

RAUL LEDUR KUHN

TÍTULO: RASTREAMENTO DIÁRIO E ANUAL DOS NÍVEIS MÁXIMOS DE RADIAÇÃO SOLAR PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, Campus de Alegrete

Orientador: José Wagner Maciel Kaehler

**ALEGRETE
2013**

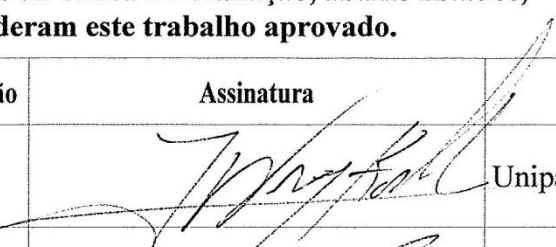
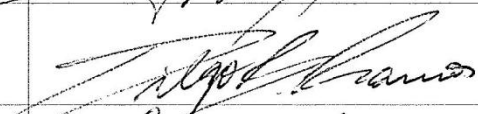
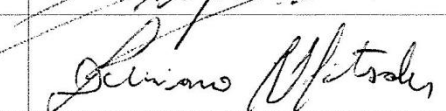
ERRATA

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se

Autoria:RaulLedur Kuhn

Título: Rastreamento Diário e Anual dos Níveis Máximos de Radiação Solar para Otimização da Produção Fotovoltaica

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, Campus de Alegrete

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1	José Wagner Maciel Kaehler	Dr.		Unipampa
2	Diego Berlezi Ramos	Dr.		Unipampa
3	Luciano Lopes Pfitscher	Me.		Unipampa

Data da aprovação: 07 de março de 2013.

AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente meus pais, Marco e Neusa, meu irmão Cássio e minha namorada Patricia, pela ajuda, e especialmente pelo carinho e atenção quando vinha o desânimo e o cansaço, me apoiando e incentivando a todo instante.

Aos Professores Dr. José Wagner Maciel Kaehler e Dr. Diego Berlezi Ramos, pela orientação, incentivo e inestimável ajuda na condução da pesquisa, e principalmente, pela amizade e compreensão.

Aos demais colegas e amigos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração desta pesquisa.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Tendo-se como referência a instalação geradora eólico-fotovoltaica instalada na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) Campus de Alegrete, propõe-se a criação de um sistema de rastreamento solar, onde os painéis possam ser movimentados na busca da máxima radiação horária, visando aumentar a produção de energia elétrica no período solar diário, sazonal e anual. Aqui, são apresentados resultados simulados comparando os níveis de eficiência obtidos com três sistemas de captação solar: painel fixo, rastreamento polar (um eixo) e rastreamento em dois eixos. Os parâmetros de avaliação foram obtidos a partir de dados disponíveis para a cidade de Alegrete, RS.

Palavras-chave: Rastreamento, Radiação, Potência, Fotovoltaico, Solar

RESUMEN

Tomando como referencia la estación generadora eólico-fotovoltaico instalado en la Universidad Federal do Pampa (UNIPAMPA) Campus Alegrete, propone la creación de un sistema de seguimiento de los paneles solares que se pueden mover alrededor en busca de la máxima radiación por hora, para aumentar la producción de electricidad solar diaria, estacional y anual. A continuación, presentamos los resultados de simulación comparando los niveles de eficiencia obtenidos con tres sistemas de captación solar: panel fijo, el rastreo polar (un eje) y seguimiento en dos ejes. Los parámetros de evaluación fueron obtenidos a partir de los datos disponibles a la ciudad de Alegrete RS.

Palabras clave: Tracking, radiación, energía, Fotovoltaica, Solar

SUMÁRIO

Errata	2
Agradecimentos	4
Resumo	6
RESUMEN	7
Sumário	8
Índice de Figuras	10
Índice de Tabelas	13
Introdução	14
1. Recurso solar	16
1.1. <i>Tecnologias de Aproveitamento Solar</i>	21
1.2. <i>Células Fotovoltaicas</i>	21
1.3. <i>Aproveitamentos Térmicos Solares</i>	24
1.4. <i>Rastreamento Solar</i>	25
1.4.1. <i>Tipos de Rastreadores</i>	26
1.4.2. <i>Rastreadores Passivos</i>	26
1.4.3. <i>Rastreadores Ativos</i>	27
1.4.3.1. <i>Sistema de Rastreamento Solar no Eixo Polar</i>	27
1.4.3.2. <i>Sistema de Rastreamento Solar em Dois Eixos</i>	28
1.5. <i>Localização Solar</i>	29
1.5.1. <i>Localizadores Físicos</i>	29
1.5.2. <i>Localizadores por Softwares</i>	30
1.5.3. <i>Localizadores Híbridos</i>	30
1.6. <i>Escolha do Sistema de Rastreamento</i>	31
2. Ganhos de Radiação Solar	34
2.1. <i>Solstício de Inverno Alegrete - RS</i>	34
2.2. <i>Solstício de Verão Alegrete- RS</i>	36
2.3. <i>Solstício de Inverno Macapá-AP</i>	39
2.4. <i>Solstício de Verão Macapá - AP</i>	41
2.5. <i>Ganho Anual</i>	44
3. Geração fotovoltaica	51
3.1. <i>Modelo Simples</i>	51
3.2. <i>Modelo Completo</i>	52
3.3. <i>Painel Fotovoltaico</i>	53
3.4. <i>Ganho de geração</i>	55

Considerações Finais	63
Referências Bibliográficas	64
Apêndice I - Código Fonte em Matlab para Determinação do Ganho de disponibilidade solar no Solstício de Verão em Alegrete - RS	65
Apêndice II - Código Fonte em Matlab para Determinação do Ganho de disponibilidade solar no Solstício de Inverno em Alegrete - RS.....	67
Apêndice III - Código Fonte em Matlab para Determinação do Ganho de disponibilidade solar no Solstício de Verão em Macapá - AP	68
Apêndice IV - Código Fonte em Matlab para Determinação do Ganho de disponibilidade solar no Solstício de Inverno em Macapá - AP	70
Apêndice V - Código Matlab para Determinação do Ganho Anual de disponibilidade solar.....	72
Apêndice Vi - Código Matlab para Determinação do Ganho Anual de Geração	75
Anexo I - DATASHEET DO PAINEL KYOCERA KD210GX-LP	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estação híbrida presente na Unipampa Campus Alegrete.	15
Figura 2	Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol (MAGNOLI, 1998).....	17
Figura 3	Média anual de insolação em horas (CRESESB, 2000).....	17
Figura 4	Definição do Ângulo de Declinação.....	18
Figura 5	Representação da declinação solar.....	19
Figura 6	Sistema de geração fotovoltaico; Fonte:CRESESB, 2006.....	23
Figura 7	Sistema solar de aquecimento de água.....	24
Figura 8	Sistema térmico solar de geração de energia elétrica.....	25
Figura 9	Sistema de rastreamento solar passivo.....	26
Figura 10	Sistema de rastreamento solar ativo.....	27
Figura 11	- Rastreamento solar no eixo Polar.....	28
Figura 12	- Rastreamento solar em 2 eixos.....	28
Figura 13	Equipamentos Utilizados para o sensoriamento de radiação solar.....	30
Figura 14	Carta solar cartesiana de Macapá - AP.....	31
Figura 15	Carta solar polar Macapá - AP.....	31
Figura 16	Carta solar cartesiana de Alegrete - RS.....	32
Figura 17	Carta solar polar Alegrete - RS.....	33
Figura 18	Disponibilidade solar de geração no dia 21 de junho em Alegrete-RS.....	35
Figura 19	Disponibilidade de radiação no dia 21 de junho.....	36
Figura 20	Disponibilidade solar de radiação no dia 21 de dezembro em Alegrete-RS..	38
Figura 21	Disponibilidade de radiação no dia 21 de dezembro.....	38
Figura 22	Disponibilidade solar de radiação no dia 21 de junho em Macapá-AP.....	40
Figura 23	Disponibilidade de radiação no dia 21 de junho.....	41
Figura 24	Disponibilidade solar de radiação no dia 21 de dezembro em Macapá-AP ..	43

Figura 25	Disponibilidade de radiação no dia 21 de dezembro.....	43
Figura 26	Ganho de radiação no painel, às 6 horas, durante o ano.....	44
Figura 27	Ganho de radiação no painel, às 7 horas, durante o ano.....	44
Figura 28	Ganho de radiação no painel, às 8 horas, durante o ano.....	45
Figura 29	Ganho de radiação no painel, às 9 horas, durante o ano.....	45
Figura 30	Ganho de radiação no painel, às 10 horas, durante o ano.....	45
Figura 31	Ganho de radiação no painel, às 11 horas, durante o ano.....	46
Figura 32	Ganho de radiação no painel, às 12 horas, durante o ano.....	46
Figura 33	Ganho de radiação no painel, às 13 horas, durante o ano.....	46
Figura 34	Ganho de radiação no painel, às 14 horas, durante o ano.....	47
Figura 35	Ganho de radiação no painel, às 15 horas, durante o ano.....	47
Figura 36	Ganho de radiação no painel, às 16 horas, durante o ano.....	47
Figura 37	Ganho de radiação no painel, às 17 horas, durante o ano.....	48
Figura 38	Ganho de radiação no painel, às 18 horas, durante o ano.....	48
Figura 39	Disponibilidade de radiação solar durante o ano.....	49
Figura 40	Modelo simplificado equivalente.....	51
Figura 41	Modelo elétrico equivalente do painel fotovoltaico.....	52
Figura 42	Célula e painel fotovoltaico.....	54
Figura 43	Variação da tensão com o aumento de células no painel.....	54
Figura 44	Ganho de radiação no painel, às 6 horas, durante o ano.....	56
Figura 45	Ganho de geração no painel, às 7 horas, durante o ano.....	56
Figura 46	Ganho de geração no painel, às 8 horas, durante o ano.....	57
Figura 47	Ganho de geração no painel, às 9 horas, durante o ano.....	57
Figura 48	Ganho de geração no painel, às 10 horas, durante o ano.....	57
Figura 49	Ganho de geração no painel, às 11 horas, durante o ano.....	58
Figura 50	Ganho de geração no painel, às 12 horas, durante o ano.....	58

Figura 51	Ganho de geração no painel, às 13 horas, durante o ano	58
Figura 52	Ganho de geração no painel, às 14 horas, durante o ano	59
Figura 53	Ganho de geração no painel, às 15 horas, durante o ano	59
Figura 54	Ganho de geração no painel, às 16 horas, durante o ano	59
Figura 55	Ganho de geração no painel, às 17 horas, durante o ano	60
Figura 56	Ganho de geração no painel, às 18 horas, durante o ano	60
Figura 57	Disponibilidade de geração fotovoltaica com painel de 220W durante o ano	62

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA I. Eficiência Fotovoltaica; Fonte: ANEEL, 2008.....	22
TABELA II. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica.....	34
TABELA III. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica	37
TABELA IV. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica	39
TABELA V. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica	42
TABELA VI. Disponibilidade solar horária ao longo do ano	48
TABELA VII. Temperatura média mensal dos últimos 5 anos: Fonte: Dados da Rede do INMET	55
TABELA VIII. Disponibilidade de geração em um ano com painel de 220 W	60

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento das populações. Apesar dos avanços tecnológicos, cerca de 1,3 bilhões de pessoas no mundo ainda vivem sem acesso aos benefícios da energia elétrica. (ANEEL, 2008) No Brasil a situação é bem menos crítica, porém ainda problemática. Mesmo com a abundante matriz energética, há grande diversidade cultural e uma forte concentração de pessoas e atividades econômicas em regiões com problemas de suprimento energético.

Para atingir esse público, a energia fotovoltaica apresenta-se como solução emergente para minimizar o problema. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, através do Plano Nacional de Energia 2030, a energia fotovoltaica é uma grande promessa para a geração distribuída.

Outro item a ser levado em conta é a resolução normativa número 482 (ANEEL, 2012) de 17 de abril de 2012, a qual possibilita a geração distribuída de fontes renováveis e estabelece as condições gerais de acesso a micro geração (centrais geradoras com potência instalada menor ou igual a 100kW) e mini geração (centrais geradoras com potência instalada superior a 100kW e menor ou igual a 1 MW) distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica,

A partir desta resolução, o proprietário de uma pequena usina não necessita consumir toda a energia gerada, o excedente pode ser entregue a concessionária, recebendo créditos de energia, que podem ser recuperados conforme sua necessidade.

Pesquisas que buscam o aumento da eficiência nos sistemas fotovoltaicos têm sido desenvolvidas e enfocam diferentes alternativas para alcançar este objetivo. O uso de rastreadores de radiação para painéis solares é uma alternativa que pode oferecer maior quantidade de energia solar ao painel, aumentando assim a eficiência de geração.

Encontra-se instalado e operando na Unipampa Campus Alegrete uma estação híbrida eólico-fotovoltaica (Figura 1) de produção de energia elétrica, composta de um aro gerador de 500W a 8 m/s de vento e de dois painéis solares de 40W cada.



Figura 1 Estação híbrida presente na Unipampa Campus Alegrete.

Na busca de aumentar a eficiência dos painéis solares uma das melhores formas é o rastreamento solar, particularmente para regiões que se encontram afastadas do Equador, que é o caso da Região Sul do Brasil. Isto é feito utilizando sistemas de controle e posicionamento que posicionam o painel de forma automática no eixo de nível máximo de radiação, durante o dia, para termos a máxima de geração em todos os horários.

