

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS BITCHERIENE ANGELO

**ANÁLISE DA TAXA DE DESEMPENHO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR) NAS
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

MATHEUS BITCHERIENE ANGELO

**ANÁLISE DA TAXA DE DESEMPENHO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFVCR) NAS
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA

2017

Matheus Bitcheriene Angelo

Análise da Taxa de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) nas Diferentes Regiões do Estado do Paraná

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 20 de Novembro de 2017.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Assade Leludak, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Telmo José e Tania Maria, que sempre estiveram ao meu lado em todas as etapas da minha vida, ensinando, apoiando e acima de tudo dando bons exemplos de vida sempre.

Aos meus irmãos Eduardo (em memória), Fábio, Tatiana, Thiago e Thayse (em memória), por serem verdadeiros anjos da guarda em minha vida.

Às memórias de meus avós maternos, Adalpas Bitcheriene e Edília Pinto Bitcheriene, que foram grande exemplo de relacionamento, carinho, amor e compreensão e humildade para construir uma família justa e de coração grande.

Aos meus avós paternos, João Angelo (em memória) e Maria Tomázia, que em sua simplicidade conseguiram ter sabedoria para superar obstáculos e educar seus doze filhos.

À minha bela amada, Isabelle, que é uma estrela em minha vida e dona do sorriso mais alegre de todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por possibilitar vivenciar as mais belas e singelas coisas da vida e que fazer lembrarmos que viver é sobre amar o próximo, é sobre apreciar um abraço carinhoso e através de um bom dia animado, transformar as ações de uma pessoa.

Agradeço a meus pais, que tanto amo, que sempre me proporcionaram a melhor educação escolar, moral e espiritual possível.

Agradeço aos meus irmãos que ajudaram lapidar minha personalidade e que mesmo brigando sempre estavam me cuidando e me desejando as melhores coisas.

Agradeço a minha namorada, Isabelle, me dar forças para fazer o meu melhor e me cativar a ser um homem melhor todos os dias. Por me fazer ver que as coisas são mais fáceis de carregar quando são dívidas.

Agradeço a meu orientador, por seu apoio, disponibilidade e ajuda na elaboração deste trabalho, contribuindo com sua visão diferenciada e motivação contagiante.

Agradeço aos meus amigos, que foram importantes na jornada da graduação e que proporcionaram boas risadas e momentos inesquecíveis juntos.

“Tudo o que temos a decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado”

(John Ronald Reuel Tolkien)

RESUMO

ANGELO, Matheus Bitcheriene. **Análise da Taxa de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) nas Diferentes Regiões do Estado do Paraná**. 2017. 107 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Este trabalho apresenta um estudo sobre a taxa de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede operando em diferentes condições de inclinação e desvio azimutal em relação ao norte em diferentes regiões do estado do Paraná. Também apresenta a energia solar fotovoltaica e suas aplicações, o funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR), as condições ideais para operação, os índices de mérito, os fatores que influenciam em perdas para o sistema, faz uma comparação de índices de irradiação entre o estado do Paraná e a Europa e identifica as mesorregiões do estado do Paraná. Através de simulações, mostra os efeitos da variação dos parâmetros na taxa de desempenho com a variação da inclinação e do desvio azimutal em relação ao norte dos painéis fotovoltaicos em todo o estado do Paraná. Para comparação os resultados obtidos foram normalizados e dispostos em um mapa de calor, permitindo uma análise visual. Os resultados obtidos nessa pesquisa mostram que, tanto o desempenho quanto a produção de energia elétrica de SFVCR são dependentes de fatores como irradiação, temperatura e velocidade do vento, entre outras. De forma geral as melhores taxas de desempenho foram obtidas nas cidades de Inácio Martins e Curitiba, enquanto os maiores valores de energia elétrica gerada foram obtidos nas cidades de Icaraíma e Nova Fátima.

Palavra-chave: Taxa de desempenho; Sistemas fotovoltaicos conectados à rede; Índices de mérito; Energia fotovoltaica;

ABSTRACT

ANGELO, Matheus Bitcheriene. **Analysis of the Performance Ratio of Grid-Connected Photovoltaic Systems in Different Regions of the State of Paraná.** 2017. 107 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This work presents a study of the performance ratio of grid-connected photovoltaic systems operating in different conditions of tilt and azimuthal deviation in different regions of the state of Paraná. It presents the solar photovoltaic energy and its application, the operation of a grid-connected photovoltaic system, the ideal conditions for the operation, performance parameters, power loss factors, make a comparison between Paraná's and Europe's irradiance levels and identifies the mesoregions of state of Paraná . Through simulations, it shows the effects of the variation of solar panel's tilt and orientation on performance ratio. For comparison the obtained data was normalized and disposed in a heat map for visual analysis. The results of this research shows that, both performance ratio and energy production of grid-connected photovoltaic system are dependent on factors such as irradiation, temperature and wind speed, and others. In general the best performance ratio were in the cities of Inácio Martins and Curitiba, while the maximum values of energy production were obtained in the cities of Icaraíma and Nova Fátima.

Keywords: Performance Ratio; Grid-connected photovoltaic system; Performance parameters; Photovoltaic Energy;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura geral do Balanço Energético Nacional.....	21
Figura 2. Potencial técnico das energias renováveis.	22
Figura 3. Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	23
Figura 4. Capacidade instalada global por ano.	24
Figura 5. Componentes da radiação solar.	25
Figura 6. Capacidade instalada por país de energia solar fotovoltaica.	27
Figura 7. Curva característica I-V e P-V de um módulo com potência nominal de 100 Wp.....	29
Figura 8. Diagrama sistema fotovoltaico isolado.	31
Figura 9. Sistema fotovoltaico conectado à rede com medição bidirecional.	31
Figura 10. Fatores de perdas de um gerador fotovoltaico.....	36
Figura 11. Comparação curva I-V normal e com perdas.....	37
Figura 12. Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V.	38
Figura 13. Influência da temperatura sobre células fotovoltaicas.....	39
Figura 14. Efeito do sombreamento parcial na curva I-V.	40
Figura 15. Irradiação total anual em kWh/m ² .ano no estado do Paraná, com municípios em pontos verdes.....	41
Figura 16. Comparação entre o mapa fotovoltaico do Paraná com a Europa.	42
Figura 17. Mesorregiões do estado do Paraná.	45
Figura 18. Interface do SAM após escolher o modelo fotovoltaico e sem modelo financeiro.....	47
Figura 19. Trecho de dados sem conversão para separação com vírgulas.	48
Figura 20. Trecho de dados após a conversão para separação com virgulas.	48
Figura 21. Níveis de irradiação horária ao longo de um ano no município de Curitiba.	49
Figura 22. Dados de irradiação horária média por mês no município de Curitiba.	50
Figura 23. Diagrama do sistema de 3 kWp simulado.	51
Figura 24. Informações do módulo utilizado, ELCO A300P.	52
Figura 25. Referência utilizada pelo SAM inclinação e orientação.....	54
Figura 26. Perdas simuladas para a cidade de Curitiba.....	56
Figura 27. Taxa de desempenho para Curitiba.	57
Figura 28. Energia anual em kWh de Curitiba.....	57
Figura 29. Taxa de desempenho para Paranaguá - Ilha do Mel.	58
Figura 30. Energia anual em kWh de Paranaguá – Ilha do Mel.	58
Figura 31. Taxa de desempenho para Castro.	59
Figura 32. Energia anual em kWh para Castro.	59
Figura 33. Taxa de desempenho para Clevelândia.....	60
Figura 34. Energia anual em kWh para Clevelândia.	60
Figura 35. Taxa de desempenho para Inácio Martins.	61
Figura 36. Energia anual em kWh para Inácio Martins.....	61
Figura 37. Taxa de desempenho para Cidade Gaúcha.....	62
Figura 38. Energia anual em kWh para Cidade Gaúcha.	62
Figura 39. Taxa de desempenho para Diamante do Norte.	63

Figura 40. Energia anual em kWh para Diamante do Norte.....	63
Figura 41. Taxa de desempenho para Icaraíma.....	64
Figura 42. Energia anual em kWh para Icaraíma.....	64
Figura 43. Taxa de desempenho para Paranapoema.....	65
Figura 44. Energia anual em kWh para Paranapoema.....	65
Figura 45. Taxa de desempenho para Londrina.....	66
Figura 46. Energia anual em kWh para Londrina.....	66
Figura 47. Taxa de desempenho para Maringá.....	67
Figura 48. Energia anual em kWh para Maringá.....	67
Figura 49. Taxa de desempenho para Ibaiti.....	68
Figura 50. Taxa de desempenho para Ibaiti.....	68
Figura 51. Taxa de desempenho para Joaquim Távora.....	69
Figura 52. Energia anual em kWh para Joaquim Távora.....	69
Figura 53. Taxa de desempenho para Nova Fátima.....	70
Figura 54. Energia anual em kWh para Nova Fátima.....	70
Figura 55. Taxa de desempenho para Foz do Iguaçu.....	71
Figura 56. Energia anual em kWh para Foz do Iguaçu.....	71
Figura 57. Taxa de desempenho para Marechal Cândido Rondon.....	72
Figura 58. Energia anual em kWh para Marechal Cândido Rondon.....	72
Figura 59. Taxa de desempenho para General Carneiro.....	73
Figura 60. Energia anual em kWh para General Carneiro.....	73
Figura 61. Taxa de desempenho para Ivaí.....	74
Figura 62. Energia anual em kWh para Ivaí.....	74
Figura 63. Taxa de desempenho para Dois Vizinhos.....	75
Figura 64. Energia anual em kWh para Dois Vizinhos.....	75
Figura 65. Taxa de desempenho para Planalto.....	76
Figura 66. Energia anual em kWh para Planalto.....	76
Figura 67. Mapa do estado do Paraná com as máximas taxas de desempenho para os municípios simulados.....	79
Figura 68. Taxa de desempenho normalizada para Curitiba.....	88
Figura 69. Energia anual em kWh normalizada de Curitiba.....	88
Figura 70. Taxa de desempenho normalizada para Paranaguá - Ilha do Mel.....	89
Figura 71. Energia anual em kWh normalizada de Paranaguá – Ilha do Mel.....	89
Figura 72. Taxa de desempenho normalizada para Castro.....	90
Figura 73. Energia anual em kWh normalizada de Castro.....	90
Figura 74. Taxa de desempenho normalizada para Clevelândia.....	91
Figura 75. Energia anual em kWh normalizada de Clevelândia.....	91
Figura 76. Taxa de desempenho normalizada para Inácio Martins.....	92
Figura 77. Energia anual em kWh normalizada de Inácio Martins.....	92
Figura 78. Taxa de desempenho normalizada para Cidade Gaúcha.....	93
Figura 79. Energia anual em kWh normalizada de Cidade Gaúcha.....	93
Figura 80. Taxa de desempenho normalizada para Diamante do Norte.....	94
Figura 81. Energia anual em kWh normalizada de Diamante do Norte.....	94
Figura 82. Taxa de desempenho normalizada para Icaraíma.....	95
Figura 83. Energia anual em kWh normalizada de Icaraíma.....	95
Figura 84. Taxa de desempenho normalizada para Paranapoema.....	96
Figura 85. Energia anual em kWh normalizada de Paranapoema.....	96

Figura 86. Taxa de desempenho normalizada para Londrina.	97
Figura 87. Energia anual em kWh normalizada de Londrina.	97
Figura 88. Taxa de desempenho normalizada para Maringá.	98
Figura 89. Energia anual em kWh normalizada de Maringá.	98
Figura 90. Taxa de desempenho normalizada para Ibaiti.	99
Figura 91. Energia anual em kWh normalizada de Ibaiti.	99
Figura 92. Taxa de desempenho normalizada para Joaquim Távora.	100
Figura 93. Energia anual em kWh normalizada de Joaquim Távora.	100
Figura 94. Taxa de desempenho normalizada para Nova Fátima.	101
Figura 95. Energia anual em kWh normalizada de Nova Fátima.	101
Figura 96. Taxa de desempenho normalizada para Foz do Iguaçu - Cataratas.	102
Figura 97. Energia anual em kWh normalizada de Foz do Iguaçu - Cataratas.	102
Figura 98. Taxa de desempenho normalizada para Marechal Cândido Rondon.	103
Figura 99. Energia anual em kWh normalizada do Marechal Cândido Rondon.	103
Figura 100. Taxa de desempenho normalizada para General Carneiro.	104
Figura 101. Energia anual em kWh normalizada de General Carneiro.	104
Figura 102. Taxa de desempenho normalizada para Ivaí.	105
Figura 103. Energia anual em kWh normalizada de Ivaí.	105
Figura 104. Taxa de desempenho normalizada para Dois Vizinhos.	106
Figura 105. Energia anual em kWh normalizada de Dois Vizinhos.	106
Figura 106. Taxa de desempenho normalizada para Planalto.	107
Figura 107. Energia anual em kWh normalizada de Planalto.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos pela NBR 11704. ...	28
Tabela 2. Valores de Irradiação total (H_{TOT}) e de produtividade gerada estimada total anual no plano inclinado nos países da Europa e no estado do Paraná.	43
Tabela 3. Especificações do fabricante - Módulo Elco A300P.	51
Tabela 4. Especificações do fabricante - Inversor Solar Energy SE-TL3KA.	52
Tabela 5. Perdas percentuais associadas ao sistema simulado.	53
Tabela 6. Dados das cidades simuladas.	55
Tabela 7. <i>Ranking</i> de Taxa de Desempenho para as cidades simuladas.	77

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CEBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar

FC – Fator de Capacidade

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV – Fotovoltaica

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NREL – National Renewable Energy Laboratory

PR – Taxa de Desempenho – *Performance Ratio*

SFVCR – Sistema Fotovoltaico Conectados à Rede

SAM – System Advisor Model

Y_F – Produtividade – *Yield*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TEMA	15
1.1.1	Delimitação do tema	16
1.2	PROBLEMAS E PREMISAS	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo geral	17
1.3.2	Objetivos específicos	17
1.4	JUSTIFICATIVA	18
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	ENERGIAS RENOVÁVEIS	20
2.2	ENERGIA SOLAR	24
2.2.1	Energia solar fotovoltaica	26
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	27
2.3.1	Módulos fotovoltaicos	29
2.3.2	Inversor	30
2.3.3	Acumuladores e controladores de carga	30
2.4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE	31
2.5	ÍNDICES DE MÉRITO	32
2.5.1	Produtividade ou <i>Yield</i>	32
2.5.2	Taxa de desempenho ou <i>performance ratio</i> (PR)	33
2.5.3	Fator de capacidade	34
2.6	FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO	35
2.6.1	Influência da irradiância solar	37
2.6.2	Influência da temperatura	38
2.6.3	Influência do sombreamento e sujeira	39
2.7	POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DO PARANÁ	40
2.7.1	Comparação com o Brasil	41
2.7.2	Comparação com a Europa	42
2.8	MESORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ	44
3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA – SIMULAÇÕES	46
3.1	SYSTEM ADVISOR MODEL – SAM	46
3.2	PARÂMETROS DO SISTEMA	50
3.2.1	Módulo escolhido	51
3.2.2	Inversor escolhido	52
3.2.3	<i>Design</i> do sistema	53
3.2.4	Perdas associadas	53
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.1	MESOREGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	57
4.1.1	Curitiba	57
4.1.2	Paranaguá – Ilha do Mel	58
4.2	MESOREGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE	59
4.2.1	Castro	59
4.3	MESOREGIÃO CENTRO-SUL PARANAENSE	60
4.3.1	Clevelândia	60
4.3.2	Inácio Martins	61

4.4	MESOREGIÃO NOROESTE PARANAENSE	62
4.4.1	Cidade Gaúcha	62
4.4.2	Diamante do Norte	63
4.4.3	Icaraíma	64
4.4.4	Paranapoema	65
4.5	MESOREGIÃO NORTE CENTRAL PARANAENSE	66
4.5.1	Londrina	66
4.5.2	Maringá	67
4.6	MESOREGIÃO NORTE PIONEIRO PARANAENSE	68
4.6.1	Ibaiti	68
4.6.2	Joaquim Távora	69
4.6.3	Nova Fátima	70
4.7	MESOREGIÃO OESTE PARANAENSE	71
4.7.1	Foz Do Iguaçu – Cataratas	71
4.7.2	Marechal Cândido Rondon	72
4.8	MESOREGIÃO SUDESTE PARANAENSE	73
4.8.1	General Carneiro	73
4.8.2	Ivaí	74
4.9	MESOREGIÃO SUDOESTE PARANAENSE	75
4.9.1	Dois Vizinhos	75
4.9.2	Planalto	76
4.10	RESUMO DOS DADOS OBTIDOS	77
4.10.1	Tabela resumo	77
4.10.2	Mapa das mesorregiões com PR e energia gerada	78
4.10.3	Comparação com o sistema real	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
5.1	CONCLUSÕES	81
5.2	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	83
	REFERÊNCIAS	84
	APÊDICE A	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

A geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis de energia não hidráulicas é crescente nos últimos anos no Brasil. Dentre elas, começa a se destacar a fonte solar fotovoltaica, cujo potencial é elevado no Brasil, conforme já destacado por Pereira *et al.* (2006). A irradiação média Total Anual no Brasil é de 2.001 kWh/m².ano para o Plano Inclinado (orientação para o Norte geográfico, e inclinação igual a latitude), utilizada em projeto de sistemas fotovoltaicos conectados à rede - SFVCR (TIEPOLO, 2015) o que possibilita grandes oportunidades a diversificação da matriz elétrica nacional.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2017, a energia solar fotovoltaica obteve crescimento de 44,7% em 2016 em relação a 2015, seguida pela energia eólica com 54,9% (EPE, 2017). Conforme Registro de Micro e Minigeração Distribuída (ANEEL, 2017), em novembro de 2017 contava com 16.855 unidades de microgeração de geração fotovoltaica e 70 unidades de eólica.

O aumento da energia solar fotovoltaica está de certa forma relacionado a resolução nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que entrou em vigor em abril de 2012, que estabelece condições para a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, através do sistema de compensação da energia elétrica, o que possibilitou a sua integração à rede de distribuição, a qual foi revisada dando origem a resolução nº 687/2015, que possibilitou também a geração em condomínio e o autoconsumo remoto, entre outras (ANEEL, 2012)(ANEEL, 2015).

A energia solar tem se revelado a cada ano como uma realidade para a geração de energia elétrica, havendo um forte crescimento em todos os continentes. A Ásia foi a grande responsável pelo forte crescimento da energia fotovoltaica nos últimos anos, tendo a China como responsável por 85% capacidade instalada em 2016. A China é responsável por movimentar 32% de todos os financiamentos de energia renováveis (REN21, 2017).

1.1.1 Delimitação do tema

O estado do Paraná abriga grande potencial energético através da energia fotovoltaica, com a maior parte dos municípios do estado com irradiação solar média Total Anual no plano inclinado acima de 2.000 kWh/m², valor muito superior aos 1.250 kWh/m² da Alemanha (TIEPOLO, 2015), atualmente terceiro país com a maior capacidade instalada de energia fotovoltaica (REN21, 2017).

Entretanto, o desempenho de sistemas fotovoltaicos está relacionado a vários fatores, entre eles os climatológicos como a irradiação solar local e o posicionamento da instalação. O desempenho de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) caso não seja satisfatório pode inviabilizar sua instalação.

Este trabalho analisará, através de simulação, o impacto da alteração da orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos na taxa de desempenho do SFVCR em nove das dez mesorregiões do estado do Paraná. As simulações serão realizadas através do *software* System Advisor Model – SAM, plataforma disponibilizada pelo National Renewable Energy Laboratory dos Estados Unidos da América.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O posicionamento recomendado para que SFVCR obtenham a máxima produtividade anual, é que estejam orientados para o Norte Geográfico, com inclinação igual a latitude do local, sem sombreamento, para que tenham maior incidência de radiação média ao longo do ano, obtendo assim melhor desempenho do que painéis não instalados nessa condição (PINHO; GALDINO, 2014).

Para reduzir a perda caso o local da instalação seja diferente das condições ideais, é necessário a utilização de adaptações, dificultando e aumentando o custo da instalação. A utilização de automação para painéis seguidores torna a manutenção mais elevada devido ao desgaste das partes móveis (PINHO; GALDINO, 2014)

A maioria dos SFVCR são implantados em edificações já existentes, cujas condições de orientação e inclinação das suas coberturas não serão as ideais. Entretanto, poucos estudos demonstram qual é a perda de desempenho dos SFVCR

para diferentes orientações e inclinações, sendo que nenhum estudo foi desenvolvido dentro deste contexto para o estado do Paraná.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar através de modelagem o comportamento da taxa de rendimento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em função de sua inclinação e orientação azimutal.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar revisão bibliográfica sobre o tema pesquisado;
- Estudar potencial fotovoltaico do estado do Paraná;
- Estudar os efeitos da orientação em painéis fotovoltaicos;
- Obter dados climatológicos e de irradiação solar de diferentes cidades do estado do Paraná;
- Definir as características do SFVCR simulado;
- Definir parâmetros para a simulação;
- Simular o SFVCR em diferentes regiões com várias orientações;
- Analisar o impacto da orientação do SFVCR em sua taxa de desempenho;
- Comparar a diferença entre as taxas de desempenho em posições diferentes da estabelecida como base.

1.4 JUSTIFICATIVA

Com o crescente aumento da tarifa de energia elétrica e com o aumento da procura de alternativas para geração de energia elétrica, a energia solar fotovoltaica mostra-se como uma alternativa viável a fontes não renováveis de energia.

A matriz elétrica mundial está se diversificando cada vez mais e se aproximando do consumidor final. Além disso, com a resolução nº 687/2015 da ANEEL, a expansão de geração distribuída no Brasil deve aumentar.

A energia fotovoltaica é difundida em maior escala por requerer poucas modificações nas estruturas em que é instalada, entretanto, as condições ideais de geração de energia elétrica por vezes não são alcançáveis, visto que as edificações e suas coberturas já foram construídas, onde o estudo de taxa de desempenho de painéis fotovoltaicos é parte essencial nestes casos (PINHO; GALDINO, 2014).

Duas características importantes dos SFVCR que serão abordadas nesse trabalho são a posição geográfica, inclinação e a orientação do painel, com o intuito de conhecer a taxa de desempenho do sistema em diferentes condições de funcionamento, e suas respectivas perdas em relação as condições consideradas ideais.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente será realizada uma revisão bibliográfica sobre SFVCR, taxa de desempenho, potencial fotovoltaico do estado do Paraná, bem como dos parâmetros para melhor funcionamento dos painéis fotovoltaicos.

Em seguida, serão definidas as características do SFVCR utilizado para a simulação e o *software* a ser utilizado para realizá-las. Em conjunto serão compilados dados históricos climatológicos e de irradiação no estado do Paraná junto às instituições de centros de controle meteorológico e de energia solar.

Por fim, serão apresentados os resultados obtidos com as simulações e será realizada uma análise de como a mudança na orientação e inclinação em conjunto com a localidade interferem na taxa de desempenho do SFVCR.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será organizado em 5 capítulos e um apêndice:

- Capítulo 1: Introdução, objetivos, justificativas, procedimento metodológico;
- Capítulo 2: Referencial teórico: revisão bibliográfica de SFVCR enfatizando desempenho de painéis fotovoltaicos.
- Capítulo 3: Levantamento de dados: definição quanto as especificações do sistema que será utilizado nas simulações, seleção e formação do banco de dados utilizado.
- Capítulo 4: Apresentação dos resultados obtidos com as simulações e análise dos resultados.
- Capítulo 5: Conclusão a respeito do trabalho e a importância dos resultados obtidos, e proposta de trabalhos posteriores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo está presente a revisão bibliográfica sobre os tópicos do tema proposto no trabalho de conclusão, com o objetivo de explorar os seguintes temas:

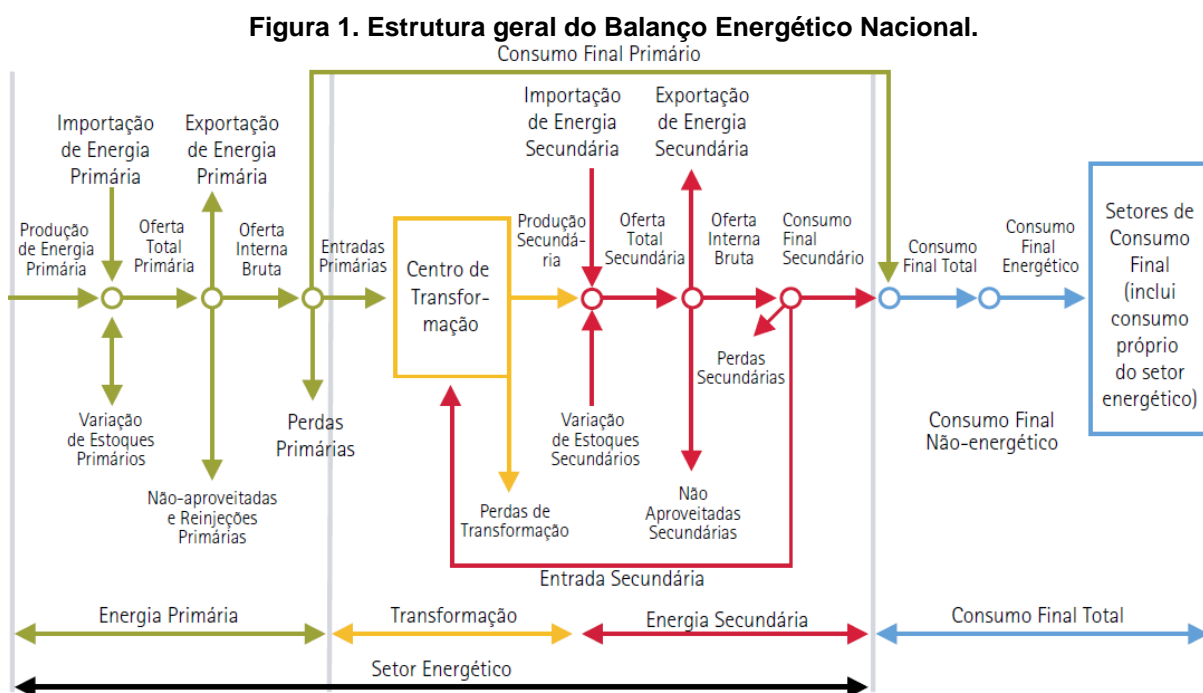
- Energias renováveis;
- Energia solar;
- Sistemas fotovoltaicos;
- Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR);
- Índices de mérito de sistemas fotovoltaicos;
- Fatores que influenciam o desempenho de sistemas fotovoltaicos;
- Potencial fotovoltaico do estado do Paraná;
- Mesorregiões do estado do Paraná.

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

A humanidade precisa de energia para a realização de tarefas simples, como a cocção de alimentos, até as mais complexas, como aplicações industriais e médica. O desenvolvimento está relacionado com o emprego mais eficiente de cada energia, por exemplo, não seria viável utilizar carvão para transporte aeroespacial, uma vez que o volume de combustível para fornecer a energia necessária seria demasiadamente grande, então, o combustível sólido foi desenvolvido para suprir tal necessidade. Diversificar a matriz energética com novas fontes de energia permite uma maior segurança energética, desenvolvimento tecnológico e uma melhoria na qualidade de vida.

Basicamente pode-se classificar a energia como sendo de dois tipos quanto à sua fonte: a energia primária, que são os energéticos ofertados diretamente pela natureza (sem precisar de conversão), como petróleo, gás natural, carvão mineral, energia solar, eólica e energia hidráulica; e energia secundária, que é obtida a partir da transformação de energéticos primários para setores de consumo diversos, são exemplos óleo diesel, gasolina, eletricidade e etanol (EPE, 2017).

A Figura 1 representa a cadeia de produção, transformação e consumo de energias primárias e secundárias:

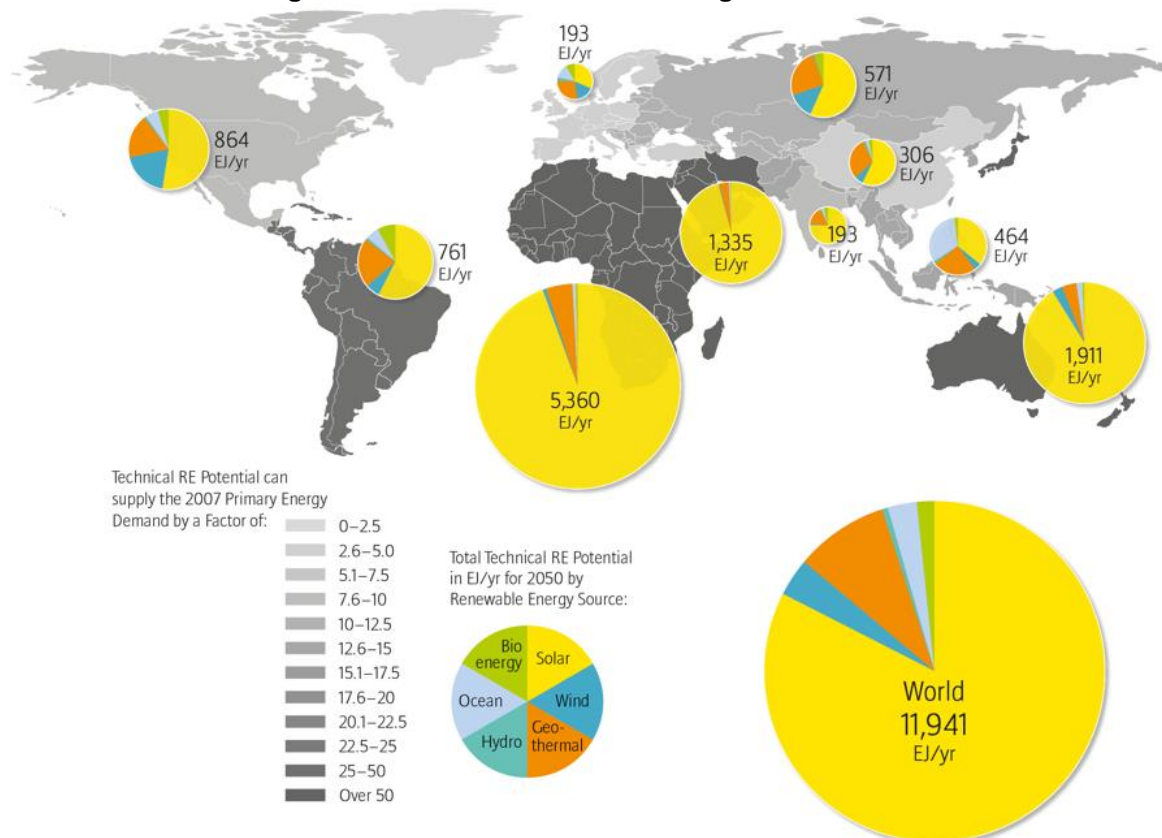


Fonte: EPE (2017).

A energia também pode ser classificada como renovável ou não renovável. As fontes renováveis de energia são alternativas às fontes de combustíveis fósseis, uma vez que não emitem gases do efeito estufa. São exemplos de energias renováveis a energia eólica, energia solar, hidráulica, biomassa, geotérmica e dos oceanos. Dentre essas, merecem destaque as energias solar e eólica, que apresentaram crescimentos expressivos na última década, de 28% e 17% respectivamente, no período de 2010 a 2015, correspondendo a 1,2% (solar) e 3,7% (eólica) da matriz energética mundial (REN21, 2016).

Segundo o REN21 o mundo possui potencial técnico de 11,941 Exa Joules por ano (EJ/ano) de energias renováveis, grande parte apenas solar, como mostrado na Figura 2. Com tecnologias atuais a demanda da China somada com a da Europa poderiam ser supridas duas vezes e meia apenas com energias renováveis (REN21, 2017).

Figura 2. Potencial técnico das energias renováveis.



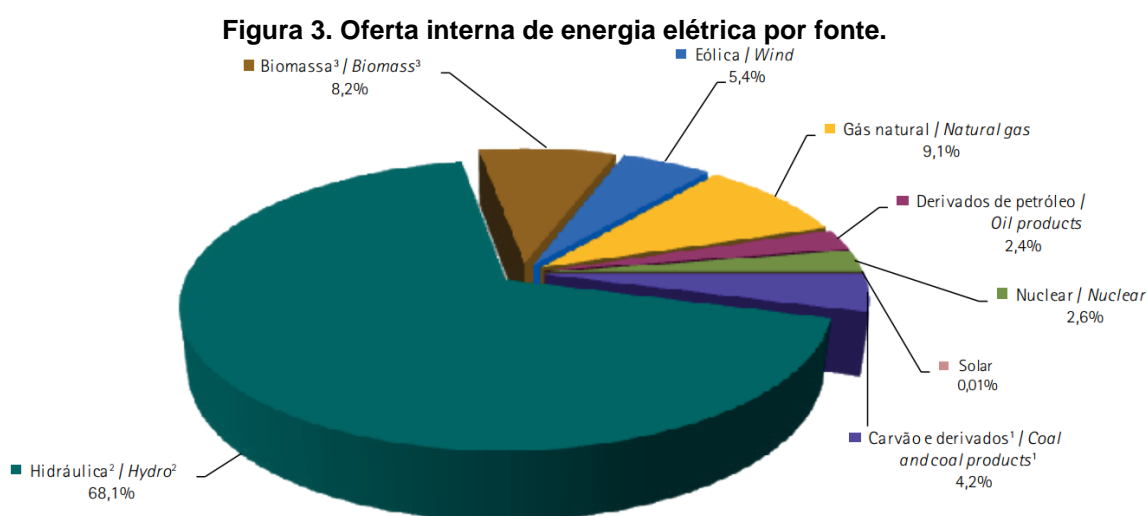
Fonte: REN21 (2017).

Energia solar e eólica passaram a ser consideradas fontes de energia convencionais ao redor do mundo devido a sua facilidade de implantação em relação a outras fontes, possibilidade de geração distribuída e principalmente ao seu rápido crescimento no setor energético causado pelo aumento da competitividade com a redução dos seus custos associados através de políticas governamentais dedicadas e acesso a financiamentos especiais (REN, 2017). Outro fator importante para o crescimento dessas fontes de energia foi o rápido aumento das tecnologias nessa área (REN, 2017), o que possibilitou uma diminuição do custo e aumento da eficiência.

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) apresentaram crescimento de apenas 0,2% nos últimos anos, índice 2% menor em comparação com a última década, a estagnação de emissões deve-se a diminuição pelo segundo ano consecutivo da utilização de carvão para geração de energia elétrica e do aumento das energias renováveis em todo o mundo. As energias renováveis aumentaram 161 Gigawatts sua capacidade instalada em todo o mundo em 2016, crescendo 9% em

relação ao ano anterior e atingindo a marca de 2.017 Gigawatts instalados. A China é o país com maior capacidade instalada de energias renováveis, detendo 564 Gigawatts, o que representa mais de um quarto da capacidade global (REN21, 2017).

A geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis diminuiu de 25,9% em 2015 para 19,6% do total nacional em 2016. O Brasil possui uma oferta interna de energia elétrica majoritariamente renovável, como mostra a Figura 3. Destaca-se com maior participação, a fonte hidráulica (68,1%), seguido por biomassa (8,2%), eólica (5,4%) e solar com apenas (0,01%)(EPE, 2017).



