dos últimos 12 meses (kWh/mês)

Mês 1 Mês 2 Mês 3 Mês 4 Mês 5 Mês 6 Mês 7 Mês 8 Mês 9 Mês 10 Mês 11 Mês 12 Média

SIMULAR IMPLANTAÇÃO

Figura 18: Tela do Questionário Elaborado.
Fonte: Autoria Própria.

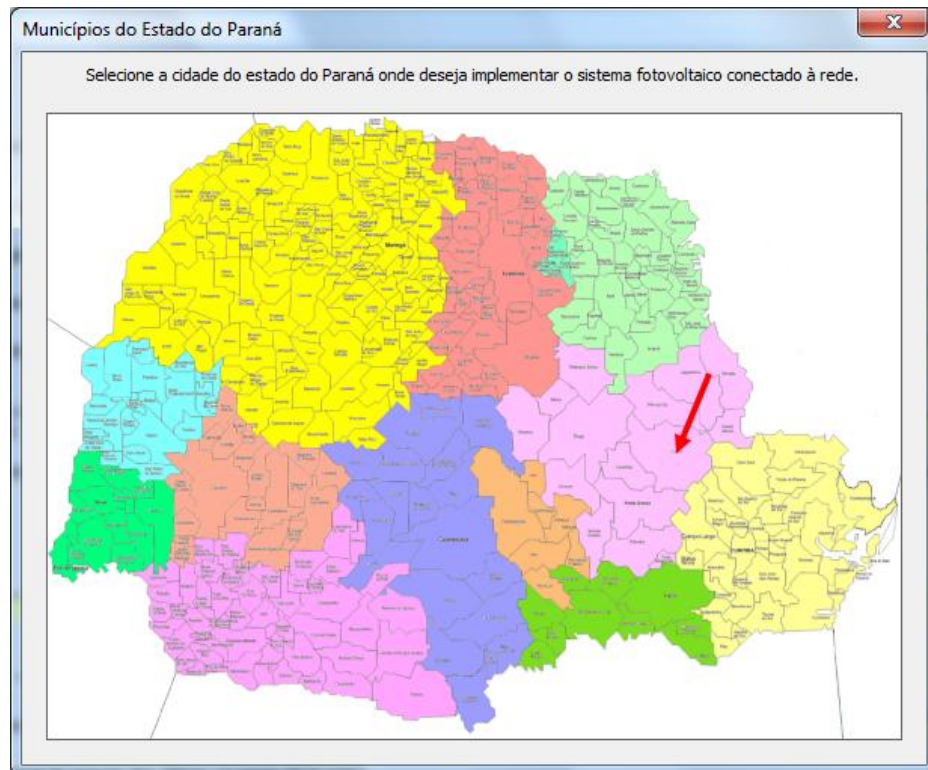


Figura 19: Botão de ajuda do questionário, informação 1.
Fonte: Autoria Própria.

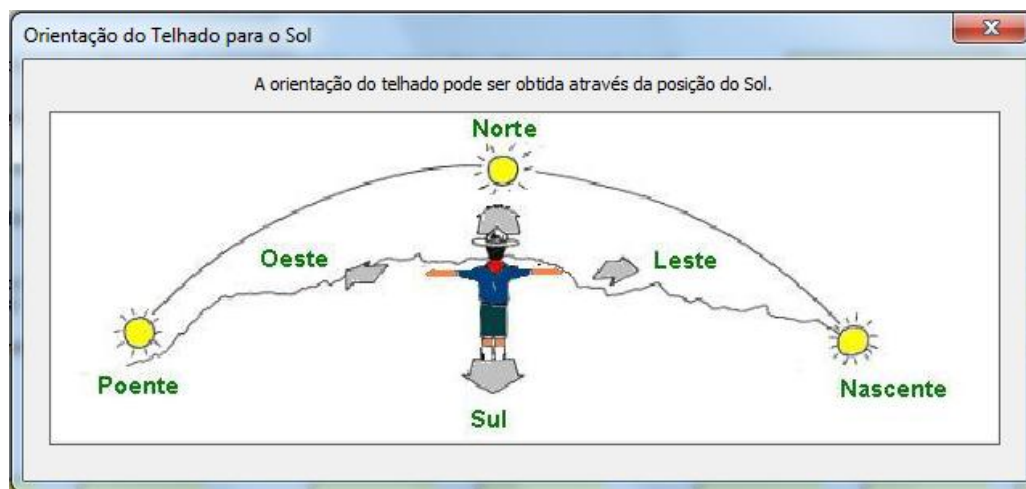


Figura 20: Botão de ajuda do questionário, informação 2.
Fonte: Autoria Própria.

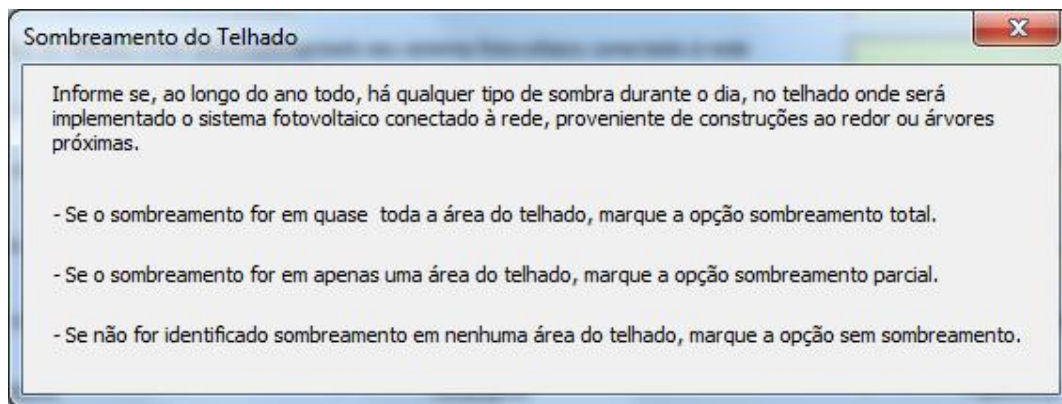


Figura 21: Botão de ajuda do questionário, informação 3.
Fonte: Autoria Própria.

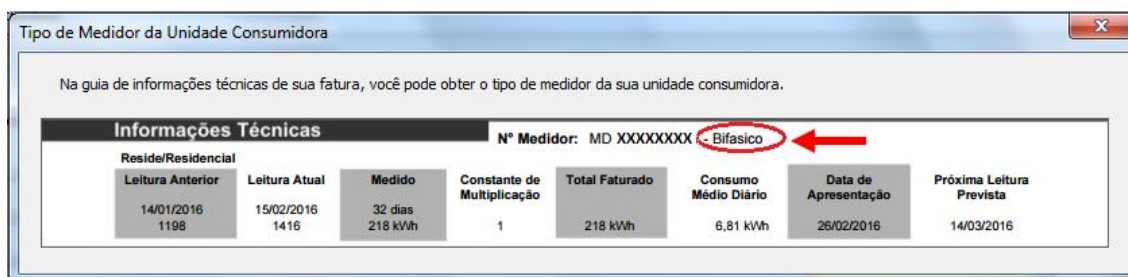


Figura 22: Botão de ajuda do questionário, informação 4.
Fonte: Autoria Própria.