A partir dessa premissa o trabalho é foi estruturado por seis capítulos onde o primeiro trata mais especificamente do sol, radiação e trajetória, no segundo as tecnologias de aproveitamento, tanto de forma direta como indireta, no terceiro uma abordagem sobre rastreadores solares, ativos passivos e ainda os tipos de localizadores, baseados por software, hardware e híbridos, e os principais tipos de sensores utilizados, no quarto capítulo, as escolhas dos eixos de rastreamento e a determinação da possibilidade de ganho de radiação solar, já para o quinto, é feita a modelagem do painel fotovoltaico e no sexto calculado a diferença de geração produzida pelo acoplamento de rastreadores ao painel fotovoltaico.

1. RECURSO SOLAR

Quase todas as formas de energia são, de forma indireta, dependentes da energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diariamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para a geração de energia mecânica ou elétrica. Podendo, ainda, ser convertida em energia elétrica diretamente, com a utilização de certos sistemas, como o termoelétrico e o fotovoltaico. (ANEEL, 2008)

A disponibilidade de luz natural na iluminação e do calor para aquecimento de ambientes podem ser melhores aproveitados com o auxílio de técnicas de arquitetura e construção. Nesta utilização, chamada de aquecimento passivo, decorre da penetração e absorção da radiação solar nas edificações.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores, mais utilizados em aplicações residenciais e comerciais, e por concentradores, destinados a aplicações que necessitam de temperaturas muito mais elevadas, como secagem de grãos ou mesmo para a geração de energia elétrica, com o auxílio de uma turbina a vapor. (ANEEL, 2008)

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos sobre determinados materiais semicondutores, destacando-se os efeitos termoelétricos, caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial em condições específicas, e fotovoltaicos, onde os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica.

Dentre todos os processos apresentados acima, os mais utilizados são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica.

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo. Consequência do movimento de rotação e translação da Terra (DUFFIE, 2006). Assim, a Terra recebe um diferente grau de intensidade de radiação a cada dia, como é demonstrado na Figura 2. (ANEEL, 2008)



Figura 2 Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol (MAGNOLI, 1998)

A duração solar do dia varia, em algumas regiões e períodos do ano de zero a 24 horas. Sendo que as variações mais intensas ocorrem nos períodos de solstício. O mapa da Figura 3 demonstra a média anual de insolação diária, segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

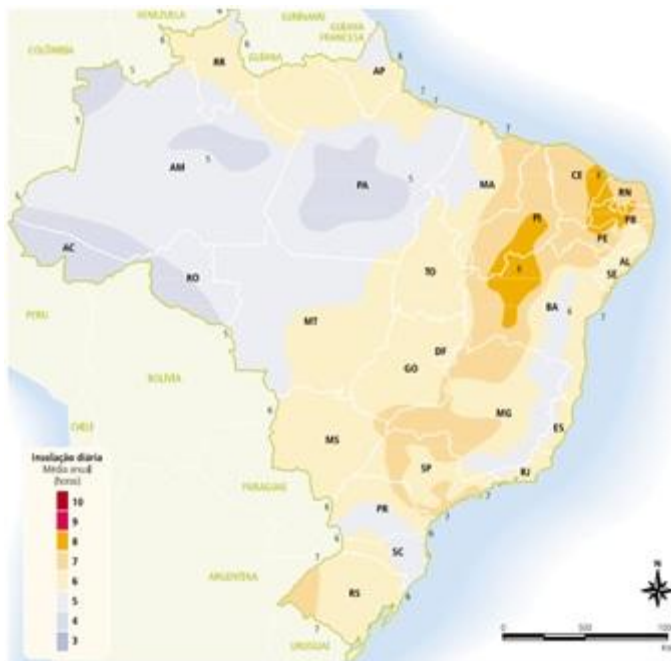


Figura 3 Média anual de insolação em horas (CRESESB, 2000)

Na maior parte da área física do território brasileiro não são observadas grandes variações da duração solar do dia, fato esse, decorrente do país encontrar-se próximo a linha do Equador. Mas a maior parte da população brasileira e sua produção econômica encontram-se em áreas mais distantes da linha do Equador, centradas no eixo do Trópico de Capricórnio. Nesses locais é aconselhado, para maximizar o aproveitamento solar, ajustar a posição do coletor

ou painel solar de acordo com a latitude local. No hemisfério sul, por exemplo, o sistema de geração solar deve ser fixado com orientação para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude normal. (CRESESB, 2000)

É importante salientar que, mesmo as regiões com menores índices de radiação, apresentam grande potencial de aproveitamento energético.

Além dos dados referenciados, ainda tem-se uma diferença de inclinação da Terra durante o ano, definida por uma linha entre o centro da Terra e o Sol, conforme Figura 4, a qual formará um ângulo entre essa linha e a linha do Plano Equatorial, chamada de Ângulo de Declinação.

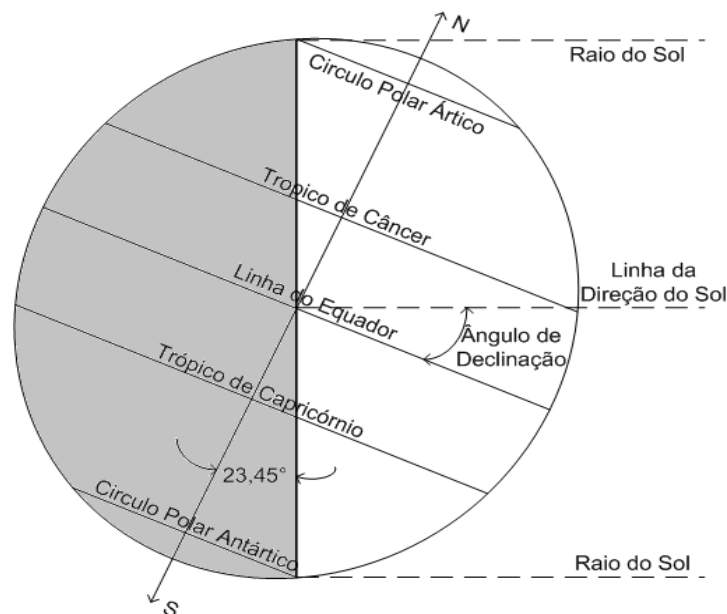


Figura 4 Definição do Ângulo de Declinação

Através da declinação solar, podemos determinar a quantidade de horas de sol durante o dia, sendo os dias mais longos no Solstício de Verão, que ocorre por volta do dia 22 de dezembro, nesse dia o sol atingirá sua posição mais elevada no céu ao meio-dia solar e o ângulo de declinação $\delta = 23,45^\circ$.

Com a variação anual do eixo da Terra, têm-se duas épocas do ano em que o Sol é visível durante 12 horas diárias em qualquer ponto da Terra, o Equinócio de Outono, aproximadamente em 22 de março, e o Equinócio de Primavera, aproximadamente em 23 de setembro. Nos equinócios a declinação solar é igual a zero ($\delta = 0$).

Já no Solstício de Inverno, ocorrerá o dia mais curto do ano, ocorre por volta de 21 de junho, diz-se que nessa época do ano o sol está na posição mais baixa no céu e seu ângulo de inclinação será de $\delta = -23,45^\circ$.

Através da equação(1), pode-se determinar a declinação solar em qualquer época do ano. Representada na Figura 5 .

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \quad (1)$$

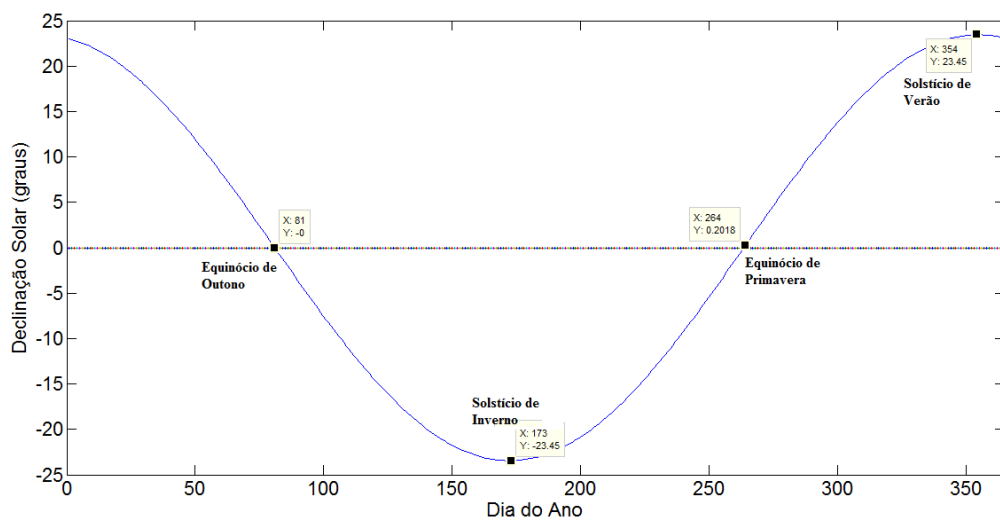


Figura 5 Representação da declinação solar

Para se determinar a quantidade de radiação solar que incidirá sobre a Terra, é necessário conhecer as horas do nascer e do por do sol, que podem ser determinados através das equações (2) e (3).

$$H_{SR} = \cos^{-1}(-\tan L \cdot \tan \delta) \quad (2)$$

Onde H_{SR} é o horário do nascer do sol, L é a latitude local e δ é o ângulo de declinação solar ($^\circ$) para o nascente é utilizado o sinal negativo (-) entre parênteses, já para o poente é utilizado o valor positivo (+)

$$Sunrise\ or\ Sunset = 12:00 - \frac{H_{SR}}{15^\circ/h} \quad (3)$$

Em geral, a insolação extraterrestre pode ser aferida matematicamente, conforme a equação (4) (MASTERS, 2004).

$$I_0 = 1370 \cdot \left[1 + 0,034 \cdot \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (4)$$

Onde n é o número do dia do ano.

Neste segmento, metodologias analíticas também permitem determinar, em função das características geofísicas do local, a insolação incidente sobre a superfície da terra, I_B , conforme dado na equação (5), onde os coeficientes são definidos nas equações (6) a (8).

$$I_B = A \cdot e^{-k \cdot m} \quad (5)$$

$$m = \frac{1}{\text{sen}\beta} \quad (6)$$

$$A = 1160 + 75 \cdot \text{sen} \left[\left(\frac{360}{365} \right) (n - 275) \right] \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (7)$$

$$k = 0,174 + 0,035 \cdot \text{sen} \left[\left(\frac{360}{365} \right) (n - 100) \right] \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (8)$$

Onde A é a insolação extraterrestre aparente, k é a profundidade ótica da atmosfera e β é o ângulo de altitude solar.

Uma vez que é de interesse conhecer a insolação incidente diretamente sobre o coletor, dada por I_{BC} , na equação (9), algoritmos específicos podem ser implementados, através das equações de (5) a (10).

$$I_{BC} = I_B \cdot \cos\theta \quad (9)$$

$$\cos\theta = \cos\beta \cdot \cos(\phi_S - \phi_C) \cdot \text{sen}\Sigma + \sin\beta \cdot \cos\Sigma \quad (10)$$

onde θ é o ângulo de incidência, ϕ_S e ϕ_C são os ângulos azimutais solares e do coletor, respectivamente, e Σ representa o ângulo de inclinação do coletor.

Sabendo que a atmosfera interfere na incidência solar sobre os coletores (I_C), o cálculo analítico necessita ser ampliado (equações (11) a (16)) por meio da definição mais precisa das componentes de incidência, I_{DC} e I_{RC} , que representam, respectivamente, a insolação difusa na atmosfera e a insolação refletida pelo solo sobre o coletor.

$$I_{DH} = C \cdot I_B \quad (11)$$

$$I_{BH} = I_B \cdot \text{sen}(\beta) \quad (12)$$

$$C = 0,095 + 0,04 \cdot \text{sen} \left[\left(\frac{360}{365} \right) (n - 100) \right] \quad (13)$$

$$I_{DC} = I_{DH} \cdot \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) \quad (14)$$

$$I_{RC} = \rho \cdot I_B \cdot (\text{sen} \beta + C) \cdot \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \quad (15)$$

$$I_C = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC} \quad (16)$$

Onde ρ representa a refletância do solo e C o fator de difusão do céu e as componentes, I_{BH} é a componente direta incidente sobre uma superfície horizontal e I_{DH} é a componente difusa de insolação sobre uma superfície horizontal.

1.1. Tecnologias de Aproveitamento Solar

A energia solar possibilita a geração de eletricidade, nas hidroelétricas, através do processo de evaporação e precipitação, dando origem ao ciclo das águas, possibilitando o repasse; em geradores eólicos, onde induz a circulação atmosférica em larga escala, causando ventos; em termoelétricas, originalmente, o petróleo, o carvão e o gás natural, gerados através de resíduos de plantas e animais, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento.

Todos os aspectos citados acima são formas de energia solar indireta. Mas é possível a geração direta de energia elétrica através do sol, por meio de células fotovoltaicas e aproveitamentos térmicos. (MURTA, 2008)

1.2. Células Fotovoltaicas

Existem modos de geração de energia elétrica direta, por meio de efeitos da radiação solar em certos materiais, destacando-se os semicondutores. Os mais utilizados são os efeitos termoelétricos (fototérmicos) e os fotovoltaicos.