Notas / Notes:

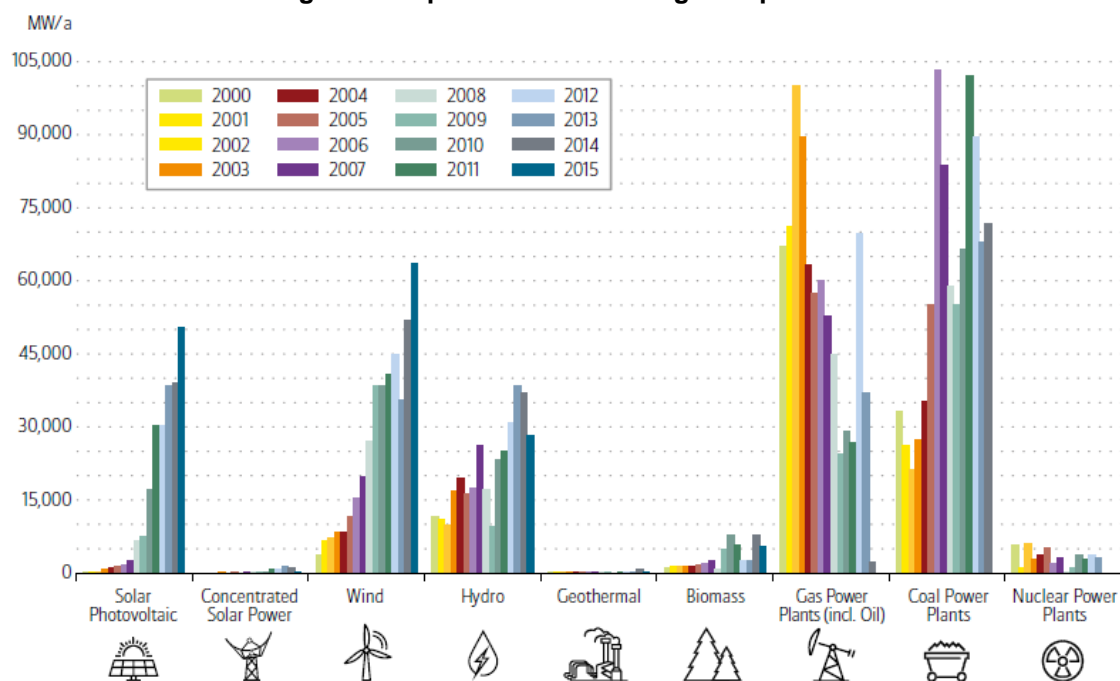
1. Inclui gás de coqueria / Includes coke oven gas
2. Inclui importação de eletricidade / Includes electricity imports
3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Fonte: EPE (2017).

Fontes alternativas de energia movimentaram o mercado financeiro recebendo em 2015, 285,9 bilhões de dólares em investimento. A capacidade instalada de geração por fontes renováveis cresceu rapidamente na última década, como destacado na

Figura 4, onde as fontes hidráulicas, biomassa, solar e eólica tiveram aumento expressivos, com capacidade instalada crescente ao longo dos anos (REN21, 2017).

Figura 4. Capacidade instalada global por ano.



Fonte: REN21 (2017).

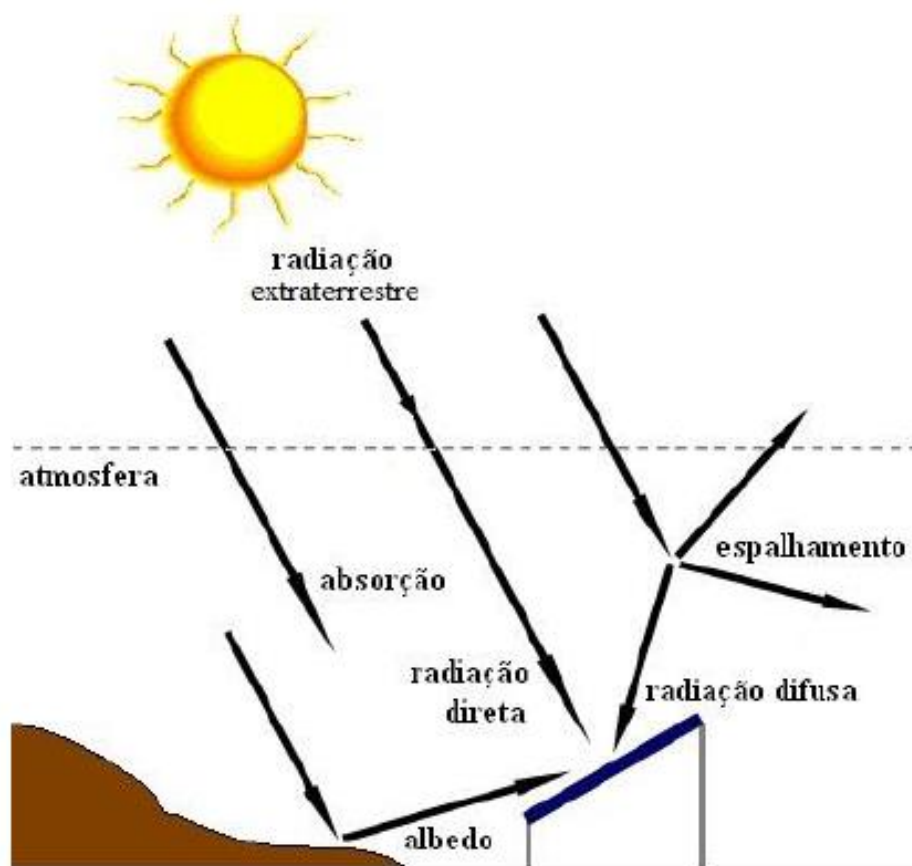
2.2 ENERGIA SOLAR

A energia do Sol segundo Pinho e Galdino (2014) é uma fonte de calor e luz inesgotável na escala de tempo terrestre e responsável pela origem das outras fontes de energia na Terra.

A radiação solar que atinge a superfície do planeta Terra é cerca de 1.000 watt por metro quadrado (W/m^2) em condições de céu limpo, sem sombreamento e Sol alinhado com o zênite (IEA, 2014).

A radiação é formada por três componentes: a radiação direta, que vem diretamente do sol, a componente difusa proveniente do espalhamento na atmosfera terrestre e a radiação denominada albedo, que incide em plano inclinado após reflexão no solo ou em outras superfícies, como mostrado na Figura 5.

Figura 5. Componentes da radiação solar.



Fonte: Pinho et al. (2008).

A energia solar sob a forma de calor e luz é a fonte de energia mais abundante no planeta, com cerca de 885 milhões TWh atingindo a superfície ao longo de um ano, o que corresponde a 6.200 vezes a energia primária consumida pela humanidade em 2008 e 3.500 vezes o consumo estimado em 2050 (IEA, 2014).

Os sistemas de energia solar podem ser divididos em categorias: energia solar concentrada (CSP), fotovoltaica (FV) e fotovoltaica concentrada (MALINOWSKI; LEON; ABU-RUB, 2017).

2.2.1 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia gerada através do efeito fotoelétrico, que a partir de uma célula fotovoltaica converte diretamente a luz do sol em energia elétrica. Edmond Becquerel em 1839 foi o primeiro a observar que placas metálicas expostas a luz solar poderiam produzir uma pequena diferença de potencial, porém apenas na década de 1950 teve o início da produção em escala comercial de células fotovoltaicas (CRESESB, 2006).

O elemento básico para a geração fotovoltaica são as células fotovoltaicas, componentes formados por materiais semicondutores. As principais tecnologias de fabricação de células podem ser classificadas em três gerações.

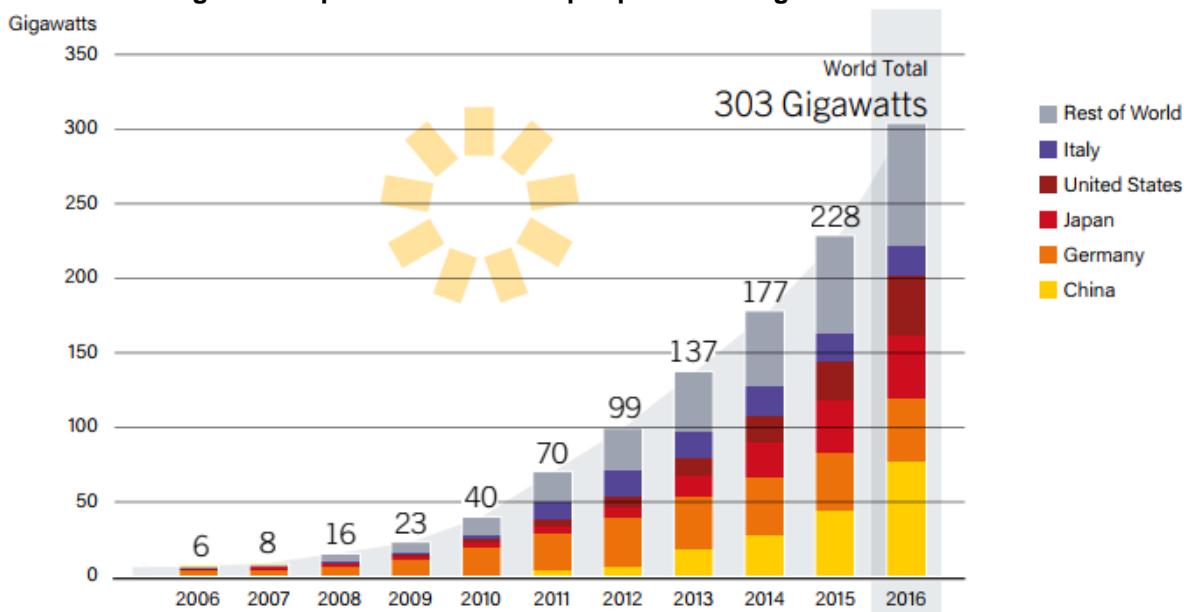
A primeira geração, composta por silício cristalino (c-Si), é dividida entre Silício monocristalino (m-Si) e Silício policristalino (p-Si). A segunda geração, formada pelos filmes finos, são formadas pela deposição de materiais semicondutores em uma base rígida. A terceira geração é representada por células fotovoltaicas orgânicas, células híbridas orgânicas/inorgânicas (TIEPOLO, 2015).

O mercado mundial em 2013 era composto em sua grande maioria de silício, mono-Si (24%) ou multi-Si (69%), seguido de filmes fino com 7%, onde se destacam o Telureto de cádmio (CdTe) 4%, Cobre Índio Gálio Selênio (CIGS) com 2% e silício amorfo (a-Si) com 1% (MALINOWSKI; LEON; ABU-RUB,2017).

Em comparação com outras fontes de energia elétrica, a solar fotovoltaica destaca-se por ser uma geração silenciosa de dimensionamento e instalação mais simples, tempo de vida longo, que é facilmente transportada e que requer menor manutenção em relação a outros sistemas (MALINOWSKI; LEON; ABU-RUB,2017).

O crescimento da energia solar fotovoltaica é uma tendência mundial, como pode-se observar na Figura 6, que mostra um crescimento da capacidade instalada de 6 Gigawatts em 2006 para 303 Gigawatts em 2016, com 75 GW de crescimento em relação a 2015 (REN21, 2017).

Figura 6. Capacidade instalada por país de energia solar fotovoltaica.



Fonte: REN21 (2017).

Os sistemas fotovoltaicos de grande porte (usinas) contribuíram com a maior parte do crescimento da energia fotovoltaica nos últimos anos, representando mais de 50% de toda a capacidade instalada de 2010 a 2014. O sistema de menor potência instalada, por sua vez, como aqueles instalados no telhado de construções tem uma grande chance de crescer nas aplicações residenciais e comerciais, sendo boas opções para os sistemas inteligentes de energia distribuída (MALINOWSKI; LEON; ABU-RUB, 2017).

Segundo o IEA em sua projeção conservadora, estima que em 2020 a capacidade instalada mundial de energia solar fotovoltaica será de 490 GW. Em um outro cenário mais otimista o IEA projeta uma capacidade de energia solar fotovoltaica instalada mundial de 700 GW em 2020 (IEA, 2016)

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Pinho e Galdino (2014) um sistema fotovoltaico é constituído por arranjos fotovoltaicos, condicionadores de potência, inversores, caso seja isolado necessita de controlador de carga e armazenamento por acumuladores elétricos, podendo apresentar mais dispositivos para controle e proteção.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados quanto à sua interligação com o sistema público de fornecimento de energia elétrica, podendo ser do tipo isolado ou conectado à rede e quanto à sua configuração, podendo ser puro ou híbrido caso seja associado geração fotovoltaica com outros tipos de geração de energia elétrica (ASSOCIAÇÃO..., 2008). A Tabela 1 abaixo classifica sistemas fotovoltaicos.

Tabela 1. Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos pela NBR 11704.

Tipo de sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica etc.
		Tensão alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação etc.
	Híbridos	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária etc.
		Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
	Híbridos	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, 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 os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.

Fonte: ABNT (2008).

Sistemas isolados não são conectados à rede elétrica de distribuição e normalmente utilizam-se de banco de baterias para suprir a demanda de energia em momentos em que a geração seja baixa ou nula. Caso haja alguma conexão com a rede elétrica o sistema é classificado como conectado à rede, podendo injetar energia ou demandar energia quando preciso.

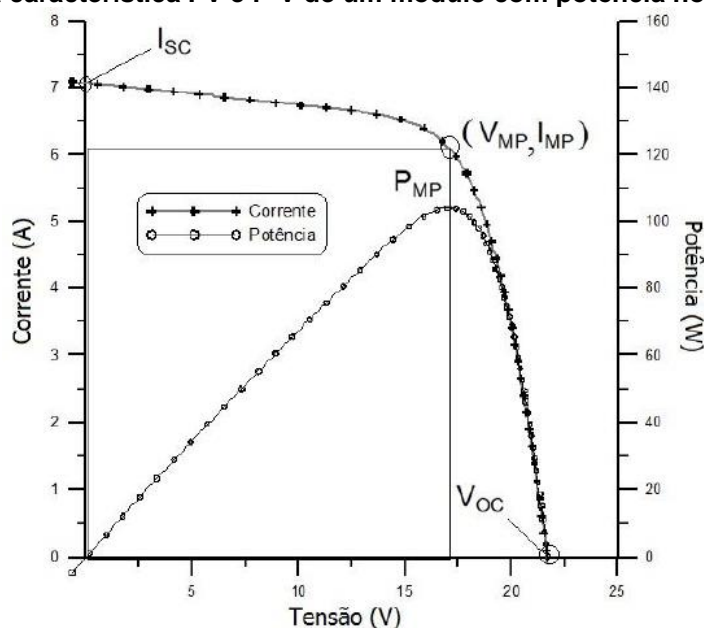
2.3.1 Módulos fotovoltaicos

O modulo fotovoltaico é formado por células que, dependendo de sua associação, tem valores de tensão e corrente distintos. Os módulos podem ser conectados em série e paralelo para atender as necessidades de projeto. Conectados em série os painéis tem suas tensões somadas e conectados em paralelo as correntes são somadas, desta forma, é possível compor um arranjo específico para cada utilização.

Um módulo é identificado por suas características elétricas como: sua potência elétrica de pico (W_P), tensão de circuito aberto (V_{OC}), corrente de curto circuito e potência do módulo (W/m^2). Através da curva característica I-V é possível determinar o ponto com o valor máximo de potência (P_{MP}), ponto considerado ótimo para geração, capaz de fornecer mais potência em qualquer temperatura de operação (MALINOWSKI; LEON; ABU-RUB,2017).

A partir do P_{MP} é determinado o ponto de tensão de máxima potência (V_{MP}) e corrente de máxima potência (I_{MP}), como mostra a Figura 7. Com todos estes parâmetros é possível especificar um módulo sob determinadas condições de irradiação e temperatura de operação (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 7. Curva característica I-V e P-V de um módulo com potência nominal de 100 Wp.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.3.2 Inversor

O inversor é o dispositivo responsável pela conversão da energia em corrente contínua (C.C), proveniente dos módulos ou das baterias, em energia em corrente alternada (C.A.) para alimentação das cargas elétricas do sistema. Também são responsáveis pela sincronização do SFVCR à rede. Os inversores utilizam chaves de estado sólido em seu funcionamento interno atuando em bloqueio ou condução, o que gera conteúdo harmônico, que é atenuado após modulação por largura de pulso (PWM) (PINHO e GALDINO, 2014). O sistema fotovoltaico deve atender a padrões de qualidade de energia descritos na norma NBR 16149 e pelo módulo 8 do PRODIST (ASSOCIAÇÃO..., 2013)(PRODIST, 2017).

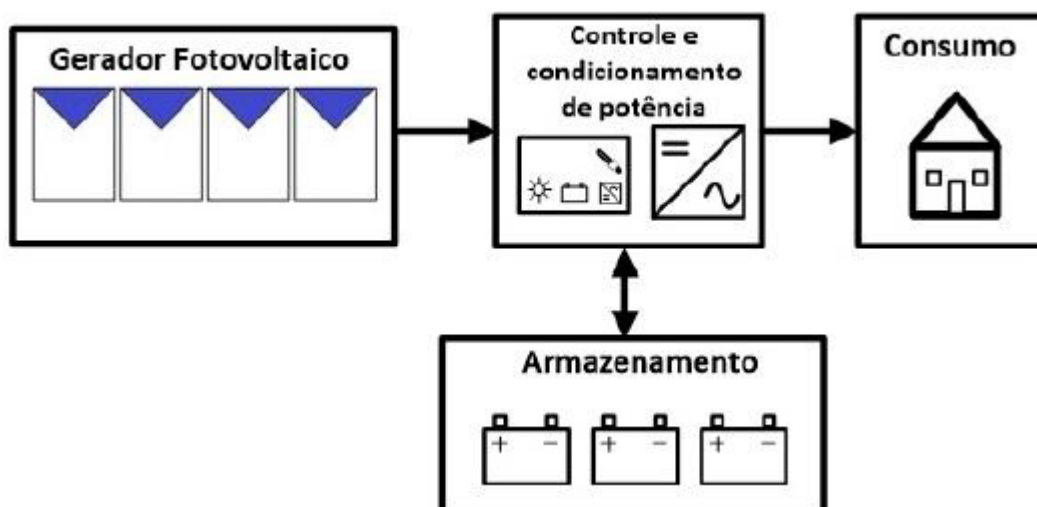
Inversores também são capazes de detectar falta no sistema elétrico e desacoplar da rede, evitando assim o ilhamento. Também são capazes de buscar o ponto de máxima potência P_{MP} que varia constantemente com a temperatura e níveis de radiação (RÜTHER, 2004).

Segundo Pinho e Galdino (2014) um inversor para sistemas fotovoltaicos deve agregar o máximo das características a seguir: possuir alta eficiência de conversão em cargas parciais e nominal, ser de alta confiabilidade e necessitar baixa manutenção, operar em uma faixa ampla de tensão de entrada, possuir uma boa regulação de tensão na saída, baixo conteúdo harmônico, segurança, baixo ruído e baixa interferência eletromagnética.

2.3.3 Acumuladores e controladores de carga

Para sistemas fotovoltaicos isolados, como o da Figura 8, é necessária a utilização de acumuladores de energia (banco de baterias) para assegurar o fornecimento de energia elétrica em períodos que não há geração fotovoltaica, como por exemplo a noite. O acumulador não pode sofrer cargas e descargas excessivas, portanto utiliza-se um controlador de carga para evitar desgaste e aumentar o rendimento. (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 8. Diagrama sistema fotovoltaico isolado.

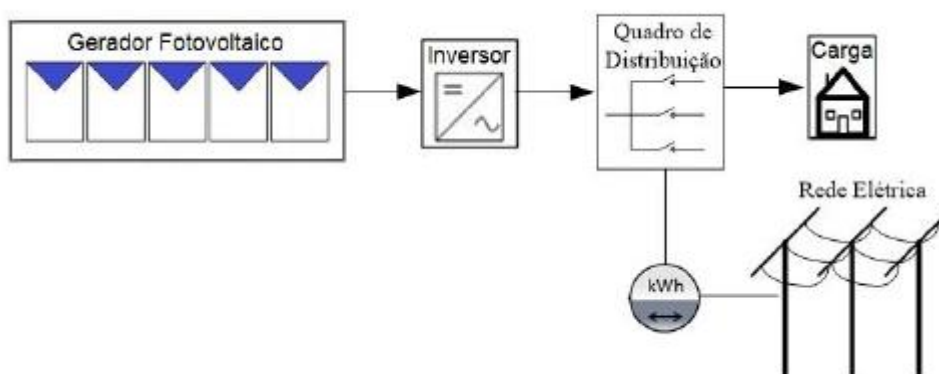


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE

SFVCR são ligados a rede elétrica de distribuição e sua energia é diretamente injetada na rede e, por este motivo, dispensam o uso de acumuladores. Os módulos fotovoltaicos geram eletricidade em C.C. Em seguida, o inversor converte C.C. em C.A. e injeta na rede a energia (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 9 representa um SFVCR com medidor bidirecional de energia.

Figura 9. Sistema fotovoltaico conectado à rede com medição bidirecional.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Os SFVCR são formados por painel fotovoltaico e inversor, e a rede elétrica da concessionária atua como acumulador, uma vez que a energia injetada é posta em paralelo com a energia da rede (URBANETZ, 2010). Sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser classificados em grande porte (centrais fotovoltaicas) com milhares de painéis fotovoltaicos, ou de pequeno porte com dezenas de painéis para geração distribuída, como em telhados residenciais (MALINOWSKI; LEON; ABURUB, 2017).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamentou as resoluções normativas nº482 de 2012 e nº687 de 2015 que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica e o sistema de compensação de créditos gerados. Caso a geração de um SFVCR seja superior ao consumo, a partir de um medidor bidirecional, são contabilizados créditos ao injetar energia na rede que podem ser utilizados pelo usuário quando seu consumo for maior que sua geração para descontar de sua tarifa o equivalente acumulado de créditos. (ANEEL, 2012) (ANEEL, 2015).

2.5 ÍNDICES DE MÉRITO

Os índices de mérito são indicadores que permitem analisar e comparar sistemas fotovoltaicos instalados em diferentes localidades ou em condições de operação diferentes, e também comparar sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia. A partir dos valores de energia gerada, potência instalada e irradiação incidente podem ser calculados:

2.5.1 Produtividade ou *Yield*

Produtividade ou *Yield* (Y_F) é a razão entre toda a potência entregue ao sistema em um dado tempo, definida como energia gerada (kWh), e a potência instalada (kW_P) de cada módulo fotovoltaico do sistema. O Y_F é a relação entre a quantidade de energia produzida no sistema em relação ao seu tamanho, permitindo

a comparação entre sistemas fotovoltaicos com potências diferentes (URBANETZ et al., 2005).

A produtividade está relacionada a um período de tempo, normalmente utilizado como um ano ou 8760 horas. A produtividade é obtida através da equação:

$$Y_F = \frac{\int_0^{8760} P(t)dt}{P_N} = \frac{\text{Energia}}{\text{Potência Instalada}} \text{ (kWh/kWp)} \quad (1)$$

Onde,

$P(t)$ é a potência gerada pelo sistema no instante t , em kW;

P_N é a potência nominal do sistema, em kW_P;

t é o período considerado em horas.

2.5.2 Taxa de desempenho ou *performance ratio* (PR)

Objeto de estudo mais detalhado deste trabalho, a taxa de desempenho de um sistema é a relação, expressa em porcentagem, entre a produtividade (kWh/kW_P) e a quantidade de horas de sol a 1.000 W/m² incidentes no painel fotovoltaico, normalmente vinculada a um ano de operação (MARION et al., 2005).

$$P_R = \frac{Y_F}{\frac{H(t)}{G_{ref}}} = \frac{\text{Yield}}{\text{Irradiação}/1000} \text{ (\%)} \quad (2)$$

Onde,

Y_F é a produtividade do sistema, em kWh/kW_P;

$H(t)$ é a irradiação sobre o sistema, em kW_P;

G_{ref} é a irradiância de referência, 1.000 W/m².

A taxa de desempenho de um sistema contabiliza toda as perdas de eficiência considerando o aumento da temperatura do módulo, variação da irradiação, sujidade, perdas nas conexões, descasamento, perdas de conversão no inversor e outras perdas (IEA, 2014). Segundo Benedito (2009) este índice é bastante útil porque representa a real capacidade de fornecimento de energia elétrica através da

conversão da energia solar. As plantas fotovoltaicas podem atingir uma taxa de eficiência média de 80% até 90% ao longo de um ano (IEA 2014).

Este índice permite a análise de eficiência global do sistema fotovoltaico instalado. Com essa análise é possível atuar sobre um fator de perda específico, como sujidade, limpando os módulos em período de tempo adequados, elevando o desempenho do sistema e sua eficiência (PINHO; GALDINO, 2014).

A taxa de desempenho é estimada em projeto com dados climatológicos da região de instalação, forma de fixação na instalação, tecnologia das células fotovoltaicas e parâmetros de perdas especificados pelos fabricantes (AWAD, 2016). Posteriormente a taxa de desempenho é validada através de monitoramento do sistema em plena operação, como a realizada por Tonin (2017). Este controle permite saber a eficiência do sistema FV e confirmar parâmetros de projeto, aumentando assim a confiabilidade de projeto.

2.5.3 Fator de capacidade

É o índice em percentagem que representa a razão entre o montante de energia gerado em um período de tempo e a capacidade de geração nominal neste mesmo período, normalmente estabelecido como um ano.

Este índice possibilita a comparação de geração de energia de fontes diferentes. O fator de capacidade e a produtividade estão relacionados, uma vez que quando obtido o valor de produtividade é facilmente obtido o fator de capacidade. O fator de capacidade é determinado pela equação (3):

$$C_F = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_N * T} = \frac{Y_F(h)}{8760 h} = \frac{\text{Energia}}{\text{Potência} * \text{Tempo}} (\%) \quad (3)$$

Onde,

$P(t)$ é a potência gerada pelo sistema no instante t , em kW;

P_N é a potência nominal do sistema, em kW_P;

T é o período considerado em horas;

Y_F é a produtividade do sistema, em kWh/kW_P.

2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO

Existem vários fatores que podem influenciar o desempenho de um SFVCR, e a eficiência de um painel fotovoltaico está relacionada a tecnologia das células utilizadas (GAUTAM; RAUT; GHALE; NEUPANE; DHAKAL, 2016). Cada célula fotovoltaica produz energia elétrica dependente das condições ambientais de operação que podem afetar seu desempenho, como: sombreamento, posição geográfica, inclinação, sujeidade, temperatura, irradiação solar (MALINOWSKI; LEON; ABU-RUB, 2017).

As células fotovoltaicas variam sua eficiência a partir da tecnologia de fabricação. Em laboratório com condições de operação controladas, 1000 W/m², 25 °C e massa de ar de 1,5, obtiveram a seguinte eficiência: silício monocristalino 25,6%, silício multicristalino 21,3%, filme fino de silício 10,5%, silício amorfo 10,2%, filme fino de telureto de cádmio (CdTe) 21,0%, filme fino de cobre índio gálio selênio (CIGS) 21,0% (NREL, 2016).

Para melhorar o rendimento e eficiência dos sistemas fotovoltaicos, é necessário obter a maior geração possível de energia de cada painel e componente do sistema (AWAD, 2016), instalando e operando o sistema o mais próximo das condições ideais de funcionamento. Segundo Pinho e Galdino (2014) o gerador fotovoltaico deve ser preferencialmente instalado distante de objetos que possam encobrir o painel ou sombreá-lo em qualquer hora do dia, ou no período de melhor irradiação entre as 9 horas e 15 horas.

Neste trabalho será estudado formas de maximizar a captação de energia solar ao longo do ano e melhorar a taxa de desempenho através da alteração da orientação e inclinação do painel fotovoltaico. Para operar adequadamente, os módulos devem estar, de forma geral, orientados em direção à linha do equador (no hemisfério Sul devem estar orientados ao Norte verdadeiro), e caso haja neblina matutina na região de instalação o modulo pode ser orientado ao Oeste para receber maior radiação à tarde (PINHO; GALDINO, 2014).

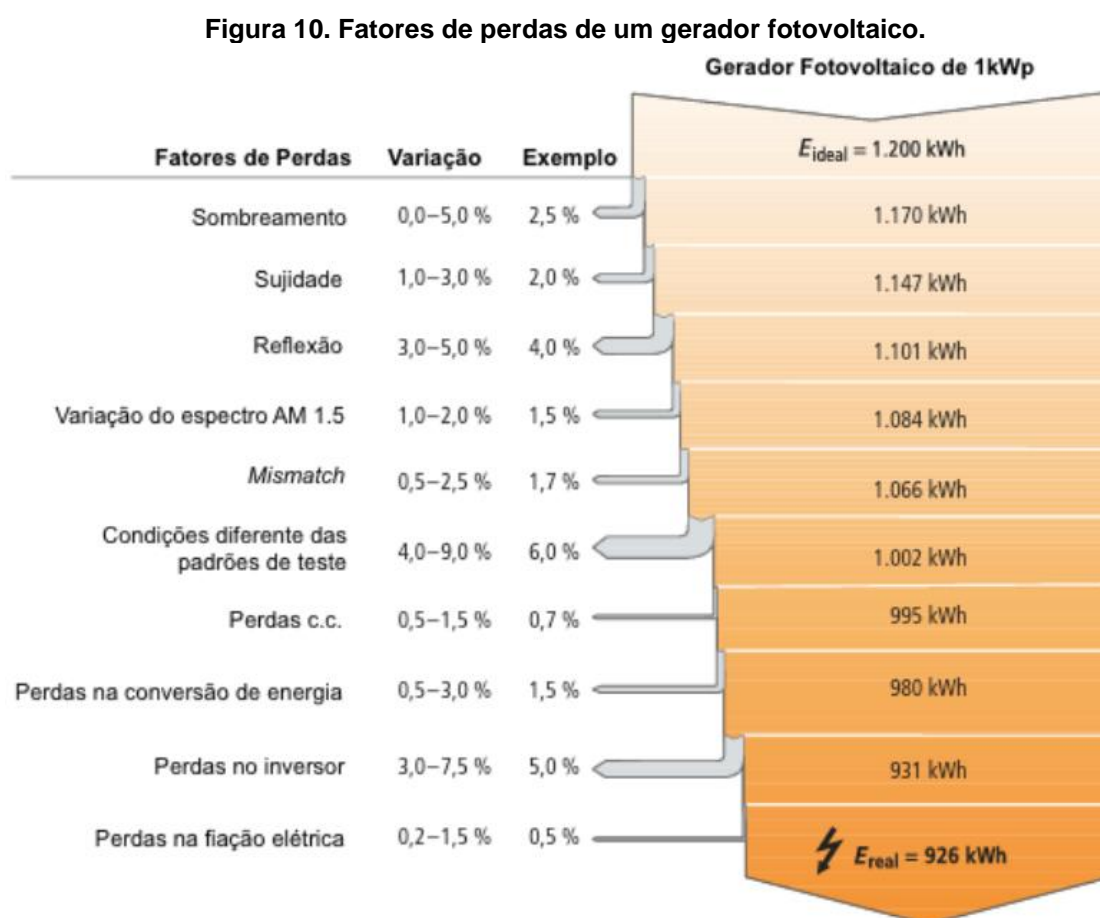
Para maximizar a geração de energia ao longo do ano, o ângulo de inclinação do painel fotovoltaico e o solo deve ser igual à latitude da região de instalação. Para regiões de latitude menores que $\pm 10^\circ$ é aconselhável uma inclinação de pelo menos

10° para que a chuva possa limpar os módulos melhorando seu desempenho (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas de rastreamento do movimento aparente do Sol (seguidores ou rastreadores) podem ser utilizados para a maximização instantânea da geração de energia, alinhando os painéis perpendicularmente a incidência da irradiação solar (ALLAMEHZADEH, 2016).

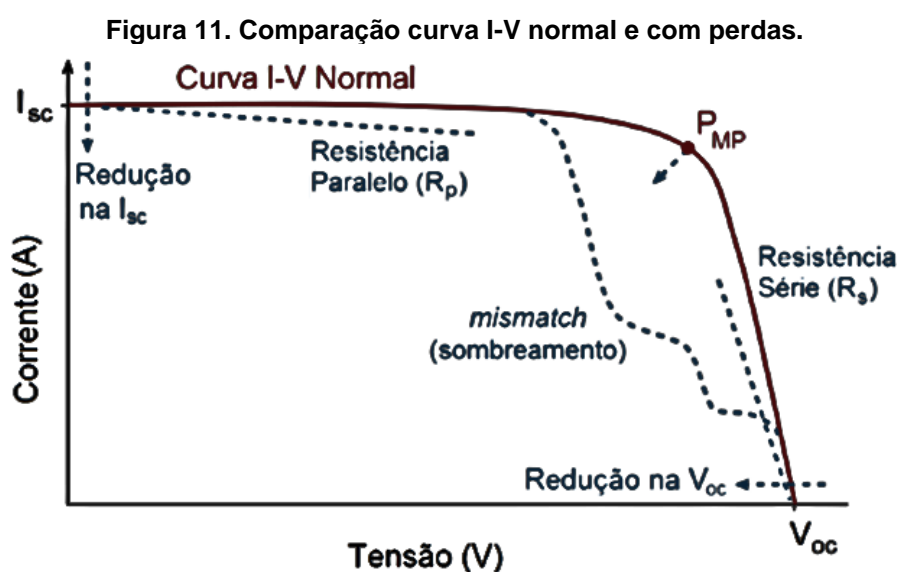
Os seguidores podem ser de dois tipos: de um eixo, que seguem normalmente o movimento Leste-Oeste do Sol; ou de dois eixos, que além do movimento Leste-Oeste são capazes de alterar seu ângulo de inclinação. O rastreamento do Sol pode aumentar a energia recebida em mais de 50% (ALLAMEHZADEH, 2016), porém tem como desvantagem seu maior custo e serem suscetíveis a falhas devido à presença de peças móveis (PINHO; GALDINO, 2014).

A Figura 10 apresenta as perdas associadas a um gerador fotovoltaico de 1 kW_P em condições laboratoriais.



Fonte: ARAUJO, RANK e BUENO (2016, apud DGS, 2013).

De acordo com Pinho e Galdino (2014) o desempenho dos módulos fotovoltaicos é influenciado pela irradiância solar recebida e pela temperatura de operação. A curva característica I-V sofre alterações devido a sombreamento ou a alterações associadas a resistência paralelo (R_p) resultante de defeitos internos nas células, resistência série (R_s) por problemas nas conexões elétricas entre fileiras. O aumento da temperatura nos módulos resulta na redução do valor de V_{oc} e o nível de sujeira (sujeira) no módulo acarreta na redução da corrente I_{sc} , o sombreamento pode resultar em perdas por *mismatch* (descasamento) conforme mostrado na Figura 11.

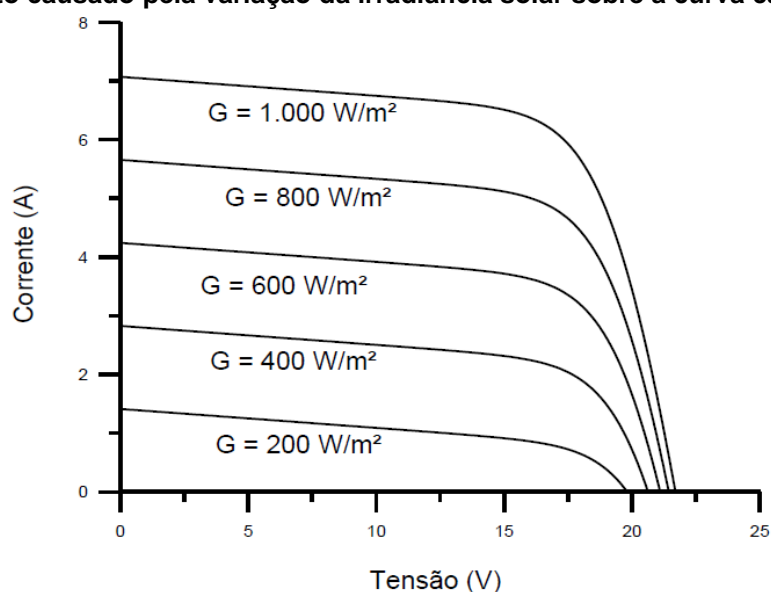


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.6.1 Influência da irradiância solar

A corrente elétrica gerada nas células está linearmente relacionada com o aumento da irradiância solar incidente e, a tensão de circuito aberto é crescente de forma logarítmica. A Figura 12 apresenta as curvas I-V para irradiâncias de 200 W/m^2 até 1000 W/m^2 em um painel de silício cristalino (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 12. Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

A partir da irradiância incidente no painel é possível obter a corrente I_{sc} de uma célula pela equação 4.

$$I_{sc} = I_{scSTC} * \frac{G}{1000} \quad (4)$$

Onde,

I_{sc} é a corrente de curto circuito do módulo para a irradiância G , dado em Ampères;

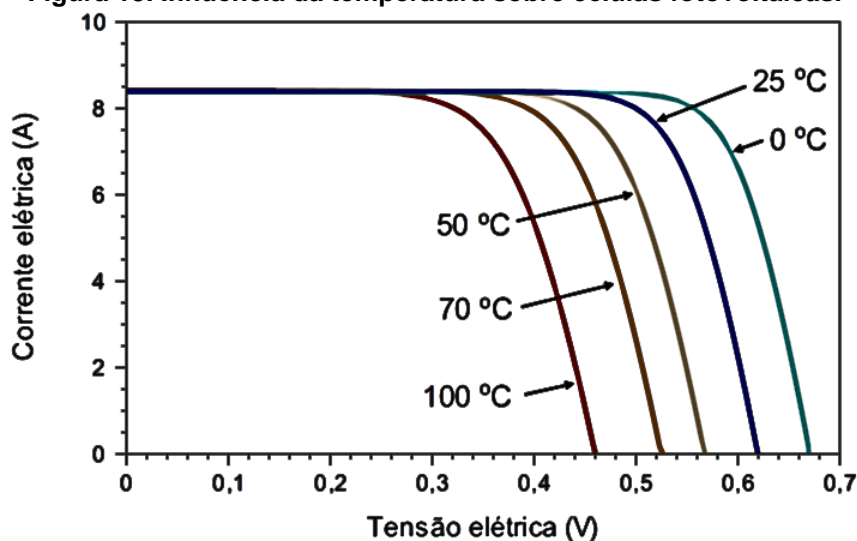
I_{scSTC} é a corrente de curto circuito nas condições de temperatura e irradiação padrões (STC), em Ampères;

G é a irradiância incidente sobre o módulo.