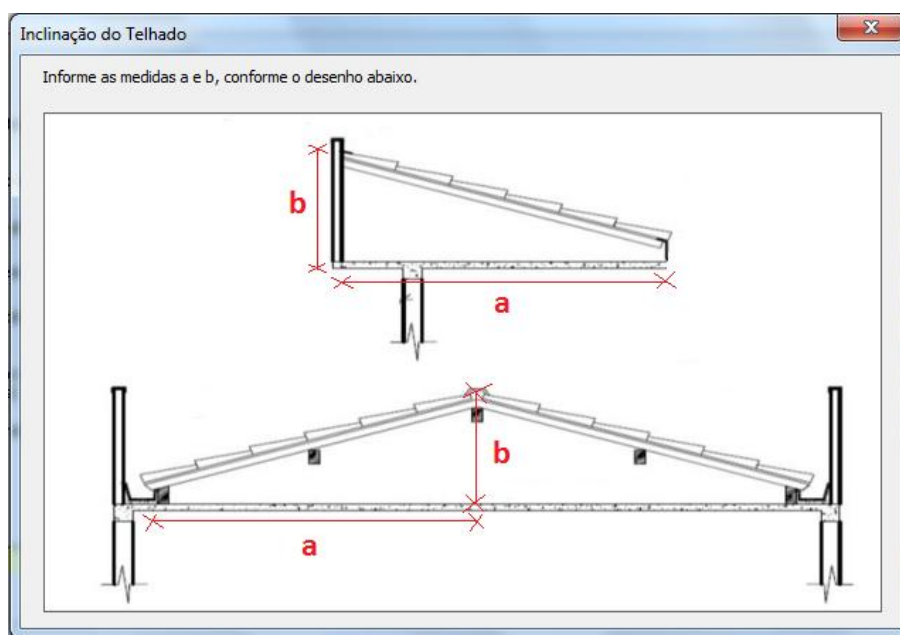


Figura 23: Botão de ajuda do questionário, informação 5.
Fonte: Autoria Própria.

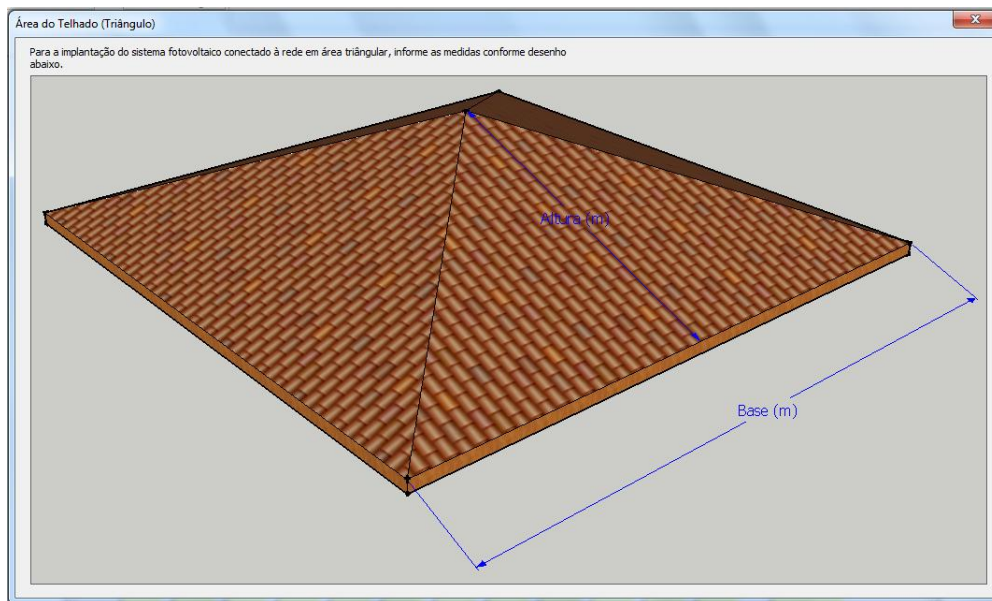


Figura 24: Botão de ajuda do questionário, informação 6, telhado triangular.
Fonte: Autoria Própria.

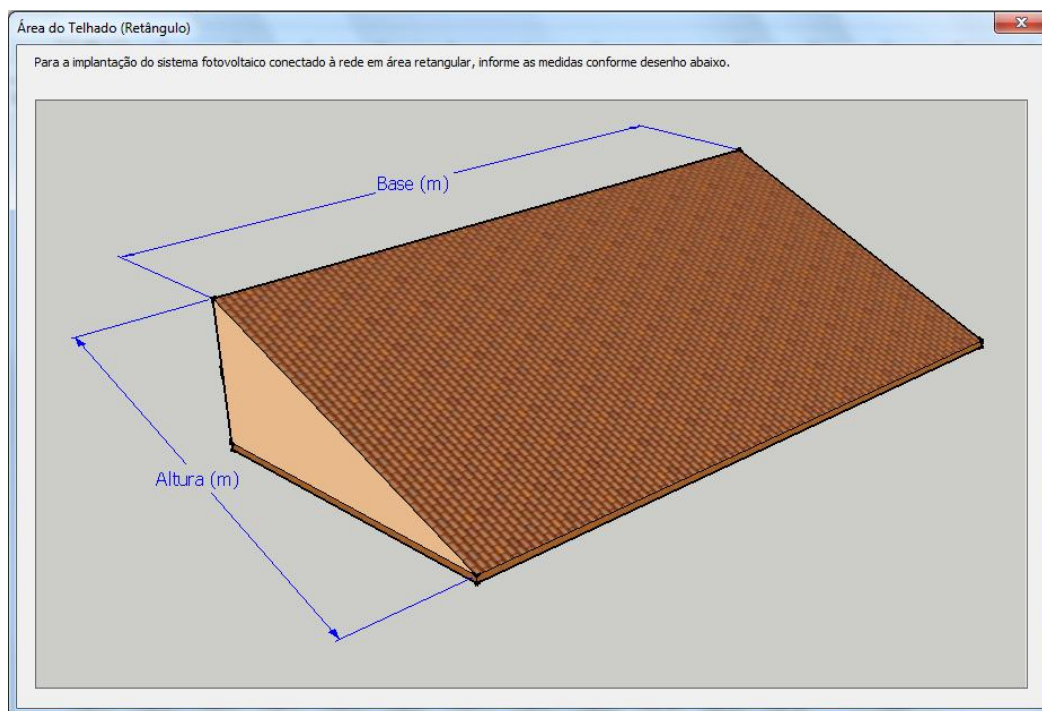


Figura 25: Botão de ajuda do questionário, informação 6, telhado retangular.
Fonte: Autoria Própria.