Fototérmico – caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial, através da junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades do fio. Muito utilizado na construção sensores de temperatura, no entanto, não é muito empregado na geração de energia elétrica devido a seu baixo rendimento e pelo elevado custo do material.

Fotovoltaico - decorrente da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença de luz, para a conversão da radiação solar em energia elétrica, empregando painéis solares ou fotovoltaicos, destacando-se o silício, como o principal material de base.

As células fotovoltaicas são constituídas por um material semicondutor e outras substâncias conhecidas como dopantes, de modo a ter-se a conversão direta da potência da radiação solar em potência elétrica em corrente contínua.

A célula produz em média 1,5W, correspondentes a tensão de 0,5 volts e 3 ampères. Para se obter maior potência, as células são associadas em série ou paralelo, de modo a formar módulos, com potência normalmente entre 50 e 100 W, ou em painéis, com potências acima de 100 W.

A eficiência (TABELA I.) de conversão das células solares fotovoltaicas é medida pela proporção da radiação solar incidente na célula, convertida em energia elétrica. Atualmente apresentam um índice de eficiência de 25%.

TABELA I. Eficiência Fotovoltaica; Fonte: ANEEL, 2008

Tipo de Célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/W _p)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de Cristal Simples	30	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício Concentrado	27	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício Policristalino	25	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício Amorfo 17,0	13	4 a 7	3 a 5	-

Como a geração de energia fotovoltaica é direta, o sistema de geração é relativamente simples, como é mostrado na Figura 6 .

A seguir são demonstradas as partes de um sistema fotovoltaico:

- Painel Solar: responsável pela conversão da radiação solar em energia elétrica;
- Controlador de Carga: controla a geração para não atingir limites acima do especificado no quadro de baterias;
- Banco de Baterias: são baterias ligadas em série e/ou paralelo, utilizadas para armazenagem da energia gerada e não utilizada, e para uso nos horários de pouca geração;

- Inversor: o painel solar gera a energia em corrente contínua, mas para a utilização é necessária a conversão em senoidal, 110 ou 220 volts, com frequência definida, 50 ou 60 Hz, sendo este o papel do inversor.

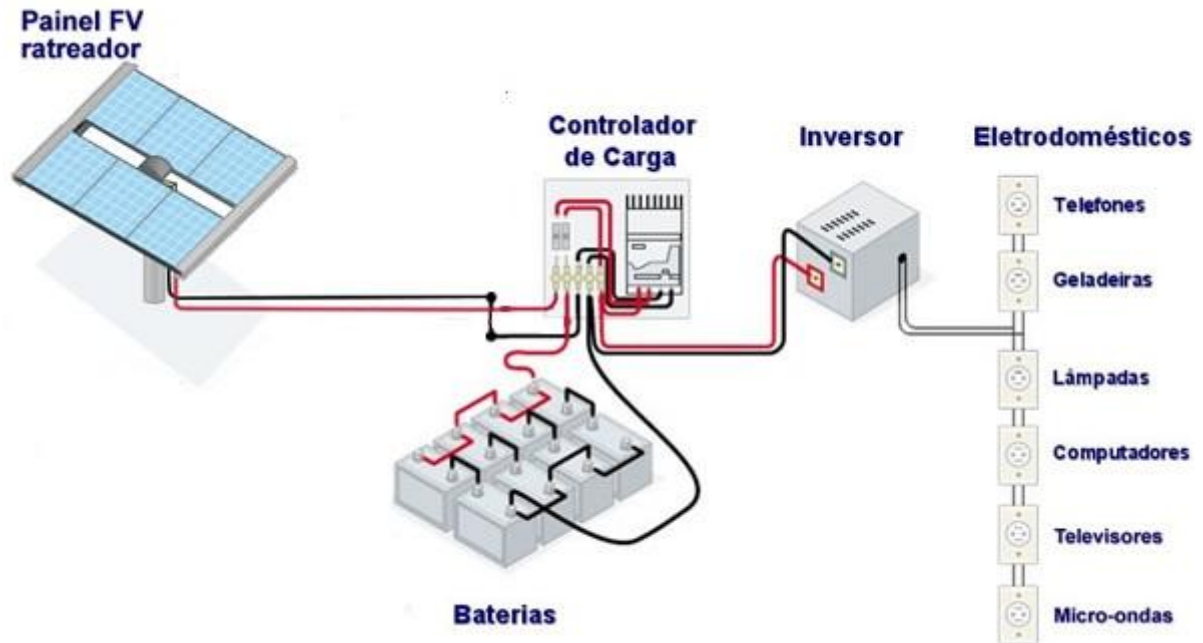


Figura 6 Sistema de geração fotovoltaico; Fonte: CRESESB, 2006

Os sistemas fotovoltaicos são usados em aplicações variadas, destacando-se:

- Aplicação de média potência (dezenas ou centenas de quilowatt)
 - Eletrificação Rural: abastecimento de cargas domésticas, bombeamento de água em comunidades remotas, entre outros;
 - Produção descentralizada ligada a rede.
- Aplicações de pequena potência (dezenas ou unidades de quilowatt)
 - Relógios e calculadoras;
 - Acessórios de veículos automóveis, como o carregamento de baterias em veículos de camping;
 - Sinais rodoviários e parquímetros;
 - Telefones de emergência, transmissores de TV e telefones celulares;
 - Frigoríficos médicos em locais remotos.

Em muitas das aplicações citadas acima, o sistema fotovoltaico substitui com grande vantagem os sistemas convencionais de geração, principalmente naqueles de pequeno porte. Por

outro lado, foi devido à indústria espacial, onde a vantagem competitiva dos sistemas fotovoltaicos é significativa, que estes iniciaram seu desenvolvimento.

O valor ou benefício a ser atribuído a um sistema fotovoltaico depende, muito, do ramo de sua utilização. Assim, na indústria de eletricidade é valorizado o quanto o sistema produz de energia e seus eventuais benefícios que este pode proporcionar a rede; a indústria da construção está ligada ao design, estética e funcionalidades da instalação; o governo e a sociedade aos benefícios ambientais, promoção do desenvolvimento econômico e a contribuição para se ter auto-suficiência energética.

Deste modo a geração fotovoltaica possui benefícios tanto energéticos como não-energéticos, não podendo assim ser avaliada exclusivamente pelo custo do kWh fotogerado.

1.3. Aproveitamentos Térmicos Solares

Coletor solar: o uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas pode ser encontrado, em grande demanda, em setores comerciais, como hospitais, restaurantes, entre outros. Como a radiação solar é de baixa densidade na superfície terrestre, é necessária a instalação de muitos metros quadrados de coletores. A Figura 7 demonstra um sistema solar de aquecimento de água.

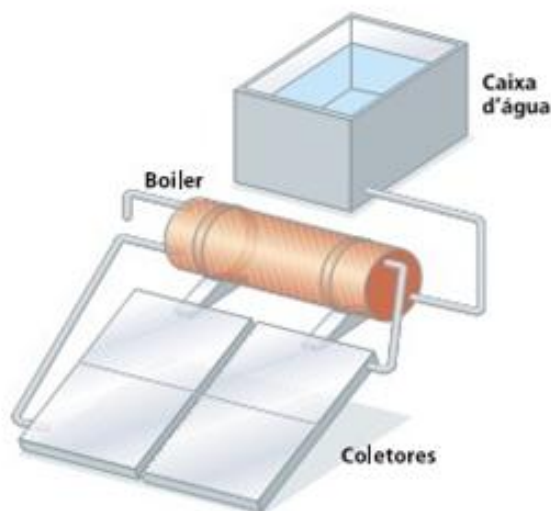


Figura 7 Sistema solar de aquecimento de água

Concentrador solar: tem a finalidade de captar a energia solar de uma área relativamente grande e concentrá-la num local muito menos, de modo a aumentar significativamente a temperatura. É aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas.

Os concentradores são de forma parabólica ou esférica, de modo que sua superfície refletora atinja um único local, do objeto a ser aquecido, com feixe de luz bem menor, mas de maior intensidade. Essa tecnologia atinge temperaturas bastante elevadas, por exemplo, o espelho parabólico de Odello, na França, atinge temperaturas de 3800°C, e índices de eficiência que variam de 14 a 22% de aproveitamento da energia solar incidente, podendo ser utilizada para a transformação da água em vapor e, conseqüentemente, a geração de energia elétrica.

No entanto, como é necessário focar a luz solar sobre uma pequena área, o custo desta fonte de energia aumenta, pois são necessários alguns dispositivos de orientação.

Nos anos 80, foram instalados nove sistemas parabólicos no sul da Califórnia, Figura 8, totalizando 354 MW de potência instalada. Este sistema é auxiliado por um sistema de geração a gás natural, de modo a atender a demanda nos horários de pouca incidência solar. O custo da geração é variado entre 90 e 280 dólares por megawatt-hora.



Figura 8 Sistema térmico solar de geração de energia elétrica

1.4. Rastreamento Solar

Na busca de aumentar a eficiência dos painéis solares, várias técnicas encontram-se disponíveis. Neste trabalho procura-se abordar a técnica de rastreamento solar, sistema que se mostra rentável, particularmente para as regiões que se encontram afastadas do Equador, que é o caso da região Sul do Brasil.

Esta técnica fundamenta-se no movimento automático do painel através do eixo de nível máximo de radiação, durante o dia, buscando maximizar geração em todos os horários.

O rastreamento permite garantir maiores níveis de eficiência de coleta de energia, ao mover o painel automaticamente no eixo de nível máximo de radiação (superfície do painel normal a componente I_{BC}), para obter-se a máxima geração em todos os horários.

1.4.1. Tipos de Rastreadores

Os rastreadores solares podem ser divididos em dois grupos, a partir do método de construção, podendo ser chamados de rastreadores passivos ou rastreadores ativos.

1.4.2. Rastreadores Passivos

Os rastreadores passivos têm como característica a fácil construção e a não utilização de energia elétrica para a movimentação do painel. Seu princípio de operação (Figura 9) baseia-se no aquecimento da água no duto inferior, está movimentando-se até o duto superior através das aletas, fazendo o painel movimentar-se.

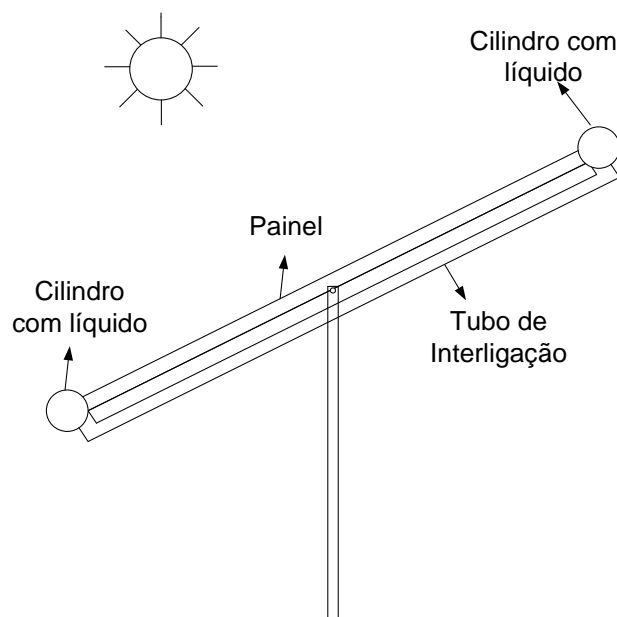


Figura 9 Sistema de rastreamento solar passivo

Seu maior benefício é a não utilização de energia elétrica para a movimentação do painel e a ausência de circuitos, o que diminui razoavelmente o custo de construção.

Suas principais desvantagens são o fácil distúrbio causado pelo vento, já que o painel é "solto" no eixo de sustentação, na falta parcial de radiação, em dias nublados, não ocorre o aquecimento suficiente do fluido, não movimentando o painel. Ainda, ao nascer do sol, o painel estará orientado para o oeste, assim perde-se a radiação nas primeiras horas do dia. Desta

forma, não há a possibilidade de rastreamento em dois eixos, o que diminui a possibilidade de ganho em determinadas latitudes.

1.4.3. Rastreadores Ativos

Os rastreadores ativos (Figura 10) fundamentam-se na motorização do painel. Este sistema é constituído por sensores de luminosidade, integrados em um circuito elétrico que pode ser micro controlado ou não, acionando um ou mais motores e engrenagens.

O princípio de funcionamento dos sistemas ativos baseia-se na interpretação dos valores dos sensores de luminosidade, através dessa informação o circuito, micro controlado ou não, envia pulsos elétricos para os motores e esses, através de engrenagens, fazem a movimentação do painel.

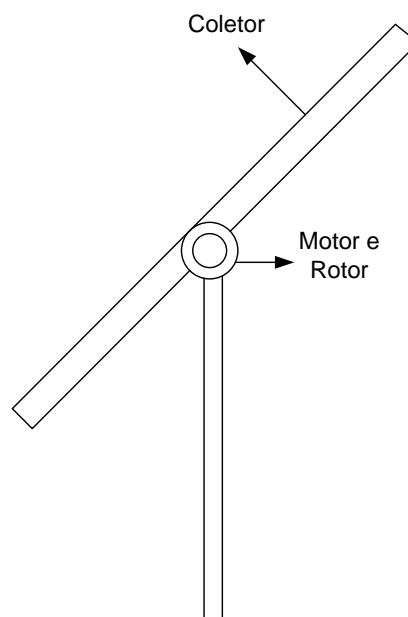


Figura 10 Sistema de rastreamento solar ativo

Dentre suas vantagens podem ser citadas, o funcionamento automático do sistema, coleta da radiação solar durante todo o percurso diário, distúrbio mínimo provocado pelo vento.