2.6.2 Influência da temperatura

A célula fotovoltaica tem sua operação afetada pela variação da irradiação solar e pelo aumento de temperatura ambiente, tendo seu desempenho reduzido. A tensão de cada célula fotovoltaica é reduzida pelo aumento da temperatura enquanto a variação de corrente é desprezível (PINHO, GALDINO, 2014). A Figura 13 apresenta a influência da temperatura nas curvas I-V, variando de 0 °C até 100 °C a variação de tensão é de até 45,65%.

Figura 13. Influência da temperatura sobre células fotovoltaicas.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014), os módulos de silício amorfo sofrem menor influência da temperatura sobre a potência de pico.

2.6.3 Influência do sombreamento e sujeira

Sistemas fotovoltaicos são projetados em uma inclinação mínima de 10° para que a água da chuva limpe os painéis, porém em sistemas instalados em áreas com grande poluição, ou regiões de clima seco, ocorre maior deposição de sujeira nos módulos fotovoltaicos, nestes casos limpezas regulares são recomendadas (DGS, 2013).

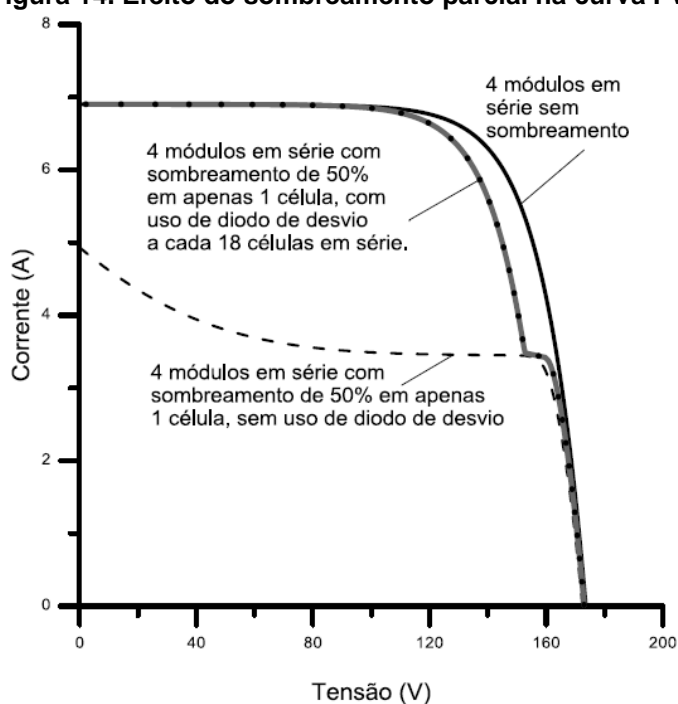
Em sistemas que estejam sujeitos a sombreamento, quando uma célula recebe mais radiação solar do que outra, a corrente de saída será limitada em conexões série pelo módulo que está sombreado. Módulos sombreados parcialmente correm risco de danos, porque a potência elétrica gerada que não é entregue, precisa necessariamente ser dissipada. Nesses casos pode ocorrer o fenômeno do “ponto quente”, capaz de danificar o vidro e até atingir o ponto de fusão dos polímeros e dos metais componentes do módulo (PINHO; GALDINO, 2014).

O módulo pode ser protegido da ocorrência dos pontos quentes pela utilização de diodos de desvio, que permitem a passagem de corrente por um caminho

alternativo, limitando a dissipação de potência nas células sombreadas e diminuindo as perdas de energia (PINHO; GALDINO, 2014).

A Figura 14 representa a curva I-V com efeito do sombreamento parcial em 4 módulos conectados em série, que recebe apenas 50% da irradiância original.

Figura 14. Efeito do sombreamento parcial na curva I-V.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

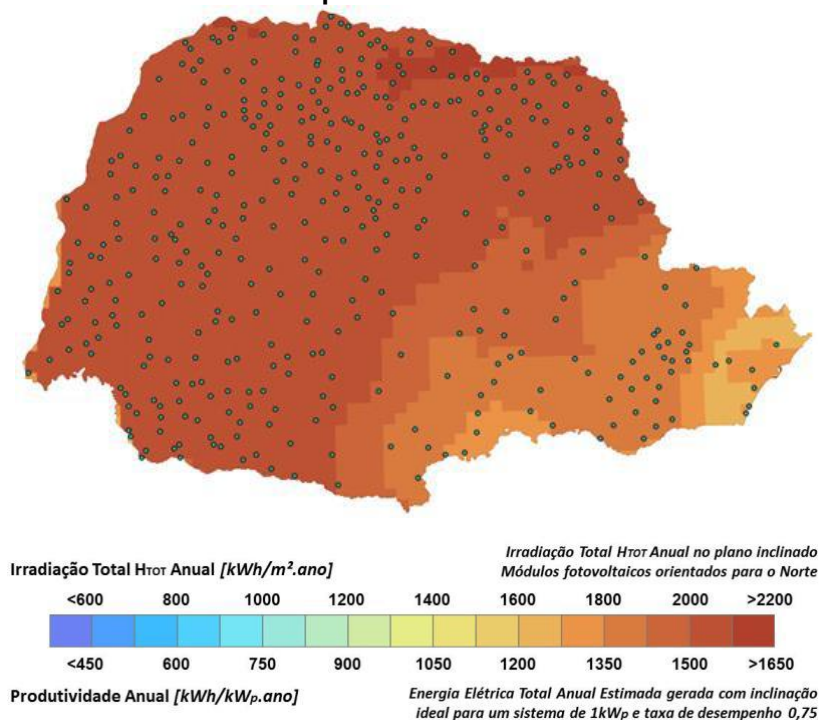
2.7 POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DO PARANÁ

O estado do Paraná tem sua matriz energética formada principalmente por energia hidráulica com 92,68% da capacidade instalada, com cerca de 66% do seu potencial já explorado (EPE, 2016). O estado também é detentor de grande potencial energético a partir de energia solar fotovoltaica. Os níveis de radiação solar no Paraná, mesmo no inverno, são superiores à média anual apresentada pela Alemanha, 5º país no mundo em geração de energia fotovoltaica (TIEPOLO, 2015)(EPIA, 2017).

O estado do Paraná apresenta um total anual médio de irradiação de 1986 kWh/m².ano e uma produtividade estimada de 1.490 kWp.ano, para uma taxa de desempenho de 75%.

Dentre todos os 399 municípios do estado, 322 ou 80,7% possuem níveis maiores que a média do estado de irradiação total e produtividade anual média, e nove municípios apresentam valores superiores a 2.100 kWh/m² de irradiação total anual média (TIEPOLO, 2015). Os maiores valores de irradiação se concentram no Oeste do estado, conforme a Figura 15, onde o litoral apresenta os menores níveis devido ao maior índice de nebulosidade ao longo do ano que outras regiões do estado.

Figura 15. Irradiação total anual em kWh/m².ano no estado do Paraná, com municípios em pontos verdes.



Fonte: Tiepolo (2015).

2.7.1 Comparação com o Brasil

O Paraná é o 15^o estado no *ranking* de irradiação total (H_{TOT}) anual no plano inclinado, e a média do estado do Paraná apresenta diferença inferior a 1% da média do Brasil. A produtividade do estado do Paraná é apenas 7,5% inferior ao estado da Bahia que possui os melhores índices nacionais. Os níveis de irradiação total anual de 80% dos municípios do Paraná foram superiores a 2.050 kWh/m².ano, o que representa apenas 5% menores que as maiores médias do Brasil (TIEPOLO, 2015).

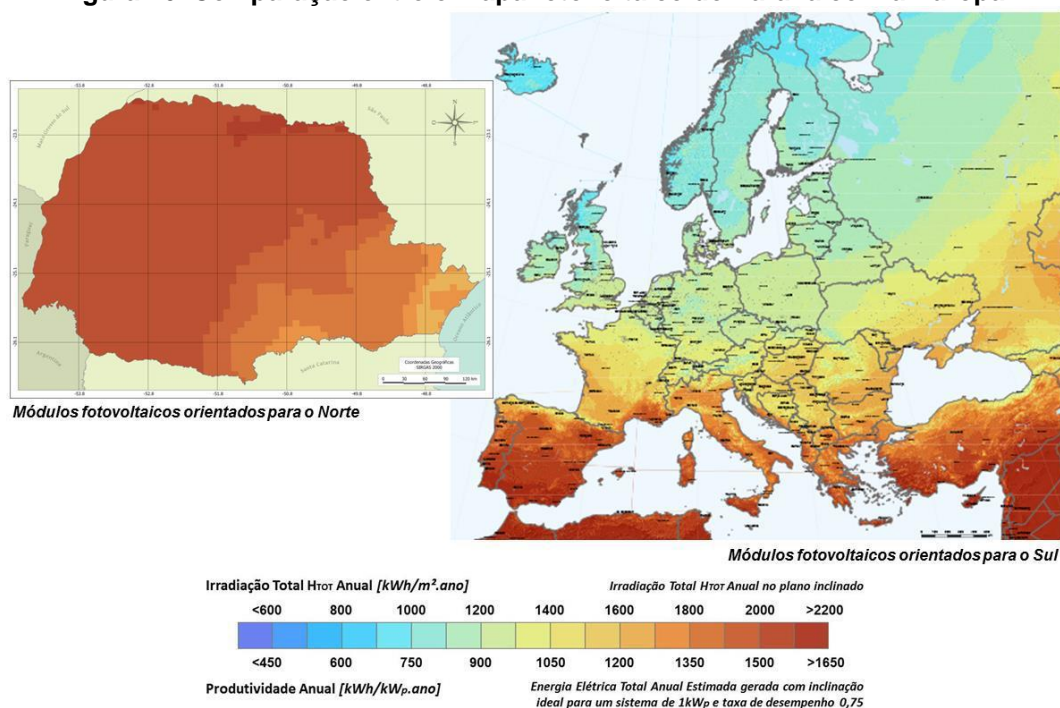
A capital do estado, Curitiba, não é favorecida com muitos dias de céu limpo no ano, entretanto apresenta média anual de irradiação e produtividade estimada de 1.829 kWh/m² e 1.372 kWh/kW_p.ano respectivamente, sendo apenas 15% inferior as maiores médias do país e 8,6% inferior à média nacional. O estado conta com

municípios como Sertaneja que possuem valores mais próximos do máximo encontrado no Brasil, com diferença de 6% inferior, apresentando valores de 2.119 kWh/m².ano e 1.589 kWh/kW_p.ano de irradiação e produtividade total anual (TIEPOLO, 2015).

2.7.2 Comparação com a Europa

Quando comparado com a Europa, percebe-se que o potencial do Paraná é muito grande, sendo maior que vários países. A Figura 16 apresenta na mesma escala de cores e valores a comparação entre os potenciais fotovoltaico do estado do Paraná e a Europa.

Figura 16. Comparação entre o mapa fotovoltaico do Paraná com a Europa.



Fonte: Tiepolo (2015).

O Paraná apresenta grande potencial fotovoltaico, porém ainda pouco explorado. Países com menor potencial possuem grande capacidade instalada como Espanha (5,5 GW), França (7,1 GW), Reino Unido (11,5 GW), Itália (18,9 GW) e Alemanha (41,1 GW)(EPIA, 2017).

A Tabela 2 apresenta a comparação entre o Paraná e os 33 países da Europa dos valores de irradiação total e de produtividade gerada estimada anual no plano

inclinado para uma taxa de desempenho dos sistemas em 75%. O Paraná apresenta índices piores apenas em relação a Chipre (-10,42%), Malta (-7,86%) e Portugal (-0,52%) e índices muito bons em relação a Alemanha (+58,75%), Reino Unido (+72,19%).

Tabela 2. Valores de Irradiação total (H_{TOT}) e de produtividade gerada estimada total anual no plano inclinado nos países da Europa e no estado do Paraná.

Estado	Valor de Irradiação Total (H_{TOT}) Anual no Plano Inclinado (kWh/m ² .ano)			Valor de Produtividade Total Anual no Plano Inclinado (kWh/kWp.ano)			Diferença percentual da Média obtida no Paraná em relação à Média obtida do país europeu
	Total Anual MÍNIMO	Total Anual MÁXIMO	Total Anual MÉDIA	Total Anual MÍNIMO	Total Anual MÁXIMO	Total Anual MÉDIA	
Chipre	1998	2345	2217	1.498	1.759	1.663	-10,42%
Malta	2000	2210	2155	1.500	1.657	1.617	-7,86%
Portugal	1653	2250	1996	1.240	1.687	1.497	-0,52%
Espanha	1283	2288	1948	963	1.716	1.461	1,97%
Grécia	1379	2325	1897	1.034	1.744	1.423	4,71%
Turquia	1181	2306	1873	886	1.729	1.405	6,05%
Itália	927	2219	1750	695	1.664	1.313	13,48%
Macedônia	1291	1880	1696	968	1.410	1.272	17,08%
Bulgária	1322	1866	1631	992	1.399	1.223	21,79%
Croácia	1312	1943	1570	984	1.457	1.178	26,47%
Montenegro	1258	1925	1563	943	1.444	1.172	27,05%
Sérvia	1190	1925	1531	892	1.444	1.148	29,70%
França	1150	2050	1513	862	1.537	1.135	31,28%
Romênia	1112	1738	1496	834	1.303	1.122	32,77%
Hungria	1335	1568	1490	1.001	1.176	1.117	33,33%
Eslovênia	942	1694	1444	706	1.271	1.083	37,54%
Eslováquia	1039	1503	1333	779	1.127	1.000	48,95%
Áustria	926	1712	1325	694	1.284	994	49,87%
Rep. Tcheca	1068	1401	1256	801	1.051	942	58,13%
Polônia	1044	1323	1252	783	993	939	58,58%
Alemanha	991	1454	1251	743	1.090	938	58,75%
Luxemburgo	1182	1298	1243	886	973	932	59,80%
Holanda	1151	1367	1242	863	1.025	931	59,92%
Bélgica	1147	1348	1238	860	1.011	928	60,46%
Dinamarca	1098	1402	1211	823	1.051	908	64,00%
Lituânia	1101	1315	1183	826	987	887	67,94%
Letônia	1133	1295	1175	849	971	881	69,00%
Irlanda	945	1413	1174	709	1.060	880	69,20%
Reino Unido	816	1494	1153	612	1.120	865	72,19%
Estônia	1132	1195	1151	849	896	864	72,48%
Suécia	636	1362	1084	477	1.022	813	83,16%
Finlândia	838	1189	1054	629	892	790	88,51%
Islândia	645	1099	949	484	825	712	109,18%
Paraná	1.651	2.119	1.986	1.238	1.589	1.490	

Fonte: Tiepolo (2015).

2.8 MESORREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ

As unidades Federativas brasileiras, os estados, não se desenvolvem economicamente e socialmente de maneira uniforme e para haver um melhor refinamento das informações geográficas da região, o instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE) divide os estados brasileiros em sub-regiões denominadas mesorregiões e microrregiões (IBGE, 2017).

Segundo o IBGE a definição de mesorregião é:

Entende-se por mesorregião uma área individualizada em uma unidade da Federação que apresenta formas de organização do espaço geográfico definidas pelas seguintes dimensões: o processo social como determinante o quadro natural como condicionante a rede de comunicação e de lugares como elemento de articulação espacial. (IBGE, 1990, p.7)

As microrregiões são subdivisões das mesorregiões, porém não possuem características delimitadas como as mesorregiões. As mesorregiões representam uma categoria intermediária entre os estados e as microrregiões, possuem influência econômica e social em todo seu entorno. Normalmente existe uma ou mais capitais regionais, cidades que destacam-se com maior economia e desenvolvimento social da mesorregião (IBGE, 2017).

O estado do Paraná é dividido em dez mesorregiões: Noroeste paranaense, Centro ocidental paranaense, Norte central paranaense, Norte pioneiro paranaense, Centro oriental paranaense, Oeste paranaense, Sudoeste paranaense, Centro-Sul paranaense, Sudeste paranaense e Metropolitana de Curitiba (IBGE, 1990). A Figura 17 apresenta a disposição das mesorregiões. Os destaques de capitais regionais são: Paranavaí, Campo Mourão, Maringá, Londrina, Ibaiti, Ponta Grossa, Foz do Iguaçu, Cascavel, Francisco Beltrão, Guarapuava e Curitiba (IBGE, 1990).

Figura 17. Mesorregiões do estado do Paraná.



Fonte: ITGC, 2010.

As mesorregiões além de serem distintas economicamente e socialmente, possuem diferenças de localização e diferenças climáticas, variando regimes de chuva, velocidade do vento, altitude e temperatura, fatores que influenciam diretamente na operação de um sistema fotovoltaico. As variações climáticas influenciam na capacidade de geração e nas perdas associadas a um sistema fotovoltaico, por exemplo, quanto maior a temperatura menor será a tensão elétrica nos terminais do painel (PINHO; GALDINO, 2014), os ventos também influenciam no desempenho do sistema fotovoltaico, aumentando a dissipação térmica do painel e reduzindo sua temperatura de operação. A localização geográfica juntamente com a altitude de um município pode definir o regime de chuvas, que afetam tanto os níveis de irradiação incidente sobre o painel como os níveis de sujidade do painel, uma vez que a água da chuva limpa a sujeira dos painéis (PINHO; GALDINO, 2014).

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA – SIMULAÇÕES

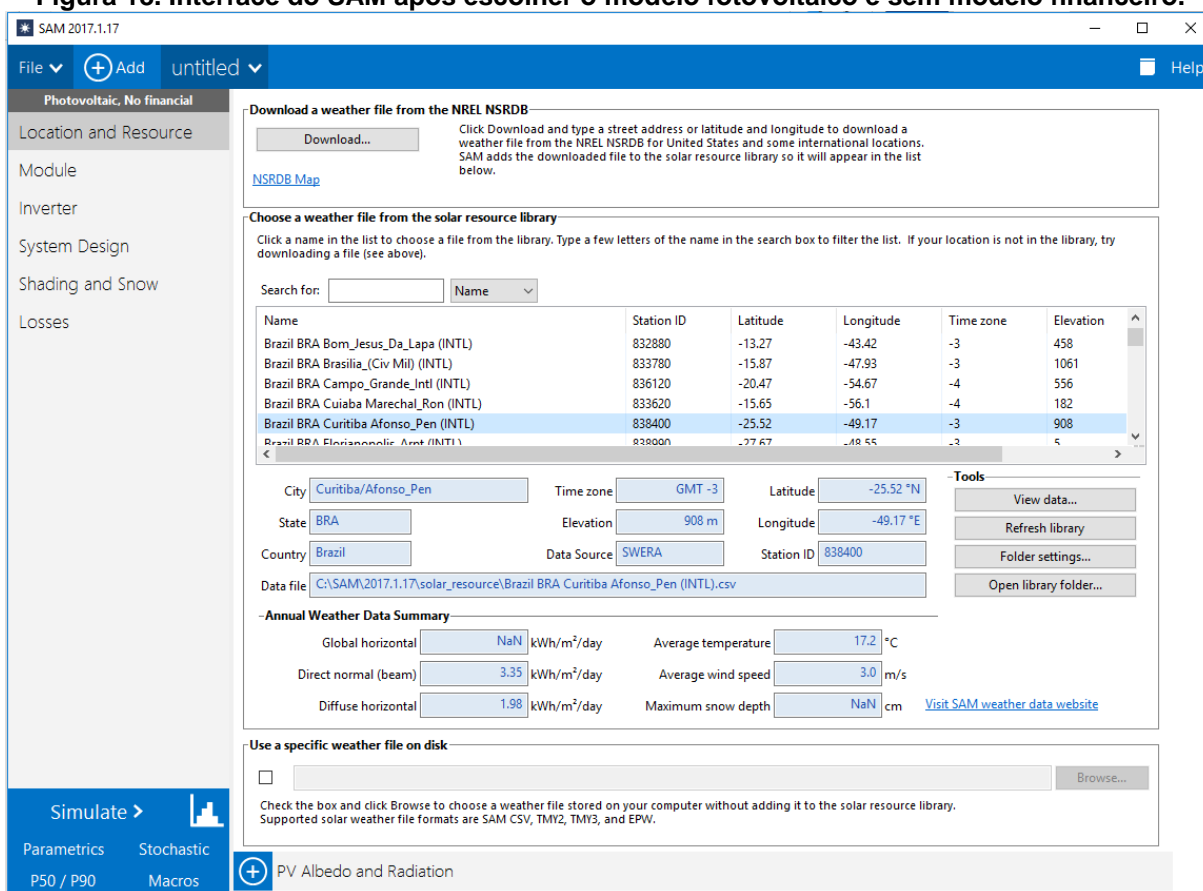
As simulações deste trabalho foram baseadas na recriação do processo descrito em um artigo apresentado no VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (CEBENS) pelo Dr. Fabiano Perin Gasparin e Dr. Arno Krenzinger, da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Rio Grande do Sul respectivamente. O artigo analisa o desempenho, sob forma de energia gerada anual, de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel, considerando a taxa de desempenho como parâmetro de entrada (GASPARIN, 2016).

Neste trabalho, ao invés de fornecer a taxa de desempenho (PR), serão informados os parâmetros de perdas ao *software*, no qual a taxa de desempenho será o dado de saída desta simulação. Todas as cidades escolhidas são pertencentes ao estado do Paraná e com dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.1 SYSTEM ADVISOR MODEL – SAM

O *software* escolhido para a simulação foi o System Advisor Model (SAM) na versão 2017.1.17, desenvolvido pelo laboratório estadunidense NREL – National Renewable Energy Laboratory. O SAM é um *software* de modelagem de desempenho e modelagem financeira de energias renováveis, contemplando energia solar fotovoltaica, solar térmica, geotérmica, biomassa e eólica em sua biblioteca interna. Para as simulações foi escolhido o modelo de simulação fotovoltaica sem modelo financeiro. A Figura 18 mostra a interface do SAM após a escolha do modelo de simulação com seis abas para preenchimento dos parâmetros, sendo estes: locação, módulos, inversores, configuração do sistema, sombreamento, neve e perdas

Figura 18. Interface do SAM após escolher o modelo fotovoltaico e sem modelo financeiro.



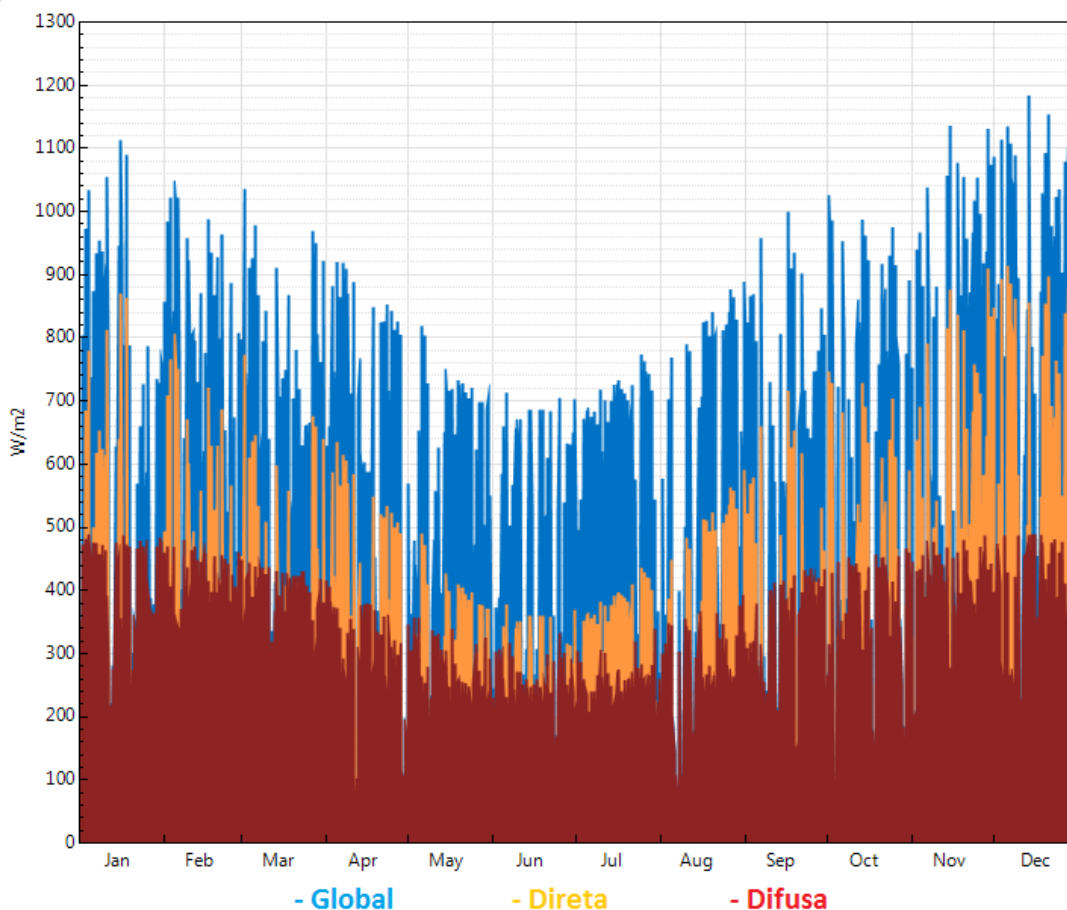
Fonte: Autoria própria.

O SAM utiliza banco de dados climatológicos no formato TMY3, que fornece latitude, longitude, altitude de cada localidade, dados horários acumulados de vários anos, irradiação global horizontal, irradiação direta, irradiação difusa, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento, direção do vento e irradiação de albedo.

Outros formatos de dados climatológicos são aceitos, como TMY2, SRW, CSV e EPW, todos semelhantes ao TMY3 variando a sua organização e separação dentro do arquivo. Para cidades paranaenses apenas Curitiba possui dados já nativos dentro do SAM, tornando necessário a inserção de dados externos ao *software*. O INMET fornece os dados das estações automática no formato EPW, compatível com TMY3, das cidades de Castro, Cidade Gaúcha, Clevelândia, Diamante do Norte, Dois Vizinhos, Foz do Iguaçu – Cataratas, General Carneiro, Ibaiti, Icaraíma, Paranaguá – Ilha do Mel, Inácio Martins, Ivaí, Joaquim Távora, Londrina, Marechal Candido Rondon, Maringá, Nova Fátima, Paranapoema e Planalto. Estas cidades contemplam

Através da base de dados EPW o SAM é capaz de exibir os dados de forma gráfica conforme a Figura 21, os dados horários são exibidos no período de um ano para o município de Curitiba, nota-se um menor nível de irradiação nos meses de inverno e maiores níveis durante o verão.

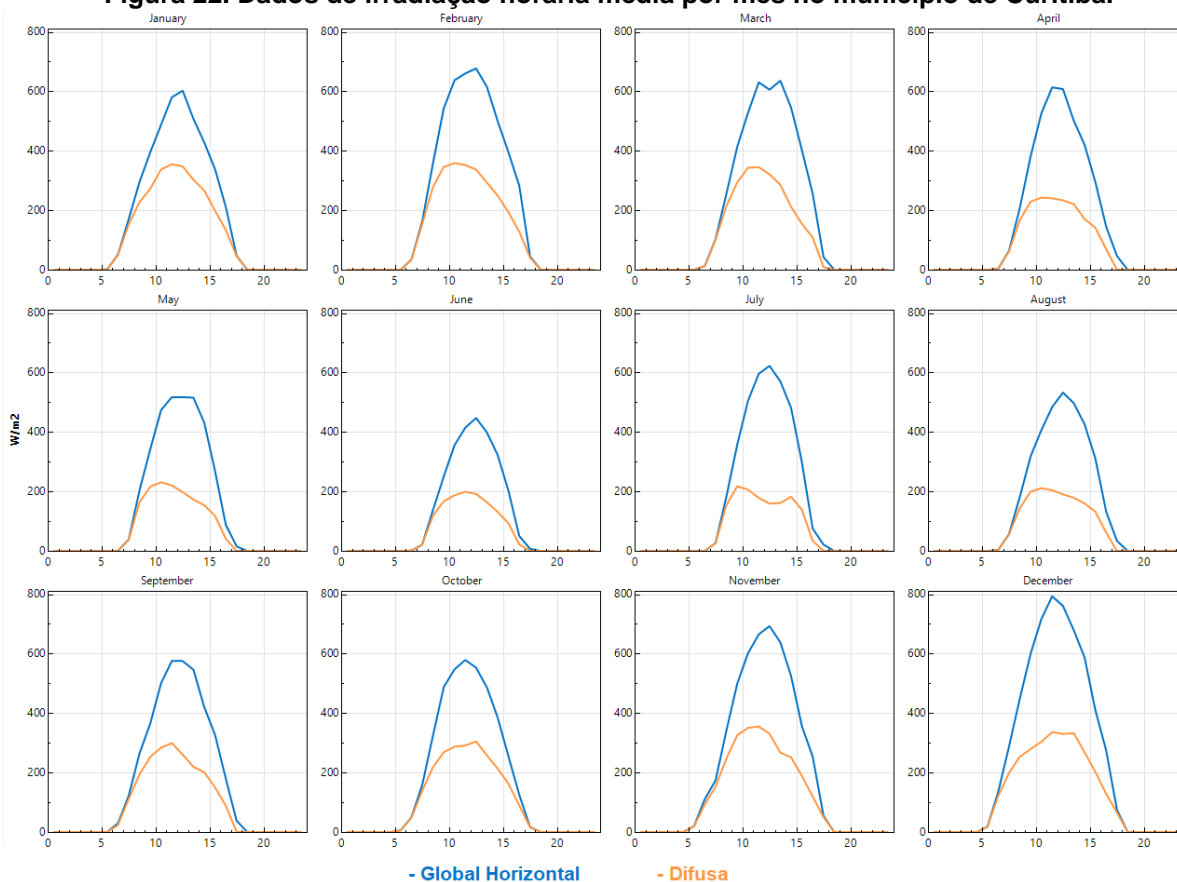
Figura 21. Níveis de irradiação horária ao longo de um ano no município de Curitiba.



Fonte: Autoria própria.

O *software* SAM também é capaz de separar estes dados e apresentar na forma gráfica uma curva de irradiação horária média para cada mês do ano. A Figura 22, apresenta os dados do município de Curitiba dispostos em caixas divididas em 24 horas, assim é possível detalhar os níveis de irradiação global e difusa média ao longo do dia em cada mês.

Figura 22. Dados de irradiação horária média por mês no município de Curitiba.

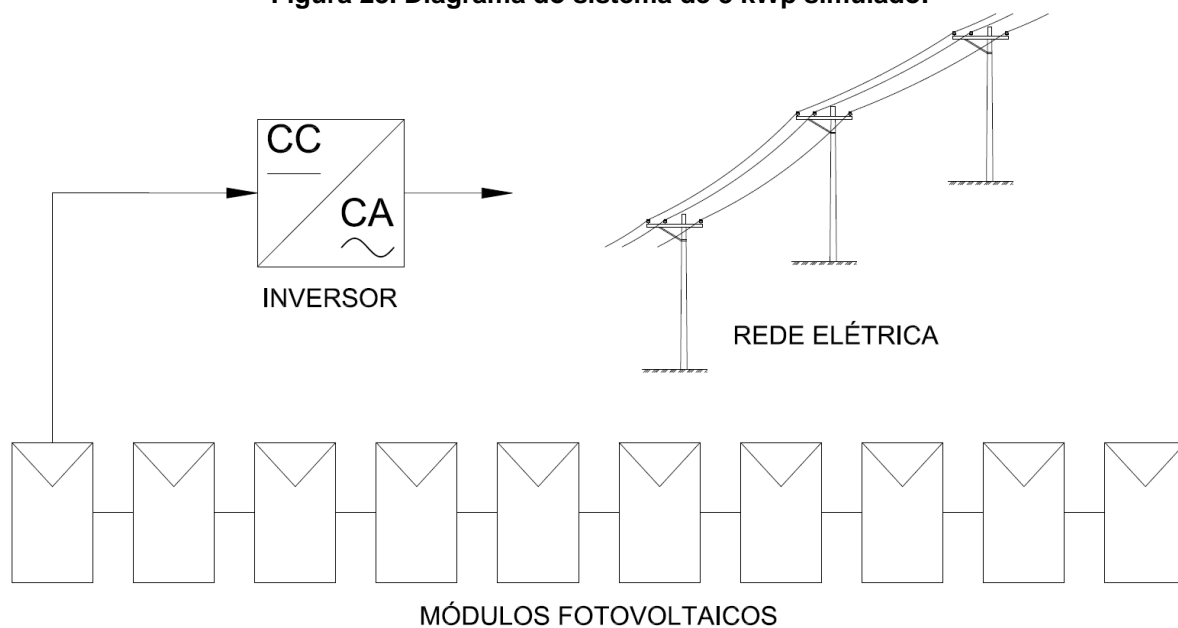


Fonte: Autoria própria.

3.2 PARÂMETROS DO SISTEMA

Foi escolhido para simulação um sistema conectado à rede com um arranjo de 10 módulos de silício multicristalino de 300 W_p em série conectados a um inversor 3 kW conforme mostrado na Figura 23. Esta configuração é a mesma que a utilizada em um sistema real em operação na cidade de Curitiba (arranjo, módulos e inversor) (TONIN, 2017), cujos os dados reais de desempenho serão utilizados para a validação dos resultados obtidos da simulação.

Figura 23. Diagrama do sistema de 3 kWp simulado.



Fonte: Autoria própria.

3.2.1 Módulo escolhido

O SAM permite que módulos e inversores não cadastrados possam ser importados a partir dos dados fornecidos pelo fabricante. Desta forma, os dados técnicos do módulo, inversor e de perdas associadas foram obtidos pelos *datasheets* fornecidos pelos fabricantes. O módulo fotovoltaico escolhido foi o modelo ELCO A300P considerando a montagem em rack e com especificações apresentadas na Tabela 3.