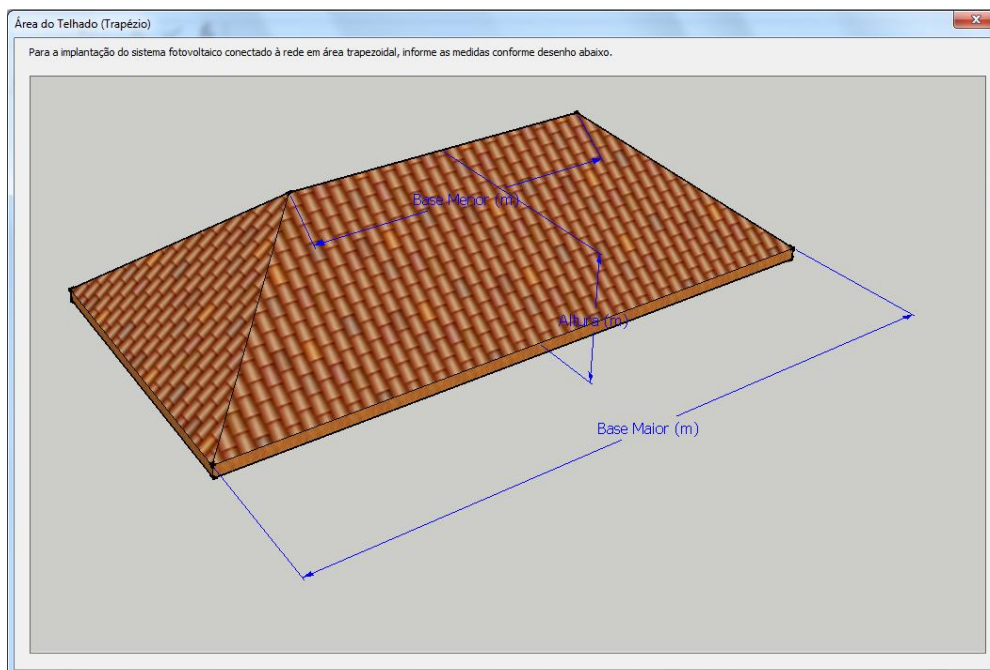


Figura 26: Botão de ajuda do questionário, informação 6, telhado trapezoidal.
Fonte: Autoria Própria.

A tarifa de energia vigente da sua unidade consumidora, pode ser obtida na guia de "Valores Faturados" de sua conta de luz.

Valores Faturados					
NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 002.095.223- SERIE B					
Emitida em 17/02/2016					
Produto	Un.	Consumo	Valor Unitário	Valor Total	Base Aliq. Cál. ICMS
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	kWh	218	0,780138	170,07	170,07 29,00%
ENERGIA CONS. B.VERMELHA	kWh			13,10	13,10 29,00%
CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO				12,53	

Figura 27: Botão de ajuda do questionário, informação 7.
Fonte: Autoria Própria.

Histórico de Consumo da Unidade Consumidora

A estimativa do consumo médio mensal de energia dos últimos 12 meses da sua unidade consumidora, pode ser obtido na guia de "Histórico de Consumo e Pagamento" de sua conta de luz.

Mês	kWh	Dt. Pgto.	Valor
01/2016	244	05/02/2016	224,42
12/2015	279	05/01/2016	252,85
11/2015	256	07/12/2015	226,63
10/2015	50	05/11/2015	40,68
09/2015	50	05/10/2015	41,07
08/2015	51	09/09/2015	42,59
07/2015	50	05/08/2015	28,22
06/2015	50	06/07/2015	25,80
05/2015	50	05/06/2015	25,80
04/2015	50	05/05/2015	25,48
03/2015	50	06/04/2015	22,25
02/2015	50	05/03/2015	18,78

Figura 28: Botão de ajuda do questionário, informação 8.
Fonte: Autoria Própria.

Simulação de Implantação

Município

Orientação

Sombreamento

Medidor

Inclinação (Graus)

Área Disponível (m²)

Tarifa (R\$/kWh)

Consumo Médio Mensal (kWh/mês)

Produtividade Total Anual Média (kWh/kWp.ano)

Potência Instalada (kWp)

Área Requerida (m²)

Energia Média a Ser Gerada pelo SFVCR (kWh/mês)

Nesta análise, a potência necessária para garantir a geração de energia elétrica da unidade consumidora solicitada, foi calculada considerando que o SFVCR a ser instalado, estará nas condições ideais de geração de energia elétrica, ou seja, orientação do telhado voltada para o norte geográfico, telhado sem sombreamento e com inclinação igual a latitude local.

A instalação do SFVCR em sua unidade consumidora, através desta análise de viabilidade se mostrou:

Os resultados desta análise, necessitam de estudo detalhado realizado por empresas especializadas em implementação de SFVCR para consolidação dos resultados obtidos, visto que, este documento se trata de uma análise preliminar.

Nota: Sua fatura de energia elétrica nunca será zerada (R\$ 0,00) com a implementação do SFVCR, visto que, a concessionária de energia cobra um 'Custo de Disponibilidade' dos consumidores residenciais, de acordo com o tipo de medidor da unidade consumidora, conforme a Resolução Normativa ANEEL 414/2010.

Para sua unidade consumidora, pela disponibilidade de fornecimento, será cobrado o equivalente a:

Energia Média a Ser Paga Para a Concessionária (kWh/mês)

SALVAR RELATÓRIO

Figura 29: Tela de simulação da implantação.
Fonte: Autoria Própria.

RESULTADO DO PROCESSO DE DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR) DO ESTADO DO PARANÁ	
Data da Simulação: 19/10/2016	
Nome do Cliente:	
· Resultado do Questionário	
Município:	
Orientação geográfica do telhado:	
Sombreamento do telhado:	
Medidor da unidade consumidora:	
Inclinação do telhado (Graus):	
Área disponível de telhado para implementação do SFVCR (m ²):	
Tarifa de energia vigente (R\$/kWh):	
Consumo médio mensal dos últimos 12 meses (kWh/mês):	
· Resultado do Processo de Análise	
Nesta análise, a potência necessária para garantir a geração de energia elétrica da unidade consumidora solicitada, foi calculada considerando que o SFVCR a ser instalado, estará nas condições ideais de geração de energia elétrica, ou seja, orientação do telhado voltada para o norte geográfico, telhado sem sombreamento e com inclinação igual a latitude local.	
Produtividade Total Anual Média para o município (kWh/kWp.ano):	
Potência Instalada (kWp):	
Considerando como padrão a eficiência de painéis solares fotovoltaicos de silício policristalino, tem-se a área requerida (m ²):	
Produzido por:	Caroline Beckmann/Gerson Máximo Tiepolo
	1

Figura 30: Botão salvar relatório, arquivo gerado página 1.
Fonte: Autoria Própria.