Suas desvantagens, custo elevado de construção, comparado ao sistema passivo, utilização de energia elétrica.

1.4.3.1. Sistema de Rastreamento Solar no Eixo Polar

O sistema de rastreamento solar no eixo polar (Figura 11) baseia-se na movimentação do painel durante o dia no eixo leste- oeste. Essa movimentação pode ser efetuada através de

comandos de sensores, que determinam a posição do sol, ou através de software que faz a movimentação pré-programada do sistema.

A instalação do painel mantém o mesmo princípio do sistema estático, ou seja, direcionado para o norte com inclinação igual ou próxima a latitude local, a diferença entre eles é a inclusão do sistema de rastreamento e um motor.

Sua principal vantagem em relação ao sistema estático é o aumento da geração, devido ao painel estar exposto a uma radiação mais direta durante o dia inteiro. Já sua desvantagem é a implementação do circuito e o gasto adicional do motor.

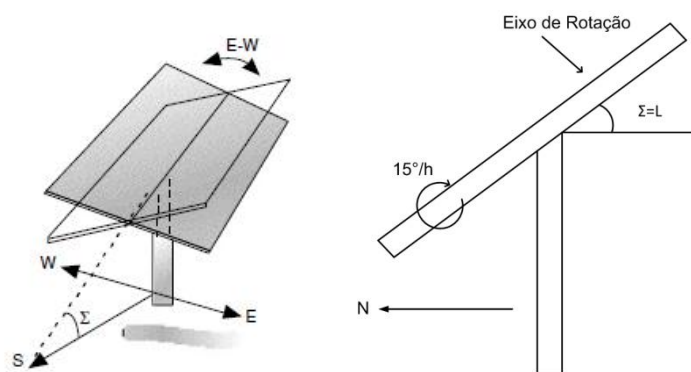


Figura 11 - Rastreamento solar no eixo Polar

1.4.3.2. Sistema de Rastreamento Solar em Dois Eixos

O sistema de rastreamento solar em dois eixos (Figura 12) baseia-se na movimentação independente do painel fotovoltaico, ou seja, tanto no eixo leste-oeste, no movimento diário do sol, como no eixo norte-sul, para a variação do percurso anual solar.

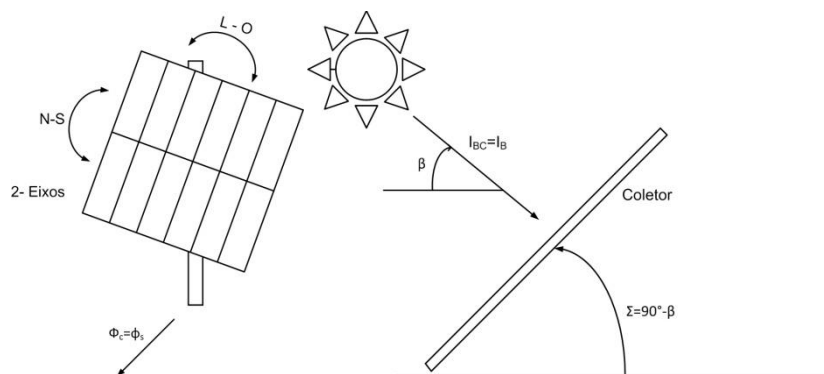


Figura 12 - Rastreamento solar em 2eixos

Nesse sistema a instalação do painel é feita de modo que o painel tenha a possibilidade de movimentação nos dois eixos, ou seja, o painel fica “solto”, sem uma inclinação pré-determinada. Utilizam-se dois motores, circuito de rastreamento e controle do painel.

Sua principal vantagem é o máximo ganho do painel em todos os horários do dia, visto que o painel vai estar sempre direcionado para a maior radiação solar. Sua desvantagem é o encarecimento do sistema, visto que utiliza dois motores.

1.5. Localização Solar

Para que os sistemas de rastreamento funcionem é necessária a utilização de localizadores solares, que pode ser físico (hardware), por software ou ainda um sistema híbrido.

1.5.1. Localizadores Físicos

Os localizadores físicos, nada mais são que dispositivos dotados de sensores, que podem efetuar a leitura da localização solar e transmitir esse dado para efetuar a movimentação do painel.

Seu maior benefício é a facilidade de implementação do sistema, já contra sua utilização o fato de somente ter validade nos horários em que o sol não está encoberto.

Os principais sensores utilizados são o heliógrafo, actinógrafo, piranômetro fotovoltaico, piranômetro termoeletrico e o piroheliometro (Figura 13).

a) **Heliógrafo:** utilizado para observação do número de horas de brilho solar em determinado local. O instrumento conta com uma lente esférica que focaliza os raios solares diretamente do disco solar sobre a fita de papel graduada na qual ocorre a queima do papel ao longo da escala de horas. Estima-se um erro entre 10 e 20% da medição diária. (CRESESB, 2000)

b) **Actinógrafo:** é composto por sensores baseados na expansão diferencial de um par bimetalico. Tais sensores são conectados a uma pena que registra o valor instantâneo da radiação solar. Estima-se uma precisão de 20 a 30%, assim, considerado um instrumento de terceira classe. (CRESESB, 2000)

c) **Piranômetro Fotovoltaico:** normalmente constituído por uma célula fotoelétrica de silício monocristalino, que produz uma corrente elétrica quando iluminada, sendo que quando atinge o curto-circuito, esta corrente é proporcional à intensidade da radiação incidente. Avalia-se que, para valores diários, pode apresentar um erro de aproximadamente 3%. É muito utilizado devido a seu alto desempenho e, também, baixo custo; (CRESESB, 2000)

d) **Piranômetro Termoeletrico:** utilizados com pares termoeletricos, termopares, ligados em série. Estes geram uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre suas juntas, as quais se encontram em contato térmico com placas metálicas que se aquecem de

forma distinta, quando iluminadas. A diferença de potencial medida na saída do instrumento pode ser relacionada com o nível de radiação solar incidente. Apresentam um erro de 2 a 5%. (CRESESB, 2000)

e) **Pirohéliometro**: usa uma montagem com movimento em um único eixo, que é ajustado periodicamente para acompanhar a mudança do ângulo de inclinação do Sol. Sua imprecisão durante o ano está aproximada a 1% pra equipamentos de primeira classe e a 2% nos de segunda classe. (CRESESB, 2000)



a) b) c) d) e)

Figura 13 Equipamentos Utilizados para o sensoriamento de radiação solar

1.5.2. Localizadores por Softwares

Os localizadores por software são equipamentos que podem ser programados para executar a movimentação do painel para uma determinada posição assim, o painel vai ter uma determinada posição em certo horário do dia, essa movimentação já é pré-estabelecida para todas as mudanças do sol tanto no período diário como anual.

Seu maior benefício é a possibilidade de utilização mesmo com o sol encoberto, pois o painel continuará seu trajeto automático, já seu empecilho seria o custo de implementação devido à programação complexa que o envolve.

Os principais equipamentos que podem executar essa rotina são os micro controladores, CLPs e micro computadores.

1.5.3. Localizadores Híbridos

Os localizadores híbridos são equipados de software e hardware, de modo de aumentar a confiabilidade do sistema, já que continuará a trajetória em qualquer tipo de intempérie.

Seu benefício é o aumento da confiabilidade do sistema, porém o fator negativo é o custo de implementação, visto que acarreta na implementação de sensores e micro controladores, por exemplo.

1.6. Escolha do Sistema de Rastreamento

A escolha do sistema de rastreamento pode parecer óbvia se for adotada uma análise simplista dos critérios de seleção, como por exemplo, o custo ou o investimento inicial. Neste caso, com certeza o sistema estático será escolhido, mas quando a prioridade é o ganho de geração a longo prazo, deve-se considerar outros critérios bastante relevantes, como a latitude do local de instalação.

Através da carta solar cartesiana (Figura 14) e polar (Figura 15) pode ser observado que em locais próximos da linha do equador, que é o caso de Macapá-AP, o eixo solar repete-se durante todo o ano. Neste caso pode-se concluir que um sistema de rastreamento e movimento de apenas um eixo de posicionamento rotacional, de sentido leste-oeste (Figura 11) seria suficiente para maximizarmos a produção.

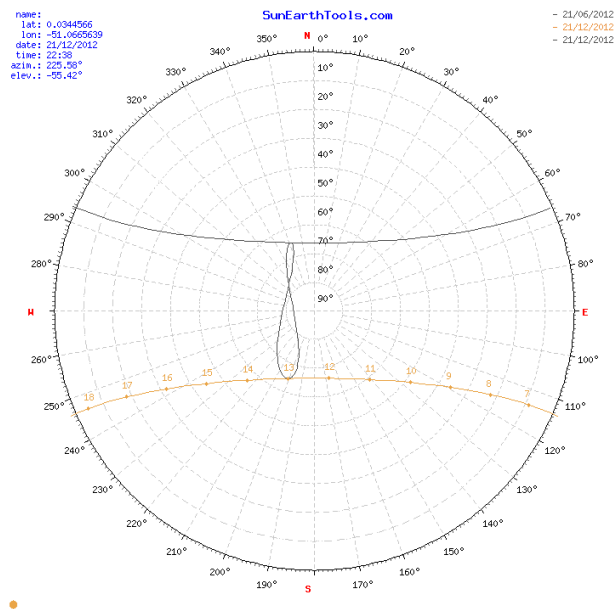


Figura 14 Carta solar cartesiana de Macapá - AP

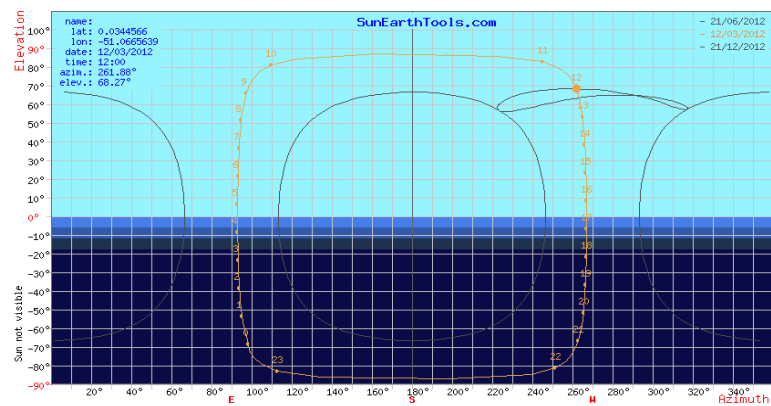


Figura 15 Carta solar polar Macapá - AP

Assim, para sistemas de um eixo, o processo de definição de energia solar disponível pode ser simplificado com as equações (17) a (19).

$$I_{BC} = I_B \cdot \cos\delta \quad (17)$$

$$I_{DC} = C \cdot I_B \left[\frac{1 + \cos(90 - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (18)$$

$$I_{RC} = \rho \cdot (I_{BH} + I_{DH}) \cdot \left[\frac{1 - \cos(90 - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (19)$$

Para maiores latitudes, justifica-se o uso de sistemas de rastreamento em dois eixos (Figura 12): um diário e outro ao longo do ano. Isso pode ser comprovado a partir das cartas solares cartesianas (Figura 16) e polar (Figura 17) da cidade de Alegrete - RS de Latitude 29,78 Sul.

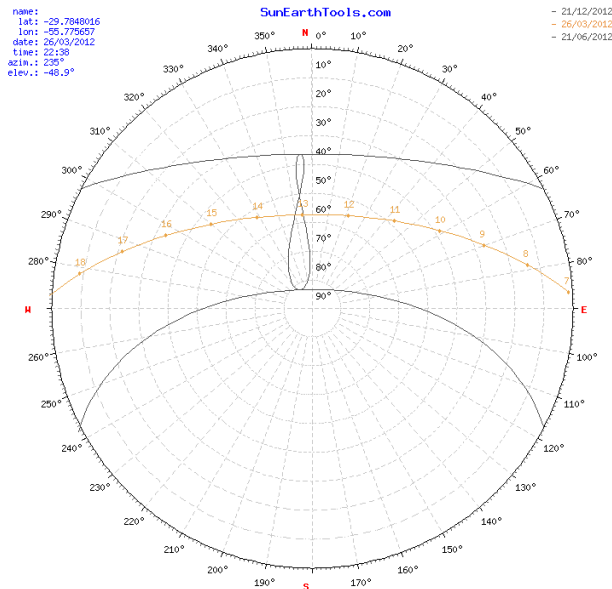


Figura 16 Carta solar cartesiana de Alegrete - RS

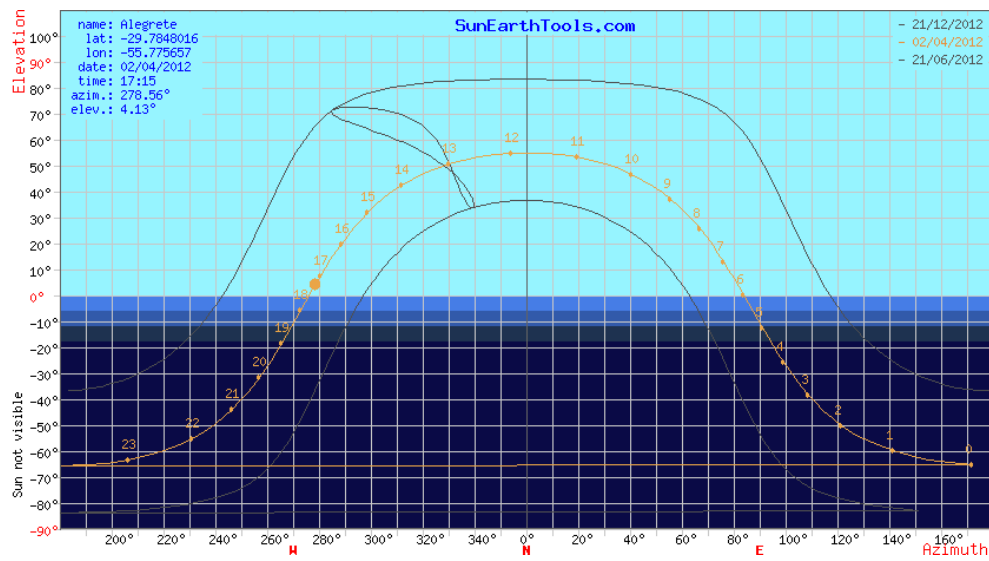


Figura 17 Carta solar polar Alegrete - RS

Através desses dados visualiza-se uma grande diferença entre a posição solar, nos mesmos horários do solstício de verão (linha superior da Figura 16 e Figura 17) do solstício de inverno (linha inferior da Figura 14 e Figura 15).