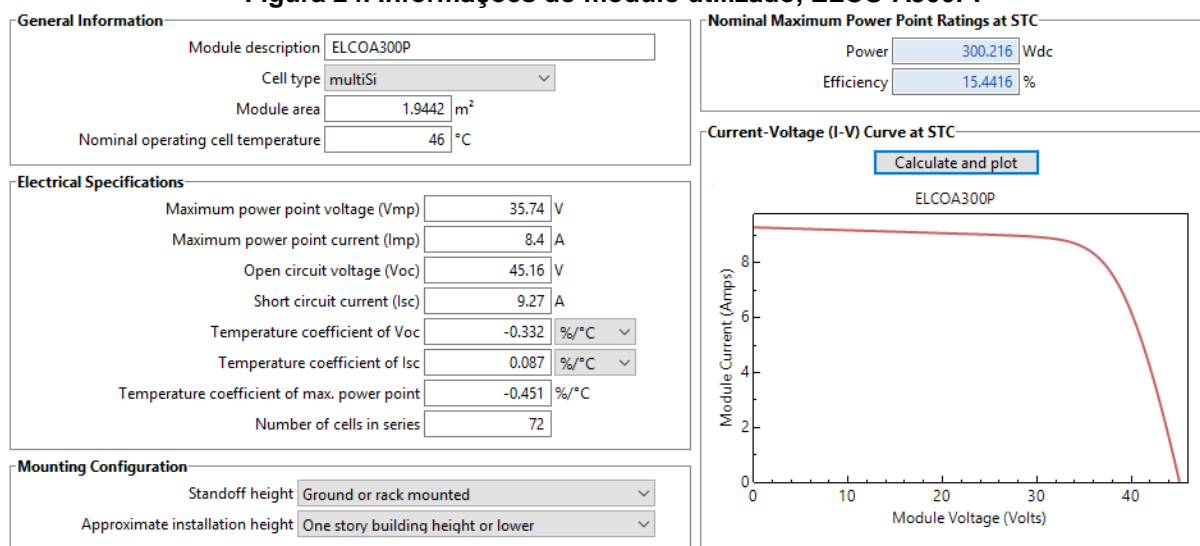
Tabela 3. Especificações do fabricante - Módulo Elco A300P.

ELCO A300P	
Tipo de célula	Silício Multicristalino (m-Si)
Área do módulo	1,9442 m ²
Temperatura normal de operação	46 °C
Tensão de máxima potência (V_{mp})	35,74 V
Corrente de máxima potência (I_{mp})	8,4 A
Tensão de circuito aberto (V_{oc})	45,16 V
Corrente de curto circuito (I_{sc})	9,27 A
Coeficiente de temperatura V_{oc}	-0,332%/°C
Coeficiente de temperatura I_{sc}	0,087%/°C
Coeficiente de temperatura P_m	-0,451%/°C
Número de células em série	72

Fonte: ELCO.

A curva característica corrente-tensão (I-V) do módulo pode ser calculada pelo SAM após serem informados os parâmetros elétricos conforme a Figura 24. A eficiência calculada foi de 15,4416% a partir dos parâmetros elétricos, enquanto a informada pelo fabricante no *datasheet* é de 15,4%

Figura 24. Informações do módulo utilizado, ELCOA 300P.



Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Inversor escolhido

O inversor escolhido para o sistema simulado foi o modelo SE-TL3KA da *Solar Energy* e os dados de *datasheet* solicitados pelo SAM para cadastrar um novo inversor são descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Especificações do fabricante - Inversor Solar Energy SE-TL3KA.

SE-TL3KA	
Máxima potência de saída AC	3400 W _{AC}
Eficiência do fabricante	97,6%
Tensão nominal AC	220 V _{AC}
Tensão máxima DC	580 V _{DC}
Corrente Máxima DC	15 A _{DC}
Tensão de MPPT mínima	125 V _{DC}
Tensão nominal DC	360 V _{DC}
Tensão de MPPT máxima	500 V _{DC}
Potência consumida durante a operação	6 W _{DC}
Potência consumida durante a noite	0,1 W _{AC}

Fonte: Solar Energy.

3.2.3 Design do sistema

Utilizando os módulos Elco A300P e o inversor *Solar Energy* SE-TL3KA na configuração de dez módulos em série com um inversor, conforme a Figura 23, obtém-se um sistema de 3000 kW_{DC} em uma área de 19,4 m² com tensão de circuito aberto V_{oc} de 451,6 V e tensão de máxima potência de 357,4 V. O modelo de Albedo considerado foi o modelo Perez com valores fixos em 0,2.

3.2.4 Perdas associadas

O sistema pode ter os valores de perdas editados individualmente, permitindo um controle sobre o que deve ser considerado para simulações. Neste trabalho serão desprezadas as perdas por acúmulo de neve nos módulos, uma vez que o Paraná não apresenta um histórico significativo de ocorrências de neve, e será considerado que o sistema nunca permanecerá sombreado, portanto serão desconsideradas as perdas por sombreamento.

Os valores de perdas associadas afetam diretamente a taxa de desempenho do sistema, quanto maior as perdas, menor será a taxa de desempenho alcançada. Os valores considerados estão representados em porcentagem na Tabela 5.

Tabela 5. Perdas percentuais associadas ao sistema simulado.

Perdas (%)	
Sombreamento	-
Sujidade	2,00
Descasamento – <i>Mismatch</i>	1,5
Diodos e Conexões	0,50
Na fiação DC	1,5
Total de perdas DC	3,463
Na fiação AC	1,00

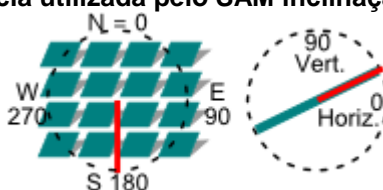
Fonte: Autoria própria.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para as simulações foi utilizada a ferramenta simulação paramétrica do SAM, que permite realizar simulações variando parâmetros de entrada do sistema em intervalos estabelecidos pelo usuário. Será variada a localidade do sistema, simulando a instalação em outras cidades do estado, conforme a lista de todas as cidades do Paraná com dados disponibilizados pelo INMET do item 3.1. A inclinação do módulo será alterada durante a simulação, em uma faixa de 0° até 90° com passo menor até 45° para melhor refinamento dos dados. O desvio azimutal será variado de 0° até 350° com refinamento entre 270° (Oeste) e 90° (Leste), com passos maiores em sua orientação Sul por obter pior desempenho nessa região.

Os desvios na inclinação e na orientação seguem as referências do SAM conforme a Figura 25, onde o Norte equivale a um desvio de 0° e o desvio sul equivale a 180° juntamente com a inclinação totalmente horizontal considerada 0° e vertical de 90°. Todas as combinações de resultados foram realizadas, ou seja, todas as 20 cidades foram simuladas com todas as inclinações e todas as inclinações foram simuladas com todas as orientações.

Figura 25. Referência utilizada pelo SAM inclinação e orientação.



Fonte: Autoria própria.

Os intervalos de variação de orientação foram estipulados como 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 70°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 290°, 310°, 320°, 330°, 340° e 350°. Os intervalos de variação de inclinação foram de 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° e 90°. A Tabela 6 contém os dados climatológicos e geográficos de cada cidade, como também delimita as mesorregiões de cada município do estado.

Tabela 6. Dados das cidades simuladas.

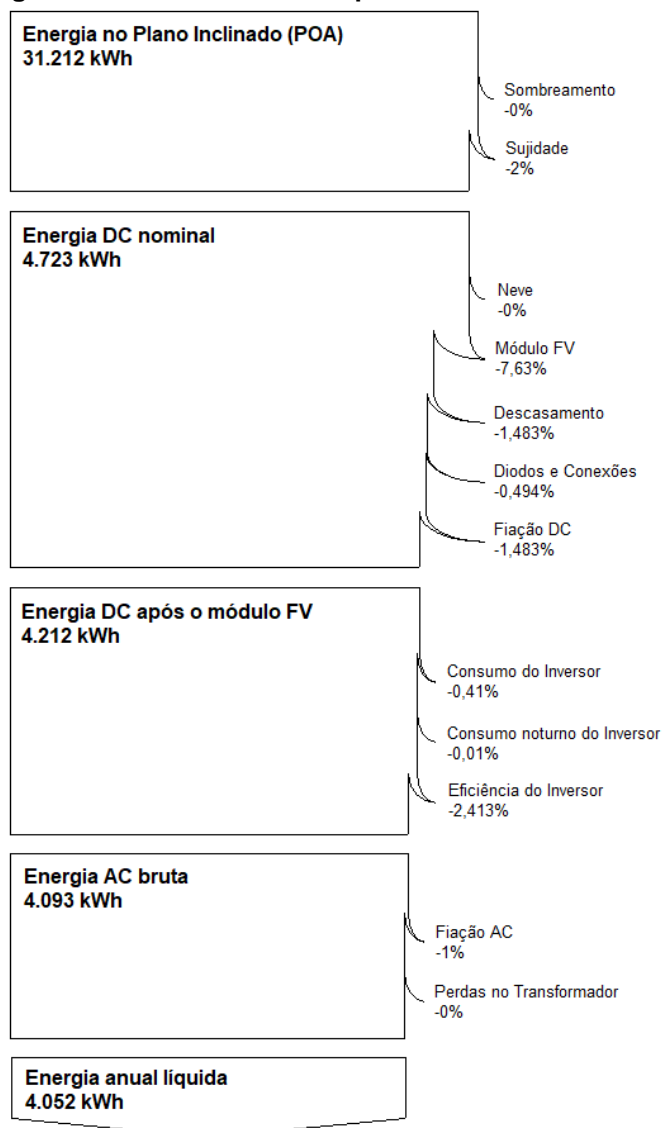
Cidade	Mesorregião	Localização	Altitude (m)	Temp. Média (°C)	Vel. vento média (m/s)	Irradiação Global Horizontal (kWh/m ² /dia)	Irradiação no plano inclinado (kWh/m ² /dia)	Irradiação difusa (kWh/m ² /dia)
Curitiba	Metropolitana de Curitiba	25,43 °S 49,27 °O	924	17,40	2,20	4,08	4,55	2,12
Castro	Centro Oriental	24,79 °S 50,01 °O	1008	16,90	1,80	4,27	4,58	2,11
Cidade Gaúcha	Noroeste	23,36 °S 52,93 °O	381	22,80	2,00	4,84	5,15	2,20
Clevelândia	Centro Sul	26,42 °S 52,35 °O	980	17,60	2,90	4,59	4,96	2,12
Diamante do Norte	Noroeste	22,64 °S 52,89 °O	362	22,80	3,00	5,19	5,52	2,17
Dois Vizinhos	Sudoeste	25,69 °S 53,09 °O	520	20,00	2,80	4,92	5,25	2,12
Foz do Iguaçu Cataratas	Oeste	25,60 °S 54,48 °O	231	21,50	2,70	4,43	4,74	2,09
General Carneiro	Sudeste	26,40 °S 51,35 °O	1018	15,80	1,40	3,82	4,07	1,97
Ibaiti	Norte Pioneiro	23,77 °S 50,18 °O	930	20,20	2,50	4,74	5,07	2,17
Icaraíma	Noroeste	23,40 °S 53,61 °O	385	22,40	3,10	4,93	5,28	2,06
Ilha do Mel	Metropolitana de Curitiba	25,57 °S -48,32 °O	1	21,10	2,70	4,05	4,34	2,00
Inácio Martins	Centro Sul	25,57 °S 51,08 °O	1260	16,30	2,70	4,29	4,62	2,07
Ivaí	Sudeste	25,01 °S 50,86 °O	808	19,10	1,80	4,45	4,79	2,15
Joaquim Távora	Norte Pioneiro	23,50 °S -49,90 °O	522	20,50	2,80	4,87	5,19	2,20
Londrina	Norte Central	23,38 °S 51,18 °O	566	21,80	2,30	4,12	4,38	2,32
Marechal Candido Rondon	Oeste	24,56 °S 54,06 °O	392	21,40	3,40	4,86	5,18	2,16
Maringá	Norte Central	23,42 °S 51,94 °O	542	23,00	2,20	4,96	5,38	2,22
Nova Fátima	Norte Pioneiro	23,43 °S 50,56 °O	668	20,80	3,10	5,06	5,46	2,16
Paranapoema	Noroeste	22,49 °S 52,13 °O	311	22,90	3,00	5,10	5,43	2,2
Planalto	Sudoeste	25,72 °S 53,75 °O	346	21,30	2,90	4,77	5,09	2,12

Fonte: Autoria própria.

Ao todo foram realizadas 252 simulações para cada cidade, totalizando 5040 simulações, que após serem processadas, seus resultados foram exportados para o Microsoft Excel para a parametrização dos resultados e a criação do mapa de calor de cada cidade.

O sistema apresentou as perdas condizentes com as esperadas conforme a Tabela 5, e pode ser confirmada para a simulação da cidade de Curitiba, com orientação 2° Oeste e inclinação de 22°, conforme a Figura 26.

Figura 26. Perdas simuladas para a cidade de Curitiba.



Fonte: Autoria própria

Como resultado das simulações desenvolvidas, os dados da taxa de desempenho e os valores de geração de energia elétrica para cada um dos 21 municípios estudados nesta pesquisa foram apresentados em forma de mapas de calor. O mapa de calor exibe os melhores dados em verde e os piores em vermelho, utilizando como ponto médio, em escala amarela, um percentil de 50%.

Os dados normalizados em relação ao valor máximo de cada município são apresentados no APÊNDICE A.

4.1 MESOREGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

4.1.1 Curitiba

Para o município de Curitiba, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,843985 e a máxima geração de energia anual foi de 4075,57 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,81326 e a mínima geração de energia anual foi de 1104,52 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 27 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 28.

Figura 27. Taxa de desempenho para Curitiba.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838
	5	0,839	0,839	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839
	10	0,838	0,839	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,839	0,838
	15	0,836	0,839	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,841	0,841	0,840	0,840	0,840	0,840	0,839	0,839	0,837
	20	0,833	0,838	0,842	0,843	0,843	0,843	0,843	0,842	0,842	0,841	0,841	0,840	0,840	0,840	0,840	0,839	0,838	0,835
	25	0,830	0,836	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,842	0,842	0,841	0,840	0,840	0,840	0,839	0,839	0,838	0,837
	30	0,826	0,834	0,843	0,844	0,844	0,843	0,843	0,843	0,842	0,841	0,840	0,840	0,840	0,839	0,838	0,838	0,837	0,831
	35	0,823	0,833	0,843	0,844	0,844	0,844	0,843	0,843	0,842	0,841	0,840	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,837	0,830
	40	0,824	0,831	0,843	0,844	0,844	0,844	0,844	0,843	0,842	0,841	0,840	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,837	0,829
	50	0,825	0,829	0,843	0,844	0,844	0,844	0,844	0,843	0,842	0,841	0,839	0,840	0,839	0,839	0,838	0,838	0,837	0,828
	60	0,823	0,827	0,843	0,843	0,844	0,844	0,843	0,843	0,842	0,840	0,839	0,838	0,839	0,838	0,838	0,838	0,837	0,828
70	0,816	0,826	0,841	0,843	0,843	0,842	0,842	0,841	0,839	0,837	0,836	0,836	0,837	0,837	0,837	0,837	0,836	0,828	
80	0,813	0,825	0,840	0,841	0,840	0,840	0,839	0,837	0,834	0,831	0,830	0,831	0,833	0,834	0,835	0,835	0,833	0,828	
90	0,823	0,822	0,837	0,838	0,836	0,835	0,833	0,831	0,829	0,828	0,825	0,825	0,827	0,829	0,831	0,833	0,833	0,826	

Fonte: Autoria própria.

Figura 28. Energia anual em kWh de Curitiba.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	3751,5	
	5	3641,4	3689,4	3775,2	3811,7	3840,8	3851,4	3859	3863,3	3864,3	3861,9	3856,2	3847,5	3836,1	3822,2	3806,4	3770,7	3732,7	3660,7
	10	3507,5	3603,7	3776,8	3849,6	3907,2	3928,1	3942,8	3951,1	3952,7	3947,5	3936	3918,6	3896,1	3869,3	3839	3769,7	3694,9	3550,2
	15	3351,2	3496,4	3757	3865,4	3950,6	3981,5	4003,2	4015,2	4017,2	4009,2	3991,8	3965,8	3932,7	3894,2	3849,9	3747,6	3637,4	3421,4
	20	3174,3	3370,6	3717,3	3859,8	3971,6	4012,2	4040,4	4055,8	4058,1	4047,3	4023,9	3989,6	3946,9	3896,9	3838,7	3705,4	3563	3276,5
	25	2980	3228,8	3659,8	3833,2	3970,1	4019,5	4054,6	4073,4	4075,6	4061,9	4032,8	3990,5	3938,9	3877,6	3806,4	3646,4	3474,5	3120,1
	30	2773,5	3075,2	3586,6	3787,9	3947,2	4004,7	4045,4	4067,8	4070	4053,2	4018,6	3968,9	3909	3837,1	3754,6	3573,2	3374,6	2956,2
	35	2563,2	2913	3498,3	3725,3	3903,4	3968,5	4014	4038,9	4041,4	4021,4	3981,5	3925,1	3857,5	3776,7	3686,5	3486,4	3267,5	2789
	40	2362,9	2747,2	3398,4	3646,5	3838,7	3910,7	3960,6	3987,3	3989,7	3966,8	3921,7	3859,6	3785,5	3698,8	3603,4	3386,3	3152,3	2622,1
	50	2021,1	2418	3168,8	3443	3656,8	3734,6	3789,2	3818,3	3818,2	3789,8	3735,8	3666,3	3585,1	3491,8	3388,6	3158,6	2902,1	2302
	60	1723,2	2112,9	2910,8	3196,2	3409,1	3485,1	3539,3	3564,2	3559,7	3524,5	3465,9	3395	3313,8	3221,9	3118,5	2890,3	2636,1	2012,1
70	1458,1	1844,3	2632,9	2906,5	3106,1	3174,6	3219,2	3234,6	3220,1	3178,5	3119,7	3054	2981	2898,8	2807,6	2602,4	2361,3	1759,8	
80	1240,8	1614	2348,6	2597,2	2764,5	2816,5	2844,7	2844,7	2815,8	2767,6	2712,2	2658,7	2602,4	2538,1	2466,8	2296,4	2086,8	1546,4	
90	1104,5	1421,6	2061,6	2274,2	2401,4	2431,3	2439,3	2422,7	2382,5	2331,4	2279,5	2237,7	2201,5	2161	2114,7	1992,3	1821,6	1367,9	

Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Paranaguá – Ilha do Mel

Para a localidade de Ilha do Mel, pertencente ao município de Paranaguá, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,838643 e a máxima geração de energia anual foi de 4007,08 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 20° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,803111 e a mínima geração de energia anual foi de 1061,81 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 29 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 30.

Figura 29. Taxa de desempenho para Paranaguá - Ilha do Mel.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835
	5	0,835	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836
	10	0,835	0,836	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836
	15	0,834	0,835	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,837	0,837	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,835	0,835	0,834
	20	0,831	0,834	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,837	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,835	0,834	0,833	0,832
	25	0,828	0,833	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,836	0,836	0,836	0,836	0,835	0,834	0,833	0,832	0,830
	30	0,824	0,832	0,838	0,839	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,836	0,836	0,835	0,835	0,834	0,834	0,833	0,832	0,827
	35	0,822	0,830	0,838	0,839	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,836	0,835	0,835	0,835	0,834	0,834	0,832	0,831	0,825
	40	0,823	0,829	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,836	0,835	0,835	0,835	0,834	0,833	0,831	0,830	0,824
	50	0,822	0,825	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,835	0,834	0,834	0,834	0,833	0,832	0,830	0,829	0,822
	60	0,815	0,823	0,837	0,838	0,838	0,838	0,837	0,837	0,835	0,833	0,833	0,832	0,833	0,831	0,831	0,829	0,828	0,821
70	0,807	0,820	0,835	0,837	0,836	0,836	0,835	0,834	0,831	0,829	0,828	0,829	0,830	0,829	0,829	0,828	0,828	0,821	
80	0,803	0,817	0,833	0,834	0,833	0,832	0,831	0,828	0,824	0,822	0,822	0,823	0,825	0,826	0,826	0,827	0,826	0,820	
90	0,815	0,813	0,827	0,829	0,828	0,826	0,823	0,820	0,819	0,818	0,817	0,817	0,819	0,821	0,823	0,825	0,825	0,819	

Fonte: Autoria própria.

Figura 30. Energia anual em kWh de Paranaguá – Ilha do Mel.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	3709,3	
	5	3605,8	3657,6	3740,3	3773,7	3799,1	3807,8	3813,4	3815,9	3815,1	3811,1	3804,1	3794,3	3782,1	3767,8	3751,8	3716,6	3680,4	3616,3
	10	3478,5	3582,7	3749,3	3815,7	3865,9	3882,9	3893,9	3898,6	3896,8	3888,6	3874,5	3854,9	3830,7	3802,8	3771,9	3703	3631,6	3503
	15	3329,1	3486,9	3737,3	3835,7	3909,7	3934,9	3951,1	3957,8	3954,9	3942,5	3921,2	3891,9	3856,3	3815,7	3769,8	3667,9	3563	3371,2
	20	3159,6	3372,2	3705,9	3835	3931,2	3964,2	3985,3	3993,9	3989,8	3973,2	3944,7	3906	3859,7	3806,3	3745,9	3613,4	3477,6	3223,3
	25	2972,6	3241,3	3656,6	3813,9	3930,9	3970,6	3996,7	4007,1	4001,6	3980,8	3945,4	3897,6	3841	3775,2	3701,4	3542,5	3378	3063,7
	30	2772,8	3097,7	3591,7	3774,1	3910,1	3955,3	3985,2	3997,5	3990,7	3965,5	3923,3	3867	3800,7	3723,5	3638,3	3457,4	3267,6	2895,9
	35	2568,3	2944,4	3511,7	3716,9	3868,7	3919,3	3951,7	3965	3957	3927,5	3878,8	3814,7	3739,4	3652,9	3560,1	3359,9	3150,6	2724,6
	40	2371,8	2785,4	3418,4	3643,7	3806,5	3862,4	3897	3910,1	3900,6	3867	3812,2	3741	3658,6	3565,9	3467,5	3250	3025,5	2552,7
	50	2027,4	2462,1	3198,8	3448,9	3628,6	3687,8	3723,7	3735,9	3720,7	3679,3	3613,8	3533,9	3443,4	3343,5	3236,1	3007,1	2762,8	2224
	60	1711,2	2151,6	2942,1	3205,8	3384,1	3439,4	3471,8	3477,3	3455,2	3405	3334,2	3252,2	3162	3063,5	2957	2731,4	2492,6	1930,5
70	1427,2	1869,8	2660,7	2916,1	3081,5	3128,4	3149,2	3143	3109,3	3051,9	2981,6	2906,6	2825,3	2738,5	2645,2	2447,2	2225,5	1681,7	
80	1198,9	1624,2	2365,4	2600,3	2737,5	2767,6	2771,1	2747,9	2699,3	2637,5	2574	2514,5	2452,7	2385,5	2314,6	2154,6	1965,8	1477	
90	1061,8	1416,4	2064	2266,9	2369	2378,8	2362,7	2322,6	2265,4	2206,2	2151,3	2108	2068,6	2027	1982,3	1872,3	1723,4	1309	

Fonte: Autoria própria.

4.2 MESOREGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE

4.2.1 Castro

Para o município de Castro, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,839662 e a máxima geração de energia anual foi de 4223,75 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 20° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,808466 e a mínima geração de energia anual foi de 1116,14 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 31 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 32.

Figura 31. Taxa de desempenho para Castro.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação (°)	0	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	
	5	0,833	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834
	10	0,833	0,834	0,836	0,836	0,836	0,835	0,835	0,835	0,835	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834
	15	0,832	0,834	0,836	0,837	0,837	0,836	0,836	0,836	0,836	0,835	0,835	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,833	0,833
	20	0,830	0,833	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,836	0,836	0,835	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,833	0,832	0,831	0,831
	25	0,827	0,832	0,837	0,838	0,838	0,838	0,837	0,837	0,836	0,835	0,834	0,833	0,834	0,834	0,833	0,832	0,831	0,829	0,829
	30	0,823	0,831	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,836	0,835	0,834	0,833	0,834	0,833	0,832	0,832	0,831	0,827	0,827
	35	0,821	0,829	0,838	0,838	0,838	0,839	0,838	0,838	0,837	0,835	0,834	0,833	0,834	0,833	0,833	0,832	0,831	0,826	0,826
	40	0,821	0,828	0,838	0,838	0,839	0,839	0,839	0,838	0,837	0,836	0,834	0,833	0,834	0,833	0,833	0,831	0,831	0,824	0,824
	50	0,821	0,825	0,838	0,839	0,839	0,839	0,840	0,839	0,838	0,836	0,834	0,834	0,834	0,833	0,833	0,832	0,831	0,823	0,823
	60	0,819	0,824	0,838	0,838	0,839	0,840	0,839	0,839	0,837	0,835	0,833	0,833	0,834	0,833	0,833	0,832	0,831	0,824	0,824
70	0,812	0,823	0,837	0,839	0,839	0,839	0,838	0,837	0,834	0,831	0,830	0,831	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,825	0,825	
80	0,808	0,822	0,837	0,837	0,837	0,836	0,835	0,832	0,829	0,826	0,825	0,826	0,828	0,830	0,831	0,831	0,830	0,826	0,826	
90	0,822	0,819	0,834	0,835	0,833	0,832	0,829	0,826	0,825	0,823	0,820	0,820	0,823	0,825	0,827	0,829	0,830	0,824	0,824	

Fonte: Autoria própria.

Figura 32. Energia anual em kWh para Castro.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação (°)	0	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	3899,9	
	5	3792,7	3849,3	3937,1	3971,9	3997,8	4006,5	4011,8	4013,8	4012,3	4007,5	3999,4	3988,5	3975,1	3959,6	3942,6	3905,6	3868,1	3802,2	3802,2
	10	3661,3	3774	3950,8	4020,3	4071,8	4088,9	4099,3	4102,9	4099,6	4089,6	4073,3	4051,5	4025	3995	3962,5	3891,6	3818,1	3685,3	3685,3
	15	3506,7	3675,7	3941,6	4045	4121,4	4146,8	4162,3	4167,5	4162,4	4147,1	4122,5	4089,8	4050,8	4007,9	3960,9	3856,3	3747,8	3549,5	3549,5
	20	3330,6	3557	3910,5	4046,6	4146,9	4180,4	4200,9	4207,8	4200,8	4180,3	4147,5	4104,1	4053,5	3998,6	3936,8	3800,1	3659,8	3396,5	3396,5
	25	3135,4	3420,3	3859,4	4025,5	4148,8	4189,4	4215,1	4223,8	4214,9	4189,4	4148,4	4094,9	4034	3966,8	3891,1	3726,5	3557,5	3230,2	3230,2
	30	2925,4	3269,3	3790,1	3983,6	4127,9	4175,3	4204,8	4215,3	4205	4174,4	4125,6	4062,6	3992,1	3913,3	3825,5	3639,3	3443,6	3055,3	3055,3
	35	2708,2	3106,7	3703,6	3922,6	4084,1	4138,3	4171,2	4182,5	4170,8	4135,4	4079,2	4007,5	3928,3	3839,7	3743,7	3539,5	3322,7	2875	2875
	40	2495,9	2937,9	3603,2	3843,2	4018,1	4078	4114,2	4126,1	4112,5	4072,7	4009,4	3930,2	3843,8	3749	3647,9	3427,1	3195,6	2694,5	2694,5
	50	2123,7	2595,9	3366,3	3633,2	3828,7	3893,2	3931,9	3943,3	3924,6	3876,2	3801,4	3712,8	3619,6	3518,2	3410,2	3177,1	2923,3	2346,9	2346,9
	60	1795,2	2270,4	3095,7	3373,5	3567	3628,7	3665,2	3670,7	3644,5	3587,5	3507	3418	3325,7	3227,5	3120,9	2891,4	2640,2	2034,5	2034,5
70	1504,6	1978,9	2802,8	3069,3	3246,5	3298,3	3323,4	3317,1	3279,2	3214,4	3135,8	3054,9	2973,4	2887	2793,9	2590	2352,2	1767,2	1767,2	
80	1265,3	1727,1	2503	2742,6	2886	2919,4	2925,1	2900,5	2846,7	2776,7	2705,3	2641	2579,8	2514,5	2444,1	2276,9	2072,6	1546,2	1546,2	
90	1116,1	1514,1	2197,6	2401,2	2503,2	2513,7	2497,8	2455,5	2392,3	2323,2	2258,2	2210,3	2172,9	2133,5	2088,8	1969,3	1803,3	1364,1	1364,1	

Fonte: Autoria própria.

4.3 MESOREGIÃO CENTRO-SUL PARANAENSE

4.3.1 Clevelândia

Para o município de Clevelândia, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,836204 e a máxima geração de energia anual foi de 4516,92 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 0° em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,805193 e a mínima geração de energia anual foi de 1147,26 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 33 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 34.

Figura 33. Taxa de desempenho para Clevelândia.

azimute (°)	Sul		Oeste		Norte						Leste								
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	
	5	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,831	0,831	0,831	
	10	0,830	0,830	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,832	0,832	0,831
	15	0,828	0,829	0,831	0,831	0,832	0,832	0,832	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,832	0,832	0,831	0,830
	20	0,826	0,827	0,831	0,831	0,832	0,832	0,832	0,832	0,831	0,831	0,831	0,831	0,830	0,831	0,832	0,832	0,831	0,829
	25	0,823	0,826	0,831	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,831	0,831	0,830	0,831	0,832	0,831	0,831	0,830	0,828
	30	0,819	0,824	0,831	0,832	0,832	0,832	0,833	0,832	0,832	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,830	0,827
	35	0,817	0,822	0,831	0,832	0,832	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,832	0,831	0,831	0,832	0,831	0,831	0,831	0,826
	40	0,817	0,820	0,831	0,832	0,833	0,833	0,833	0,834	0,834	0,833	0,832	0,831	0,831	0,832	0,832	0,831	0,831	0,824
	50	0,816	0,819	0,831	0,833	0,833	0,834	0,834	0,834	0,834	0,833	0,832	0,832	0,833	0,833	0,833	0,833	0,832	0,824
	60	0,813	0,819	0,831	0,832	0,834	0,835	0,835	0,835	0,834	0,833	0,832	0,833	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,826
	70	0,807	0,819	0,832	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,832	0,830	0,830	0,832	0,834	0,835	0,835	0,836	0,828
	80	0,805	0,819	0,831	0,833	0,833	0,833	0,833	0,832	0,830	0,828	0,825	0,825	0,828	0,832	0,833	0,835	0,836	0,828
	90	0,822	0,818	0,832	0,832	0,830	0,829	0,827	0,825	0,823	0,822	0,820	0,822	0,826	0,829	0,832	0,835	0,836	0,828

Fonte: Autoria própria.

Figura 34. Energia anual em kWh para Clevelândia.

azimute (°)	Sul		Oeste		Norte						Leste								
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	4174,9	
	5	4053,5	4089,5	4177,3	4219,2	4255,7	4270,4	4282,3	4290,8	4295,9	4297,4	4295,2	4289,5	4280,5	4268,4	4253,7	4218,2	4177,8	4091,7
	10	3905,8	3977,6	4154,8	4238,2	4310,5	4339,7	4363	4379,8	4389,7	4392,2	4387,6	4376	4358,1	4334,6	4306,7	4238,9	4160,1	3987,2
	15	3732,9	3841,9	4110	4234,2	4340,5	4383,5	4417,8	4442,5	4456,7	4460,2	4452,9	4435,4	4408,9	4375,2	4335,5	4236,6	4119,9	3861,3
	20	3536,5	3685,9	4044,4	4207,1	4346,2	4402	4447,3	4479,3	4497,6	4501,7	4491,6	4468,2	4433,7	4391,4	4339,9	4209,9	4057,7	3715,4
	25	3319,4	3513,1	3961,3	4159	4328,5	4396,1	4450,7	4490,5	4512,5	4516,9	4504	4474,9	4433,2	4382,9	4319,6	4161,3	3977	3552,5
	30	3086,7	3328,6	3864	4093,2	4288,7	4367	4429,3	4475,6	4501,7	4506,1	4490,2	4455,7	4408,1	4349,6	4275,5	4094,3	3881	3378,1
	35	2846,8	3136,2	3752,8	4010,4	4226,1	4315,1	4384,4	4435,2	4464,6	4469,2	4450,3	4411	4358,6	4292,4	4209,8	4011,8	3773,3	3195,6
	40	2613,9	2941,1	3632,4	3911,5	4143,4	4239,3	4316,1	4370,5	4401,6	4406,3	4384,4	4341,2	4284,7	4213,2	4126,5	3913,9	3657,1	3010,1
	50	2199,3	2562,8	3364,5	3672,8	3926,1	4026,9	4109,1	4167,9	4200,1	4202,7	4176,2	4128,2	4070,4	3996,4	3906,5	3677,9	3395,5	2647
	60	1838,5	2223,7	3078,5	3391,6	3641,1	3739,3	3817,7	3872,7	3900,1	3897,7	3868,7	3825,3	3772,6	3704,9	3618	3395,6	3110,9	2314,8
	70	1529,2	1936,3	2778,7	3078,6	3304,1	3388,7	3454	3494,1	3509,1	3498,6	3471,5	3438,9	3401,6	3347,7	3275,9	3078	2805,4	2023,7
	80	1283,8	1698,9	2481,8	2745,3	2930,2	2992,8	3034,2	3051,6	3045,4	3023,9	3000,8	2986,7	2972,9	2942	2892,2	2734,2	2496,7	1775,2
	90	1147,3	1503	2183,4	2404,9	2538,7	2571,8	2585	2577,3	2551,8	2522,1	2500,3	2501,6	2511,8	2508,3	2486,5	2378,3	2181,8	1565,7

Fonte: Autoria própria.

4.3.2 Inácio Martins

Para o município de Inácio Martins, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,847163 e a máxima geração de energia anual foi de 4291,6 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 20° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,813736 e a mínima geração de energia anual foi de 1101,8 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 35 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 36.

Figura 35. Taxa de desempenho para Inácio Martins.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841
	5	0,841	0,841	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842
	10	0,841	0,841	0,842	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,843	0,843	0,843
	15	0,840	0,840	0,843	0,844	0,844	0,844	0,843	0,843	0,843	0,843	0,842	0,842	0,842	0,843	0,843	0,842	0,842
	20	0,837	0,839	0,843	0,844	0,844	0,844	0,844	0,844	0,843	0,843	0,842	0,842	0,842	0,843	0,843	0,842	0,841
	25	0,834	0,838	0,843	0,844	0,845	0,845	0,845	0,844	0,844	0,843	0,842	0,842	0,843	0,843	0,842	0,842	0,841
	30	0,831	0,836	0,843	0,844	0,845	0,845	0,845	0,845	0,844	0,844	0,843	0,842	0,843	0,843	0,842	0,842	0,841
	35	0,828	0,835	0,843	0,844	0,845	0,845	0,846	0,845	0,845	0,844	0,843	0,842	0,843	0,843	0,842	0,842	0,841
	40	0,828	0,833	0,843	0,844	0,845	0,846	0,846	0,846	0,845	0,844	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,842	0,841
	50	0,827	0,830	0,843	0,845	0,846	0,847	0,847	0,847	0,846	0,845	0,843	0,844	0,844	0,844	0,843	0,843	0,842
	60	0,822	0,829	0,843	0,844	0,846	0,847	0,847	0,847	0,846	0,844	0,843	0,844	0,845	0,844	0,844	0,843	0,841
	70	0,814	0,828	0,842	0,845	0,845	0,846	0,846	0,845	0,843	0,842	0,841	0,842	0,843	0,844	0,844	0,843	0,843
	80	0,816	0,827	0,841	0,842	0,843	0,843	0,842	0,840	0,837	0,835	0,835	0,838	0,840	0,841	0,842	0,841	0,839
	90	0,830	0,826	0,840	0,841	0,840	0,838	0,836	0,833	0,831	0,830	0,829	0,830	0,834	0,836	0,838	0,840	0,840

Fonte: Autoria própria.