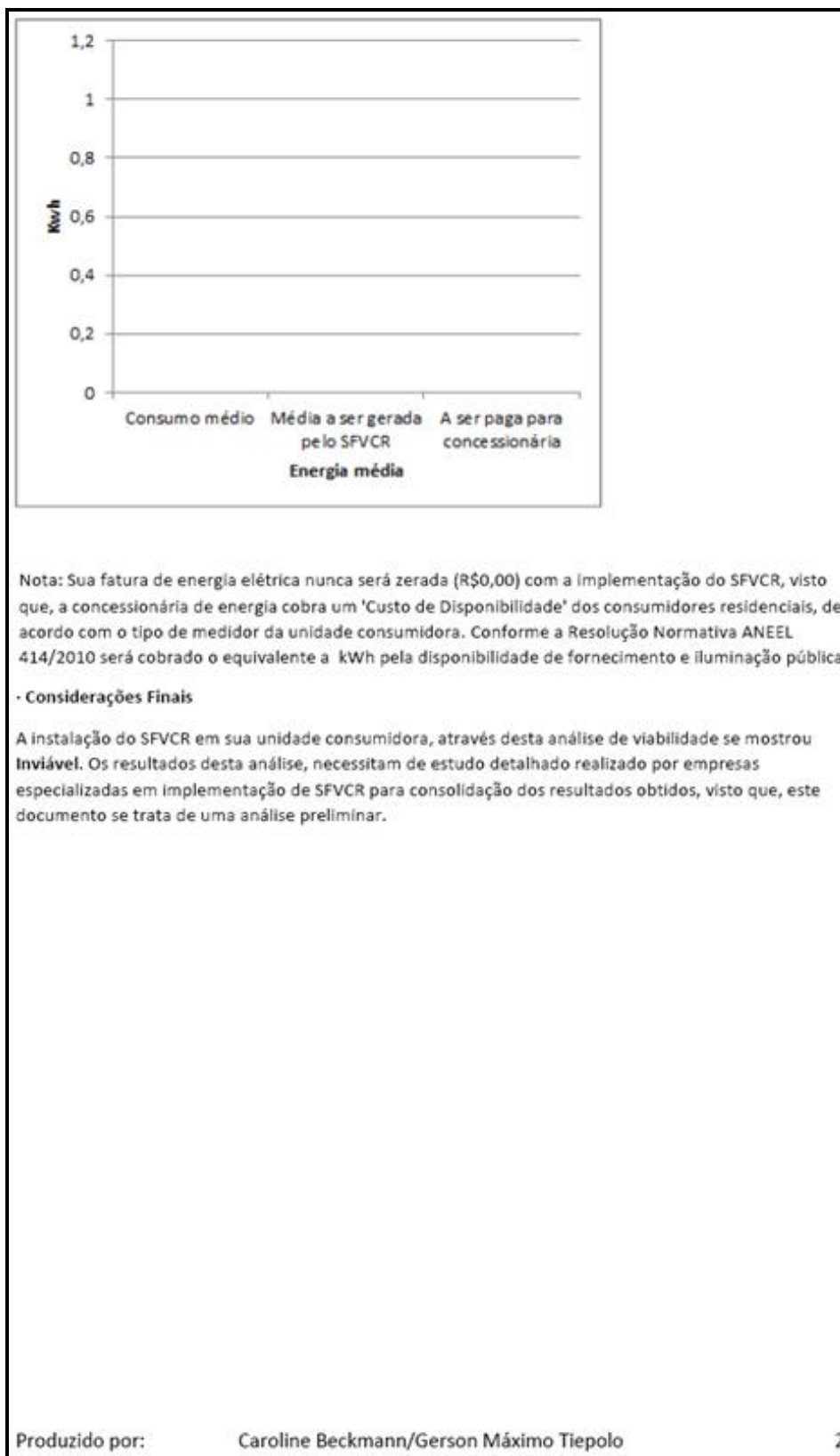


Figura 31: Botão salvar relatório, arquivo gerado página 2.
Fonte: Autoria Própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa de referencial teórico agregou subsídios para que os objetivos desta pesquisa fossem alcançados. Foi possível compreender sobre a tecnologia dos SFVCR, o que deu suporte para a comprovação do que se considera características ideais de geração de energia elétrica nestes sistemas, auxiliando na elaboração da metodologia para diagnóstico da viabilidade para implantação de SFVCR.

A utilização de sistemas fotovoltaicos no cenário mundial tem apresentado um crescimento acentuado ao longo dos anos. Com base na elaboração desta metodologia para diagnóstico da viabilidade de SFVCR no estado do Paraná, por meio da ferramenta computacional desenvolvida, busca-se auxiliar no incentivo à produção de energia por meio de energias mais limpas e renováveis.

Os SFVCR se mostram vantajosos ao consumidor, quando da sua viabilidade, visto que podem reduzir de maneira significativa a energia paga as concessionárias.

Os níveis de produtividade apresentados no estado do Paraná se mostraram satisfatórios para a produção de energia através dos SFVCR, visto que, se mostraram superiores quando comparados aos níveis apresentados em países com altos investimentos neste tipo de sistema.

O processo de validação da metodologia desenvolvida foi realizado por meio da aplicação de casos reais já implementados, com o qual, os resultados obtidos ficaram de acordo com o esperado e observados nos SFVCR instalados.

Ressalta-se que todos os SFVCR, cujos dados foram fornecidos para validação da metodologia, encontram-se com valores de produtividade coerentes face as características da sua instalação, e em alguns casos próximas as condições ideais de geração de energia elétrica, conferindo confiabilidade no método desenvolvido.

Como resultado final, obteve-se uma ferramenta computacional, que demonstrou ser útil e inovadora, visto que possibilita a qualquer consumidor verificar

o quão viável será a implantação de um SFVCR em um local pré-determinado do estado do Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. “NBR 10899 - Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia”, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 2006.

ABNT. “NBR 11704 - Sistemas Fotovoltaicos - Classificação”, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 2008.

ÁGUAS PARANÁ, Instituto das Águas do Paraná. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/Image/images/mapa_municipios_central.jpg>. Acesso em: 14 de março de 2016.

ALBADÓ, Ricardo. “Energia Eólica”, 1ª edição, São Paulo, Editora Artliber, 2002.

AMÉRICA DO SOL. “Energia Fotovoltaica”. Disponível em: <<http://www.americadosol.org>>. Acesso em: 9 de setembro de 2015.

ANACE, Associação Nacional dos Consumidores de Energia. “A Crise Energética de 2013”. Disponível em: < http://www.anacebrasil.org.br/portal/files/TD128-MarcioTancredi_OmarAbbud.pdf>. Acesso em: 1 de maio de 2015.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “Geração Distribuída”. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757>>. Acesso em: 19 de maio de 2015a.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “Banco de Geração de Informações – BIG”. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 1 de maio de 2015b.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “Energia Eólica”. Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>. Acesso em: 1 de maio de 2015c.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa 517 de 11 de dezembro de 2012”. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2015d.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012”. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2015e.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa 687 de 24 de novembro de 2015”. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 10 de março de 2016a.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa 414 de 9 de setembro de 2010”. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 10 de março de 2016b.

ANTÔNIO CV, Apontamentos de História – Orientação pelo Sol. Disponível em: <<https://antoniocv.files.wordpress.com/2015/08/direcoes-2.jpg?w=300&h=123>>. Acesso em: 14 de março de 2016.

BRASIL. “Decreto 5163/04 – Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004”. Disponível em: <<http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/109916/decreto-5163-04>>. Acesso em: 19 de maio de 2015a.