Para o caso de dois eixos a definição da energia solar disponível para aproveitamento solar pode ser simplificado com as equações (20) a (22).

$$I_{BC} = I_B \quad (20)$$

$$I_{DC} = C \cdot I_B \left[\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (21)$$

$$I_{RC} = \rho \cdot (I_{BH} + I_{DH}) \cdot \left[\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (22)$$

2. GANHOS DE RADIAÇÃO SOLAR

Para demonstrar o ganho de geração a partir dos sistemas de rastreamento, foram escolhidos dois dias do ano para cada latitude, 21 de junho (solstício de inverno), e 21 de dezembro (solstício de verão). Para o desenvolvimento da simulação foi utilizado o software Matlab®.

2.1. Solstício de Inverno Alegrete - RS

Assim, a partir das equações (2) e (3) pode-se determinar o nascente e o poente do dia 21 de junho para a cidade de Alegrete, Rio Grande do Sul, com Latitude 27,8 sul.

$$H_{SR} = 75,61^\circ$$

$$Sunrise = 6:57 h$$

$$Sunset = 17:03 h$$

Então a partir do equacionamento de (4) a (22), determina-se a disponibilidade solar para o painel fixo, rastreamento polar e rastreamento em dois eixos. Todos os cálculos foram efetuados a partir do software Matlab, onde o código fonte segue no apêndice I, que são demonstrados na TABELA II.

Hora	IC Fixo	IC 1 eixo	IC 2 eixos
7:00	0.00	0.00	0.00
8:00	269.67	381.11	427.42
9:00	541.79	613.57	691.57
10:00	726.06	712.89	806.31

TABELA II. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica

Hora	IC Fixo	IC 1 eixo	IC 2 eixos
11:00	836.00	757.00	857.83
12:00	872.77	769.77	872.80
13:00	836.00	757.00	857.83
14:00	726.06	712.89	806.31
15:00	541.79	613.57	691.57
16:00	269.67	381.11	427.42
17:00	0.00	0.00	0.00

Para uma melhor visualização das curvas de radiação é traçado o gráfico representado na Figura 18 , onde a radiação com o painel fixo é dado pela linha vermelha, do rastreamento polar pela linha verde e com dois eixos pela linha azul.

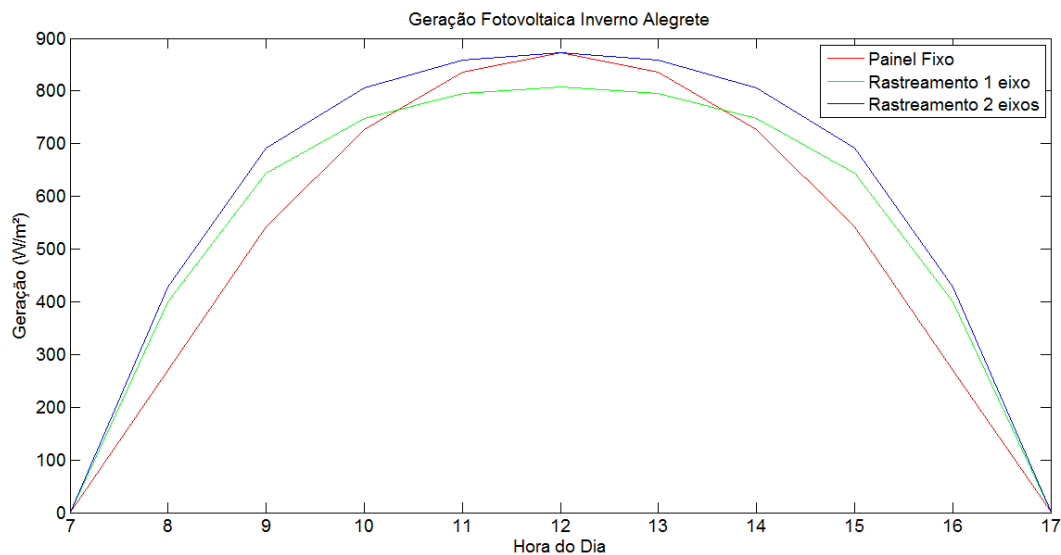


Figura 18 Disponibilidade solar de geração no dia 21 de junho em Alegrete-RS

Assim, através dos dados da TABELA II. , representados na Figura 19 , têm-se a disponibilidade de radiação para:

- Painel fixo:

$$IC = 5619,81 \text{ W/m}^2$$

- Pannel com rastreamento polar:

$$IC = 5698,91 \text{ W/m}^2$$

- Pannel com rastreamento em dois eixos:

$$IC = 6439,06 \text{ W/m}^2$$

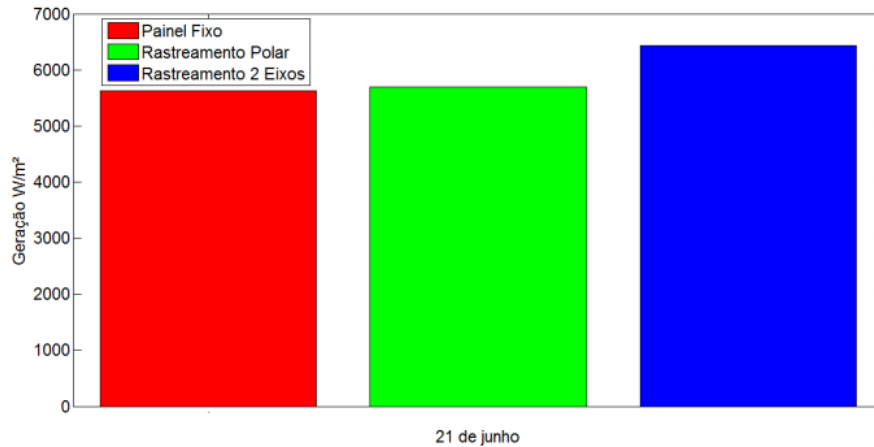


Figura 19 Disponibilidade de radiação no dia 21 de junho

Desse modo pode-se determinar o ganho de radiação comparando os sistemas de rastreo com a geração do pannel fixo:

- Ganho pannel com rastreamento polar em relação ao pannel fixo:

$$G = 6 \%$$

- Ganho pannel com rastreamento em dois eixos em relação ao pannel fixo:

$$G = 15 \%$$

2.2. Solstício de Verão Alegrete- RS

Assim, a partir das equações (2) e (3) pode-se determinar o nascente e o poente do dia 21 de dezembro para a cidade de Alegrete, Rio Grande do Sul, com Latitude 27,8 sul.

$$H_{SR} = 104,38^\circ$$

$$Sunrise = 5:02 \text{ h}$$

$$Sunset = 18:57 \text{ h}$$

Então a partir do equacionamento de (4) a (22), determina-se a disponibilidade de radiação para o pannel fixo, rastreamento polar e rastreamento em dois eixos. Todos os cálculos foram efetuados a partir do software Matlab, onde o código fonte segue no apêndiceII, que são demonstrados na TABELA III. .

TABELA III. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica

Hora	IC Fixo	IC 1 eixo	IC 2 eixos
5:00	0.00	0.00	0.00
6:00	176.62	557.56	638.35
7:00	420.99	820.19	929.22
8:00	645.18	928.41	1044.00
9:00	836.47	978.67	1096.70
10:00	994.37	999.08	1120.45
11:00	1097.15	1003.16	1129.87
12:00	1132.24	1001.00	1132.24
13:00	1097.15	1003.16	1129.87
14:00	994.37	999.08	1120.45
15:00	836.47	978.67	1096.70
16:00	645.18	928.41	1044.00
17:00	420.99	820.19	929.22
18:00	176.62	557.56	638.35
19:00	0.00	0.00	0.00

Para uma melhor visualização das curvas de radiação é traçado o gráfico representado na Figura 20 , onde a geração com o painel fixo é dado pela linha vermelha, do rastreamento polar pela linha verde e com dois eixos pela linha azul.

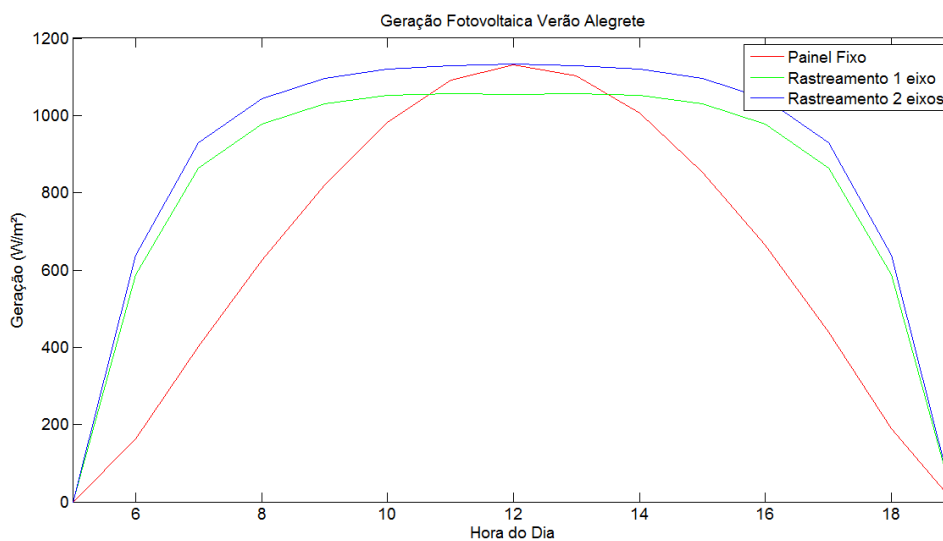


Figura 20 Disponibilidade solar de radiação no dia 21 de dezembro em Alegrete-RS

Assim, através dos dados da TABELA III. , representados na Figura 21 , obtêm-se a disponibilidade de radiação para:

- Painel fixo:

$$IC = 9473,8 \text{ W/m}^2$$

- Painel com rastreamento polar:

$$IC = 11575,14 \text{ W/m}^2$$

- Painel com rastreamento em dois eixos:

$$IC = 13049,42 \text{ W/m}^2$$

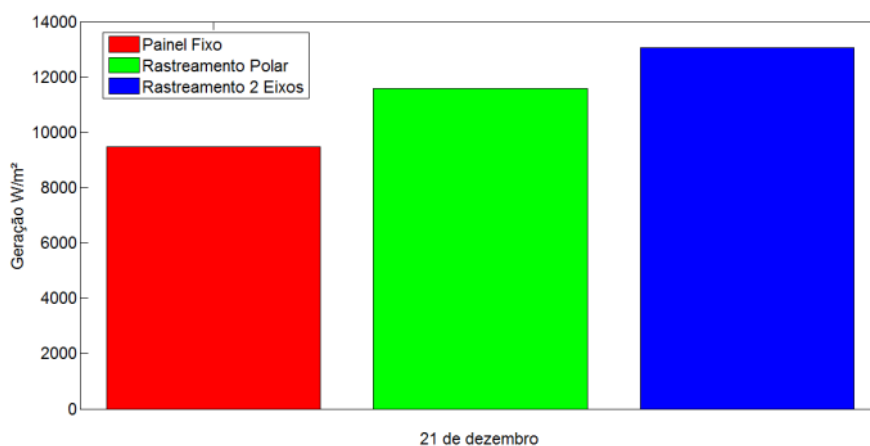


Figura 21 Disponibilidade de radiação no dia 21 de dezembro

Desse modo, determina-se o ganho de geração comparando os sistemas de rastreo com a geração do painel fixo:

- Ganho painel com rastreamento polar em relação ao painel fixo:

$$G = 26 \%$$

- Ganho painel com rastreamento em dois eixos em relação ao painel fixo:

$$G = 35 \%$$

2.3. Solstício de Inverno Macapá-AP

Assim, a partir das equações (2) e (3) pode-se determinar o nascente e o poente do dia 21 de junho para a cidade de Macapá, Amapá, com Latitude 0,2 sul.

$$H_{SR} = 89,91^\circ$$

$$Sunrise = 6:00 h$$

$$Sunset = 17:59 h$$

Então a partir do equacionamento de (4) a (22), determina-se a disponibilidade de radiação para o painel fixo, rastreamento polar e rastreamento em dois eixos. Todos os cálculos foram efetuados a partir do software Matlab, onde o código fonte segue no apêndiceIII, que são demonstrados na TABELA IV. .