Figura 36. Energia anual em kWh para Inácio Martins.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4	3951,4
	5	3836,4	3889,7	3980,6	4018,4	4047,9	4058,4	4065,5	4069,2	4069,3	4065,9	4059	4049	4036,2	4021	4003,9	3965,9	3926,3
	10	3696,8	3803,1	3986,2	4061,6	4120,2	4140,9	4154,9	4162	4161,8	4154,6	4140,6	4120,5	4095,1	4065,5	4032,8	3960	3882,4
	15	3533,9	3693,5	3969,3	4081,4	4168	4198,7	4219,5	4229,9	4229,4	4218,3	4197,1	4166,9	4129,3	4086,7	4039,7	3932,3	3817,6
	20	3349,2	3564,4	3931	4078,3	4191,8	4232	4259,6	4273	4272,2	4257,2	4228,7	4188,6	4139,6	4085,3	4023,6	3882,9	3733,7
	25	3145,6	3417,6	3873,2	4052,5	4192	4240,9	4274,8	4291,6	4290,3	4271,5	4235,9	4186,2	4126,9	4061	3985,1	3814,4	3634,1
	30	2928	3257,6	3798,2	4007	4169,1	4226,3	4265,4	4285,4	4283,9	4261,2	4218,8	4159,9	4091,4	4014	3925,5	3730,9	3522
	35	2704,1	3087,2	3706,4	3942,4	4123,5	4188,7	4232,2	4254,5	4252,9	4226,4	4177,4	4110,2	4033,3	3945,9	3848	3634	3401,5
	40	2486,8	2911,6	3602	3859,1	4055,7	4127,5	4175,7	4199,4	4197,2	4167,2	4112	4037,4	3953,4	3859,2	3755,3	3524	3274,2
	50	2098,4	2560,5	3357,4	3643,5	3862,3	3939,4	3992,8	4017,9	4012,8	3976	3910,2	3825,8	3735,3	3633,9	3522,5	3274	2998,4
	60	1754,6	2231,3	3081,1	3376,8	3594,5	3671,2	3722,6	3744	3733,1	3689,4	3617,7	3533,8	3443,5	3344,5	3233	2985,9	2709,8
	70	1456,4	1940,7	2781,3	3065,8	3266,9	3333,2	3374,4	3385	3363,9	3313,4	3244	3168,5	3089,1	2999,8	2900,7	2676,8	2413,5
	80	1226,1	1693,2	2477,3	2731,8	2896,1	2943,1	2964,7	2956,7	2919,9	2864,4	2804,3	2746,3	2687	2617,8	2539,6	2353,8	2126,2
	90	1101,8	1487,2	2169,7	2385,7	2504,1	2525,2	2521,8	2492,2	2440,7	2385,2	2336,1	2298,8	2263,5	2220,9	2170,4	2034,6	1848,6

Fonte: Autoria própria.

4.4 MESOREGIÃO NOROESTE PARANAENSE

4.4.1 Cidade Gaúcha

Para o município de Cidade Gaúcha, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,817932 e a máxima geração de energia anual foi de 4588,03 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,784141 e a mínima geração de energia anual foi de 1173,09 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 37 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 38.

Figura 37. Taxa de desempenho para Cidade Gaúcha.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811	0,811
	5	0,811	0,811	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812
	10	0,811	0,811	0,812	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,813	0,813	0,813
	15	0,811	0,811	0,812	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,812	0,812	0,812	0,813	0,813	0,813	0,813
	20	0,809	0,810	0,812	0,813	0,813	0,813	0,814	0,813	0,813	0,813	0,813	0,812	0,813	0,813	0,814	0,813	0,813
	25	0,806	0,808	0,812	0,813	0,814	0,814	0,814	0,814	0,814	0,814	0,813	0,813	0,813	0,814	0,813	0,813	0,812
	30	0,803	0,806	0,812	0,813	0,814	0,814	0,814	0,814	0,814	0,814	0,813	0,813	0,813	0,814	0,813	0,813	0,812
	35	0,800	0,805	0,812	0,813	0,814	0,814	0,815	0,815	0,815	0,815	0,814	0,813	0,813	0,814	0,814	0,813	0,808
	40	0,798	0,803	0,812	0,813	0,814	0,815	0,815	0,816	0,816	0,815	0,814	0,814	0,815	0,815	0,815	0,814	0,807
	50	0,798	0,800	0,812	0,813	0,814	0,815	0,816	0,817	0,817	0,816	0,815	0,815	0,816	0,816	0,816	0,816	0,806
	60	0,794	0,798	0,811	0,813	0,815	0,816	0,817	0,817	0,816	0,815	0,814	0,815	0,817	0,817	0,817	0,816	0,807
	70	0,788	0,798	0,812	0,814	0,815	0,815	0,815	0,815	0,813	0,811	0,811	0,813	0,816	0,817	0,817	0,818	0,816
80	0,784	0,798	0,811	0,812	0,813	0,813	0,812	0,810	0,807	0,806	0,805	0,808	0,812	0,815	0,816	0,817	0,809	
90	0,799	0,797	0,811	0,811	0,810	0,809	0,806	0,804	0,804	0,804	0,802	0,802	0,807	0,810	0,813	0,816	0,817	

Fonte: Autoria própria.

Figura 38. Energia anual em kWh para Cidade Gaúcha.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1	4301,1
	5	4192,1	4233,3	4316	4353,1	4383,9	4395,7	4404,7	4410,5	4413	4412,2	4408,1	4400,9	4390,8	4378,1	4363,2	4328,9	4291,6
	10	4056,1	4137,9	4304,6	4378,6	4439,7	4463,2	4480,8	4492,3	4497,1	4495,2	4486,8	4472,1	4452	4427,1	4398,6	4333,4	4261,2
	15	3894,6	4017,1	4269,2	4379,4	4469,7	4504,5	4530,5	4547,1	4554	4550,9	4538	4516	4486	4450	4409,6	4315,3	4208,5
	20	3708,5	3874,2	4211,1	4355,7	4474,1	4519,1	4553,7	4575,7	4584,2	4579,7	4562,3	4532,9	4493,7	4448,1	4396,8	4272,8	4132,9
	25	3499,7	3711,7	4133,8	4309,9	4454,2	4508,8	4550,2	4577,5	4588	4581,8	4559,8	4523,3	4475,6	4422,2	4359,2	4207,5	4038,2
	30	3272,1	3533,8	4039,7	4244,1	4411,1	4474,4	4521,6	4552,5	4565,2	4557,3	4530,7	4487,5	4432,7	4371,4	4297,5	4123,2	3927,8
	35	3031,6	3343,4	3929	4160,3	4343,6	4415,7	4468,5	4502,2	4515,6	4506,3	4475	4425,8	4365,3	4296,3	4213,8	4024,2	3804,2
	40	2789,2	3146,6	3806,8	4058,9	4255,9	4332,7	4390,6	4426,6	4439,4	4428,6	4393,1	4338,6	4273,6	4199,2	4112,2	3909,4	3672,3
	50	2348,9	2751,1	3528,1	3808,3	4023,6	4103,3	4163,4	4199,4	4210,5	4193,6	4151,3	4090,2	4023,6	3946,2	3856,7	3639,7	3382,9
	60	1957,9	2380,8	3223	3508,6	3719,9	3794,9	3848,2	3878,2	3880,2	3856,1	3809,2	3751,9	3691,1	3621,5	3536,9	3330,2	3073,5
	70	1618,8	2056,4	2899	3175,1	3361,3	3420,7	3458,9	3471,9	3458,8	3424,1	3378,6	3333,8	3290	3236	3168,7	2990,5	2750,8
80	1344,3	1784,7	2576,4	2819,2	2965,8	3002,3	3015,3	3003,7	2968,7	2923,5	2883,4	2858,4	2840,2	2811,9	2769,5	2637	2434,6	
90	1173,1	1562,1	2254,2	2458,1	2556	2565,1	2550,6	2515,5	2467,3	2420,7	2381,2	2369	2375,4	2375,5	2362,5	2282,2	2120,6	

Fonte: Autoria própria.

4.4.2 Diamante do Norte

Para o município de Diamante do Norte, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,823677 e a máxima geração de energia anual foi de 4936,57 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 0° em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,783293 e a mínima geração de energia anual foi de 1218,95 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 39 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 40.

Figura 39. Taxa de desempenho para Diamante do Norte.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816
	5	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817
	10	0,816	0,815	0,816	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818
	15	0,815	0,814	0,816	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,819	0,818
	20	0,813	0,813	0,815	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,818	0,817	0,817	0,817	0,818	0,819	0,818	0,818	0,818
	25	0,810	0,811	0,815	0,816	0,817	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,817	0,817	0,818	0,819	0,819	0,818	0,818	0,818
	30	0,807	0,809	0,814	0,816	0,816	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,819	0,818	0,819	0,818	0,818
	35	0,803	0,807	0,814	0,815	0,817	0,817	0,818	0,819	0,819	0,818	0,818	0,818	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,818
	40	0,801	0,804	0,814	0,815	0,817	0,817	0,818	0,819	0,819	0,819	0,818	0,818	0,819	0,820	0,820	0,819	0,819	0,812
	50	0,800	0,801	0,813	0,815	0,817	0,818	0,819	0,819	0,820	0,819	0,819	0,819	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,810
	60	0,796	0,799	0,813	0,815	0,817	0,818	0,819	0,819	0,819	0,818	0,818	0,819	0,821	0,822	0,822	0,822	0,821	0,810
70	0,788	0,799	0,814	0,815	0,816	0,817	0,817	0,816	0,815	0,814	0,814	0,817	0,820	0,822	0,823	0,824	0,822	0,811	
80	0,783	0,800	0,813	0,814	0,815	0,814	0,813	0,811	0,809	0,808	0,808	0,811	0,816	0,819	0,822	0,823	0,822	0,812	
90	0,797	0,799	0,814	0,813	0,811	0,810	0,807	0,805	0,806	0,807	0,805	0,805	0,810	0,815	0,818	0,822	0,822	0,812	

Fonte: Autoria própria.

Figura 40. Energia anual em kWh para Diamante do Norte.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	4636,9	
	5	4518	4551,4	4636,6	4677,8	4714,1	4728,9	4740,9	4749,8	4755,2	4757,1	4755,4	4750,1	4741,6	4730,1	4715,8	4681,2	4641,7	4556,8
	10	4369,4	4436,3	4608,4	4690,5	4762,2	4791,5	4815,1	4832,4	4843	4846,4	4842,7	4832,1	4815,1	4792,4	4765,1	4699,3	4622,6	4452,5
	15	4193	4294,1	4555,8	4677,8	4783	4826,2	4860,9	4886	4901,2	4905,8	4899,9	4883,7	4858,4	4825,6	4787	4691,9	4578,5	4323,7
	20	3989,4	4128,9	4479,9	4640	4777,1	4832,2	4878,2	4911,2	4930,3	4935,7	4927,4	4905,7	4872,5	4831	4782,2	4657,1	4508,5	4171,2
	25	3760,8	3943,9	4385,3	4579,4	4746	4812,5	4866,7	4907,4	4930,8	4936,6	4925,5	4898,4	4858,1	4809,7	4749,7	4596,6	4416,6	3997,3
	30	3511,3	3743,6	4273,5	4498,4	4690,4	4767,5	4828,7	4874,6	4902,2	4908,3	4894,3	4862,2	4815,9	4760,7	4690,3	4514,6	4306,7	3807,4
	35	3247,3	3531,5	4145,6	4399,4	4609,2	4696,3	4764,5	4814,7	4844,4	4850,9	4833,9	4797,3	4746,6	4684,8	4606,6	4415,9	4181,6	3605,3
	40	2980,5	3314,3	4007,6	4282,6	4507,1	4599,6	4674	4727,5	4758	4764,4	4744,7	4704,2	4650,4	4584,7	4502,8	4299,1	4046	3396,8
	50	2496,4	2883,8	3699,9	4002,6	4244,5	4339,7	4417,2	4471,5	4502	4504,1	4480,3	4436,4	4384,7	4318,4	4235,5	4018,8	3743,8	2978,8
	60	2071,9	2487	3370,7	3675,9	3909,9	3998,7	4067,5	4115,2	4136,4	4132,3	4106	4069,6	4027,1	3971,8	3896,6	3692,9	3416	2588,6
70	1703,9	2143,2	3025,5	3317,5	3521,1	3590,9	3641,5	3669,6	3673,7	3658,4	3635,5	3614,9	3593,5	3557,4	3502	3329	3068,3	2245,7	
80	1406,2	1858,7	2686,7	2939,1	3096,3	3139,4	3161,3	3161,4	3140,8	3114	3096,8	3097,7	3104,7	3096,9	3069	2944,4	2722,1	1955,5	
90	1219	1628,6	2351,5	2560,4	2660,6	2672,3	2662,7	2636,9	2603,8	2576,3	2555,5	2565	2596,8	2619,1	2622,5	2553,3	2373,8	1716,7	

Fonte: Autoria própria.

4.4.3 Icaraíma

Para o município de Icaraíma, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,821141 e a máxima geração de energia anual foi de 5078,71 kWh/ano na inclinação de 35° e desvio de 50° em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,773575 e a mínima geração de energia anual foi de 1221,42 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 41 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 42.

Figura 41. Taxa de desempenho para Icaraíma.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste					
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135			
ângulo de inclinação (°)	0	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815		
	5	0,814	0,815	0,816	0,816	0,816	0,816	0,817	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,815	0,815	
	10	0,813	0,815	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,816	0,814
	15	0,811	0,813	0,816	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818	0,819	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,817	0,817	0,814
	20	0,808	0,812	0,816	0,817	0,818	0,819	0,818	0,819	0,819	0,819	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,817	0,816	0,816	0,813
	25	0,805	0,810	0,816	0,817	0,818	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,818	0,818	0,818	0,818	0,816	0,815	0,811	0,811
	30	0,800	0,807	0,815	0,817	0,818	0,819	0,820	0,819	0,820	0,820	0,819	0,819	0,819	0,818	0,817	0,816	0,814	0,809	0,809	0,809
	35	0,796	0,806	0,816	0,817	0,819	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,819	0,819	0,818	0,817	0,815	0,813	0,807	0,807	0,807
	40	0,794	0,804	0,815	0,817	0,820	0,819	0,820	0,820	0,821	0,821	0,820	0,820	0,819	0,818	0,816	0,813	0,812	0,805	0,805	0,805
	50	0,793	0,801	0,816	0,818	0,819	0,820	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,819	0,817	0,815	0,811	0,808	0,801	0,801	0,801
	60	0,787	0,800	0,815	0,817	0,818	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,819	0,818	0,817	0,814	0,809	0,805	0,798	0,798	0,798
70	0,777	0,800	0,815	0,817	0,817	0,817	0,817	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,815	0,813	0,808	0,802	0,795	0,795	0,795	
80	0,774	0,800	0,812	0,814	0,814	0,813	0,812	0,810	0,809	0,810	0,810	0,811	0,812	0,813	0,812	0,807	0,801	0,793	0,793	0,793	
90	0,787	0,800	0,811	0,812	0,810	0,807	0,804	0,802	0,804	0,807	0,806	0,804	0,806	0,809	0,810	0,806	0,801	0,791	0,791	0,791	

Fonte: Autoria própria.

Figura 42. Energia anual em kWh para Icaraíma.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste					
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135			
ângulo de inclinação	0	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	4384,8	
	5	4263,1	4202,2	4250,7	4299,8	4358,5	4389,6	4420,9	4451,6	4480,6	4507,1	4530,2	4549,2	4563,5	4572,4	4575,8	4565,1	4532,5	4402,2	4402,2	4402,2
	10	4113,7	4006,9	4115,6	4209,8	4318,8	4377	4435,5	4492,8	4548	4600,2	4646,3	4684,4	4713,3	4731,6	4738,8	4718,3	4653,7	4392,8	4392,8	4392,8
	15	3939,1	3799,8	3974	4110,9	4265,1	4346,3	4430,1	4511,9	4590,4	4665	4733,2	4790	4833,1	4860,5	4871	4840,2	4744,2	4355,5	4355,5	4355,5
	20	3740,6	3584,8	3825,5	3999,3	4195,8	4295,9	4401	4507,2	4607,9	4702,8	4791	4865,7	4922,3	4958	4971,2	4929,4	4802,8	4291,2	4291,2	4291,2
	25	3521	3363,2	3675	3880,3	4110,5	4229,4	4349,9	4476,6	4599,5	4713,6	4819,8	4911,3	4980,4	5023,7	5038,9	4985,9	4830,8	4201,1	4201,1	4201,1
	30	3285,4	3140,3	3519,2	3753,8	4009,4	4145,2	4279,6	4421,8	4564,2	4697,2	4819,4	4926,5	5007,5	5057,6	5074,5	5011,3	4829,8	4088,6	4088,6	4088,6
	35	3040,2	2918,9	3360,8	3618,7	3891,7	4040,9	4190	4345	4502,6	4653,1	4790,2	4911,5	5003,6	5060	5078,7	5008,2	4802,3	3956,8	3956,8	3956,8
	40	2797,8	2704,3	3204,2	3475,4	3763,9	3918,5	4079,2	4245,6	4415,8	4581,2	4732,2	4866,2	4968,9	5032	5053,8	4977,7	4751,9	3811	3811	3811
	50	2365,2	2306,5	2885,1	3173,8	3473,7	3630,7	3799,8	3979,7	4169,1	4354,8	4529,8	4686,3	4810,9	4889,8	4920,8	4839,7	4585,3	3491,2	3491,2	3491,2
	60	1987,1	1966,1	2576,8	2854,1	3139,2	3290	3452,2	3632,9	3826,6	4023,5	4214,1	4392,2	4540,2	4639,3	4683,7	4615,8	4350,5	3159,8	3159,8	3159,8
70	1653	1689,4	2275,4	2532,5	2778,8	2908,8	3051,2	3216,3	3400,3	3594,3	3794,2	3992,7	4167,8	4290,8	4356,8	4316,7	4060,3	2839,4	2839,4	2839,4	
80	1383,9	1473,6	1996,9	2211,7	2408	2506,8	2617,4	2752,5	2912,5	3092	3292,3	3507,2	3710	3863	3956,5	3961,9	3733,7	2541,6	2541,6	2541,6	
90	1221,4	1310,3	1737,1	1909,2	2046,7	2110	2182,4	2282,1	2415	2576,5	2761,6	2975,4	3197,9	3380,2	3503,6	3560,3	3368,8	2269,8	2269,8	2269,8	

Fonte: Autoria própria.

4.4.4 Paranapoema

Para o município de Paranapoema, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,824299 e a máxima geração de energia anual foi de 4874,52 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,78393 e a mínima geração de energia anual foi de 1211,32 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 43 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 44.

Figura 43. Taxa de desempenho para Paranapoema.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818
	5	0,818	0,818	0,818	0,818	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819
	10	0,818	0,817	0,818	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,820	0,820	0,820
	15	0,817	0,816	0,818	0,819	0,819	0,819	0,819	0,820	0,820	0,819	0,819	0,819	0,819	0,820	0,821	0,821	0,820
	20	0,815	0,815	0,818	0,818	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,819	0,820	0,821	0,821	0,820	0,818
	25	0,812	0,813	0,817	0,818	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,821	0,821	0,820	0,817
	30	0,808	0,811	0,817	0,818	0,819	0,820	0,820	0,821	0,821	0,820	0,820	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,815
	35	0,804	0,808	0,816	0,818	0,819	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,814
	40	0,801	0,806	0,816	0,817	0,819	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,822	0,822	0,822	0,821	0,821	0,813
	50	0,801	0,802	0,815	0,818	0,819	0,820	0,821	0,822	0,822	0,821	0,821	0,821	0,823	0,823	0,823	0,821	0,811
	60	0,797	0,800	0,815	0,817	0,819	0,820	0,821	0,821	0,821	0,820	0,819	0,821	0,823	0,823	0,823	0,823	0,811
	70	0,790	0,800	0,815	0,817	0,818	0,819	0,819	0,818	0,817	0,815	0,815	0,818	0,821	0,823	0,823	0,824	0,812
	80	0,784	0,799	0,814	0,816	0,816	0,816	0,815	0,813	0,811	0,809	0,809	0,812	0,817	0,820	0,822	0,823	0,813
	90	0,797	0,798	0,814	0,814	0,813	0,811	0,809	0,807	0,808	0,808	0,807	0,806	0,810	0,815	0,818	0,822	0,823

Fonte: Autoria própria.

Figura 44. Energia anual em kWh para Paranapoema.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1	4569,1
	5	4451,3	4493,3	4581,6	4621,8	4655,6	4668,8	4679	4685,8	4689,1	4688,9	4685	4677,8	4667,4	4654,3	4638,7	4602,3	4562,3
	10	4304,4	4388,2	4566	4646,1	4713,2	4739,3	4759,3	4772,7	4779	4778,2	4770,3	4755,7	4735,1	4709,3	4679,5	4610,3	4532,6
	15	4129,9	4256	4525,3	4644,4	4743,2	4781,8	4811,1	4830,5	4839,6	4838	4825,8	4803,9	4773,3	4736,1	4694	4593,5	4478,6
	20	3928,9	4100,2	4460,1	4616,7	4745,7	4795,6	4834,6	4860,1	4871,3	4868,6	4852,2	4822,9	4783	4736,3	4682,3	4550,3	4400
	25	3703,2	3924	4374,7	4564,9	4722,3	4782,4	4829,2	4860,9	4874,5	4870,4	4849,5	4813,2	4765	4709,9	4643,5	4482,4	4300,8
	30	3457,2	3731,9	4271,8	4491,6	4673,9	4743,5	4796,7	4832,8	4849	4843,5	4818	4775,2	4720	4656,4	4578,8	4394,8	4184,9
	35	3197,3	3527,5	4151,6	4400	4599,7	4678,7	4737,5	4777	4794,5	4787,8	4757,8	4709,1	4648,3	4576,9	4491	4291	4055,2
	40	2934,9	3316,7	4020	4290,1	4503,3	4587,7	4652,1	4694	4711,3	4703,2	4669,1	4615,3	4550,4	4474,3	4383,9	4169,4	3916,1
	50	2461,6	2895	3723,1	4020,3	4251,4	4338,1	4404,7	4446,4	4462,1	4448,2	4407,4	4348,5	4283,2	4204,2	4111,6	3884	3608,6
	60	2049,2	2501,8	3400,2	3703	3925,9	4006,2	4063,9	4098,2	4103,9	4082,6	4038,4	3984,9	3926,6	3856,9	3770	3554	3279,7
	70	1692,3	2158	3057,2	3347,8	3543,3	3605,7	3646,4	3661	3649,4	3616,6	3575	3536,1	3496,6	3444,7	3377	3193,1	2935,6
	80	1400,2	1870,1	2716,1	2970,8	3121,9	3159,3	3172,8	3160,9	3125,4	3081,4	3046,2	3028,3	3015,6	2990,9	2951,1	2815,3	2598,2
	90	1211,3	1636,3	2375,3	2588,8	2686,8	2694,3	2678,6	2643,4	2597,4	2554,9	2517,7	2508,6	2520,1	2525,2	2516,4	2436,9	2262,8

Fonte: Autoria própria.

4.5 MESOREGIÃO NORTE CENTRAL PARANAENSE

4.5.1 Londrina

Para o município de Londrina, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,831558 e a máxima geração de energia anual foi de 4023,14 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 20° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,801209 e a mínima geração de energia anual foi de 1129,43 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 45 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 46.

Figura 45. Taxa de desempenho para Londrina.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	
	5	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	
	10	0,824	0,824	0,826	0,826	0,827	0,827	0,827	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,827	0,826	
	15	0,823	0,824	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,827	0,827	0,827	0,826	0,826	0,827	0,827	0,827	0,827	0,826	0,824
	20	0,821	0,823	0,827	0,828	0,828	0,829	0,828	0,828	0,828	0,828	0,827	0,827	0,827	0,828	0,827	0,826	0,826	0,823
	25	0,819	0,822	0,827	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,828	0,827	0,827	0,828	0,828	0,827	0,826	0,822
	30	0,816	0,821	0,827	0,829	0,829	0,830	0,830	0,830	0,829	0,829	0,828	0,827	0,828	0,828	0,827	0,827	0,825	0,821
	35	0,813	0,819	0,827	0,829	0,830	0,830	0,830	0,830	0,830	0,829	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,827	0,826	0,820
	40	0,811	0,818	0,827	0,828	0,830	0,830	0,831	0,831	0,830	0,830	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,827	0,827	0,818
	50	0,811	0,815	0,827	0,828	0,830	0,831	0,831	0,832	0,831	0,830	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,827	0,818
	60	0,809	0,812	0,826	0,827	0,829	0,831	0,831	0,831	0,830	0,829	0,827	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,828	0,819
70	0,804	0,809	0,825	0,827	0,829	0,829	0,830	0,829	0,827	0,825	0,824	0,825	0,827	0,828	0,829	0,830	0,828	0,819	
80	0,801	0,806	0,823	0,825	0,826	0,826	0,826	0,824	0,821	0,819	0,818	0,820	0,823	0,825	0,827	0,827	0,826	0,819	
90	0,808	0,802	0,820	0,821	0,821	0,821	0,819	0,817	0,816	0,815	0,813	0,813	0,817	0,820	0,822	0,824	0,825	0,816	

Fonte: Autoria própria.

Figura 46. Energia anual em kWh para Londrina.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	3714,5	
	5	3619,8	3678	3760	3790,6	3812,1	3818,6	3821,9	3822,1	3819	3812,9	3803,9	3792,4	3778,6	3763,2	3746,5	3711,6	3677,3	3621,1
	10	3503	3619	3783,8	3844,7	3887,4	3900,1	3906,6	3906,6	3900,3	3887,7	3869,6	3846,5	3819,4	3789,3	3757,6	3691,1	3624,5	3511,1
	15	3365,4	3538,7	3786,4	3876,9	3939,9	3958,8	3968,3	3968,3	3958,6	3939,7	3912,3	3877,8	3837,8	3794,6	3749,5	3652	3553,5	3383,9
	20	3208,1	3439,1	3768	3887,2	3969,7	3994,5	4007,3	4007,1	3994,1	3968,9	3932,5	3886,7	3834,5	3779,9	3721,1	3593,2	3465,6	3241,4
	25	3032,9	3321,8	3730,2	3875,8	3977,3	4007,3	4023	4023,1	4007	3975,5	3930,2	3873,6	3810,3	3744,6	3672,3	3517,7	3365,1	3086,7
	30	2843,2	3189,9	3675,4	3844,7	3963,2	3998,1	4015,9	4016,1	3997,2	3959,6	3905,6	3838,7	3765,8	3688,9	3604,6	3430	3254,5	2925,1
	35	2644,1	3046	3603,3	3795,3	3927,4	3967,4	3986,7	3986,2	3964,5	3921,2	3858,8	3782,4	3700,7	3614	3521,2	3331,2	3137,4	2758,3
	40	2444,3	2893,7	3517,2	3727,9	3870,6	3914,4	3935,8	3934,2	3909,2	3860,3	3790	3705,1	3616,1	3522,7	3424,4	3221	3016,7	2590,4
	50	2083,4	2578	3306,7	3541,9	3701,7	3747,5	3769	3764,3	3731,9	3672,1	3588,1	3491,4	3394,8	3294,1	3191,1	2979,7	2759,5	2266
	60	1771,1	2268,8	3056,9	3303,8	3461,7	3504,6	3521,7	3510,2	3468,5	3398	3305,4	3206,1	3109,5	3012,2	2912,3	2711,1	2494,1	1974,7
70	1502	1983	2776,7	3017,4	3162,5	3196,1	3202,9	3179,4	3125,9	3046,1	2952,5	2859,5	2772,9	2687,8	2602,9	2427,9	2222,7	1725	
80	1281,3	1728,4	2483	2702,2	2818,6	2837,2	2827,1	2787,4	2719,6	2635	2547,5	2469,7	2402,4	2338,6	2277	2136,4	1964	1517,5	
90	1129,4	1508,1	2179,2	2367,5	2448,9	2447,3	2418,7	2363,6	2288,9	2208	2128,6	2067,1	2023,6	1986,4	1950,2	1851,6	1713,4	1346	

Fonte: Autoria própria.

4.5.2 Maringá

Para o município de Maringá, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,81996 e a máxima geração de energia anual foi de 4808,58 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,789706 e a mínima geração de energia anual foi de 1187,87 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 47 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 48.

Figura 47. Taxa de desempenho para Maringá.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815
	5	0,815	0,815	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816
	10	0,815	0,815	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,817	0,817
	15	0,814	0,814	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,817	0,817	0,817
	20	0,811	0,813	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,816	0,816	0,816	0,817	0,817	0,816	0,816
	25	0,808	0,811	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,816	0,816	0,815	0,816	0,817	0,816	0,816
	30	0,803	0,809	0,816	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818	0,817	0,817	0,816	0,815	0,816	0,816	0,816	0,816
	35	0,799	0,807	0,816	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,817	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816
	40	0,798	0,805	0,816	0,816	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,817	0,816	0,816	0,816	0,817	0,817	0,816
	50	0,799	0,802	0,815	0,817	0,818	0,818	0,819	0,819	0,819	0,819	0,818	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,817
	60	0,797	0,801	0,815	0,816	0,818	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,817	0,816	0,817	0,819	0,819	0,818	0,818
70	0,791	0,802	0,816	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818	0,816	0,815	0,814	0,816	0,818	0,819	0,819	0,820	
80	0,790	0,802	0,815	0,816	0,816	0,816	0,815	0,814	0,812	0,810	0,809	0,812	0,815	0,817	0,818	0,819	0,818	
90	0,803	0,801	0,815	0,815	0,813	0,811	0,809	0,808	0,808	0,808	0,806	0,806	0,810	0,813	0,815	0,818	0,819	

Fonte: Autoria própria.

Figura 48. Energia anual em kWh para Maringá.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8	4431,8
	5	4300,3	4345,1	4442,9	4487,9	4526,1	4541,1	4552,8	4560,8	4565	4565,1	4561,4	4553,8	4542,7	4528,5	4511,5	4471,6	4427,3
	10	4140,4	4229,6	4426,9	4516,6	4592,3	4622	4645,1	4660,8	4668,7	4668,7	4660,8	4645,5	4623,5	4595,8	4563,5	4487,7	4401,7
	15	3953,6	4087,9	4385,6	4519	4631	4675,1	4709,1	4732,2	4743,8	4743,3	4731,1	4708,1	4675,6	4635,6	4590,1	4479,7	4352,4
	20	3741,2	3924,3	4320,8	4496,1	4642,6	4700,1	4745,2	4775,5	4790,3	4789,4	4772,9	4742,2	4699,8	4649,7	4591	4446,1	4279,8
	25	3505,6	3741,7	4236,6	4449,2	4628,5	4698,2	4753	4790,7	4808,6	4807,2	4786,4	4748,3	4697	4637,8	4565,5	4389	4188,1
	30	3252,1	3545,6	4135,8	4382	4589,7	4670,8	4733,9	4777,5	4798,9	4796,7	4771,8	4726,7	4668,1	4599,3	4514,8	4313	4080,3
	35	2988,4	3340,4	4018,4	4296,4	4525,5	4618	4688,5	4737	4761	4758	4729,1	4677,9	4613,1	4535,6	4441,7	4220,8	3959,5
	40	2729,3	3132,4	3890,6	4192,1	4438,9	4539,1	4617,2	4669,8	4694,9	4691,2	4658,7	4602,2	4532,4	4449,1	4349,5	4111,3	3829,9
	50	2282,4	2727,4	3603,6	3935,5	4206,6	4313,4	4398	4455,2	4481,2	4473,8	4435,5	4373,3	4300,9	4212,5	4107,8	3850,7	3540,9
	60	1908,2	2361,1	3295,4	3632,2	3899,5	4003,6	4085,4	4139,4	4160,3	4147,6	4106,5	4048,4	3980,2	3897,4	3794,9	3542,2	3229,3
70	1592,1	2049,1	2970,1	3291,9	3533,4	3623,5	3692,4	3732,6	3741,2	3720,5	3681,8	3635,7	3582,3	3512,7	3424,8	3197,8	2896,8	
80	1340,6	1792,4	2648,6	2931,7	3127,3	3193,2	3237,5	3255,5	3244,5	3214,5	3181,1	3153,6	3123,2	3077,3	3014	2829,1	2565,8	
90	1187,9	1583,9	2327,2	2564,6	2703,6	2737,7	2752	2745,5	2720,1	2686,3	2652,9	2639,1	2633,7	2616,3	2582,3	2452,1	2233,6	

Fonte: Autoria própria.

4.6 MESOREGIÃO NORTE PIONEIRO PARANAENSE

4.6.1 Ibaiti

Para o município de Ibaiti, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,83093 e a máxima geração de energia anual foi de 4593,86 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,769586 e a mínima geração de energia anual foi de 1182,38 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 49 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 50.

Figura 49. Taxa de desempenho para Ibaiti.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824
	5	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825
	10	0,824	0,824	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826
	15	0,823	0,824	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826
	20	0,821	0,822	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,825	0,825
	25	0,818	0,821	0,824	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825
	30	0,814	0,819	0,824	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825
	35	0,811	0,817	0,824	0,824	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826
	40	0,810	0,815	0,824	0,824	0,825	0,826	0,826	0,826	0,827	0,827	0,826	0,826	0,826	0,827	0,827	0,827	0,826	0,826
	50	0,810	0,812	0,823	0,824	0,825	0,826	0,827	0,827	0,827	0,827	0,826	0,826	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828
	60	0,806	0,811	0,824	0,824	0,825	0,826	0,826	0,827	0,827	0,826	0,825	0,825	0,827	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829
70	0,800	0,811	0,823	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,823	0,822	0,822	0,825	0,827	0,828	0,829	0,830	0,831	
80	0,797	0,811	0,823	0,824	0,824	0,823	0,822	0,820	0,820	0,818	0,817	0,817	0,820	0,823	0,826	0,828	0,830	0,829	
90	0,810	0,810	0,822	0,823	0,821	0,819	0,816	0,814	0,814	0,815	0,814	0,814	0,818	0,822	0,825	0,829	0,830	0,821	

Fonte: Autoria própria.

Figura 50. Taxa de desempenho para Ibaiti.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3	4284,3
	5	4169,9	4216,8	4304,5	4342,9	4374,1	4385,8	4394,5	4399,8	4401,6	4400	4394,8	4386,4	4375,1	4361,1	4345	4308,1	4268,4
	10	4027,6	4122	4298,1	4374,2	4436,2	4459,5	4476,6	4487,1	4490,6	4487,1	4476,7	4459,9	4437,4	4410,1	4378,9	4307,2	4229,1
	15	3859,2	4002,4	4267,6	4380,5	4471,8	4506,1	4531,4	4546,9	4551,9	4546,5	4530,9	4505,8	4472,5	4433,1	4387,7	4281,8	4166,3
	20	3666,2	3861,1	4215	4363,3	4481,8	4526,9	4560,1	4579,9	4586,2	4578,8	4557,9	4524,7	4481,5	4430,8	4371,3	4232,7	4082,8
	25	3451,1	3701,2	4142,8	4322,9	4467,6	4521,3	4562,1	4586,7	4593,9	4584,2	4558,1	4517,2	4465,3	4403,4	4330,3	4163,3	3982,7
	30	3218,7	3527	4054,4	4262,6	4430,2	4491,8	4538	4566,8	4575,1	4562,9	4531,8	4483,7	4423,9	4351,3	4266,8	4078,5	3869
	35	2976,2	3341,5	3949,4	4184	4369,5	4439,1	4489,3	4520,5	4529,8	4515,1	4479	4424,8	4357,8	4276,5	4184,7	3978,8	3746,1
	40	2736	3149,9	3832	4088,1	4286	4362	4416,3	4449,1	4458	4441	4400,2	4340,6	4268,2	4182,2	4086	3863,9	3615,5
	50	2310,2	2766,4	3565,9	3847,2	4063,3	4142	4198,9	4231,8	4236,9	4214,2	4165,6	4101,4	4025,7	3935,9	3835,7	3603,6	3331,5
	60	1935,6	2407,4	3270,1	3561	3769,8	3842,5	3893,9	3919,2	3916,4	3885,7	3834,6	3774,1	3703,3	3620,5	3524,2	3299,9	3031,3
70	1611	2091,5	2954,2	3231,1	3418,5	3477,1	3513	3522,2	3504,7	3465,5	3417,5	3369,2	3313,1	3246,1	3167	2972,9	2719,1	
80	1348,6	1823,4	2633	2880,5	3027,1	3063,7	3075,4	3061,3	3024	2977,6	2936,7	2906,4	2874,1	2831,8	2778,7	2627,2	2410,9	
90	1182,4	1599,9	2308	2516,6	2616,1	2624,8	2609,9	2574	2526,2	2481,4	2442,6	2424,5	2416,9	2403,4	2379,7	2282,7	2108,2	

Fonte: Autoria própria.