BEN, Balanço Energético Nacional 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf>. Acesso em: 17 de outubro de 2016.

CÂMARA, Carlos F. “Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica”. Monografia de Especialização em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais – MG, 2011.

CAPITAL TERESINA. Disponível em: <http://www.capitalteresina.com.br/media/materia/2015/03/energia_solar1.jpg.300x250_q85_crop_detail.jpg>. Acesso em: 05 de setembro de 2015.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/fatura/fatura_lis.html>. Acesso em: 14 de março de 2016.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. “Biomassa para Energia”, 1ª edição, Campinas – SP, Editora da Unicamp, 2008.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 05 de julho 2015.

DGS. “Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects, and engineers”, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, ISBN-13: 978-1-84407-442-6, Second Edition, 2008.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, Nota Técnica EPE, 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2015a.

EPIA, European Photovoltaic Industry Association. “Global Market Outlook For Photovoltaics 2016-2020”. Disponível em: <http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Publications/SP_E16_Members_Directory_250416_high_res.pdf>. Acesso em: 6 de outubro de 2016.

FARIAS, Leandro A.; Pereira Valter N.; Costa Bruno P. “Investigação Experimental Da Geração De Energia Elétrica Solar Fotovoltaica”, Zona Norte do IFRN 2010. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/386/342>>. Acessado em: 10 de agosto de 2015.

FIEP, Federação das Indústrias do Estado do Paraná. “Estudo Apresenta o Potencial para Geração de Energia Fotovoltaica no Estado do Paraná ”. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/FreeComponent21893content229090.shtml>>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

GREENPRO. “Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação”, Comissão Européia, Fontes de Energia Renováveis, 2004. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~ee03097/ficheiros/manual-fotovoltaico.pdf>>. Acesso em: 10 de setembro de 2015.

IBRIK, Imad H.; MAHMOUD, Marwan M. "Energy Efficiency Improvement Procedures and Audit Results of Electrical, Thermal and Solar Applications in Palestine Elsevier Out", 2004.

LEOTE, R. J. D. “Eletrificação de serviços primários em povoados remotos africanos recorrendo a sistemas solares fotovoltaicos (PV)”, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2009. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/2228/1/Leote_2009.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. “Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o Projeto Swera”, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, 2004.

MME, Ministério de Minas e Energias. “Balanço Energético Nacional 2013: Base ano 2012”. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 15 de agosto 2015a.

MME, Ministério de Minas e Energias. “Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013 - Relatório Síntese”. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf>. Acesso em: 15 de agosto 2015b.

MME, Ministério de Minas e Energia. “Balanço Energético Nacional 2015”. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 16 de outubro de 2015c.

MOREIRA, J. R.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M.C.; PECORA, V.; PRADO, T.G. “Externalidades associadas à geração distribuída de energia elétrica a partir de biomassa na indústria sucroalcooleira. In.: Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural”, Campinas, 2004.

MOTA, Henrique de Senna. “Análise Técnico Econômica de Unidades Geradoras de Energia Distribuída”, São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2011.

NEOSOLAR. PAINEL Solar Fotovoltaico – Especificações Técnicas. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl010p-17b-10wp.html>>. Acesso em: 22 de março de 2016.

PAINÉIS FOTOVOLTAICOS. Disponível em: <http://www.paineisfotovoltaicos.com/images/painelpolicristalino.jpg>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; ABREU, Samuel L. de.; RÜTHER, Ricardo. “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, São José dos Campos, 2006.

POLIZEL, Luiz Henrique. “Metodologia de Prospecção e Avaliação de Pré-Viabilidade Expedida de Geração Distribuída (GD): Caso Eólico e Hidráulico”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenharia Elétrica, 2007.

REN21, “Renewable 2016 – Global Status Report”, 2016. Disponível em: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>>. Acesso em: 17 de outubro 2016.

RÜTHER, Ricardo. “Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública no Brasil”, 1ª edição, Florianópolis, Editora UFSC/ LABSOLAR, 2004.

TIEPOLO, Gerson M. “Estudo Do Potencial De Geração De Energia Elétrica Através De Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede No Estado Do Paraná”, Tese de Doutorado, Universidade Católica do Paraná – PUC-PR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS, 2015.

TORRES, Regina Célia. “Energia Solar Fotovoltaica como Fonte Alternativa de Geração de Energia Elétrica em Edificações Residenciais”, São Carlos - SP, Universidade de São Paulo, 2012.

TIRADENTES, A. A. R. . “Uso da Energia Solar para Geração de Eletricidade e para Aquecimento de Água”, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2007.

URBANETZ JUNIOR, J. “Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade”, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, 2010.

VALLÊRA, A. M. et al. “Meio Século de História Fotovoltaica”, 2006.
Disponível em: <www.solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>. Acesso em: 05 de setembro de 2015.

VECCHIA, Rodnei. “O Meio Ambiente e as Energias Renováveis: Instrumentos de Liderança Visionária para a Sociedade Sustentável”, 1ª edição, São Paulo, Editora Manole Ltda., 2010.

VIANA, T. S. “Potencial de Geração de Energia Elétrica com Sistemas Fotovoltaicos com Concentrador no Brasil”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, 2010.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. “Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à Rede”, 1ª edição, São Paulo, Editora Érica, 2012.

ANEXO A - VALORES DE PRODUTIVIDADE TOTAL ANUAL MÉDIA PARA OS MUNICÍPIOS DO PARANÁ

Valores de produtividade total anual média em kWh/kWp.ano para SFVCR com inclinação igual a latitude, orientação norte e TD 75%.

Tabela 15: Valores de produtividade total anual média para os municípios do estado do Paraná
Fonte: Adaptado de TIEPOLO (2015).

Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano
Abatiá	1.563	Guaporema	1.551	Pinhais	1.363
Adrianópolis	1.348	Guaraci	1.573	Pinhal de São Bento	1.521
Agudos do Sul	1.360	Guaraniaçu	1.523	Pinhalão	1.528
Almirante Tamandaré	1.380	Guarapuava	1.473	Pinhão	1.465
Altamira do Paraná	1.526	Guaraqueçaba	1.277	Piraí do Sul	1.478
Alto Paraíso	1.543	Guaratuba	1.271	Piraquara	1.350
Alto Paraná	1.563	Honório Serpa	1.523	Pitanga	1.528
Alto Piquiri	1.540	Ibaiti	1.530	Pitangueiras	1.571
Altônia	1.533	Ibema	1.522	Planaltina do Paraná	1.555
Alvorada do Sul	1.570	Ibiporã	1.562	Planalto	1.520
Amaporã	1.553	Icaraíma	1.548	Ponta Grossa	1.429
Ampére	1.522	Iguaraçu	1.556	Pontal do Paraná	1.281
Anahy	1.529	Iguatu	1.529	Porecatu	1.566
Andirá	1.573	Imbaú	1.508	Porto Amazonas	1.412
Ângulo	1.557	Imbituva	1.437	Porto Barreiro	1.523
Antonina	1.294	Inácio Martins	1.413	Porto Rico	1.563
Antônio Olinto	1.359	Inajá	1.570	Porto Vitória	1.359
Apucarana	1.549	Indianópolis	1.546	Prado Ferreira	1.580
Arapongas	1.557	Ipiranga	1.467	Pranchita	1.464
Arapoti	1.522	Iporã	1.536	Presidente Castelo Branco	1.555
Arapuã	1.540	Iracema do Oeste	1.532	Primeiro de Maio	1.579

Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano
Araruna	1.546	Irati	1.408	Prudentópolis	1.458
Araucária	1.379	Iretama	1.537	Quarto Centenário	1.535
Ariranha do Ivaí	1.540	Itaguajé	1.565	Quatiguá	1.557
Assaí	1.554	Itaipulândia	1.530	Quatro Barras	1.331
Assis Chateaubriand	1.534	Itambaracá	1.577	Quatro Pontes	1.528
Astorga	1.562	Itambé	1.542	Quedas do Iguaçu	1.519
Atalaia	1.562	Itapejara d'Oeste	1.530	Querência do Norte	1.553
Balsa Nova	1.401	Itaperuçu	1.371	Quinta do Sol	1.543
Bandeirantes	1.568	Itaúna do Sul	1.571	Quitandinha	1.372
Barbosa Ferraz	1.541	Ivaí	1.469	Ramilândia	1.522
Barra do Jacaré	1.570	Ivaiporã	1.542	Rancho Alegre	1.574
Barracão	1.510	Ivaté	1.552	Rancho Alegre D'Oeste	1.535
Bela Vista da Caroba	1.524	Ivatuba	1.538	Realeza	1.520
Bela Vista do Paraíso	1.578	Jaboti	1.545	Rebouças	1.379
Bituruna	1.422	Jacarezinho	1.571	Renascença	1.520
Boa Esperança	1.539	Jaguapitã	1.578	Reserva	1.510
Boa Esperança do Iguaçu	1.523	Jaguariaíva	1.482	Reserva do Iguaçu	1.505
Boa Ventura de São Roque	1.514	Jandaia do Sul	1.544	Ribeirão Claro	1.567
Boa Vista da Aparecida	1.518	Janiópolis	1.545	Ribeirão do Pinhal	1.554
Bocaiúva do Sul	1.351	Japira	1.540	Rio Azul	1.370
Bom Jesus do Sul	1.515	Japurá	1.542	Rio Bom	1.547
Bom Suceão do Sul	1.527	Jardim Alegre	1.543	Rio Bonito do Iguaçu	1.523
Bom Sucesso	1.541	Jardim Olinda	1.564	Rio Branco do Ivaí	1.541
Borrazópolis	1.547	Jataizinho	1.559	Rio Branco do Sul	1.373
Braganey	1.527	Jesuítas	1.533	Rio Negro	1.356

Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano
Brasilândia do Sul	1.540	Joaquim Távora	1.565	Rolândia	1.568
Cafeara	1.569	Jundiá do Sul	1.554	Roncador	1.531
Cafelândia	1.530	Juranda	1.529	Rondon	1.550
Cafezal do Sul	1.541	Jussara	1.540	Rosário do Ivaí	1.538
Califórnia	1.549	Kaloré	1.545	Sabáudia	1.562
Cambará	1.573	Lapa	1.380	Salgado Filho	1.517
Cambé	1.573	Laranjal	1.529	Salto do Itararé	1.548
Cambira	1.546	Laranjeiras do Sul	1.525	Salto do Lontra	1.525
Campina da Lagoa	1.527	Leópolis	1.576	Santa Amélia	1.563
Campina do Simão	1.517	Lidianópolis	1.547	Santa Cecília do Pavão	1.552
Campina Grande do Sul	1.315	Lindoeste	1.513	Santa Cruz de Monte Castelo	1.556
Campo Bonito	1.525	Loanda	1.563	Santa Fé	1.565
Campo do Tenente	1.368	Lobato	1.564	Santa Helena	1.474
Campo Largo	1.378	Londrina	1.550	Santa Inês	1.568
Campo Magro	1.376	Luiziana	1.533	Santa Isabel do Ivaí	1.557
Campo Mourão	1.541	Lunardelli	1.544	Santa Izabel do Oeste	1.523
Cândido de Abreu	1.514	Lupionópolis	1.565	Santa Lúcia	1.517
Candói	1.519	Mallet	1.356	Santa Maria do Oeste	1.526
Cantagalo	1.523	Mamborê	1.534	Santa Mariana	1.573
Capanema	1.515	Mandaguaçu	1.551	Santa Mônica	1.556
Capitão Leônidas Marques	1.515	Mandaguari	1.548	Santa Tereza do Oeste	1.519
Carambeí	1.463	Mandirituba	1.369	Santa Terezinha de Itaipu	1.520
Carlópolis	1.562	Manfrinópolis	1.517	Santana do Itararé	1.542
Cascavel	1.523	Mangueirinha	1.521	Santo Antônio da Platina	1.566
Castro	1.426	Manoel Ribas	1.533	Santo Antônio do Caiuá	1.567

Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano
Catanduvas	1.521	Marechal Cândido Rondon	1.492	Santo Antônio do Paraíso	1.547
Centenário do Sul	1.571	Maria Helena	1.552	Santo Antônio do Sudoeste	1.500
Cerro Azul	1.377	Marialva	1.543	Santo Inácio	1.568
Céu Azul	1.514	Marilândia do Sul	1.546	São Carlos do Ivaí	1.544
Chopinzinho	1.527	Marilena	1.569	São Jerônimo da Serra	1.535
Cianorte	1.545	Mariluz	1.540	São João	1.525
Cidade Gaúcha	1.556	Maringá	1.548	São João do Caiuá	1.569
Clevelândia	1.519	Mariópolis	1.522	São João do Ivaí	1.543
Colombo	1.371	Maripá	1.531	São João do Triunfo	1.387
Colorado	1.567	Marmeleiro	1.512	São Jorge do Ivaí	1.542
Congonhinhas	1.540	Marquinho	1.531	São Jorge do Patrocínio	1.537
Conselheiro Mairinck	1.551	Marumbi	1.544	São Jorge d'Oeste	1.519
Contenda	1.380	Matelândia	1.514	São José da Boa Vista	1.529
Corbélia	1.528	Matinhos	1.265	São José das Palmeiras	1.524
Cornélio Procópio	1.564	Mato Rico	1.532	São José dos Pinhais	1.328
Coronel Domingos Soares	1.484	Mauá da Serra	1.544	São Manoel do Paraná	1.544
Coronel Vivida	1.527	Medianeira	1.520	São Mateus do Sul	1.346
Corumbataí do Sul	1.539	Mercedes	1.530	São Miguel do Guaçu	1.519
Cruz Machado	1.398	Mirador	1.551	São Pedro do Guaçu	1.521
Cruzeiro do Guaçu	1.520	Miraselva	1.580	São Pedro do Ivaí	1.542
Cruzeiro do Oeste	1.552	Missal	1.528	São Pedro do Paraná	1.565
Cruzeiro do Sul	1.566	Moreira Sales	1.547	São Sebastião da Amoreira	1.555
Cruzmaltina	1.546	Morretes	1.290	São Tomé	1.542

Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano
Curitiba	1.372	Munhoz de Melo	1.566	Sapopema	1.523
Curiúva	1.513	Nossa Senhora das Graças	1.568	Sarandi	1.545
Diamante do Norte	1.575	Nova Aliança do Ivaí	1.552	Saudade do Iguaçu	1.526
Diamante do Sul	1.526	Nova América da Colina	1.559	Sengés	1.480
Diamante D'Oeste	1.522	Nova Aurora	1.532	Serranópolis do Iguaçu	1.513
Dois Vizinhos	1.523	Nova Cantu	1.529	Sertaneja	1.580
Douradina	1.551	Nova Esperança	1.558	Sertanópolis	1.573
Doutor Camargo	1.536	Nova Esperança do Sudoeste	1.525	Siqueira Campos	1.552
Doutor Ulysses	1.404	Nova Fátima	1.555	Sulina	1.527
Enéas Marques	1.526	Nova Laranjeiras	1.526	Tamarana	1.537
Engenheiro Beltrão	1.540	Nova Londrina	1.568	Tamboara	1.553
Entre Rios do Oeste	1.486	Nova Olímpia	1.558	Tapejara	1.551
Esperança Nova	1.544	Nova Prata do Iguaçu	1.519	Tapira	1.554
Espigão Alto do Iguaçu	1.520	Nova Santa Bárbara	1.548	Teixeira Soares	1.434
Farol	1.546	Nova Santa Rosa	1.530	Telêmaco Borba	1.505
Faxinal	1.541	Nova Tebas	1.537	Terra Boa	1.539
Fazenda Rio Grande	1.371	Novo Itacolomi	1.546	Terra Rica	1.568
Fênix	1.543	Ortigueira	1.528	Terra Roxa	1.531
Fernandes Pinheiro	1.402	Ourizona	1.540	Tibagi	1.489
Figueira	1.517	Ouro Verde do Oeste	1.525	Tijucas do Sul	1.333
Flor da Serra do Sul	1.511	Paiçandu	1.541	Toledo	1.527
Floraí	1.550	Palmas	1.461	Tomazina	1.545
Floresta	1.541	Palmeira	1.415	Três Barras do Paraná	1.519
Florestópolis	1.574	Palmital	1.530	Tunas do Paraná	1.361

Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano	Município	Produtividade Total Anual Média em kWh/kWp.ano
Flórida	1.562	Palotina	1.534	Tuneiras do Oeste	1.549
Formosa do Oeste	1.535	Paraíso do Norte	1.548	Tupãssi	1.531
Foz do Iguaçu	1.467	Paranacity	1.568	Turvo	1.504
Foz do Jordão	1.525	Paranaguá	1.283	Ubiratã	1.528
Francisco Alves	1.533	Paranapoema	1.568	Umuarama	1.549
Francisco Beltrão	1.523	Paranavaí	1.561	União da Vitória	1.357
General Carneiro	1.395	Pato Bragado	1.452	Uniflor	1.564
Godoy Moreira	1.542	Pato Branco	1.526	Uraí	1.563
Goioerê	1.539	Paula Freitas	1.330	Ventania	1.512
Goioxim	1.526	Paulo Frontin	1.329	Vera Cruz do Oeste	1.520
Grandes Rios	1.544	Peabiru	1.541	Verê	1.528
Guaíra	1.512	Perobal	1.545	Virmond	1.521
Guairaçá	1.562	Pérola	1.542	Vitorino	1.521
Guamiranga	1.442	Pérola d'Oeste	1.445	Wenceslau Braz	1.538
Guapirama	1.558	Piên	1.358	Xambrê	1.545

ANEXO B – LATITUDE LOCAL PARA OS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ

Valores de latitude local em graus para os municípios do estado do Paraná.

Tabela 16: Valores de latitude local para os municípios do estado do Paraná
Fonte: Adaptado do Google Earth (2016)

Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)
Abatiá	23	Guaporema	23	Pinhais	25
Adrianópolis	25	Guaraci	23	Pinhal de São Bento	26
Agudos do Sul	26	Guaraniaçu	25	Pinhalão	24
Almirante Tamandaré	25	Guarapuava	25	Pinhão	26
Altamira do Paraná	25	Guaraqueçaba	25	Piraí do Sul	25
Alto Paraíso	24	Guaratuba	26	Piraquara	25
Alto Paraná	23	Honório Serpa	26	Pitanga	25
Alto Piquiri	24	Ibaiti	24	Pitangueiras	23
Altônia	24	Ibema	25	Planaltina do Paraná	23
Alvorada do Sul	23	Ibiporã	23	Planalto	26
Amaporã	23	Icaraíma	23	Ponta Grossa	25
Ampére	26	Iguaraçu	23	Pontal do Paraná	26
Anahy	25	Iguatu	25	Porecatu	23
Andirá	23	Imbaú	24	Porto Amazonas	26
Ângulo	23	Imbituva	25	Porto Barreiro	26
Antonina	25	Inácio Martins	26	Porto Rico	23
Antônio Olinto	26	Inajá	23	Porto Vitória	26
Apucarana	24	Indianópolis	23	Prado Ferreira	23
Arapongas	23	Ipiranga	25	Pranchita	26
Arapoti	24	Iporã	24	Presidente Castelo Branco	23
Arapuã	24	Iracema do Oeste	24	Primeiro de Maio	23
Araruna	24	Irati	25	Prudentópolis	25
Araucária	26	Iretama	24	Quarto Centenário	24
Ariranha do Ivaí	24	Itaguajé	23	Quatiguá	24
Assaí	23	Itaipulândia	25	Quatro Barras	25
Assis Chateaubriand	24	Itambaracá	23	Quatro Pontes	25

Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)
Astorga	23	Itambé	24	Quedas do Iguaçu	25
Atalaia	23	Itapejara d'Oeste	26	Querência do Norte	23
Balsa Nova	26	Itaperuçu	25	Quinta do Sol	24
Bandeirantes	23	Itaúna do Sul	23	Quitandinha	26
Barbosa Ferraz	24	Ivaí	25	Ramilândia	25
Barra do Jacaré	23	Ivaiporã	24	Rancho Alegre	23
Barracão	26	Ivaté	23	Rancho Alegre D'Oeste	24
Bela Vista da Caroba	26	Ivatuba	24	Realeza	26
Bela Vista do Paraíso	23	Jaboti	24	Rebouças	26
Bituruna	26	Jacarezinho	23	Renascença	26
Boa Esperança	24	Jaguapitã	23	Reserva	25
Boa Esperança do Iguaçu	26	Jaguariaíva	24	Reserva do Iguaçu	26
Boa Ventura de São Roque	25	Jandaia do Sul	24	Ribeirão Claro	23
Boa Vista da Aparecida	25	Janiópolis	24	Ribeirão do Pinhal	23
Bocaiúva do Sul	25	Japira	24	Rio Azul	26
Bom Jesus do Sul	26	Japurá	23	Rio Bom	24
Bom Suceáo do Sul	24	Jardim Alegre	24	Rio Bonito do Iguaçu	25
Bom Sucesso	26	Jardim Olinda	23	Rio Branco do Ivaí	24
Borrazópolis	24	Jataizinho	23	Rio Branco do Sul	25
Braganey	25	Jesuítas	24	Rio Negro	26
Brasilândia do Sul	24	Joaquim Távora	23	Rolândia	23
Cafeara	23	Jundiaí do Sul	23	Roncador	25
Cafelândia	25	Juranda	24	Rondon	23
Cafezal do Sul	24	Jussara	24	Rosário do Ivaí	24
Califórnia	24	Kaloré	24	Sabáudia	23
Cambará	23	Lapa	26	Salgado Filho	26
Cambé	23	Laranjal	25	Salto do Itararé	24
Cambira	24	Laranjeiras do Sul	25	Salto do Lontra	26
Campina da Lagoa	25	Leópolis	23	Santa Amélia	23
Campina do Simão	25	Lidianópolis	24	Santa Cecília do Pavão	24
Campina Grande do Sul	25	Lindoeste	25	Santa Cruz de Monte Castelo	23

Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)
Campo Bonito	25	Loanda	23	Santa Fé	23
Campo do Tenente	26	Lobato	23	Santa Helena	25
Campo Largo	25	Londrina	23	Santa Inês	23
Campo Magro	25	Luiziana	24	Santa Isabel do Ivaí	23
Campo Mourão	24	Lunardelli	24	Santa Izabel do Oeste	26
Cândido de Abreu	25	Lupionópolis	23	Santa Lúcia	25
Candói	26	Mallet	26	Santa Maria do Oeste	25
Cantagalo	25	Mamborê	24	Santa Mariana	23
Capanema	26	Mandaguaçu	23	Santa Mônica	23
Capitão Leônidas Marques	25	Mandaguari	24	Santa Tereza do Oeste	25
Carambei	25	Mandirituba	26	Santa Terezinha de Itaipu	25
Carlópolis	23	Manfrinópolis	26	Santana do Itararé	24
Cascavel	25	Mangueirinha	26	Santo Antônio da Platina	23
Castro	25	Manoel Ribas	25	Santo Antônio do Caiuá	23
Catanduvas	25	Marechal Cândido Rondon	25	Santo Antônio do Paraíso	23
Centenário do Sul	23	Maria Helena	24	Santo Antônio do Sudoeste	26
Cerro Azul	25	Marialva	23	Santo Inácio	23
Céu Azul	25	Mariândia do Sul	24	São Carlos do Ivaí	23
Chopinzinho	26	Marilena	23	São Jerônimo da Serra	24
Cianorte	24	Mariluz	24	São João	26
Cidade Gaúcha	23	Maringá	23	São João do Caiuá	23
Civelândia	26	Mariópolis	26	São João do Ivaí	24
Colombo	25	Maripá	24	São João do Triunfo	26
Colorado	23	Marmeleiro	26	São Jorge do Ivaí	23
Congonhinhas	24	Marquinho	25	São Jorge do Patrocínio	24
Conselheiro Mairinck	24	Marumbi	24	São Jorge d'Oeste	26
Contenda	26	Matelândia	25	São José da Boa Vista	24

Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)
Corbélia	25	Matinhos	26	São José das Palmeiras	25
Cornélio Procopio	23	Mato Rico	25	São José dos Pinhais	26
Coronel Domingos Soares	26	Mauá da Serra	24	São Manoel do Paraná	23
Coronel Vivida	26	Medianeira	25	São Mateus do Sul	26
Corumbataí do Sul	24	Mercedes	24	São Miguel do Iguaçu	25
Cruz Machado	26	Mirador	23	São Pedro do Iguaçu	25
Cruzeiro do Iguaçu	26	Miraselva	23	São Pedro do Ivaí	24
Cruzeiro do Oeste	24	Missal	25	São Pedro do Paraná	23
Cruzeiro do Sul	23	Moreira Sales	24	São Sebastião da Amoreira	23
Cruzmalina	24	Morretes	25	São Tomé	24
Curitiba	25	Munhoz de Melo	23	Sapopema	24
Curiúva	24	Nossa Senhora das Graças	23	Sarandi	23
Diamante do Norte	23	Nova Aliança do Ivaí	23	Saudade do Iguaçu	26
Diamante do Sul	25	Nova América da Colina	23	Sengés	24
Diamante D'Oeste	25	Nova Aurora	25	Serranópolis do Iguaçu	25
Dois Vizinhos	26	Nova Cantu	25	Sertaneja	23
Douradina	23	Nova Esperança	23	Sertanópolis	23
Doutor Camargo	24	Nova Esperança do Sudoeste	26	Siqueira Campos	24
Doutor Ulysses	25	Nova Fátima	23	Sulina	26
Enéas Marques	26	Nova Laranjeiras	25	Tamarana	24
Engenheiro Beltrão	24	Nova Londrina	23	Tamboara	23
Entre Rios do Oeste	25	Nova Olímpia	23	Tapejara	24
Esperança Nova	24	Nova Prata do Iguaçu	26	Tapira	23
Espigão Alto do Iguaçu	25	Nova Santa Bárbara	24	Teixeira Soares	25
Farol	24	Nova Santa Rosa	24	Telêmaco Borba	24
Faxinal	24	Nova Tebas	24	Terra Boa	24
Fazenda Rio Grande	26	Novo Itacolomi	24	Terra Rica	23
Fênix	24	Ortigueira	24	Terra Roxa	24

Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)	Município	Latitude (Graus)
Fernandes Pinheiro	25	Ourizona	23	Tibagi	25
Figueira	24	Ouro Verde do Oeste	25	Tijucas do Sul	26
Flor da Serra do Sul	26	Paiçandu	23	Toledo	25
Floraí	23	Palmas	26	Tomazina	24
Floresta	24	Palmeira	25	Três Barras do Paraná	25
Florestópolis	23	Palmital	25	Tunas do Paraná	25
Flórida	23	Palotina	24	Tuneiras do Oeste	24
Formosa do Oeste	24	Paraíso do Norte	23	Tupãssi	25
Foz do Iguaçu	26	Paranacity	23	Turvo	25
Foz do Jordão	26	Paranaguá	26	Ubiratã	25
Francisco Alves	24	Paranapoema	23	Umuarama	24
Francisco Beltrão	26	Paranavaí	23	União da Vitória	26
General Carneiro	26	Pato Bragado	25	Uniflor	23
Godoy Moreira	24	Pato Branco	26	Uraí	23
Goioerê	24	Paula Freitas	26	Ventania	24
Goioxim	25	Paulo Frontin	26	Vera Cruz do Oeste	25
Grandes Rios	24	Peabiru	24	Verê	26
Guaira	24	Perobal	24	Virmond	25
Guairaçá	23	Pérola	24	Vitorino	26
Guamiranga	25	Pérola d'Oeste	26	Wenceslau Braz	24
Guapirama	24	Piên	26	Xambrê	24