TABELA IV. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica

Hora	IC Fixo	IC 1 eixo	IC 2 eixos
6:00	0.00	0.00	0.00
7:00	228.89	506.60	501.71
8:00	491.44	781.42	779.81
9:00	700.10	894.78	897.07
10:00	855.46	948.64	952.52
11:00	951.87	974.06	977.48
12:00	984.59	981.78	984.59
13:00	951.87	974.06	977.48

TABELA IV. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica

Hora	IC Fixo	IC 1 eixo	IC 2 eixos
14:00	855.46	948.64	952.52
15:00	700.10	894.78	897.07
16:00	491.44	781.42	779.81
17:00	228.89	506.60	501.71
18:00	0.00	0.00	0.00

Para uma melhor visualização das curvas de radiação é traçado o gráfico representado na Figura 22 , onde a geração com o painel fixo é dado pela linha vermelha, do rastreamento polar pela linha verde e com dois eixos pela linha azul.

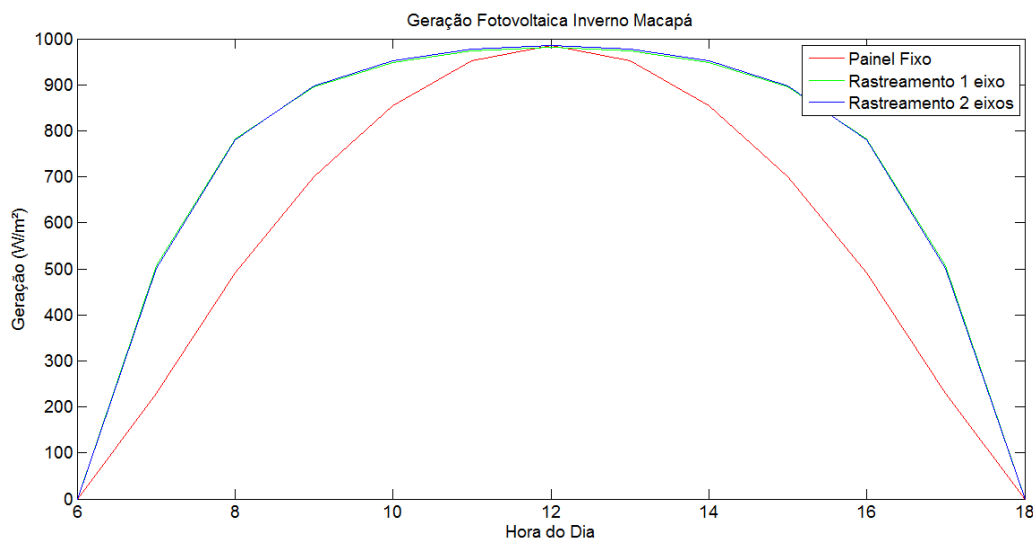


Figura 22 Disponibilidade solar de radiação no dia 21 de junho em Macapá-AP

Assim, através dos dados da TABELA IV. , representados na Figura 23 , têm-se a disponibilidade de radiação para:

- Painel fixo:

$$IC = 7440,11 \text{ W/m}^2$$

- Painel com rastreamento polar:

$$IC = 9192,78 \text{ W/m}^2$$

- Painel com rastreamento em dois eixos:

$$IC = 9201,77 \text{ W/m}^2$$

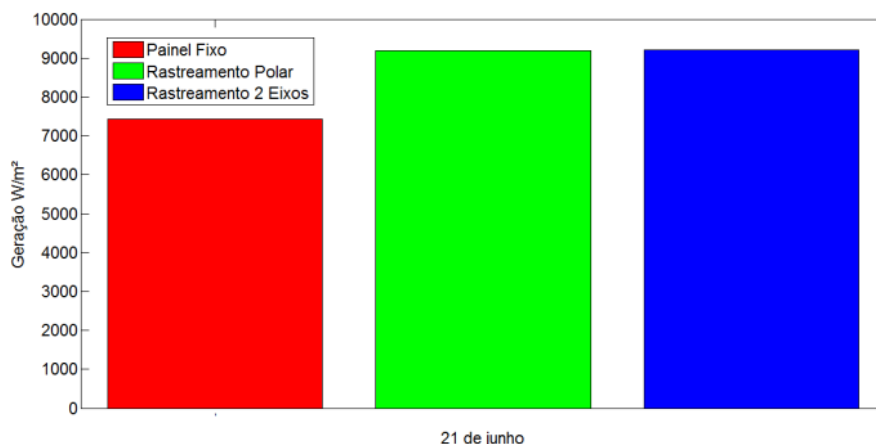


Figura 23 Disponibilidade de radiação no dia 21 de junho

Desse modo pode-se determinar o ganho de radiação comparando os sistemas de rastreamento com a radiação do painel fixo:

- Ganho painel com rastreamento polar em relação ao painel fixo:

$$G = 24 \%$$

- Ganho painel com rastreamento em dois eixos em relação ao painel fixo:

$$G = 24 \%$$

2.4. Solstício de Verão Macapá - AP

Assim, a partir das equações (2) e (3) pode-se determinar o nascente e o poente do dia 21 de dezembro para a cidade de Macapá, Amapá, com Latitude 0,2 sul.

$$H_{SR} = 90,08^\circ$$

$$Sunrise = 5:59h$$

$$Sunset = 18:00 h$$

Então a partir do equacionamento de (4) a (22), determina-se a disponibilidade de radiação para o painel fixo, rastreamento polar e rastreamento em dois eixos. Todos os cálculos foram efetuados a partir do software Matlab, onde o código fonte segue no apêndice IV, que são demonstrados na TABELA V. .

TABELA V. Disponibilidade solar horária para geração fotovoltaica

Hora	IC Fixo	IC 1 eixo	IC 2 eixos
6:00	0.00	0.00	0.00
7:00	292.35	723.99	723.70
8:00	575.74	979.81	971.57
9:00	805.73	1079.62	1064.71
10:00	978.96	1122.51	1104.52
11:00	1087.03	1138.30	1120.50
12:00	1123.78	1141.67	1124.65
13:00	1087.03	1138.30	1120.50
14:00	978.96	1122.51	1104.52
15:00	805.73	1079.62	1064.71
16:00	575.74	979.81	971.57
17:00	292.35	723.99	723.70
18:00	0.00	0.00	0.00

Para uma melhor visualização das curvas de radiação é traçado o gráfico representado na Figura 24 , onde a radiação com o painel fixo é dado pela linha vermelha, do rastreamento polar pela linha verde e com dois eixos pela linha azul.

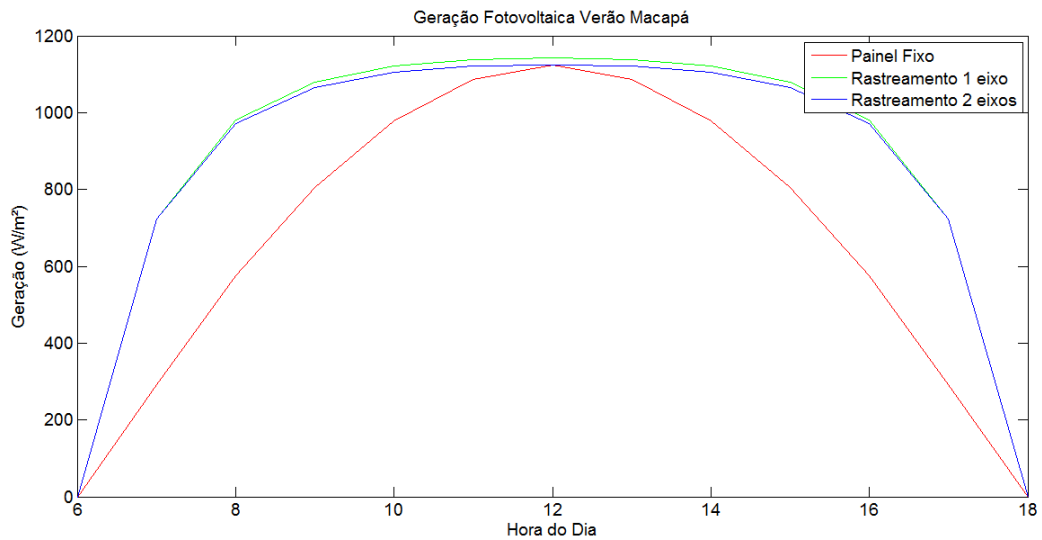


Figura 24 Disponibilidade solar de radiação no dia 21 de dezembro em Macapá-AP

Assim, através dos dados da TABELA V. , representados na Figura 25 , tem-se a disponibilidade de radiação para:

- Painel fixo:

$$IC = 8608,48 \text{ W/m}^2$$

- Painel com rastreamento polar:

$$IC = 11282,08 \text{ W/m}^2$$

- Painel com rastreamento em dois eixos:

$$IC = 11094,65 \text{ W/m}^2$$

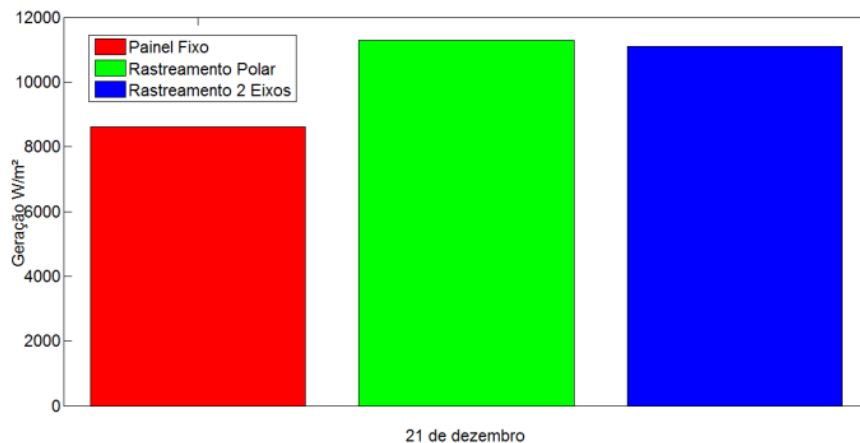


Figura 25 Disponibilidade de radiação no dia 21 de dezembro

Desse modo determina-se o ganho de radiação comparando os sistemas de rastreo com a radiação do painel fixo:

- Ganho painel com rastreamento polar em relação ao painel fixo:

$$G = 31 \%$$

- Ganho painel com rastreamento em dois eixos em relação ao painel fixo:

$$G = 29 \%$$

2.5. Ganho Anual

Após o cálculo do ganho para o dia de maior radiação solar (21 de dezembro) e o de menor (22 de junho) é importante demonstrar o ganho possível durante todo o ano.

A simulação é feita com o código presente no Apêndice IV, levando em conta a latitude da cidade de Alegrete/RS e o dia com duração de 12 horas solares (6 às 18 horas). Assim, são gerados os gráficos apresentados da Figura 26 à Figura 38 que demonstram a variação do ganho durante o ano de hora em hora.