4.6.2 Joaquim Távora

Para o município de Joaquim Távora, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,829369 e a máxima geração de energia anual foi de 4698,99 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,792395 e a mínima geração de energia anual foi de 1202,33 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 51 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 52.

Figura 51. Taxa de desempenho para Joaquim Távora.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822
	5	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824
	10	0,823	0,822	0,823	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824
	15	0,821	0,821	0,823	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,823
	20	0,819	0,820	0,822	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,824	0,822
	25	0,816	0,818	0,822	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,825	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,824	0,821
	30	0,812	0,816	0,822	0,823	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,819
	35	0,809	0,814	0,821	0,822	0,823	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,818
	40	0,808	0,813	0,821	0,822	0,823	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,825	0,825	0,817
	50	0,807	0,809	0,821	0,822	0,824	0,824	0,825	0,826	0,826	0,825	0,825	0,826	0,826	0,827	0,827	0,826	0,817
	60	0,804	0,808	0,821	0,822	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,824	0,824	0,825	0,827	0,827	0,827	0,827	0,818
	70	0,797	0,807	0,820	0,823	0,824	0,824	0,824	0,823	0,821	0,820	0,820	0,823	0,825	0,827	0,828	0,829	0,819
	80	0,792	0,807	0,820	0,822	0,822	0,821	0,820	0,818	0,815	0,814	0,815	0,818	0,822	0,824	0,827	0,828	0,827
	90	0,806	0,806	0,819	0,820	0,818	0,817	0,814	0,812	0,813	0,813	0,812	0,812	0,816	0,820	0,823	0,828	0,829

Fonte: Autoria própria.

Figura 52. Energia anual em kWh para Joaquim Távora.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9	4386,9
	5	4272,1	4321,2	4410,6	4449,1	4480,1	4491,6	4499,9	4504,8	4506,2	4504	4498,3	4489,4	4477,6	4463,1	4446,6	4409,2	4369,3
	10	4129	4227,4	4406,9	4483,5	4545,1	4567,9	4584,3	4593,9	4596,4	4591,8	4580,3	4562,5	4539	4511	4479,3	4407	4328,7
	15	3959,1	4107,7	4378,2	4491,9	4582,7	4616,3	4640,7	4654,9	4658,4	4651,3	4633,9	4607,2	4572,5	4532,3	4486,4	4379,6	4263,6
	20	3764,1	3965,4	4326,7	4476	4594	4638,1	4669,9	4688,1	4692,5	4682,8	4659,5	4624,1	4579,3	4527,8	4467,4	4327,7	4177,3
	25	3546,4	3803,7	4255,4	4437	4580,4	4632,8	4671,9	4694,3	4699	4686,5	4657,5	4613,9	4560,1	4497,1	4423,1	4254,9	4073,8
	30	3310,4	3626,9	4167,9	4377,8	4543,5	4603	4646,9	4673,1	4678,3	4662,8	4628	4576,9	4515	4441,1	4355,6	4166,1	3956,2
	35	3063,6	3439,1	4063,9	4299,9	4483,2	4550	4597	4624,7	4630,2	4611,5	4571,4	4513,5	4444,2	4361,7	4269	4062	3829,5
	40	2818,2	3245,2	3947,3	4205,1	4399,5	4472,1	4522,3	4550,6	4554,8	4533,1	4487,7	4424,2	4349,4	4262,3	4165,2	3942,2	3695
	50	2381,1	2856,9	3682,7	3964,6	4175,6	4249,2	4299,9	4326	4324,4	4295,2	4240,9	4172,5	4094,6	4004,1	3904,2	3674,5	3404,9
	60	1994,6	2490,9	3385,9	3677,8	3878,9	3945,3	3988,2	4004,3	3991,8	3952,5	3894,7	3830	3758,9	3677,4	3582,9	3363,3	3099,8
	70	1657,6	2166	3066,4	3343,8	3522,4	3573,2	3599,1	3596,4	3566,6	3516,4	3460,7	3410	3355,8	3292,3	3217	3031	2783,7
	80	1380,7	1887,7	2737,4	2986,9	3123,9	3151,6	3151,7	3123,9	3072,3	3013,5	2964,9	2934	2905,7	2869	2821,6	2680,4	2470,5
	90	1202,3	1655,2	2402,7	2613,4	2703,7	2703,4	2677	2627,1	2565,7	2509,6	2462,5	2443,3	2440,6	2433,8	2416,7	2331,4	2164,7

Fonte: Autoria própria.

4.6.3 Nova Fátima

Para o município de Nova Fátima, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,833108 e a máxima geração de energia anual foi de 4960,1 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,796019 e a mínima geração de energia anual foi de 1206,45 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 53 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 54.

Figura 53. Taxa de desempenho para Nova Fátima.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826
	5	0,827	0,826	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828
	10	0,826	0,825	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,828
	15	0,825	0,824	0,826	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829
	20	0,822	0,822	0,826	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829
	25	0,818	0,820	0,825	0,826	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,828
	30	0,814	0,818	0,825	0,826	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,828
	35	0,810	0,816	0,824	0,826	0,827	0,828	0,828	0,828	0,829	0,829	0,828	0,828	0,829	0,829	0,830	0,829	0,829
	40	0,808	0,814	0,824	0,825	0,827	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,828	0,828	0,830	0,830	0,830	0,829	0,829
	50	0,809	0,811	0,824	0,826	0,827	0,828	0,829	0,830	0,830	0,829	0,828	0,829	0,831	0,831	0,831	0,831	0,830
	60	0,806	0,810	0,824	0,825	0,827	0,828	0,829	0,829	0,829	0,828	0,828	0,829	0,831	0,831	0,831	0,832	0,831
70	0,797	0,810	0,823	0,826	0,826	0,827	0,827	0,827	0,826	0,825	0,825	0,827	0,830	0,831	0,832	0,833	0,833	
80	0,796	0,810	0,823	0,824	0,825	0,824	0,823	0,822	0,820	0,819	0,819	0,823	0,827	0,829	0,831	0,832	0,831	
90	0,811	0,809	0,822	0,823	0,821	0,820	0,818	0,816	0,816	0,816	0,815	0,816	0,821	0,825	0,828	0,832	0,832	

Fonte: Autoria própria.

Figura 54. Energia anual em kWh para Nova Fátima.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6	4579,6
	5	4445,1	4492,4	4592,8	4638,7	4677,2	4692,3	4703,9	4711,8	4715,6	4715,4	4711,2	4703,2	4691,5	4676,7	4659,2	4618,3	4572,9
	10	4281,2	4375,7	4578,3	4669,5	4745,9	4775,7	4798,6	4813,8	4821,2	4820,3	4811,6	4795,3	4772,3	4743,6	4710,4	4632,3	4543,7
	15	4089,2	4232,4	4538,8	4674,1	4786,6	4830,4	4864	4886,4	4896,8	4895,2	4881,7	4857,2	4823,3	4782,3	4735	4620	4488,8
	20	3870,8	4066,6	4475,7	4653,3	4799,3	4856,8	4900,9	4929,7	4943,1	4940,4	4922,1	4889,5	4845,5	4793,9	4731,9	4580,9	4410,5
	25	3628,6	3882	4392,8	4608,1	4786,3	4854,7	4908,7	4944,4	4960,1	4956,2	4933,1	4892,7	4839,9	4777,5	4701,2	4518,5	4312,9
	30	3368	3683,5	4293,1	4541,7	4748	4826,8	4888,1	4929,8	4948	4942,6	4914,7	4867,1	4806,6	4733,5	4644,7	4437,7	4198,9
	35	3097,3	3475,8	4176,2	4456,1	4684,1	4773,3	4840,6	4886,3	4906,8	4899,7	4867,1	4813	4745,7	4663,6	4566,4	4339,1	4072,8
	40	2831,2	3264,3	4048,3	4352,1	4595,7	4693	4766,4	4815,2	4836,3	4827,5	4790,5	4731	4658,4	4571	4468,2	4222,3	3937
	50	2369,1	2850,2	3760,6	4092,6	4358,7	4460,4	4539,1	4590,1	4609,8	4596	4551,6	4486,7	4411,2	4318,6	4210,6	3950,1	3635,2
	60	1975,3	2471,8	3446,8	3786,6	4044,4	4141,5	4214,9	4259,9	4272	4250,9	4203,2	4142,1	4071,2	3985,4	3880,9	3627,1	3313
70	1635,7	2144,4	3113,7	3435,8	3668,2	3749,4	3807,1	3835,4	3832,4	3801,3	3755,8	3707	3652,6	3583,4	3496,9	3274,2	2975	
80	1366,1	1871	2778,8	3065,6	3249,3	3304,7	3335,7	3338,7	3313,2	3271,7	3232,1	3204	3175,5	3133	3074,8	2897,9	2639,4	
90	1206,5	1646,8	2440,2	2682,2	2810,4	2833,1	2832,9	2810,3	2769,8	2725,6	2687,4	2673,6	2672,6	2662,1	2635,9	2518,8	2306,9	

Fonte: Autoria própria.

4.7 MESOREGIÃO OESTE PARANAENSE

4.7.1 Foz Do Iguaçu – Cataratas

Para o município de Foz do Iguaçu, com dados das Cataratas do Iguaçu, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,823205 e a máxima geração de energia anual foi de 4274,34 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,790429 e a mínima geração de energia anual foi de 1076,4 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 55 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 56.

Figura 55. Taxa de desempenho para Foz do Iguaçu.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	
	5	0,817	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,818	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,818	0,817
	10	0,817	0,817	0,818	0,819	0,819	0,819	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,819	0,819	0,818
	15	0,816	0,816	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,819	0,819	0,819	0,818
	20	0,814	0,815	0,819	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,819	0,818	0,818	0,818	0,818	0,820	0,819	0,819	0,817
	25	0,811	0,814	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,819	0,818	0,818	0,818	0,820	0,820	0,819	0,816
	30	0,808	0,812	0,818	0,819	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,820	0,819	0,818	0,818	0,820	0,819	0,819	0,815
	35	0,805	0,810	0,818	0,819	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,819	0,818	0,819	0,820	0,819	0,819	0,813
	40	0,804	0,808	0,818	0,819	0,821	0,821	0,822	0,822	0,822	0,821	0,820	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,819	0,812
	50	0,803	0,805	0,818	0,819	0,821	0,822	0,823	0,823	0,823	0,822	0,820	0,819	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,810
	60	0,798	0,804	0,817	0,819	0,821	0,822	0,823	0,823	0,823	0,821	0,819	0,820	0,822	0,822	0,822	0,821	0,820	0,810
70	0,791	0,803	0,817	0,818	0,820	0,821	0,822	0,821	0,820	0,818	0,817	0,818	0,821	0,822	0,822	0,822	0,820	0,811	
80	0,790	0,802	0,815	0,817	0,819	0,819	0,818	0,817	0,814	0,811	0,811	0,814	0,818	0,819	0,820	0,821	0,820	0,811	
90	0,807	0,800	0,815	0,816	0,815	0,814	0,812	0,810	0,809	0,808	0,806	0,807	0,812	0,814	0,816	0,818	0,817	0,811	

Fonte: Autoria própria.

Figura 56. Energia anual em kWh para Foz do Iguaçu.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	3964,3	
	5	3855,8	3905,8	3991,7	4027,7	4055,8	4065,9	4072,8	4076,4	4076,7	4073,5	4067,1	4057,8	4045,7	4031,3	4015,1	3979,1	3941,7	3872,4
	10	3722,9	3821,7	3994,7	4066,5	4122,6	4142,5	4156,3	4163,3	4163,5	4156,9	4143,9	4125	4100,9	4072,8	4041,6	3973,8	3902	3762,8
	15	3567	3714	3973,9	4080,9	4164,4	4194,1	4214,7	4225,1	4225,3	4215,2	4195,4	4166,9	4131,3	4090,4	4046,5	3949,7	3844,5	3635
	20	3388,9	3584,9	3930,6	4071,2	4181,4	4220,7	4247,9	4262	4262,2	4248,7	4222,2	4184,2	4137,4	4085,4	4030,6	3904,4	3766,4	3489
	25	3190,7	3437,3	3868,1	4039,4	4174,3	4222,7	4256,1	4273,8	4274,3	4257,5	4224,3	4177,1	4119,8	4059	3992,7	3837,9	3670,2	3326,3
	30	2976,1	3274,6	3787,3	3987,8	4143,9	4200,9	4240	4260,6	4261,5	4241,6	4202	4145,8	4079,3	4010,7	3932,7	3753,2	3559,6	3151,7
	35	2751,8	3100,8	3690,7	3916,8	4090,4	4155,2	4200	4223	4223,9	4201	4155,2	4090,8	4016,6	3940,2	3852	3654,8	3437,4	2968,6
	40	2529,1	2919,8	3582,2	3827,9	4017,2	4086,4	4135,9	4161,3	4161,5	4135,8	4084,1	4012,2	3932,3	3848,7	3754	3543,2	3307,9	2782,4
	50	2124,5	2556,7	3328,4	3605,3	3812,3	3886,6	3939,1	3965,7	3964	3931,6	3870	3787	3701,8	3612,8	3513,3	3283,2	3027,8	2416,3
	60	1768	2217,4	3044,8	3328,8	3537	3609	3656,9	3679,2	3670,7	3631,3	3562,8	3479,2	3397,9	3311,7	3214,7	2992,4	2731,6	2082,9
70	1456,9	1918,8	2741,8	3018,3	3205,9	3265,1	3300,9	3309,7	3289,2	3240,7	3172,4	3098,9	3031,1	2957,3	2872,6	2671,6	2428,2	1796,3	
80	1211,2	1666,8	2435,9	2680,7	2834,7	2873,9	2888,3	2875,5	2836,2	2778,7	2718	2664,7	2619,7	2568,1	2505	2344,6	2133,8	1561	
90	1076,4	1457,6	2134,1	2338	2445,2	2459,7	2448,8	2412,9	2357,1	2297	2244,5	2212,9	2193,4	2168,4	2132,6	2018,7	1848,6	1372,5	

Fonte: Autoria própria.

4.7.2 Marechal Cândido Rondon

Para o município de Marechal Cândido Rondon, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,828638 e a máxima geração de energia anual foi de 4676,7 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 0° em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,786387 e a mínima geração de energia anual foi de 1166,88 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 57 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 58.

Figura 57. Taxa de desempenho para Marechal Cândido Rondon.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821
	5	0,821	0,821	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822
	10	0,821	0,820	0,822	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,824	0,824
	15	0,820	0,819	0,822	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,823	0,823	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824
	20	0,817	0,818	0,822	0,823	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,825	0,824	0,824
	25	0,814	0,816	0,821	0,823	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,824	0,823
	30	0,810	0,813	0,821	0,823	0,824	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825	0,824	0,825	0,826	0,825	0,824	0,823
	35	0,807	0,811	0,821	0,823	0,825	0,825	0,826	0,827	0,827	0,826	0,825	0,825	0,826	0,826	0,825	0,825	0,823
	40	0,806	0,809	0,821	0,823	0,825	0,826	0,827	0,827	0,827	0,826	0,825	0,825	0,826	0,826	0,825	0,825	0,824
	50	0,804	0,806	0,821	0,823	0,825	0,827	0,828	0,828	0,828	0,827	0,826	0,826	0,828	0,828	0,827	0,827	0,824
	60	0,799	0,804	0,821	0,823	0,826	0,827	0,828	0,828	0,827	0,826	0,825	0,826	0,828	0,829	0,828	0,827	0,825
	70	0,791	0,804	0,821	0,823	0,825	0,826	0,826	0,825	0,824	0,822	0,822	0,824	0,827	0,828	0,828	0,828	0,825
	80	0,786	0,804	0,819	0,822	0,823	0,823	0,822	0,820	0,817	0,815	0,815	0,818	0,823	0,825	0,827	0,827	0,826
	90	0,804	0,803	0,819	0,820	0,820	0,818	0,816	0,814	0,813	0,813	0,811	0,811	0,816	0,820	0,823	0,826	0,825

Fonte: Autoria própria.

Figura 58. Energia anual em kWh para Marechal Cândido Rondon.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2	4373,2
	5	4258	4294,4	4379	4418,9	4453,2	4466,9	4477,8	4485,5	4489,8	4490,6	4487,9	4481,9	4472,8	4460,7	4446,3	4411,7	4373
	10	4115,3	4187,3	4358	4437,5	4505,6	4532,8	4554,3	4569,4	4577,7	4579,1	4573,4	4561,2	4542,9	4519,4	4491,6	4426,4	4351,8
	15	3946,8	4054,5	4312,9	4431,3	4531,8	4572	4603,7	4625,7	4637,8	4639,4	4630,6	4612	4584,9	4550,7	4511,6	4418,1	4308,3
	20	3753,5	3899,8	4245,5	4400,4	4532,1	4584,1	4625,7	4654,9	4670,2	4671,9	4659,8	4635	4599,3	4556,1	4507,3	4384,9	4240,8
	25	3537,6	3726,2	4159,8	4348,2	4507,7	4570,8	4620,5	4656,4	4675,4	4676,7	4661,3	4630,3	4586,8	4536,7	4477,4	4327,4	4152,5
	30	3303,6	3538,3	4057,1	4276,2	4459,7	4533,1	4589,8	4630,4	4652,8	4653,9	4635	4598,2	4548,2	4491,9	4422,2	4248,7	4046,5
	35	3058	3339,5	3939,7	4185,9	4387,4	4470,1	4534,1	4578,3	4602,4	4603,5	4581,2	4539,2	4484,2	4421,6	4343,2	4153,5	3925,9
	40	2813,5	3135,8	3812,2	4078,8	4295,7	4382,8	4452,6	4500,2	4524,8	4525,4	4499,9	4453,5	4395	4327,3	4244,3	4042,4	3795,9
	50	2370,4	2732,9	3526,1	3821,6	4054,5	4145,1	4217,2	4265,8	4290,2	4286,3	4256,1	4204,2	4145,9	4077,2	3992,3	3774,3	3506,4
	60	1970,5	2362,4	3217,8	3516	3744	3828,9	3893	3935,4	3950,8	3941	3907,3	3861	3810,9	3750,4	3671,8	3464,6	3193
	70	1619,4	2041,8	2893,8	3181,2	3380,6	3448,1	3495,3	3518,7	3518,2	3497,5	3466,4	3434,3	3403,7	3359,5	3297,3	3117,2	2864,6
	80	1335,1	1774,5	2570,4	2821,7	2980,3	3023,5	3044,1	3040,4	3015,4	2982,9	2958	2947,8	2943,8	2925,3	2887,6	2754,6	2537,8
	90	1166,9	1556,6	2251,2	2459,2	2565,5	2580,3	2572,2	2543,2	2501,3	2464,8	2439,6	2443,4	2464	2474	2466,4	2385,2	2211,4

Fonte: Autoria própria.

4.8 MESOREGIÃO SUDESTE PARANAENSE

4.8.1 General Carneiro

Para o município de General Carneiro, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,839468 e a máxima geração de energia anual foi de 3789,84 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 30° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,809022 e a mínima geração de energia anual foi de 1018,09 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 59 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 60.

Figura 59. Taxa de desempenho para General Carneiro.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832
	5	0,833	0,833	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833
	10	0,833	0,834	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,834	0,834	0,834	0,833	0,833	0,833	0,833	0,834	0,834	0,833
	15	0,832	0,834	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	0,835	0,835	0,834	0,833	0,833	0,833	0,834	0,834	0,833	0,833
	20	0,830	0,833	0,837	0,837	0,837	0,837	0,836	0,836	0,835	0,834	0,833	0,833	0,833	0,834	0,833	0,832	0,832
	25	0,827	0,832	0,837	0,838	0,837	0,837	0,837	0,836	0,836	0,835	0,834	0,833	0,833	0,833	0,832	0,832	0,831
	30	0,824	0,831	0,837	0,838	0,838	0,838	0,837	0,837	0,836	0,835	0,833	0,833	0,833	0,833	0,832	0,831	0,829
	35	0,822	0,829	0,837	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,836	0,835	0,834	0,833	0,833	0,832	0,832	0,831	0,825
	40	0,822	0,827	0,837	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,837	0,835	0,834	0,833	0,833	0,833	0,833	0,831	0,824
	50	0,821	0,825	0,837	0,838	0,839	0,839	0,839	0,839	0,837	0,835	0,833	0,833	0,834	0,833	0,832	0,832	0,830
	60	0,818	0,823	0,836	0,837	0,839	0,839	0,839	0,839	0,837	0,835	0,833	0,833	0,833	0,833	0,832	0,830	0,824
70	0,812	0,822	0,836	0,838	0,839	0,839	0,838	0,837	0,834	0,831	0,830	0,830	0,831	0,831	0,831	0,830	0,825	
80	0,809	0,820	0,834	0,836	0,836	0,836	0,835	0,833	0,829	0,826	0,824	0,825	0,827	0,828	0,829	0,828	0,826	
90	0,822	0,817	0,832	0,833	0,833	0,831	0,829	0,826	0,824	0,821	0,819	0,819	0,821	0,822	0,824	0,826	0,828	

Fonte: Autoria própria.

Figura 60. Energia anual em kWh para General Carneiro.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8	3479,8
	5	3385,8	3446,9	3528,3	3557,6	3577,4	3582,9	3585,2	3584,3	3580,2	3573,1	3563,3	3551	3536,7	3520,8	3503,8	3468,7	3434,9
	10	3270,5	3392,1	3555,9	3614,5	3653,7	3664,5	3668,9	3666,9	3658,6	3644,2	3624,3	3599,8	3571,4	3540,4	3508	3440,4	3374,3
	15	3134,9	3316,6	3562,6	3649,9	3708,3	3724,3	3731	3727,9	3715,3	3693,6	3663,8	3627	3585,2	3540,5	3493,7	3394,3	3296,6
	20	2980,4	3221,7	3548,7	3663,9	3741	3762,4	3771,3	3767,3	3750,6	3721,8	3682,1	3633,4	3578,8	3521,7	3460,3	3330	3203,1
	25	2809,1	3108,7	3515,4	3657,2	3752,3	3778,7	3789,8	3785,2	3764,6	3728,8	3679,4	3619,3	3553	3483,6	3408,2	3250,2	3097,2
	30	2625	2980,3	3463,9	3630,6	3742,7	3773,8	3786,8	3781,5	3757,3	3714,8	3656,1	3585	3508,3	3426,8	3338,7	3158,7	2981,7
	35	2434,5	2839,5	3395,2	3585,3	3712	3747,9	3762,7	3756,4	3728,8	3679,8	3612,2	3531	3444,6	3352,4	3254,6	3057,1	2860,8
	40	2248,7	2690,2	3311,5	3522,1	3661,4	3700,9	3717,7	3710,3	3679	3624	3547,9	3457,7	3362,9	3262,7	3159,1	2946,2	2736,7
	50	1914,1	2382,9	3105	3345,7	3505,1	3548,4	3565,6	3555,5	3516,9	3450,3	3359,8	3256,1	3152,1	3043,4	2932	2703,8	2476,4
	60	1616,8	2085,5	2860,8	3114,5	3279,4	3321,8	3336,2	3320,2	3273	3196	3096	2989,4	2882,9	2774,7	2662,6	2437,7	2215,7
70	1356,4	1815	2589	2839,2	2994,9	3031,3	3037,2	3010,4	2952,4	2867	2766,3	2664,5	2565,8	2465,7	2364,9	2163,8	1957,5	
80	1144,2	1579,6	2307,1	2535,2	2666,5	2690,5	2682	2640,1	2568,5	2478,6	2385,1	2297,5	2215,8	2134	2052,4	1887,4	1716,5	
90	1018,1	1378,2	2016,6	2214,6	2312,4	2318,6	2293,7	2237,2	2156,4	2069,7	1986,7	1917,2	1857,6	1799,8	1742,7	1623,1	1488,7	

Fonte: Autoria própria.

4.8.2 Ivaí

Para o município de Ivaí, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,827353 e a máxima geração de energia anual foi de 4341,18 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 20° Oeste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,799892 e a mínima geração de energia anual foi de 1125,11 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 61 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 62.

Figura 61. Taxa de desempenho para Ivaí.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação (°)	0	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	
	5	0,821	0,821	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822
	10	0,821	0,821	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,823	0,822	0,822	0,822
	15	0,820	0,821	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,823	0,822	0,822	0,822	0,821
	20	0,818	0,820	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,823	0,823	0,822	0,822	0,822	0,822	0,823	0,822	0,822	0,821	0,821	0,820
	25	0,815	0,819	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,823	0,823	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,821	0,821	0,820	0,818
	30	0,811	0,817	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,823	0,822	0,822	0,822	0,821	0,821	0,820	0,817	
	35	0,809	0,816	0,823	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,823	0,822	0,822	0,822	0,822	0,821	0,821	0,815	
	40	0,809	0,814	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,822	0,822	0,823	0,822	0,822	0,821	0,821	0,814	
	50	0,809	0,812	0,823	0,825	0,826	0,826	0,827	0,827	0,826	0,826	0,824	0,823	0,823	0,823	0,823	0,822	0,822	0,813	
60	0,805	0,811	0,824	0,825	0,826	0,827	0,827	0,827	0,827	0,826	0,824	0,823	0,823	0,824	0,824	0,823	0,823	0,822	0,814	
70	0,800	0,811	0,824	0,826	0,826	0,827	0,827	0,826	0,826	0,824	0,822	0,821	0,822	0,823	0,823	0,824	0,824	0,824	0,816	
80	0,800	0,810	0,823	0,824	0,825	0,825	0,824	0,822	0,819	0,817	0,817	0,818	0,821	0,822	0,823	0,823	0,822	0,818		
90	0,813	0,808	0,821	0,822	0,821	0,820	0,818	0,815	0,814	0,813	0,812	0,813	0,816	0,818	0,820	0,823	0,824	0,818		

Fonte: Autoria própria.

Figura 62. Energia anual em kWh para Ivaí.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	3998,5	
	5	3885,1	3940,8	4032,1	4069,4	4098,1	4108	4114,6	4117,7	4117,2	4113,2	4105,8	4095,2	4081,9	4066,2	4048,7	4010,3	3970,6	3899
	10	3746,6	3857,5	4041,2	4115,7	4172,6	4192,3	4205,3	4211,2	4209,9	4201,6	4186,5	4165,3	4138,9	4108,4	4074,9	4000,8	3923	3778,8
	15	3584	3750,5	4027,3	4138,1	4222,5	4251,6	4270,8	4279,4	4277,3	4264,5	4241,7	4210	4170,9	4126,9	4078,5	3969,4	3854,2	3638,7
	20	3398,9	3622,9	3991,6	4137,5	4247,9	4286,2	4311,5	4322,6	4319,6	4302,4	4271,9	4229,8	4178,8	4122,6	4059,1	3915,9	3766,3	3480,4
	25	3194,1	3477,1	3936,4	4114,3	4249,9	4296,2	4327,3	4341,2	4337	4315,3	4277,3	4225,1	4163,5	4095	4017	3843,5	3662,7	3307,7
	30	2974,4	3317,7	3864,3	4071,3	4229	4283	4318,4	4334,7	4329,6	4303,5	4258,1	4196,5	4125,2	4044,8	3953,8	3756,3	3546,8	3125,7
	35	2747,6	3147,8	3775,2	4009,5	4185,4	4246,8	4286	4303,5	4297,6	4267,1	4214,5	4144,2	4064	3973,2	3872,7	3655,9	3422,8	2938,2
	40	2527,6	2972,5	3673,2	3929,2	4119,6	4187	4230,3	4248,4	4240,7	4206	4146,7	4068,7	3981	3883,2	3776,7	3542,2	3292,4	2750,4
	50	2139,4	2621,7	3433,2	3718,5	3930,9	4002,6	4048,9	4066,8	4054	4010,7	3939,6	3851,3	3756,5	3651,3	3537,4	3287	3013,3	2389,3
60	1794,5	2292,2	3159,6	3455,1	3667,1	3737,3	3780,9	3792,9	3772,4	3719,7	3641,8	3553,2	3458,7	3356,6	3243,8	2997	2726,2	2067,3	
70	1496	1996,8	2859,2	3144,3	3340,4	3401,2	3434	3433,9	3401,3	3339,9	3263	3182,7	3100,2	3009,6	2910,5	2690,4	2434,2	1797	
80	1261,7	1741,9	2550,5	2806,6	2966,8	3009,3	3023,5	3004,7	2955,9	2889,1	2820,5	2758,4	2697,2	2628,4	2551,9	2372,7	2153,3	1579	
90	1125,1	1527,1	2233,9	2451,7	2566,3	2583,6	2574,6	2536,9	2476,3	2411,9	2354,4	2311,9	2276	2234,9	2186,9	2060	1881	1403	

Fonte: Autoria própria.

4.9 MESOREGIÃO SUDOESTE PARANAENSE

4.9.1 Dois Vizinhos

Para o município de Dois Vizinhos, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,830207 e a máxima geração de energia anual foi de 4750,84 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 10° Leste em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,789555 e a mínima geração de energia anual foi de 1188,07 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 63 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 64.

Figura 63. Taxa de desempenho para Dois Vizinhos.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822
	5	0,823	0,822	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,824	0,824	0,823
	10	0,822	0,822	0,823	0,823	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824
	15	0,821	0,820	0,822	0,823	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824
	20	0,818	0,818	0,822	0,823	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,825	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,824	0,824
	25	0,815	0,817	0,821	0,823	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,821
	30	0,812	0,815	0,821	0,823	0,824	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,820
	35	0,809	0,813	0,821	0,823	0,824	0,824	0,825	0,826	0,826	0,826	0,825	0,825	0,826	0,825	0,825	0,824	0,819
	40	0,808	0,811	0,821	0,822	0,824	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,826	0,825	0,818
	50	0,806	0,809	0,822	0,824	0,825	0,826	0,827	0,827	0,827	0,827	0,826	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,826
	60	0,801	0,808	0,822	0,824	0,825	0,826	0,827	0,827	0,827	0,826	0,826	0,827	0,828	0,829	0,828	0,828	0,827
70	0,793	0,809	0,823	0,825	0,826	0,826	0,825	0,825	0,824	0,823	0,823	0,826	0,828	0,829	0,830	0,830	0,829	
80	0,790	0,809	0,822	0,824	0,824	0,823	0,822	0,820	0,818	0,816	0,817	0,821	0,825	0,827	0,830	0,830	0,829	
90	0,809	0,809	0,823	0,824	0,821	0,819	0,816	0,813	0,813	0,814	0,813	0,814	0,819	0,824	0,827	0,830	0,830	

Fonte: Autoria própria.

Figura 64. Energia anual em kWh para Dois Vizinhos.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	4430,6	
	5	4312,3	4324,5	4400	4442,7	4483,7	4502,1	4518,4	4531,9	4542,3	4549,4	4553	4552,8	4549,1	4541,8	4531,3	4501,9	4464	4371,1
	10	4165,3	4191,3	4344,9	4429,3	4509,8	4545,9	4577,7	4604,3	4624,8	4638,7	4645,4	4644,9	4637,4	4623,1	4602,8	4545,7	4471,5	4285,8
	15	3991,3	4034,8	4270,8	4395,9	4512,8	4565,1	4611	4649,3	4679,1	4699,3	4709	4707,9	4696,5	4675,8	4646,5	4563	4453,1	4175,9
	20	3792	3859	4178,2	4341	4492,6	4558,9	4619,1	4668,6	4706,1	4731,7	4744	4742,3	4727,3	4701	4663,2	4553,2	4409,4	4043,1
	25	3570	3667,6	4070,8	4267,8	4450,3	4529,8	4600,2	4661,2	4706,5	4736,5	4750,8	4748,4	4730,2	4699,1	4652,5	4518	4343,6	3889,7
	30	3330,5	3466	3950,5	4178,2	4386,8	4478,2	4557,5	4626,5	4679,9	4713,8	4729,6	4726,4	4706	4670,1	4615,4	4460,9	4259	3721
	35	3081,3	3257,4	3818,5	4073	4300,4	4403,6	4491,5	4566,5	4625,8	4663,7	4680,3	4676,8	4655	4614,6	4553,7	4385,4	4158,5	3540,3
	40	2835,7	3047,5	3680	3953,8	4196,4	4305,3	4401,7	4481,8	4544,4	4586	4603,3	4599,9	4577,4	4534,2	4471	4291,9	4046,8	3352,9
	50	2389,4	2641,5	3381,2	3679,8	3938,8	4051,1	4152,2	4237	4304,4	4348	4367,5	4365,9	4348	4307,8	4246,2	4056,1	3788	2974,5
	60	1983,4	2275,4	3071,4	3368,5	3618,5	3725,1	3819,2	3899,8	3961,9	4003,5	4025,1	4033,3	4027	3998,9	3945,6	3768	3496,1	2614,6
70	1628,8	1965,5	2753,9	3035,4	3252,9	3340,6	3417,8	3479,8	3527,5	3560,9	3587	3611,1	3626,6	3617,4	3582,7	3432,9	3175,2	2290,3	
80	1345,5	1713,7	2444,5	2687,3	2858	2919,3	2966,8	3000,8	3023,3	3043,9	3075	3120	3163	3181,4	3171,9	3067,6	2844,2	2009,2	
90	1188,1	1510,7	2140,6	2340,6	2455,8	2484,8	2499,2	2503,4	2503,3	2514,8	2543,3	2599,6	2667,4	2715,5	2736,4	2683,6	2500,6	1769,5	

Fonte: Autoria própria.

4.9.2 Planalto

Para o município de Planalto, obteve-se que a melhor taxa de desempenho foi de 0,828162 e a máxima geração de energia anual foi de 4580,27 kWh/ano na inclinação de 25° e desvio de 0° em relação ao Norte. A pior taxa de desempenho foi de 0,788507 e a mínima geração de energia anual foi de 1141,53 kWh/ano na inclinação de 90° e desvio de 180° em relação ao Norte. O mapa de calor da taxa de desempenho apresentado na Figura 65 e o mapa de calor para energia anual gerada na Figura 66.

Figura 65. Taxa de desempenho para Planalto.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819
	5	0,819	0,819	0,819	0,819	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820
	10	0,819	0,818	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820	0,821	0,821
	15	0,818	0,817	0,820	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,820	0,820	0,821	0,821	0,821
	20	0,816	0,816	0,819	0,820	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,820	0,821	0,822	0,821	0,821
	25	0,813	0,814	0,819	0,820	0,821	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,821	0,821	0,821	0,821	0,822	0,822	0,821
	30	0,809	0,812	0,819	0,820	0,821	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,821	0,821	0,822	0,822	0,822	0,822	0,821
	35	0,807	0,811	0,819	0,820	0,822	0,822	0,823	0,823	0,823	0,823	0,822	0,821	0,822	0,822	0,823	0,822	0,821
	40	0,806	0,809	0,819	0,820	0,822	0,823	0,823	0,824	0,824	0,823	0,822	0,822	0,823	0,823	0,823	0,822	0,822
	50	0,803	0,806	0,819	0,821	0,822	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,823	0,823	0,825	0,825	0,825	0,825	0,823
	60	0,798	0,805	0,819	0,821	0,823	0,824	0,825	0,825	0,825	0,824	0,823	0,824	0,826	0,826	0,826	0,825	0,824
	70	0,791	0,805	0,820	0,821	0,823	0,823	0,823	0,823	0,822	0,820	0,820	0,822	0,825	0,826	0,827	0,827	0,825
	80	0,789	0,805	0,818	0,820	0,821	0,821	0,820	0,818	0,816	0,814	0,814	0,817	0,822	0,824	0,826	0,826	0,826
	90	0,808	0,804	0,819	0,819	0,818	0,816	0,814	0,812	0,811	0,810	0,809	0,811	0,816	0,819	0,822	0,825	0,825

Fonte: Autoria própria.

Figura 66. Energia anual em kWh para Planalto.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5	4276,5
	5	4161,9	4199,1	4283,2	4322,6	4356,3	4369,7	4380,3	4387,7	4391,8	4392,4	4389,5	4383,3	4374	4361,9	4347,4	4312,8	4274,3
	10	4020,2	4094,1	4263,8	4342,3	4409,2	4435,9	4456,8	4471,4	4479,2	4480	4474	4461,5	4442,9	4419,2	4391,3	4325,5	4250,8
	15	3853,1	3964,3	4220,8	4337,8	4436,7	4476	4506,8	4528	4539,4	4540,4	4531	4512	4484,5	4450,1	4410,5	4315,7	4205,5
	20	3661,7	3812,9	4156,1	4309,2	4438,9	4489,8	4530,4	4558,5	4572,9	4573,7	4561	4535,6	4499,4	4455,8	4405,8	4281,5	4137
	25	3448,3	3643,3	4072,9	4259,3	4416,8	4478,9	4527,6	4562,3	4580	4580,3	4564,1	4532,4	4488,4	4437,4	4376,2	4224	4048,4
	30	3217,6	3459,7	3973,1	4190,1	4371,8	4444	4499,8	4539,3	4560,3	4560,2	4540,4	4502,8	4452,1	4394,1	4322,2	4146,4	3943,4
	35	2976,6	3266,2	3858,6	4102,4	4302,6	4384,7	4447,6	4490,9	4513,9	4513,5	4490	4447	4391,3	4326,2	4245,4	4053	3824,7
	40	2738,1	3067,5	3733,6	3997,9	4214,1	4301,1	4370,5	4417,3	4440,8	4440	4413,1	4365,6	4306	4235,2	4149,7	3944,2	3697,1
	50	2300,2	2673,7	3452	3745,1	3979,8	4071,3	4144,4	4193,8	4217,8	4212,9	4180,7	4127,5	4066,7	3993,7	3905,6	3683,1	3413,1
	60	1904	2309,3	3146,8	3443,2	3674,6	3762,8	3830,3	3875,3	3892,5	3882	3846,4	3797,7	3743,4	3677,1	3593,5	3379,9	3105,5
	70	1559,2	1992,4	2826,4	3111,5	3315,3	3387,7	3441,1	3470	3473,9	3454,3	3420,9	3384,7	3347,7	3296,3	3228,1	3039,3	2781,3
	80	1288,9	1730,5	2508,5	2757,5	2919,7	2968,3	2995,6	2999,5	2981,5	2951,7	2924,5	2909,2	2897,5	2871,5	2826,9	2682,9	2460,6
	90	1141,5	1518,8	2194,9	2401,8	2511,7	2530,7	2528,2	2505,2	2467,9	2432,9	2409,3	2411,8	2426,7	2429,6	2414,7	2321,5	2141,6

Fonte: Autoria própria.

4.10 RESUMO DOS DADOS OBTIDOS

4.10.1 Tabela resumo

Os dados obtidos através das simulações e apresentados para cada município e mesorregião, foram organizados na Tabela 7 e ranqueados de acordo com a máxima taxa de desempenho apresentada pelo sistema.

Tabela 7. Ranking de Taxa de Desempenho para as cidades simuladas.

Posição	Cidade	Mesorregião	Altitude (m)	Temp. Média (°C)	Vel. vento média (m/s)	Irradiação Global Horizontal (kWh/m ² /dia)	Máxima Taxa de Desempenho	Máxima Produção de Energia (kWh/ano)
1	Inácio Martins	Centro Sul	1260	16,30	2,70	4,29	0,847163	4291,6
2	Curitiba	Metropolitana de Curitiba	924	17,40	2,20	4,08	0,843985	4075,57
3	Castro	Centro Oriental	1008	16,90	1,80	4,27	0,839662	4223,75
4	General Carneiro	Sudeste	1018	15,80	1,40	3,82	0,839468	3789,84
5	Paranaguá – Ilha do Mel	Metropolitana de Curitiba	1	21,10	2,70	4,05	0,838643	4007,08
6	Clevelândia	Centro Sul	980	17,60	2,90	4,59	0,836204	4516,92
7	Nova Fátima	Norte Pioneiro	668	20,80	3,10	5,06	0,833108	4960,1
8	Londrina	Norte Central	566	21,80	2,30	4,12	0,831558	4023,14
9	Ibaiti	Norte Pioneiro	930	20,20	2,50	4,74	0,83093	4593,86
10	Dois Vizinhos	Sudoeste	520	20,00	2,80	4,92	0,830207	4750,84
11	Joaquim Távora	Norte Pioneiro	522	20,50	2,80	4,87	0,829369	4698,99
12	Marechal Cândido Rondon	Oeste	392	21,40	3,40	4,86	0,828638	4676,7
13	Ivaí	Sudeste	808	19,10	1,80	4,45	0,827353	4341,18
14	Planalto	Sudoeste	346	21,30	2,90	4,77	0,827162	4580,27
15	Paranapoema	Noroeste	311	22,90	3,00	5,10	0,824299	4874,52
16	Diamante do Norte	Noroeste	362	22,80	3,00	5,19	0,823677	4936,57
17	Foz do Iguaçu – Cataratas	Oeste	231	21,50	2,70	4,43	0,823205	4274,34
18	Icaraíma	Noroeste	385	22,40	3,10	4,93	0,821141	5078,71
19	Maringá	Norte Central	542	23,00	2,20	4,96	0,81996	4808,58
20	Cidade Gaúcha	Noroeste	381	22,80	2,00	4,84	0,817932	4588,03

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 7 também apresenta os máximos valores de produção anual de energia, temperatura, velocidade do vento e níveis de irradiação total global horizontal, possibilitando uma análise de quais parâmetros interferem na taxa de desempenho.

É possível observar ainda que o município de Diamante do Norte apresente o maior nível de irradiação global horizontal, terceira melhor produção de energia, ocupa apenas a 16ª posição na máxima taxa de desempenho, isto ocorre porque as perdas do sistema estão associadas à temperatura média e velocidade do vento da região. Nota-se também uma tendência que conforme a temperatura média aumente e a velocidade do vento seja baixa, a taxa de desempenho tende a ser menor.

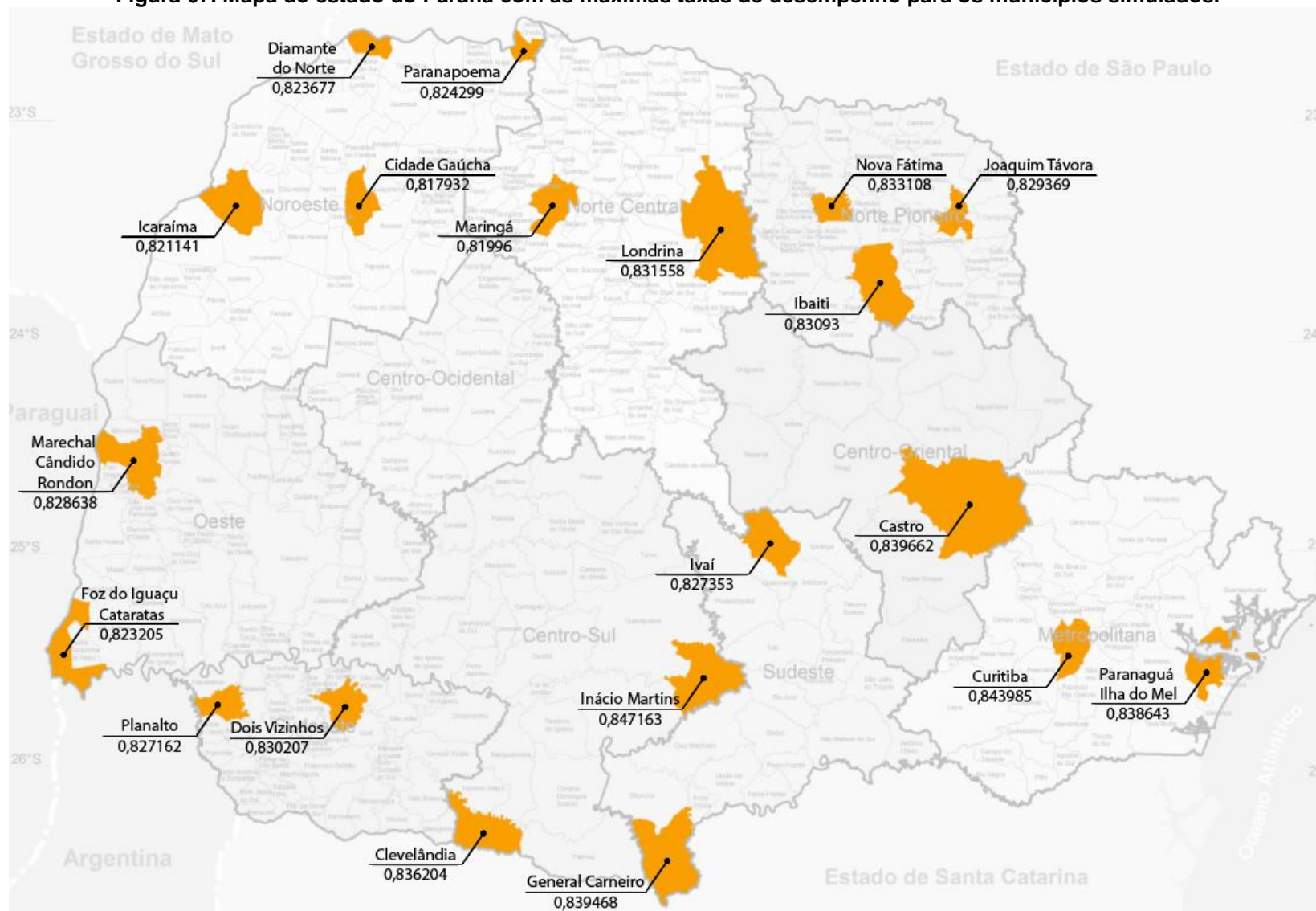
4.10.2 Mapa das mesorregiões com PR e energia gerada

Os dados obtidos para as cidades foram dispostos no mapa das mesorregiões do estado do Paraná (ITGC, 2010), Figura 67, de forma a destacar a máxima taxa de desempenho das principais cidades e capitais regionais do estado. É possível observar como a taxa de desempenho varia entre cidades da mesma mesorregião.

Dentre as seis cidades com melhores taxas de desempenho é possível notar que cinco estão acima dos 900 metros de altitude, com exceção de Paranaguá – Ilha do Mel. Regiões mais elevadas são caracterizadas por temperaturas mais amenas, o que diminui as perdas e aumenta o desempenho do sistema.

As seis primeiras cidades do *ranking* da Tabela 7, estão situadas em regiões mais ao Sul do estado e não apresentam temperaturas médias acima dos 21°C. As mesorregiões Metropolitana, Centro-Sul, Centro Oriental e Sudeste tem como característica, temperaturas médias menores em comparação as mesorregiões Norte-Central, Norte Pioneiro e Noroeste.

Figura 67. Mapa do estado do Paraná com as máximas taxas de desempenho para os municípios simulados.



Fonte: ITGC (2010) modificado pelo autor.

4.10.3 Comparação com o sistema real

O sistema utilizado para a simulação neste trabalho possui as mesmas características do sistema real estudado por Tonin (2017). Para a validação desta simulação foi realizado a comparação dos dados simulados pelo *software* SAM na cidade de Curitiba para as condições de instalação real, inclinação de 22° e desvio azimutal de 2° leste.

O resultado obtido foi de PR de 0,84, produção de energia de 4052 kWp/ano e produtividade de 1350 kWh/kW. O sistema real analisado por Tonin obteve valores anuais de PR igual a 0,8770 e produtividade de 1359,24 kWh/kW. Isto representa uma diferença entre o sistema simulado e o sistema real de 4,21% na taxa de desempenho e 0,68% na produtividade. A diferença entre a simulação e o estudo real, pode estar associada a variação de fatores de perda, que podem não permanecer constantes ao longo do ano, diferentemente do modelo simulado escolhido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

O crescimento de fontes renováveis de energia nos últimos anos em todo o mundo mostra um grande potencial de desenvolvimento da energia solar fotovoltaica. O Brasil possui níveis de irradiação superiores a países com maior capacidade instalada de energia fotovoltaica, porém com potencial muito pouco explorado, as resoluções 687/2012 e 687/2015 regulamentaram a microgeração e minigeração, O estado do Paraná possui grande capacidade de geração de energia fotovoltaica, no entanto existem poucos estudos sobre os impactos no desempenho de sistemas FV com a mudança de região de instalação e de condições de instalação.

A taxa de desempenho é o índice de mérito que contabiliza as perdas associadas do sistema em relação a energia disponibilizada para geração, fazendo-se necessário conhecer os fatores que afetam as perdas e sempre buscar os maiores índices de taxa de desempenho possíveis. No entanto, nem sempre é possível encontrar as condições ideais para instalação do sistema, com inclinação igual a latitude da região e sem desvios em relação ao norte para o hemisfério Sul, que resultaria na maior produção anual de energia elétrica.

Neste trabalho foram feitas simulações com o sistema operando em condições diferentes de inclinação e de orientação, variando sua região de instalação em nove das dez mesorregiões do estado do Paraná. Após as simulações foi possível estudar o comportamento da taxa de desempenho e verificar como se comporta à medida que são variados os parâmetros de entrada.

Através dos mapas de calor gerados foi possível observar que a taxa de desempenho pouco variou com a mudança da inclinação e orientação. Permanecendo quase constante a medida em que o seu desvio em relação ao norte e sua inclinação eram acrescidos. A variação observada na taxa de desempenho é baixa, mantendo variação média de 1% na maioria das condições calculadas, apresentando um desvio maior apenas em uma condição específica, 80° de inclinação e desvio de 180° Sul, onde apresentou variação média de 4,23% em relação a melhor PR.

A taxa de desempenho pode ser analisada sob o aspecto de que, conforme as condições de instalação se afastavam da condição ideal, a quantidade de energia gerada é minimizada e a irradiação incidente também será reduzida na mesma intensidade. A taxa de desempenho apenas é alterada significativamente com valores muito improváveis de instalação do sistema FV, compreendido nas regiões de inclinação maiores que 70° e orientação predominantemente Sul (135° até 225°), uma vez que sua geração de energia é profundamente afetada. Em condições próximas as ideias de latitude e desvio azimutal, obtém-se uma variação de apenas 3% em média, esta diferença pode ser observada nas tabelas do APÊNDICE A. Estes resultados foram encontrados para todas as cidades simuladas.

A mudança na região afetou de forma mais significativa a taxa de desempenho do que sua forma de instalação. Isso acontece porque as perdas são associadas a parâmetros climatológicos como temperatura, nebulosidade, chuvas e níveis de irradiação. Tais diferenças podem ser percebidas, por exemplo, observando a mesorregião Metropolitana de Curitiba, que apresenta maiores índices de nebulosidade e menor temperatura em relação a mesorregião Norte pioneiro. As outras mesorregiões também apresentam parâmetros climáticos distintos.

A maior taxa de desempenho ocorreu em Inácio Martins com inclinação de 40° e desvio de 0° em relação ao Norte, com $PR=0,847163$. A menor taxa de desempenho ocorreu em Icaraíma com inclinação de 80° e desvio de 180° em relação ao Norte, com $PR=0,773575$. Um dos motivos que isto ocorre é devido a Inácio Martins ser a cidade com a segunda menor temperatura média, $16,30^\circ\text{C}$ e velocidade do vento de $2,7\text{ m/s}$, acima dos $2,43\text{ m/s}$ de velocidade média das vinte cidades simuladas, diminuindo as perdas por temperatura.

A maior geração de energia anual aconteceu em Icaraíma, cidade com o quinto maior índice de irradiação horizontal global anual entre as outras 19, apresentando uma geração de $5078,71\text{ kWh/ano}$, com inclinação de 35° e desvio de 50° Leste em relação ao Norte. Icaraíma mesmo sendo o município que mais gera energia, figura apenas em 18° lugar no *ranking* de taxa de desempenho, isto pode ser atrelado a temperatura média, quinta maior das cidades estudadas.

Os valores de energia gerada pelo sistema sofreram maior variação do que a taxa de desempenho conforme a variação de inclinação e desvio azimutal. A energia

gerada obteve máxima variação de 70% em média, porém é possível analisar a partir dos mapas de calor gerados no tópico 4, que existe um quadrante próximo a latitude do local sem desvio azimutal, em que a produção de energia anual varia menos que 2%. O quadrante ocorre próximo a $\pm 10^\circ$ de inclinação igual a latitude do local e $\pm 10^\circ$ de desvio azimutal, estes dados poder ser verificados nas tabelas do APÊNDICE A.

A validação das simulações ocorreu por comparação com o sistema estudado por Tonin (2017), que apresentou uma taxa de desempenho para a região de Curitiba de 0,8770, apresentando uma variação de 4,21% em sua taxa de desempenho e apenas 0,68% em sua produtividade em relação ao valor simulado para as mesmas condições de instalação. A diferença entre o valor real e o valor simulado pode ser atribuído a: - perdas parametrizadas apresentadas na Tabela 5 serem valores aproximados e podem apresentar variação em relação as perdas reais, variando ao longo do ano com mudanças de temperaturas, chuvas e sujidade; - a estimativa do *software* para as curvas que descrevem o comportamento não linear de carregamento do inversor e da curva IxV do módulo; - a efeitos físicos não contemplados na linearização do cálculo da taxa de desempenho adotado para estas simulações.

5.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja realizado um estudo em mais cidades do estado do Paraná, aumentando o acervo de dados e gerando um maior detalhamento das regiões do estado.

Sugere-se fixar os parâmetros de instalação do sistema, inclinação e orientação, variando os valores de perdas para que desta forma seja analisado qual parâmetro de perda é mais representativo para o desempenho do sistema.

Também é sugerido recriar as simulações mudando o arranjo do sistema fotovoltaico, alterando a quantidade de inversores e de conexões de painéis série e paralelo. Sugere-se criar gr

Propõem-se que sejam utilizados os dados de carregamento do inversor, importando dados de sua curva de carregamento para ser utilizado como parâmetro das simulações.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704 - Sistemas fotovoltaicos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 16149 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro, 2013.

ALLAMEHZADEH, Hamid. Solar Energy Overview and Maximizing Power Output of a Solar Array Using Sun Trackers. In: IEEE CONFERENCE ON TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY (SusTech), 2016, Phoenix, Arizona. **Artigo**. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7897136/>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Registro de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**. 2016. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/scg/rcgMicro.asp>>. Acesso em 05 nov. 2017.

_____. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 27 set. 2016.

_____. **Resolução Normativa Nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 27 set. 2016.

ARAÚJO, Ana J. N; RANK, Narah I.; BUENO, Talita B.A. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. 2016. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

AWAD, Hadia; GUL, Mustafa; RITTER, Chelsea; VERMA, Preshit; CHEN, Yuan; SALIM, K.M. Emtiaz; AL-HUSSEIN, Mohamed; YU, Haitao; KASAWSKI, Kyle. **Solar Photovoltaic Optimization for Commercial Flat Roof tops in Cold Regions**. In: IEEE CONFERENCE ON TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY (SusTech), 2016, Phoenix, Arizona. **Artigo**, IEEE, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7897140/>>. Acesso em 06 jun. 2017.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em 05 jun. 2017.

DGS, German Solar Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers Architects and Engineers**. 3. ed. Abingdon: Routledge, 2013.

ELCO, Elco Solar. **Datasheet módulo ELCO-A300P**.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016 – Relatório final**. Ministério de Minas e Energia – MME. Brasília – DF, 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>. Acesso em 05 jun. 2017.

EPIA. **Global Market Outlook for Photovoltaics 2017-2021**. Solarpower Europe Association, 2017. Disponível em: <<http://www.solarpowereurope.org/reports/global-market-outlook-2017/>>. Acessado em 05 jun. 2017.

GASPARIN, Fabiano. P.; KRENZINGER, Arno. **Desempenho de um Sistema Fotovoltaico em Dez Cidades Brasileiras com Diferentes Orientações do Painel**. In: VI CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016, Belo Horizonte. Anais do VI CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016.

GREEN, M. A., EMERY, K., HISHIKAWA, Y., WARTA, W., DUNLOP, E. D. **Solar cell efficiency tables (version 48)**. 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2788/full>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

GAUTAM, S.; RAUT, D.B.; GHALE, D.P.; NEUPANE, P.; DHAKAL, R. **Maximum Power Point Tracker with Solar Prioritizer in Photovoltaic Application**. In: 5 INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY RESEARCH AND APPLICATIONS. 2016, Birmingham. **Artigo**, IEEE, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7884494/IEA>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Rio de Janeiro, 1990, v. 1. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/DRB/Divisao%20regional_v01.pdf>. Acesso em 15 out. de 2017.

IEA, International Energy Agency. **Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy.** Paris, 2014. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf>. Acessado em 05 jun. 2017.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf >. Acessado em 06 jun. 2017.

ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Divisão Política do Paraná.** Curitiba, 2010. Disponível em :<http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/mesorregioes_geograficas_base_2010.jpg>. Acessado em 15 de out. 2017.

MALINOWSKI, Mariusz; LEON, José I.; ABU-RUB, Haitham. **Solar Photovoltaic and Thermal Energy Systems: Current Technology and Future Trends.** IEEE, Intitute of Electrical and Eletronics Engineers, 28 abr. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7914744/>>. Acesso em 06 jun. 2017.

MARION, B.; ADELSTEIN, J.; BOYLE, K.; HAYDEN, H.; HAMMOND, B.; FLETCHER, T.; CANADA, B.; NARANG, D.; SHUGAR, D.; WENGER, H.; KIMBER, A.; MITCHELL, L.; RICH, G.; TOWNSEND, T. **Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems.** In: Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition, 31., 2005, Lake Buena Vista, Florida. **Artigo,** IEEE, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1488451/>>. Acesso em 06 jun. 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. “**Atlas Brasileiro de Energia Solar**”, São José dos Campos, 1ª Edição, p. 34, 2006, Disponível em <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf >, Acesso em 18 Out. 2016.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em 06 jun. 2017.

PRODIST, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. **Módulo 8: Qualidade de Energia Elétrica**. Revisão 8, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em 09 jun. 2017.

REN21, **Renewables Global Futures Report**. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Paris, 2017. Disponível em: <<http://www.ren21.net/GFR-2017-Report-Full-report-EN>>. Acesso em 06 jun. 2017.

SAM, *System Advisor Model*. NREL – *National Laboratory of U.S Department of Energy*. **System Advisor Model General Description**. Denver, 2014. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61019.pdf>>. Acessado em 01 set. 2017.

SOLAR ENERGY, Solar Energy do Brasil. **Manual do Usuário Série SE-TL**. Disponível em: <<http://solarenergy.com.br/wp-content/uploads/2014/12/manual-do-inversor.pdf>>. Acessado em 10 out. 2017.

TIEPOLO, Gérson M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná**. 2015. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

TONIN, Fabianna Stumpf. **“Caracterização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, na cidade de Curitiba”**. 2017. 131 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

URBANETZ, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

APÊDICE A

DADOS NORMALIZADOS DE TAXA DE DESEMPENHO E GERAÇÃO DE ENERGIA DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ

Dados de taxa de desempenho e Energia anual em kWh foram normalizados com base em seu valor máximo, variando inclinação e orientação dos painéis fotovoltaicos. Os dados foram obtidos através de simulação para as mesorregiões e cidades de:

- MESORREGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
 - Curitiba

Figura 68. Taxa de desempenho normalizada para Curitiba.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
	5	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,995	0,994	0,994
	10	0,993	0,994	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994
	15	0,991	0,994	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996	0,996	0,995	0,995	0,996	0,995	0,994	0,994
	20	0,987	0,992	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,993	0,993
	25	0,983	0,991	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	0,992
	30	0,978	0,989	0,998	0,999	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,996	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991
	35	0,975	0,987	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,997	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,992	0,991
	40	0,977	0,985	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,997	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,992	0,991
	50	0,978	0,982	0,998	1,000	1,000	1,000	0,999	0,998	0,998	0,996	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993	0,992	0,991
	60	0,975	0,980	0,999	0,999	1,000	1,000	0,999	0,999	0,997	0,995	0,994	0,993	0,994	0,993	0,993	0,992	0,990
	70	0,967	0,979	0,997	0,999	0,999	0,998	0,998	0,996	0,994	0,991	0,990	0,991	0,991	0,992	0,991	0,991	0,991
	80	0,964	0,977	0,996	0,997	0,996	0,995	0,994	0,991	0,988	0,985	0,984	0,985	0,987	0,988	0,989	0,989	0,987
90	0,975	0,974	0,991	0,993	0,991	0,989	0,987	0,984	0,983	0,981	0,978	0,977	0,980	0,982	0,984	0,987	0,987	

Fonte: Autoria própria.

Figura 69. Energia anual em kWh normalizada de Curitiba.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	5	0,89	0,91	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,90
	10	0,86	0,88	0,93	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,87
	15	0,82	0,86	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,94	0,92	0,89
	20	0,78	0,83	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87
	25	0,73	0,79	0,90	0,94	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,89	0,85
	30	0,68	0,75	0,88	0,93	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,96	0,94	0,92	0,88	0,83
	35	0,63	0,71	0,86	0,91	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,90	0,86	0,80
	40	0,58	0,67	0,83	0,89	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,88	0,83	0,77
	50	0,50	0,59	0,78	0,84	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86	0,83	0,78	0,71
	60	0,42	0,52	0,71	0,78	0,84	0,86	0,87	0,87	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,71	0,65
	70	0,36	0,45	0,65	0,71	0,76	0,78	0,79	0,79	0,79	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,64	0,58
	80	0,30	0,40	0,58	0,64	0,68	0,69	0,70	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,56	0,51
90	0,27	0,35	0,51	0,56	0,59	0,60	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,49	0,45	

Fonte: Autoria própria.

○ **Paranaguá – Ilha do Mel**

Figura 70. Taxa de desempenho normalizada para Paranaguá - Ilha do Mel.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste				
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação (°)	0	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	
	5	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996
	10	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996
	15	0,994	0,996	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	0,994
	20	0,991	0,995	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	0,992	0,992
	25	0,987	0,994	0,999	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,997	0,996	0,997	0,996	0,995	0,994	0,992	0,989	0,989
	30	0,983	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,992	0,991	0,987	0,987
	35	0,980	0,990	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	0,992	0,991	0,984	0,984
	40	0,981	0,988	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,991	0,989	0,982	0,982
	50	0,980	0,984	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,992	0,990	0,989	0,980	0,980
	60	0,972	0,981	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,996	0,994	0,993	0,993	0,993	0,991	0,990	0,989	0,987	0,979	0,979
	70	0,962	0,978	0,995	0,997	0,997	0,997	0,996	0,994	0,991	0,989	0,988	0,989	0,989	0,989	0,988	0,988	0,988	0,979	0,979
	80	0,958	0,974	0,993	0,995	0,994	0,992	0,990	0,987	0,983	0,980	0,980	0,982	0,984	0,985	0,985	0,986	0,985	0,978	0,978
	90	0,972	0,969	0,986	0,989	0,988	0,985	0,982	0,978	0,976	0,975	0,974	0,974	0,976	0,979	0,981	0,983	0,984	0,976	0,976

Fonte: Autoria própria.

Figura 71. Energia anual em kWh normalizada de Paranaguá – Ilha do Mel.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste				
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação	0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	
	5	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,90
	10	0,87	0,89	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,87
	15	0,83	0,87	0,93	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89	0,84	0,84
	20	0,79	0,84	0,92	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,80	0,80
	25	0,74	0,81	0,91	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,88	0,84	0,76	0,76
	30	0,69	0,77	0,90	0,94	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,86	0,82	0,72	0,72
	35	0,64	0,73	0,88	0,93	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,84	0,79	0,68	0,68
	40	0,59	0,70	0,85	0,91	0,95	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,81	0,76	0,64	0,64
	50	0,51	0,61	0,80	0,86	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86	0,83	0,81	0,75	0,69	0,56	0,56
	60	0,43	0,54	0,73	0,80	0,84	0,86	0,87	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,68	0,62	0,48	0,48
	70	0,36	0,47	0,66	0,73	0,77	0,78	0,79	0,78	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,68	0,66	0,61	0,56	0,42	0,42
	80	0,30	0,41	0,59	0,65	0,68	0,69	0,69	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,60	0,58	0,54	0,49	0,37	0,37
	90	0,26	0,35	0,52	0,57	0,59	0,59	0,59	0,58	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,49	0,47	0,43	0,33	0,33

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE

- Castro

Figura 72. Taxa de desempenho normalizada para Castro.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
	10	0,992	0,993	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993
	15	0,991	0,993	0,996	0,997	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993	0,992
	20	0,988	0,992	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,995	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,993	0,992	0,991
	25	0,985	0,991	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,992	0,991	0,990
	30	0,981	0,989	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,995	0,993	0,992	0,993	0,992	0,991	0,991	0,990
	35	0,977	0,988	0,998	0,998	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,995	0,993	0,992	0,993	0,992	0,992	0,990	0,989
	40	0,977	0,986	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,995	0,993	0,992	0,993	0,992	0,992	0,990	0,989
	50	0,978	0,983	0,997	0,999	0,999	1,000	1,000	0,999	0,998	0,995	0,993	0,993	0,993	0,992	0,991	0,991	0,990
	60	0,975	0,981	0,998	0,998	1,000	1,000	1,000	0,999	0,997	0,994	0,992	0,992	0,993	0,992	0,992	0,991	0,990
	70	0,967	0,981	0,997	0,999	0,999	0,999	0,998	0,996	0,993	0,990	0,989	0,990	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
	80	0,963	0,979	0,997	0,997	0,997	0,996	0,994	0,991	0,987	0,983	0,982	0,984	0,986	0,988	0,989	0,990	0,988
	90	0,978	0,976	0,993	0,995	0,993	0,990	0,987	0,984	0,983	0,980	0,977	0,977	0,980	0,983	0,985	0,988	0,989

Fonte: Autoria própria.

Figura 73. Energia anual em kWh normalizada de Castro.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	5	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92
	10	0,87	0,89	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92	0,90
	15	0,83	0,87	0,93	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,91	0,89	0,84
	20	0,79	0,84	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87
	25	0,74	0,81	0,91	0,95	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,88	0,84
	30	0,69	0,77	0,90	0,94	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,86	0,82
	35	0,64	0,74	0,88	0,93	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,84	0,79
	40	0,59	0,70	0,85	0,91	0,95	0,97	0,97	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,86	0,81	0,76
	50	0,50	0,61	0,80	0,86	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86	0,83	0,81	0,75	0,69
	60	0,43	0,54	0,73	0,80	0,84	0,86	0,87	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,68	0,63
	70	0,36	0,47	0,66	0,73	0,77	0,78	0,79	0,79	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,61	0,56
	80	0,30	0,41	0,59	0,65	0,68	0,69	0,69	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,60	0,58	0,54	0,49
	90	0,26	0,36	0,52	0,57	0,59	0,60	0,59	0,58	0,57	0,55	0,53	0,52	0,51	0,51	0,49	0,47	0,43

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO CENTRO-SUL PARANAENSE

- Clevelândia

Figura 74. Taxa de desempenho normalizada para Clevelândia.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994
	10	0,992	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994
	15	0,991	0,991	0,994	0,994	0,994	0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,995	0,994	0,994
	20	0,988	0,989	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,995	0,994	0,993
	25	0,984	0,988	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993
	30	0,980	0,985	0,993	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993
	35	0,977	0,983	0,993	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,993	0,995	0,994	0,994	0,987
	40	0,977	0,981	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,986
	50	0,976	0,979	0,994	0,996	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,996	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,986
	60	0,973	0,979	0,994	0,995	0,997	0,998	0,998	0,999	0,998	0,996	0,995	0,996	0,998	0,998	0,997	0,997	0,987
	70	0,966	0,980	0,995	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,995	0,993	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000	0,999
	80	0,963	0,980	0,994	0,996	0,996	0,996	0,995	0,993	0,990	0,987	0,987	0,990	0,994	0,997	0,999	0,999	0,991
	90	0,983	0,978	0,995	0,995	0,993	0,991	0,989	0,986	0,985	0,983	0,981	0,983	0,988	0,992	0,995	0,999	0,990

Fonte: Autoria própria.

Figura 75. Energia anual em kWh normalizada de Clevelândia.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	5	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91
	10	0,86	0,88	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,88
	15	0,83	0,85	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,85
	20	0,78	0,82	0,90	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,82
	25	0,73	0,78	0,88	0,92	0,96	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,92	0,79
	30	0,68	0,74	0,86	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,91	0,75
	35	0,63	0,69	0,83	0,89	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,89	0,71
	40	0,58	0,65	0,80	0,87	0,92	0,94	0,96	0,97	0,97	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,87	0,67
	50	0,49	0,57	0,74	0,81	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,81	0,59
	60	0,41	0,49	0,68	0,75	0,81	0,83	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	0,84	0,82	0,80	0,75	0,51
	70	0,34	0,43	0,62	0,68	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,68	0,45
	80	0,28	0,38	0,55	0,61	0,65	0,66	0,67	0,68	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,65	0,64	0,61	0,39
	90	0,25	0,33	0,48	0,53	0,56	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,56	0,56	0,55	0,53	0,35

Fonte: Autoria própria.

○ Inácio Martins

Figura 76. Taxa de desempenho normalizada para Inácio Martins.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994
	10	0,993	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995
	15	0,991	0,992	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994
	20	0,988	0,991	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,993
	25	0,985	0,989	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,993	0,989
	30	0,980	0,987	0,995	0,997	0,997	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993
	35	0,977	0,985	0,995	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993
	40	0,978	0,983	0,996	0,997	0,998	0,998	0,999	0,999	0,998	0,997	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,993	0,993
	50	0,976	0,980	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000	1,000	0,999	0,997	0,996	0,996	0,997	0,996	0,995	0,995	0,993
	60	0,971	0,978	0,995	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	0,999	0,997	0,995	0,996	0,997	0,997	0,996	0,995	0,993
	70	0,961	0,977	0,994	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,996	0,993	0,992	0,994	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995
	80	0,963	0,977	0,993	0,994	0,996	0,995	0,994	0,992	0,989	0,986	0,986	0,989	0,991	0,992	0,994	0,993	0,991
	90	0,980	0,974	0,992	0,993	0,991	0,989	0,987	0,983	0,981	0,980	0,979	0,980	0,984	0,987	0,989	0,991	0,991

Fonte: Autoria própria.

Figura 77. Energia anual em kWh normalizada de Inácio Martins.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	5	0,89	0,91	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91
	10	0,86	0,89	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92	0,90
	15	0,82	0,86	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89
	20	0,78	0,83	0,92	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,90	0,87
	25	0,73	0,80	0,90	0,94	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,89	0,85	0,76
	30	0,68	0,76	0,89	0,93	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,91	0,87	0,72
	35	0,63	0,72	0,86	0,92	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,85	0,68
	40	0,58	0,68	0,84	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,82	0,63
	50	0,49	0,60	0,78	0,85	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,76	0,55
	60	0,41	0,52	0,72	0,79	0,84	0,86	0,87	0,87	0,87	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,70	0,48
	70	0,34	0,45	0,65	0,71	0,76	0,78	0,79	0,79	0,78	0,77	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,62	0,41
	80	0,29	0,39	0,58	0,64	0,67	0,69	0,69	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,63	0,61	0,59	0,55	0,36
	90	0,26	0,35	0,51	0,56	0,58	0,59	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,47	0,32

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO NOROESTE PARANAENSE

- Cidade Gaúcha

Figura 78. Taxa de desempenho normalizada para Cidade Gaúcha.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
	5	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
	10	0,992	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994
	15	0,991	0,991	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994
	20	0,989	0,990	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,995	0,994
	25	0,986	0,988	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994
	30	0,982	0,986	0,993	0,994	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	0,994	0,995	0,994	0,993
	35	0,978	0,984	0,993	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997	0,996	0,996	0,995	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994
	40	0,976	0,981	0,992	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994
	50	0,975	0,978	0,992	0,994	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996	0,998	0,998	0,997	0,997	0,995
	60	0,971	0,976	0,992	0,994	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,996	0,995	0,996	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997
	70	0,963	0,975	0,992	0,995	0,996	0,997	0,997	0,996	0,994	0,992	0,991	0,994	0,997	0,999	0,999	1,000	0,998
	80	0,959	0,975	0,991	0,993	0,994	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,984	0,988	0,993	0,996	0,998	0,999	0,998
	90	0,977	0,974	0,991	0,992	0,990	0,989	0,986	0,983	0,983	0,983	0,981	0,981	0,986	0,990	0,994	0,998	0,999

Fonte: Autoria própria.