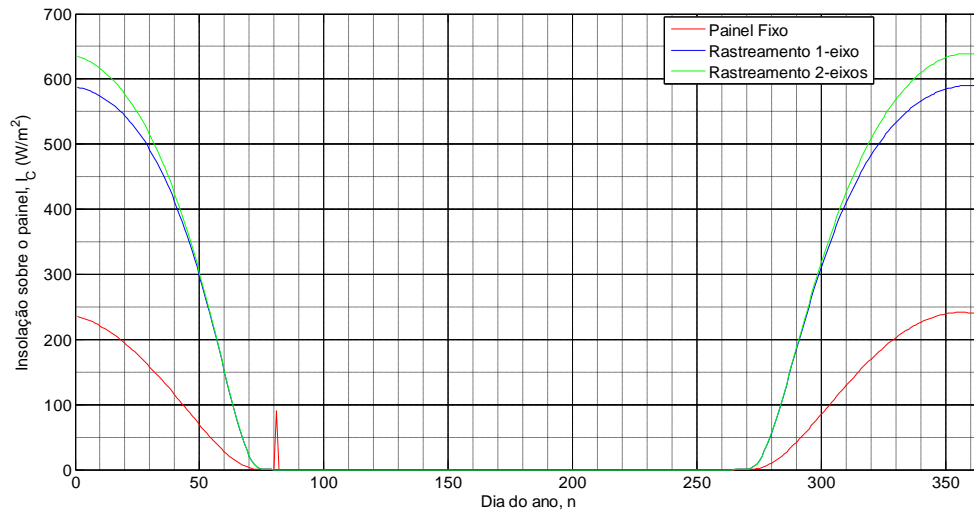


Figura 26 Ganho de radiação no painel, às 6 horas, durante o ano

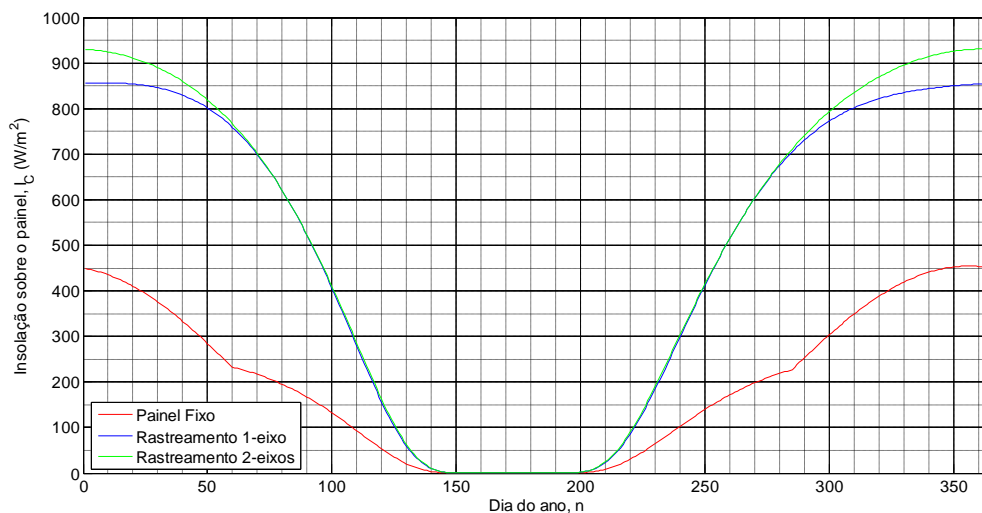


Figura 27 Ganho de radiação no painel, às 7 horas, durante o ano

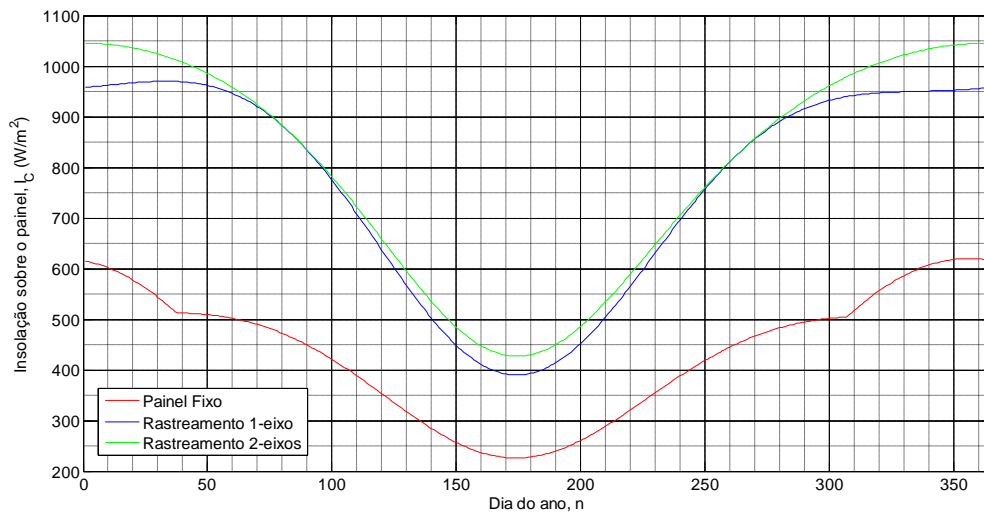


Figura 28 Ganho de radiação no painel, às 8 horas, durante o ano

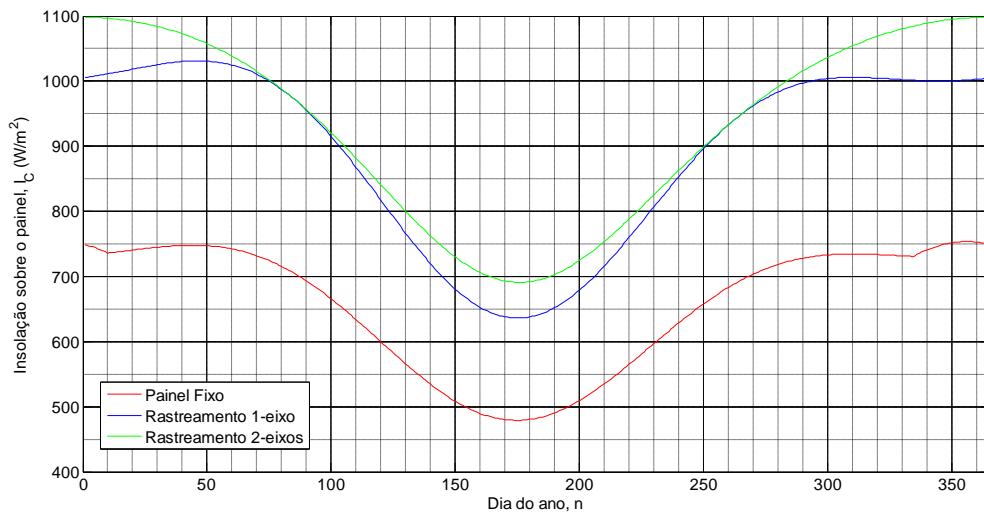


Figura 29 Ganho de radiação no painel, às 9 horas, durante o ano

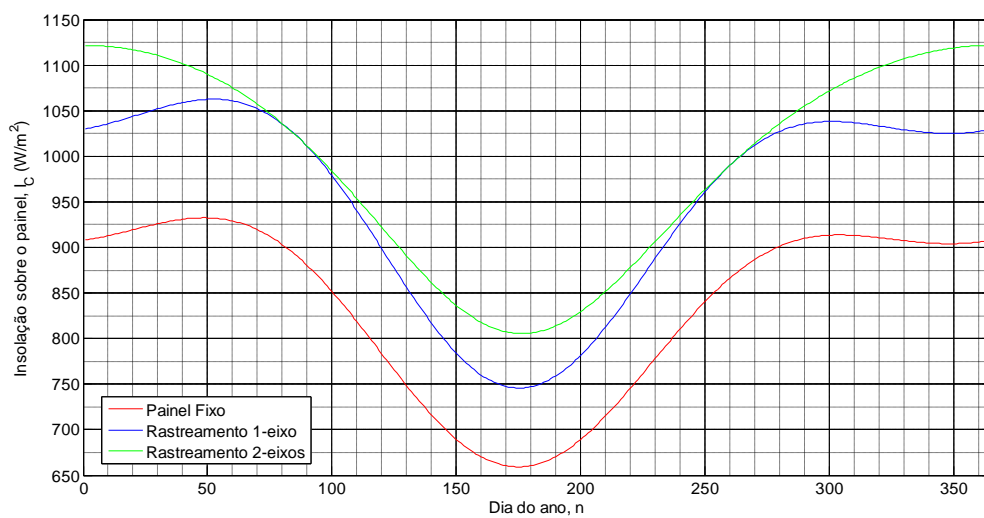


Figura 30 Ganho de radiação no painel, às 10 horas, durante o ano

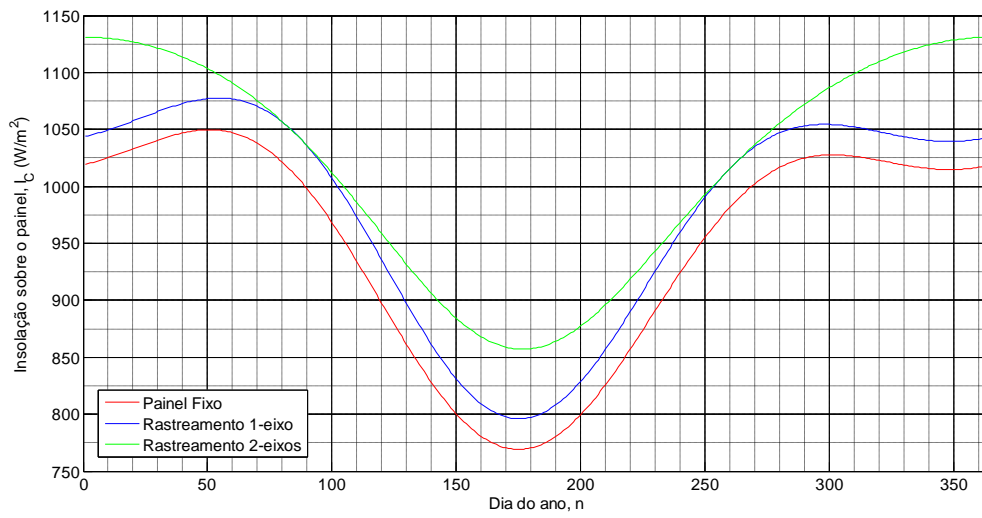


Figura 31 Ganho de radiação no painel, às 11 horas, durante o ano

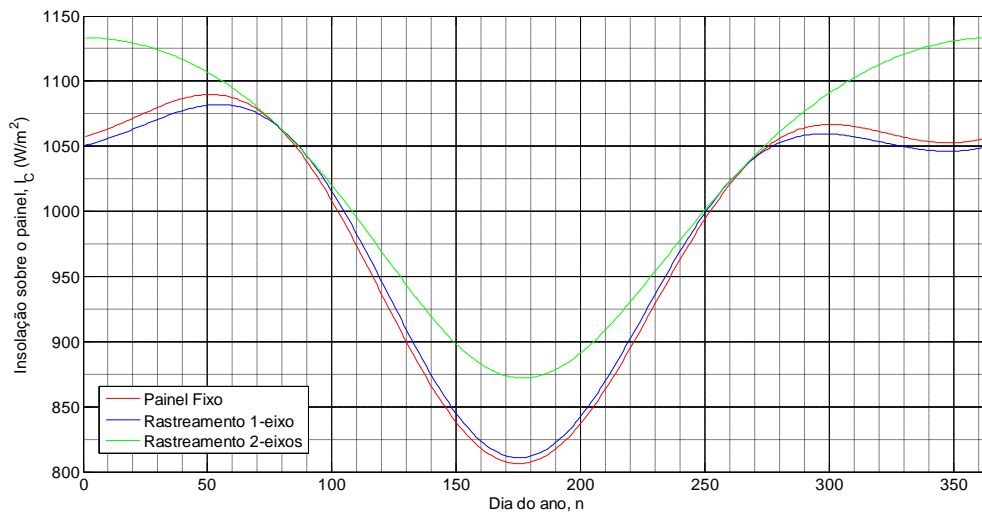


Figura 32 Ganho de radiação no painel, às 12 horas, durante o ano

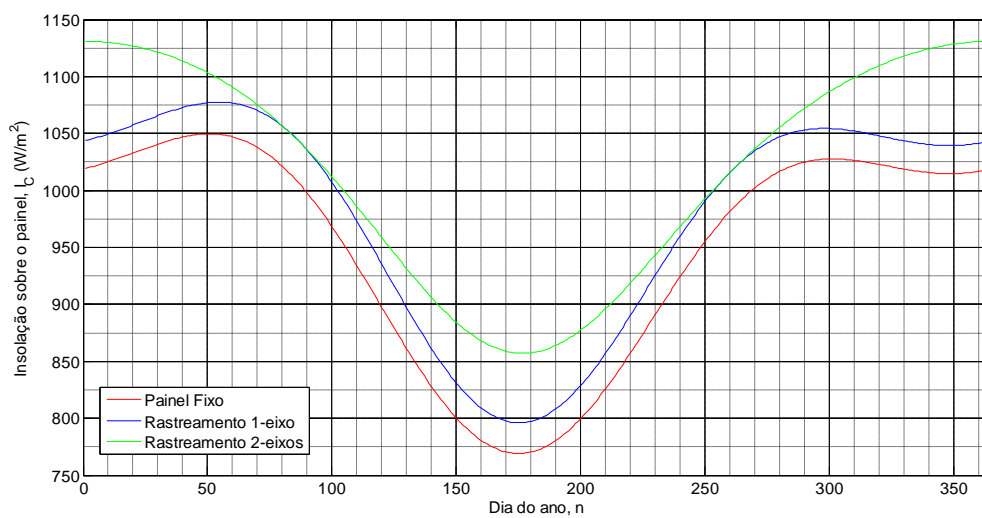


Figura 33 Ganho de radiação no painel, às 13 horas, durante o ano

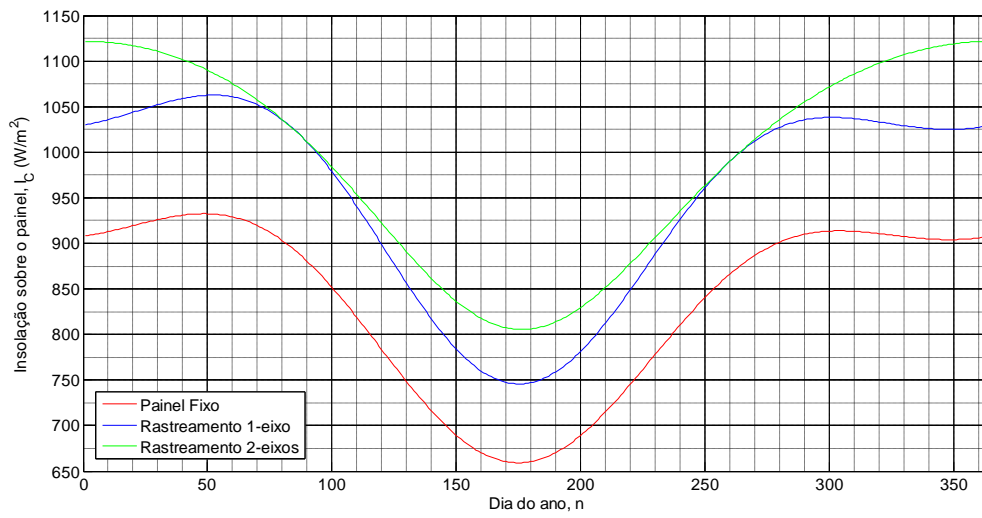


Figura 34 Ganho de radiação no painel, às 14 horas, durante o ano

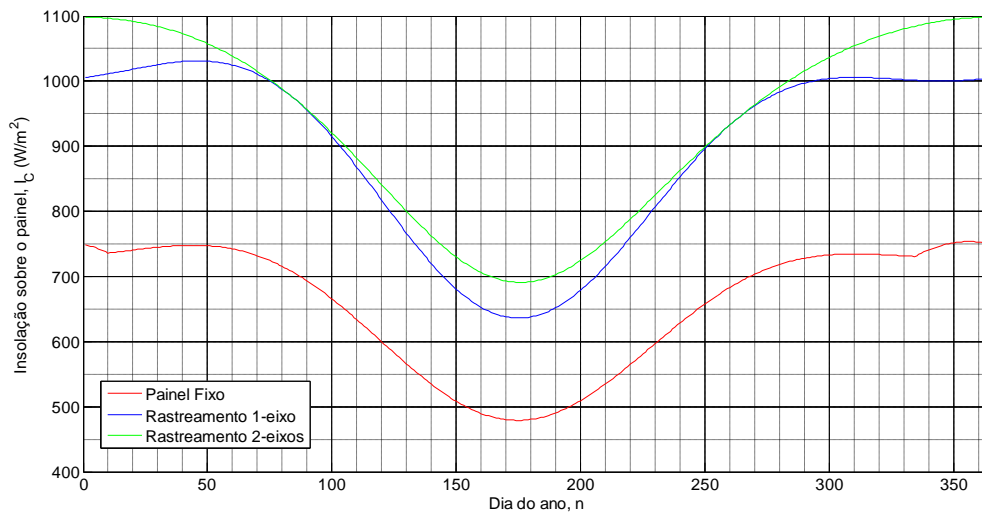


Figura 35 Ganho de radiação no painel, às 15 horas, durante o ano

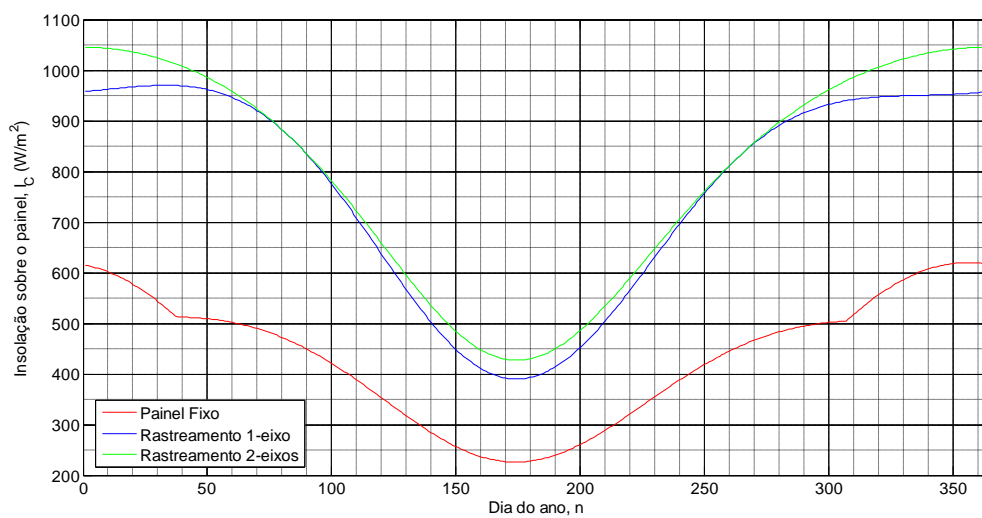


Figura 36 Ganho de radiação no painel, às 16 horas, durante o ano

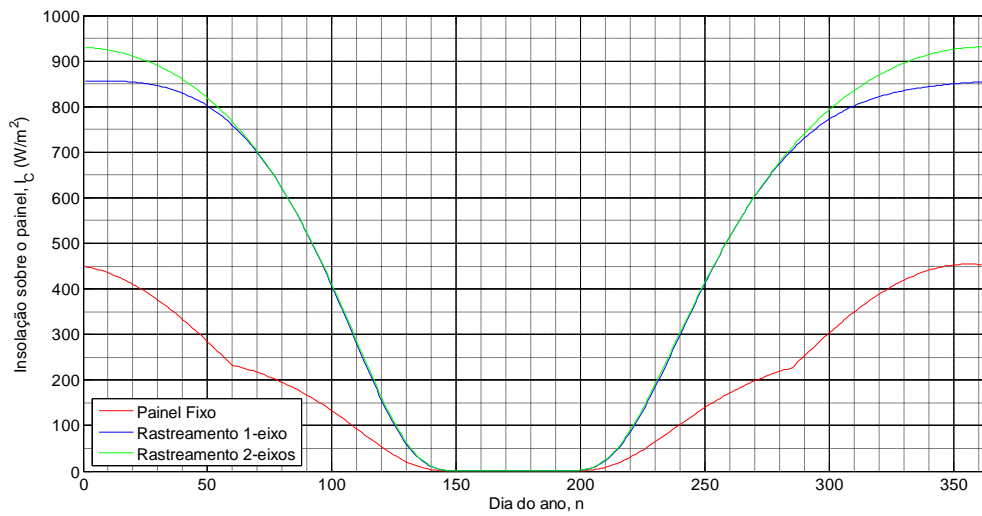


Figura 37 Ganho de radiação no painel, às 17 horas, durante o ano

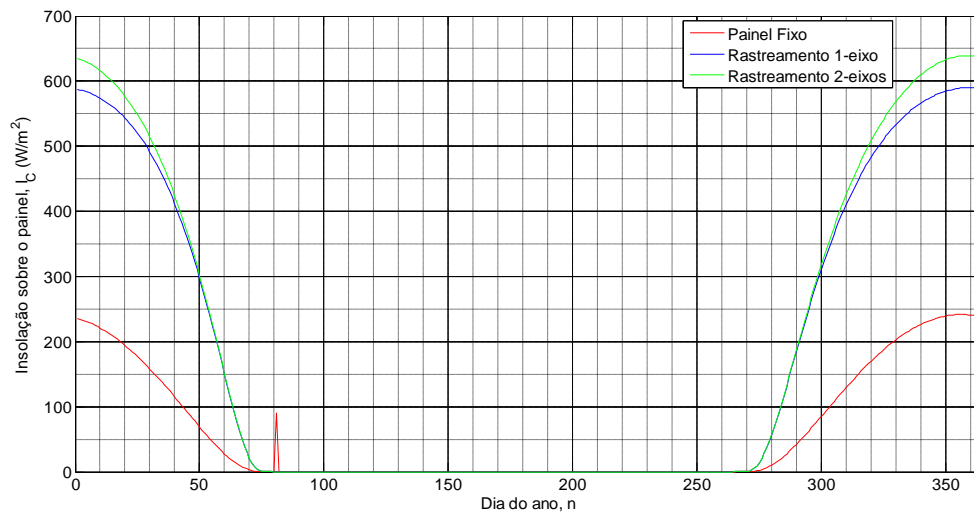


Figura 38 Ganho de radiação no painel, às 18 horas, durante o ano

Desta forma pode ser determinada a radiação que atinge o painel com os três tipos de captadores, representada pela TABELA:

TABELA VI. Disponibilidade solar horária ao longo do ano

Hora	Painel Estático	Rastreamento Polar	Rastreamento em 2 Eixos
6:00	22,59	65,03	68,70
7:00	71,79	174,39	181,47
8:00	158,46	278,54	290,72
9:00	239,27	325,53	339,59
10:00	304,82	347,18	361,51

TABELA VI. Disponibilidade solar horária ao longo do ano

Hora	Painel Estático	Rastreamento Polar	Rastreamento em 2 Eixos
11:00	346,24	357,24	371,20
12:00	360,34	360,34	373,94
13:00	346,24	357,24	371,20
14:00	304,82	347,18	361,51
15:00	239,27	325,53	339,59
16:00	158,46	278,54	290,72
17:00	71,79	174,39	181,47
18:00	22,59	65,03	68,70
Total	2646,68	3456,16	3600,32

Assim, através dos dados da TABELA VI. , encontram-se os valores de disponibilidade de radiação, representados na Figura 39 :

- Painel Estático = 2646,48kW/m²
- Rastreamento Polar = 3456,16kW/m²
- Rastreamento em Dois Eixos = 3600,32kW/m²

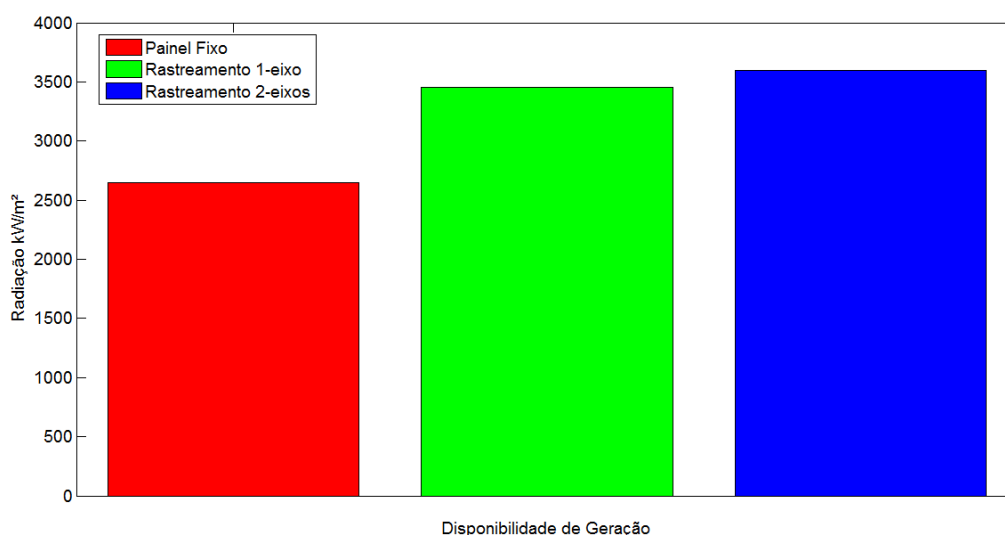


Figura 39 Disponibilidade de radiação solar durante o ano