Figura 79. Energia anual em kWh normalizada de Cidade Gaúcha.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	5	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,92
	10	0,88	0,90	0,94	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,94	0,93
	15	0,85	0,88	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92
	20	0,81	0,84	0,92	0,95	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,90
	25	0,76	0,81	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92	0,88
	30	0,71	0,77	0,88	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,90	0,86
	35	0,66	0,73	0,86	0,91	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92	0,88	0,83
	40	0,61	0,69	0,83	0,88	0,93	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,85	0,80
	50	0,51	0,60	0,77	0,83	0,88	0,89	0,91	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,79	0,74
	60	0,43	0,52	0,70	0,76	0,81	0,83	0,84	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80	0,79	0,77	0,73	0,67
	70	0,35	0,45	0,63	0,69	0,73	0,75	0,75	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,69	0,65	0,60
	80	0,29	0,39	0,56	0,61	0,65	0,65	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,60	0,57	0,53
	90	0,26	0,34	0,49	0,54	0,56	0,56	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,50	0,46

Fonte: Autoria própria.

○ **Diamante do Norte**

Figura 80. Taxa de desempenho normalizada para Diamante do Norte.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste				
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação (°)	0	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	5	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	10	0,991	0,990	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,994	0,993
	15	0,990	0,989	0,990	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993
	20	0,987	0,987	0,990	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,992	0,992	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,992
	25	0,984	0,984	0,989	0,990	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,992	0,992	0,993	0,994	0,994	0,993	0,993	0,990
	30	0,979	0,982	0,988	0,990	0,991	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,989
	35	0,975	0,979	0,988	0,990	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,987
	40	0,972	0,977	0,988	0,989	0,992	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,986
	50	0,971	0,972	0,987	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,996	0,997	0,997	0,997	0,995	0,995	0,984
	60	0,966	0,971	0,987	0,989	0,991	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,984
	70	0,957	0,970	0,988	0,990	0,991	0,992	0,992	0,991	0,990	0,988	0,988	0,991	0,996	0,998	0,999	1,000	0,998	0,998	0,985
	80	0,951	0,971	0,987	0,988	0,989	0,988	0,987	0,985	0,982	0,981	0,981	0,985	0,991	0,995	0,998	0,999	0,998	0,998	0,986
	90	0,968	0,970	0,988	0,988	0,985	0,983	0,980	0,977	0,979	0,980	0,978	0,978	0,984	0,989	0,993	0,998	0,998	0,998	0,986

Fonte: Autoria própria.

Figura 81. Energia anual em kWh normalizada de Diamante do Norte.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	5	0,92	0,92	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92
	10	0,89	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,95	0,94	0,90
	15	0,85	0,87	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,93	0,88
	20	0,81	0,84	0,91	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,89
	25	0,76	0,80	0,89	0,93	0,96	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,89	0,81
	30	0,71	0,76	0,87	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,91	0,87	0,77
	35	0,66	0,72	0,84	0,89	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,89	0,85	0,73
	40	0,60	0,67	0,81	0,87	0,91	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,82	0,69
	50	0,51	0,58	0,75	0,81	0,86	0,88	0,89	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,81	0,76	0,60
	60	0,42	0,50	0,68	0,74	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,84	0,83	0,82	0,82	0,80	0,79	0,75	0,69	0,52
	70	0,35	0,43	0,61	0,67	0,71	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	0,67	0,62	0,45
	80	0,28	0,38	0,54	0,60	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,60	0,55	0,40
	90	0,25	0,33	0,48	0,52	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,52	0,48	0,35

Fonte: Autoria própria.

○ Icaraíma

Figura 82. Taxa de desempenho normalizada para Icaraíma.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste				
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	
	5	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,992	
	10	0,990	0,992	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,992	
	15	0,988	0,991	0,994	0,995	0,997	0,997	0,996	0,997	0,997	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,991	
	20	0,984	0,988	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,990	
	25	0,980	0,986	0,993	0,995	0,997	0,998	0,998	0,997	0,998	0,998	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,994	0,993	0,988	
	30	0,974	0,983	0,993	0,996	0,996	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996	0,995	0,993	0,992	0,986	
	35	0,970	0,981	0,993	0,995	0,997	0,997	0,999	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,992	0,990	0,983	
	40	0,967	0,979	0,993	0,995	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,994	0,990	0,988	0,981	
	50	0,965	0,976	0,993	0,996	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,993	0,988	0,984	0,976
	60	0,959	0,974	0,992	0,995	0,997	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,994	0,991	0,985	0,980	0,972	
	70	0,946	0,974	0,993	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,991	0,984	0,977	0,968	
	80	0,942	0,974	0,989	0,992	0,992	0,990	0,988	0,986	0,986	0,986	0,987	0,988	0,989	0,990	0,989	0,982	0,976	0,966	
	90	0,958	0,974	0,987	0,989	0,986	0,983	0,980	0,977	0,979	0,982	0,982	0,980	0,982	0,985	0,986	0,982	0,975	0,964	

Fonte: Autoria própria.

Figura 83. Energia anual em kWh normalizada de Icaraíma.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	5	0,84	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,87
	10	0,81	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,86
	15	0,78	0,75	0,78	0,81	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,95	0,93	0,86
	20	0,74	0,71	0,75	0,79	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,95	0,84
	25	0,69	0,66	0,72	0,76	0,81	0,83	0,86	0,88	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98	0,95	0,83
	30	0,65	0,62	0,69	0,74	0,79	0,82	0,84	0,87	0,90	0,92	0,95	0,97	0,99	1,00	1,00	0,99	0,95	0,81
	35	0,60	0,57	0,66	0,71	0,77	0,80	0,83	0,86	0,89	0,92	0,94	0,97	0,99	1,00	1,00	0,99	0,95	0,78
	40	0,55	0,53	0,63	0,68	0,74	0,77	0,80	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	0,98	0,94	0,75
	50	0,47	0,45	0,57	0,62	0,68	0,71	0,75	0,78	0,82	0,86	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97	0,95	0,90	0,69
	60	0,39	0,39	0,51	0,56	0,62	0,65	0,68	0,72	0,75	0,79	0,83	0,86	0,89	0,91	0,92	0,91	0,86	0,62
	70	0,33	0,33	0,45	0,50	0,55	0,57	0,60	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79	0,82	0,84	0,86	0,85	0,80	0,56
	80	0,27	0,29	0,39	0,44	0,47	0,49	0,52	0,54	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,76	0,78	0,78	0,74	0,50
	90	0,24	0,26	0,34	0,38	0,40	0,42	0,43	0,45	0,48	0,51	0,54	0,59	0,63	0,67	0,69	0,70	0,66	0,45

Fonte: Autoria própria.

○ Paranapoema

Figura 84. Taxa de desempenho normalizada para Paranapoema.

azimute (°)	Sul			Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,993
	10	0,992	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994
	15	0,991	0,990	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,996	0,995	0,995	0,994
	20	0,988	0,988	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,996	0,996	0,995	0,995	0,992
	25	0,984	0,986	0,991	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,995	0,996	0,996	0,995	0,994	0,991
	30	0,980	0,984	0,991	0,992	0,994	0,994	0,995	0,995	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,994	0,989
	35	0,975	0,981	0,990	0,992	0,994	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,987
	40	0,972	0,978	0,990	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,996	0,995	0,995	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,986
	50	0,972	0,974	0,989	0,992	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	0,996	0,995	0,996	0,998	0,998	0,998	0,998	0,996	0,984
	60	0,967	0,971	0,989	0,991	0,993	0,995	0,996	0,996	0,996	0,994	0,994	0,996	0,998	0,999	0,999	0,998	0,998	0,984
70	0,958	0,970	0,988	0,991	0,993	0,993	0,993	0,993	0,991	0,989	0,989	0,992	0,996	0,998	0,999	1,000	0,999	0,985	
80	0,951	0,970	0,987	0,989	0,990	0,990	0,988	0,986	0,984	0,982	0,982	0,986	0,991	0,994	0,997	0,998	0,997	0,986	
90	0,967	0,969	0,987	0,988	0,986	0,984	0,981	0,979	0,980	0,981	0,979	0,978	0,983	0,988	0,992	0,997	0,998	0,985	

Fonte: Autoria própria.

Figura 85. Energia anual em kWh normalizada de Paranapoema.

azimute (*)	Sul			Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	
	5	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,92
	10	0,88	0,90	0,94	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90
	15	0,85	0,87	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,87
	20	0,81	0,84	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,90	0,84
	25	0,76	0,81	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,88	0,80
	30	0,71	0,77	0,88	0,92	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,90	0,86	0,76
	35	0,66	0,72	0,85	0,90	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,88	0,83	0,72
	40	0,60	0,68	0,82	0,88	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,86	0,80	0,68
	50	0,50	0,59	0,76	0,82	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,80	0,74	0,59
	60	0,42	0,51	0,70	0,76	0,81	0,82	0,83	0,84	0,84	0,84	0,83	0,82	0,81	0,79	0,77	0,73	0,67	0,51
70	0,35	0,44	0,63	0,69	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	0,69	0,66	0,60	0,44	
80	0,29	0,38	0,56	0,61	0,64	0,65	0,65	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,58	0,53	0,39	
90	0,25	0,34	0,49	0,53	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,52	0,52	0,52	0,50	0,46	0,34	

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO NORTE CENTRAL PARANAENSE

- Londrina

Figura 86. Taxa de desempenho normalizada para Londrina.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990
	5	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	10	0,991	0,991	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993
	15	0,990	0,991	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,994	0,993
	20	0,988	0,990	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	0,994	0,996	0,995	0,994	0,993
	25	0,985	0,989	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,996	0,995	0,994	0,993
	30	0,981	0,987	0,995	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,995	0,995	0,996	0,996	0,995	0,994
	35	0,977	0,985	0,995	0,996	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,996	0,996	0,996	0,994
	40	0,975	0,983	0,995	0,996	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,996	0,996	0,997	0,996	0,996	0,994	0,994
	50	0,975	0,980	0,994	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	0,999	0,998	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,995
60	0,973	0,977	0,993	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	0,999	0,996	0,995	0,995	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	
70	0,967	0,973	0,992	0,995	0,996	0,997	0,998	0,997	0,995	0,992	0,991	0,992	0,994	0,995	0,996	0,998	0,996	
80	0,964	0,970	0,989	0,992	0,993	0,993	0,993	0,991	0,988	0,985	0,984	0,986	0,990	0,992	0,994	0,995	0,993	
90	0,972	0,965	0,986	0,988	0,988	0,987	0,985	0,982	0,982	0,980	0,977	0,978	0,982	0,986	0,989	0,991	0,992	

Fonte: Autoria própria.

Figura 87. Energia anual em kWh normalizada de Londrina.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	5	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91
	10	0,87	0,90	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90
	15	0,84	0,88	0,94	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,88
	20	0,80	0,85	0,94	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,89	0,86
	25	0,75	0,83	0,93	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,87	0,84
	30	0,71	0,79	0,91	0,96	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,90	0,85	0,81
	35	0,66	0,76	0,90	0,94	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,83	0,78
	40	0,61	0,72	0,87	0,93	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,85	0,80	0,75
	50	0,52	0,64	0,82	0,88	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,74	0,69
60	0,44	0,56	0,76	0,82	0,86	0,87	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,80	0,77	0,75	0,72	0,67	0,62	
70	0,37	0,49	0,69	0,75	0,79	0,79	0,80	0,79	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,60	0,55	
80	0,32	0,43	0,62	0,67	0,70	0,71	0,70	0,69	0,68	0,65	0,63	0,61	0,60	0,58	0,57	0,53	0,49	
90	0,28	0,37	0,54	0,59	0,61	0,61	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48	0,46	0,43	

Fonte: Autoria própria.

○ Maringá

Figura 88. Taxa de desempenho normalizada para Maringá.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	
	5	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
	10	0,994	0,994	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,997	0,996
	15	0,993	0,993	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,996	0,997	0,996	0,996	0,995
	20	0,990	0,991	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994
	25	0,985	0,989	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,995	0,995	0,992
	30	0,980	0,986	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,995	0,995	0,996	0,995	0,995	0,995	0,990
	35	0,975	0,984	0,995	0,996	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,988
	40	0,973	0,982	0,995	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,986
	50	0,975	0,978	0,994	0,996	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,997	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,998	0,984
	60	0,972	0,977	0,995	0,995	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,996	0,998	0,998	0,998	0,998	0,984
	70	0,965	0,978	0,995	0,997	0,997	0,997	0,998	0,997	0,996	0,994	0,993	0,995	0,998	0,999	0,999	1,000	0,999	0,986
	80	0,963	0,978	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,992	0,990	0,988	0,987	0,990	0,994	0,996	0,998	0,999	0,997	0,987
	90	0,979	0,977	0,994	0,994	0,991	0,990	0,987	0,985	0,985	0,985	0,983	0,983	0,988	0,992	0,994	0,998	0,998	0,987

Fonte: Autoria própria.

Figura 89. Energia anual em kWh normalizada de Maringá.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	
	5	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90
	10	0,86	0,88	0,92	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,92	0,88
	15	0,82	0,85	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,85
	20	0,78	0,82	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,81
	25	0,73	0,78	0,88	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,91	0,87	0,78
	30	0,68	0,74	0,86	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,90	0,85	0,74
	35	0,62	0,69	0,84	0,89	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,88	0,82	0,70
	40	0,57	0,65	0,81	0,87	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,90	0,85	0,80	0,65
	50	0,47	0,57	0,75	0,82	0,87	0,90	0,91	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,85	0,80	0,74	0,57
	60	0,40	0,49	0,69	0,76	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,79	0,74	0,67	0,49
	70	0,33	0,43	0,62	0,68	0,73	0,75	0,77	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,74	0,73	0,71	0,67	0,60	0,43
	80	0,28	0,37	0,55	0,61	0,65	0,66	0,67	0,68	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,59	0,53	0,37
	90	0,25	0,33	0,48	0,53	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,51	0,46	0,33

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO NORTE PIONEIRO PARANAENSE

- Ibaiti

Figura 90. Taxa de desempenho normalizada para Ibaiti.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
	10	0,992	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993
	15	0,990	0,991	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993
	20	0,988	0,990	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,991
	25	0,984	0,988	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,990
	30	0,980	0,986	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,988
	35	0,976	0,983	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,994	0,986
	40	0,974	0,981	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,985
	50	0,974	0,978	0,991	0,992	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,997	0,985
	60	0,970	0,976	0,991	0,992	0,993	0,994	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,995	0,997	0,997	0,997	0,998	0,986
	70	0,963	0,976	0,991	0,993	0,993	0,993	0,993	0,992	0,991	0,989	0,990	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000
	80	0,959	0,976	0,991	0,992	0,992	0,991	0,989	0,987	0,984	0,983	0,984	0,987	0,991	0,994	0,996	0,999	0,998
	90	0,974	0,974	0,989	0,990	0,988	0,985	0,982	0,979	0,980	0,981	0,980	0,980	0,984	0,989	0,993	0,998	0,999

Fonte: Autoria própria.

Figura 91. Energia anual em kWh normalizada de Ibaiti.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	5	0,91	0,92	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93
	10	0,88	0,90	0,94	0,95	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92
	15	0,84	0,87	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96	0,93	0,91
	20	0,80	0,84	0,92	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,92	0,89
	25	0,75	0,81	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87
	30	0,70	0,77	0,88	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,89	0,84
	35	0,65	0,73	0,86	0,91	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,87	0,82
	40	0,60	0,69	0,83	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,84	0,79
	50	0,50	0,60	0,78	0,84	0,88	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,83	0,78	0,73
	60	0,42	0,52	0,71	0,78	0,82	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,82	0,81	0,79	0,77	0,72	0,66
	70	0,35	0,46	0,64	0,70	0,74	0,76	0,76	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,69	0,65	0,59
	80	0,29	0,40	0,57	0,63	0,66	0,67	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,60	0,57	0,52
	90	0,26	0,35	0,50	0,55	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52	0,52	0,50	0,46

Fonte: Autoria própria.

○ Joaquim Távora

Figura 92. Taxa de desempenho normalizada para Joaquim Távora.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,993
	10	0,992	0,991	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,995	0,994	0,993
	15	0,990	0,990	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993
	20	0,987	0,989	0,992	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,993	0,991
	25	0,984	0,986	0,991	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993	0,990
	30	0,979	0,984	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993	0,988
	35	0,975	0,982	0,990	0,992	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,987
	40	0,974	0,980	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,985
	50	0,973	0,976	0,989	0,991	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,996	0,985
	60	0,969	0,974	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,995	0,997	0,997	0,998	0,998	0,997	0,986
	70	0,961	0,973	0,989	0,992	0,993	0,993	0,993	0,992	0,990	0,989	0,989	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000	0,988
	80	0,955	0,973	0,989	0,991	0,991	0,990	0,989	0,986	0,983	0,982	0,982	0,986	0,991	0,994	0,997	0,999	0,998	0,989
	90	0,971	0,971	0,987	0,989	0,987	0,985	0,982	0,979	0,980	0,980	0,979	0,979	0,983	0,989	0,993	0,998	0,999	0,988

Fonte: Autoria própria.

Figura 93. Energia anual em kWh normalizada de Joaquim Távora.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	5	0,91	0,92	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93
	10	0,88	0,90	0,94	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92
	15	0,84	0,87	0,93	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91
	20	0,80	0,84	0,92	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87
	25	0,75	0,81	0,91	0,94	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87
	30	0,70	0,77	0,89	0,93	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,89	0,84
	35	0,65	0,73	0,86	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,86	0,81
	40	0,60	0,69	0,84	0,89	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,84	0,79
	50	0,51	0,61	0,78	0,84	0,89	0,90	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,78	0,72
	60	0,42	0,53	0,72	0,78	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80	0,78	0,76	0,72	0,66
	70	0,35	0,46	0,65	0,71	0,75	0,76	0,77	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,71	0,70	0,68	0,65	0,59
	80	0,29	0,40	0,58	0,64	0,66	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,60	0,57	0,53
	90	0,26	0,35	0,51	0,56	0,58	0,58	0,57	0,56	0,55	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,50	0,46

Fonte: Autoria própria.

○ Nova Fátima

Figura 94. Taxa de desempenho normalizada para Nova Fátima.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993
	10	0,992	0,991	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994
	15	0,990	0,989	0,992	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,996	0,995	0,995	0,995
	20	0,987	0,987	0,991	0,992	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,996	0,995	0,995	0,995	0,992
	25	0,982	0,985	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994
	30	0,977	0,982	0,990	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,988
	35	0,972	0,979	0,990	0,991	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,995	0,996	0,996	0,995	0,995	0,987
	40	0,970	0,977	0,990	0,991	0,993	0,993	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,985
	50	0,972	0,973	0,989	0,991	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,995	0,994	0,996	0,997	0,997	0,997	0,998	0,996	0,983
	60	0,967	0,972	0,989	0,990	0,992	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,995	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,984
70	0,957	0,972	0,988	0,991	0,992	0,992	0,993	0,993	0,991	0,990	0,990	0,993	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	0,985	
80	0,955	0,972	0,988	0,989	0,990	0,989	0,988	0,987	0,985	0,983	0,983	0,987	0,992	0,995	0,998	0,999	0,998	0,986	
90	0,974	0,971	0,987	0,988	0,986	0,984	0,981	0,979	0,980	0,980	0,978	0,980	0,985	0,990	0,994	0,998	0,999	0,986	

Fonte: Autoria própria.

Figura 95. Energia anual em kWh normalizada de Nova Fátima.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	5	0,90	0,91	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
	10	0,86	0,88	0,92	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,92
	15	0,82	0,85	0,92	0,94	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90
	20	0,78	0,82	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89
	25	0,73	0,78	0,89	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,91	0,87
	30	0,68	0,74	0,87	0,92	0,96	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,89	0,85
	35	0,62	0,70	0,84	0,90	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,87	0,82
	40	0,57	0,66	0,82	0,88	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,95	0,94	0,92	0,90	0,85	0,79
	50	0,48	0,57	0,76	0,83	0,88	0,90	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,85	0,80	0,73
	60	0,40	0,50	0,69	0,76	0,82	0,83	0,85	0,86	0,86	0,86	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,73	0,67
70	0,33	0,43	0,63	0,69	0,74	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,75	0,74	0,72	0,71	0,66	0,60	
80	0,28	0,38	0,56	0,62	0,66	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,62	0,58	0,53	
90	0,24	0,33	0,49	0,54	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,51	0,47	

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO OESTE PARANAENSE

- Foz do Iguaçu – Cataratas

Figura 96. Taxa de desempenho normalizada para Foz do Iguaçu - Cataratas.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
	5	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
	10	0,992	0,992	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,995	0,995
	15	0,991	0,992	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995
	20	0,989	0,990	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,995	0,996	0,995	0,995
	25	0,986	0,989	0,994	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	0,994	0,996	0,996	0,995	0,994
	30	0,982	0,986	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	0,994	0,996	0,995	0,994
	35	0,978	0,984	0,994	0,995	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,995	0,996	0,995	0,995
	40	0,977	0,982	0,994	0,995	0,997	0,998	0,998	0,999	0,998	0,997	0,996	0,994	0,996	0,996	0,996	0,995	0,986
	50	0,975	0,978	0,993	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000	1,000	0,998	0,996	0,995	0,998	0,998	0,998	0,998	0,996
	60	0,970	0,976	0,992	0,995	0,997	0,999	1,000	1,000	0,999	0,998	0,995	0,996	0,998	0,999	0,998	0,997	0,996
	70	0,961	0,975	0,993	0,994	0,997	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,992	0,994	0,997	0,998	0,999	0,999	0,996
	80	0,960	0,974	0,990	0,993	0,995	0,995	0,994	0,992	0,989	0,986	0,985	0,989	0,993	0,995	0,997	0,997	0,996
	90	0,981	0,972	0,990	0,991	0,990	0,989	0,987	0,984	0,982	0,981	0,978	0,981	0,986	0,989	0,992	0,994	0,993

Fonte: Autoria própria.

Figura 97. Energia anual em kWh normalizada de Foz do Iguaçu - Cataratas.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	5	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91
	10	0,87	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,88
	15	0,83	0,87	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,92	0,90	0,85
	20	0,79	0,84	0,92	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,88
	25	0,75	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,90	0,86
	30	0,70	0,77	0,89	0,93	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,88	0,83
	35	0,64	0,73	0,86	0,92	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,86	0,80
	40	0,59	0,68	0,84	0,90	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,83	0,77
	50	0,50	0,60	0,78	0,84	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,77	0,71
	60	0,41	0,52	0,71	0,78	0,83	0,84	0,86	0,86	0,86	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,70	0,64
	70	0,34	0,45	0,64	0,71	0,75	0,76	0,77	0,77	0,77	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,63	0,57
	80	0,28	0,39	0,57	0,63	0,66	0,67	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59	0,55	0,50
	90	0,25	0,34	0,50	0,55	0,57	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,51	0,50	0,47	0,43

Fonte: Autoria própria.

○ **Marechal Cândido Rondon**

Figura 98. Taxa de desempenho normalizada para Marechal Cândido Rondon.

azimute (°)	Sul			Oeste						Norte						Leste				
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135		
ângulo de inclinação (°)	0	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991		
	5	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	
	10	0,990	0,990	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993	
	15	0,989	0,989	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,994	0,992	
	20	0,986	0,987	0,992	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,995	0,996	0,995	0,994	0,991	
	25	0,983	0,984	0,991	0,993	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,995	0,996	0,996	0,994	0,993	0,989	
	30	0,978	0,982	0,991	0,993	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997	0,996	0,995	0,995	0,995	0,997	0,996	0,995	0,993	0,987	
	35	0,974	0,979	0,991	0,993	0,995	0,996	0,997	0,998	0,997	0,997	0,996	0,995	0,996	0,997	0,996	0,995	0,994	0,986	
	40	0,973	0,976	0,991	0,993	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,994	0,984
	50	0,971	0,972	0,991	0,994	0,996	0,997	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,997	0,999	0,999	0,998	0,998	0,995	0,982
	60	0,964	0,971	0,990	0,993	0,996	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,997	0,999	1,000	0,999	0,998	0,996	0,982
	70	0,955	0,970	0,991	0,994	0,996	0,997	0,997	0,996	0,994	0,992	0,991	0,994	0,998	0,999	1,000	1,000	0,996	0,984	
	80	0,949	0,970	0,988	0,992	0,994	0,993	0,992	0,990	0,986	0,984	0,983	0,988	0,993	0,996	0,998	0,998	0,997	0,985	
	90	0,971	0,969	0,989	0,990	0,989	0,987	0,985	0,982	0,982	0,981	0,978	0,979	0,985	0,989	0,993	0,996	0,995	0,984	

Fonte: Autoria própria.

Figura 99. Energia anual em kWh normalizada do Marechal Cândido Rondon.

azimute (*)	Sul			Oeste						Norte						Leste			
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	
	5	0,91	0,92	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,92
	10	0,88	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90
	15	0,84	0,87	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,87
	20	0,80	0,83	0,91	0,94	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,84
	25	0,76	0,80	0,89	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,89	0,80	
	30	0,71	0,76	0,87	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,91	0,87	0,76
	35	0,65	0,71	0,84	0,90	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,89	0,84	0,72
	40	0,60	0,67	0,82	0,87	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,86	0,81	0,68
	50	0,51	0,58	0,75	0,82	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,81	0,75	0,60
	60	0,42	0,51	0,69	0,75	0,80	0,82	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,74	0,68	0,52
	70	0,35	0,44	0,62	0,68	0,72	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	0,67	0,61	0,45
	80	0,29	0,38	0,55	0,60	0,64	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,59	0,54	0,39
	90	0,25	0,33	0,48	0,53	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,51	0,47	0,35

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO SUDESTE PARANAENSE

- General Carneiro

Figura 100. Taxa de desempenho normalizada para General Carneiro.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
	5	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993
	10	0,992	0,993	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993
	15	0,991	0,993	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,992	0,992	0,993	0,993	0,992	0,992
	20	0,989	0,993	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,992	0,992	0,993	0,993	0,991	0,991
	25	0,985	0,991	0,997	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,993	0,993	0,992	0,991	0,989
	30	0,982	0,990	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996	0,994	0,993	0,992	0,993	0,992	0,991	0,990	0,989
	35	0,979	0,988	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,995	0,993	0,992	0,993	0,992	0,991	0,990	0,989
	40	0,979	0,986	0,997	0,998	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,995	0,993	0,992	0,993	0,992	0,992	0,990	0,989
	50	0,978	0,983	0,997	0,999	0,999	0,999	1,000	0,999	0,998	0,995	0,993	0,992	0,993	0,992	0,991	0,991	0,989
60	0,974	0,981	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	0,999	0,997	0,994	0,992	0,992	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	
70	0,968	0,979	0,995	0,998	0,999	0,999	0,999	0,997	0,994	0,990	0,988	0,989	0,990	0,990	0,990	0,990	0,989	
80	0,964	0,977	0,993	0,996	0,996	0,996	0,995	0,992	0,987	0,983	0,982	0,983	0,985	0,986	0,987	0,987	0,986	
90	0,980	0,973	0,991	0,993	0,992	0,990	0,988	0,984	0,981	0,979	0,975	0,975	0,978	0,980	0,982	0,984	0,986	

Fonte: Autoria própria.

Figura 101. Energia anual em kWh normalizada de General Carneiro.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	5	0,89	0,91	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91
	10	0,86	0,90	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,91	0,89	0,86
	15	0,83	0,88	0,94	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,83
	20	0,79	0,85	0,94	0,97	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,88	0,85
	25	0,74	0,82	0,93	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,90	0,86	0,82
	30	0,69	0,79	0,91	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,90	0,88	0,83	0,79
	35	0,64	0,75	0,90	0,95	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,86	0,81	0,75
	40	0,59	0,71	0,87	0,93	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,78	0,72
	50	0,51	0,63	0,82	0,88	0,92	0,94	0,94	0,94	0,93	0,91	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,71	0,65
60	0,43	0,55	0,75	0,82	0,87	0,88	0,88	0,88	0,86	0,84	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,64	0,58	
70	0,36	0,48	0,68	0,75	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,76	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62	0,57	0,52	
80	0,30	0,42	0,61	0,67	0,70	0,71	0,71	0,70	0,68	0,65	0,63	0,61	0,58	0,56	0,54	0,50	0,45	
90	0,27	0,36	0,53	0,58	0,61	0,61	0,61	0,59	0,57	0,55	0,52	0,51	0,49	0,47	0,46	0,43	0,39	

Fonte: Autoria própria.

○ Ivaí

Figura 102. Taxa de desempenho normalizada para Ivaí.

azimute (°)	Sul			Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	
	5	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	
	10	0,993	0,993	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	
	15	0,991	0,992	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	
	20	0,989	0,991	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993	0,993	
	25	0,985	0,989	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,994	0,993	0,993	0,994	0,994	0,993	0,993	0,992	
	30	0,981	0,988	0,995	0,996	0,996	0,997	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,993	0,994	0,993	0,993	0,993	0,992	
	35	0,978	0,986	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993	0,994	0,993	0,993	0,992	0,992	
	40	0,978	0,984	0,995	0,996	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,994	0,994	0,994	0,994	0,992	0,992	
	50	0,978	0,982	0,995	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	
	60	0,974	0,981	0,996	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	0,998	0,996	0,995	0,995	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	
	70	0,967	0,980	0,995	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,996	0,993	0,992	0,993	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	
	80	0,967	0,979	0,995	0,996	0,997	0,997	0,996	0,994	0,990	0,987	0,987	0,989	0,992	0,993	0,994	0,995	0,994	
	90	0,983	0,977	0,993	0,994	0,993	0,991	0,988	0,986	0,984	0,983	0,982	0,982	0,986	0,989	0,991	0,995	0,995	

Fonte: Autoria própria.

Figura 103. Energia anual em kWh normalizada de Ivaí.

azimute (*)	Sul			Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação	0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	
	5	0,89	0,91	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	
	10	0,86	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92	0,90	0,87	
	15	0,83	0,86	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,91	0,89	
	20	0,78	0,83	0,92	0,95	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,89	0,87	
	25	0,74	0,80	0,91	0,95	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,89	0,84	
	30	0,69	0,76	0,89	0,94	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,87	0,82	
	35	0,63	0,73	0,87	0,92	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,89	0,84	0,79	
	40	0,58	0,68	0,85	0,91	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	0,87	0,82	0,76	
	50	0,49	0,60	0,79	0,86	0,91	0,92	0,93	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,81	0,76	0,69	
	60	0,41	0,53	0,73	0,80	0,84	0,86	0,87	0,87	0,87	0,86	0,84	0,82	0,80	0,77	0,75	0,69	0,63	
	70	0,34	0,46	0,66	0,72	0,77	0,78	0,79	0,79	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,62	0,56	
	80	0,29	0,40	0,59	0,65	0,68	0,69	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,55	0,50	
	90	0,26	0,35	0,51	0,56	0,59	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,47	0,43	

Fonte: Autoria própria.

- MESORREGIÃO SUDOESTE PARANAENSE

- Dois Vizinhos

Figura 104. Taxa de desempenho normalizada para Dois Vizinhos.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste		
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135	
ângulo de inclinação (°)	0	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	5	0,991	0,990	0,991	0,991	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	
	10	0,990	0,990	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,992	
	15	0,988	0,988	0,990	0,991	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,992
	20	0,986	0,986	0,990	0,991	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994	0,993	0,993	0,990
	25	0,982	0,984	0,989	0,991	0,992	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,994	0,993	0,993	0,992	0,989
	30	0,978	0,981	0,989	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,994	0,994	0,993	0,993	0,992	0,988
	35	0,974	0,979	0,989	0,991	0,992	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,986
	40	0,974	0,977	0,989	0,991	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,995	0,995	0,995	0,993	0,993	0,985
	50	0,971	0,974	0,990	0,992	0,993	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,996	0,997	0,996	0,996	0,996	0,995	0,984
	60	0,965	0,973	0,990	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,996	0,998	0,998	0,998	0,997	0,996	0,985
	70	0,955	0,974	0,992	0,994	0,995	0,994	0,994	0,994	0,992	0,991	0,991	0,994	0,997	0,999	0,999	1,000	0,998	0,986
	80	0,951	0,975	0,991	0,993	0,993	0,991	0,990	0,988	0,985	0,983	0,984	0,989	0,994	0,997	0,999	1,000	0,999	0,987
	90	0,975	0,974	0,991	0,992	0,989	0,986	0,983	0,980	0,979	0,980	0,979	0,981	0,986	0,992	0,996	1,000	1,000	0,987

Fonte: Autoria própria.

Figura 105. Energia anual em kWh normalizada de Dois Vizinhos.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	5	0,91	0,91	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94
	10	0,88	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,94
	15	0,84	0,85	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,96	0,94
	20	0,80	0,81	0,88	0,91	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93
	25	0,75	0,77	0,86	0,90	0,94	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,91
	30	0,70	0,73	0,83	0,88	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90
	35	0,65	0,69	0,80	0,86	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,92	0,88
	40	0,60	0,64	0,77	0,83	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,90	0,85
	50	0,50	0,56	0,71	0,77	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89	0,85	0,80
	60	0,42	0,48	0,65	0,71	0,76	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85	0,84	0,83	0,79	0,74
	70	0,34	0,41	0,58	0,64	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,72	0,67
	80	0,28	0,36	0,51	0,57	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,67	0,65	0,60
	90	0,25	0,32	0,45	0,49	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,56	0,53

Fonte: Autoria própria.

○ Planalto

Figura 106. Taxa de desempenho normalizada para Planalto.

azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990
	5	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
	10	0,990	0,989	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,992	0,992	0,993
	15	0,989	0,988	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993
	20	0,986	0,987	0,991	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,994	0,993	0,992
	25	0,983	0,985	0,990	0,992	0,993	0,993	0,993	0,994	0,993	0,993	0,993	0,992	0,992	0,994	0,993	0,993	0,992
	30	0,979	0,982	0,990	0,992	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	0,994	0,993	0,993	0,992
	35	0,975	0,980	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	0,994	0,994	0,994	0,993
	40	0,975	0,978	0,990	0,992	0,994	0,995	0,995	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,994	0,994
	50	0,971	0,975	0,990	0,992	0,994	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,995	0,995	0,997	0,997	0,997	0,997	0,995
	60	0,965	0,973	0,990	0,992	0,995	0,996	0,997	0,998	0,997	0,996	0,995	0,996	0,998	0,999	0,998	0,997	0,997
	70	0,956	0,973	0,991	0,993	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,992	0,991	0,994	0,997	0,999	0,999	1,000	0,997
	80	0,953	0,973	0,989	0,992	0,993	0,992	0,991	0,989	0,986	0,984	0,984	0,988	0,993	0,996	0,998	0,999	0,998
	90	0,977	0,972	0,990	0,991	0,989	0,987	0,984	0,981	0,980	0,980	0,978	0,980	0,986	0,990	0,994	0,998	0,997

Fonte: Autoria própria.

Figura 107. Energia anual em kWh normalizada de Planalto.

azimute (*)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação	0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	
	5	0,91	0,92	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	
	10	0,88	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,94	
	15	0,84	0,87	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	
	20	0,80	0,83	0,91	0,94	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	
	25	0,75	0,80	0,89	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,92	
	30	0,70	0,76	0,87	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	
	35	0,65	0,71	0,84	0,90	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,88	
	40	0,60	0,67	0,82	0,87	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,86	
	50	0,50	0,58	0,75	0,82	0,87	0,89	0,90	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,80	
	60	0,42	0,50	0,69	0,75	0,80	0,82	0,84	0,85	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80	0,78	0,74	
	70	0,34	0,43	0,62	0,68	0,72	0,74	0,75	0,76	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,66	
	80	0,28	0,38	0,55	0,60	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,62	0,59	
	90	0,25	0,33	0,48	0,52	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,51	

Fonte: Autoria própria.