Considerando que o total anual da radiação com o painel estático é de aproximadamente 2646,48 kW/m², a diferença possível de radiação no painel com o sistema de rastreamento

polar seria de aproximadamente $809,48 \text{ kW/m}^2$, o que acarreta num ganho próximo a 30,5%. Já se comparando com o sistema de dois eixos a diferença de radiação é de aproximadamente $953,64 \text{ kW/m}^2$, ocasionando um ganho de aproximadamente 36%.

3. GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para a modelagem do painel fotovoltaico pode-se considerar duas configurações de circuito, uma mais simples, composta por uma fonte de corrente e um diodo e que não considera as perdas no painel, e outra complexa, a qual considera as perdas de soldas, correntes de fuga, entre outras.

3.1. Modelo Simples

Um modelo equivalente simples da célula fotovoltaica consiste num diodo real ligado em paralelo com uma fonte de corrente como pode ser visto na figura 40.

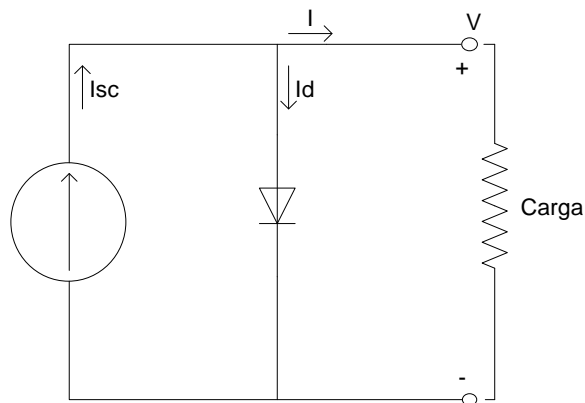


Figura 40 Modelo simplificado equivalente

A partir desse modelo a corrente que o painel alimenta a carga pode ser determinada como na equação 23:

$$I = I_{SC} - I_d \quad (23)$$

A corrente I_{SC} é obtido nos dados do *datasheet* do painel e a corrente I_d pode ser encontrada através da equação 24.

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{qV_d}{AkT}} - 1 \right) \quad (24)$$

Onde I_d representa a corrente que passa pelo diodo (A), I_0 é a corrente reversa de saturação (A), q é a carga do elétron ($1,602 \times 10^{-19} C$), V_d é a tensão nos polos do diodo (V), k é a constante de Boltzmann's ($1,381 \times 10^{-23} J/K$), T é a temperatura do painel (K) e A é o coeficiente de depreciação do painel (adimensional e varia de 1 a 2).

Já para a determinação da tensão, pode-se verificar que a mesma tensão que está nos terminais do diodo (V_D) e ainda a mesma de circuito aberto (V_{OC}) é a que será alimentada a carga, assim temos a equação 25.

$$V = V_d = V_{OC} \quad (25)$$

A tensão de circuito aberto (V_{OC}) pode ser calculada pela equação 26.

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right) \quad (26)$$

3.2. Modelo Completo

Porém para a determinação da potência real que a célula fotovoltaica estará transmitindo a carga, deve-se levar em conta as perdas presentes. Para tanto são adicionados dois resistores, um em paralelo (R_p) representando as correntes de fuga na superfície do material, e outro em série (R_s) que representa as perdas nas soldas internas dos componentes semicondutores e ainda a resistência do próprio material, esse novo circuito pode ser melhor entendido através da representação da figura 41.

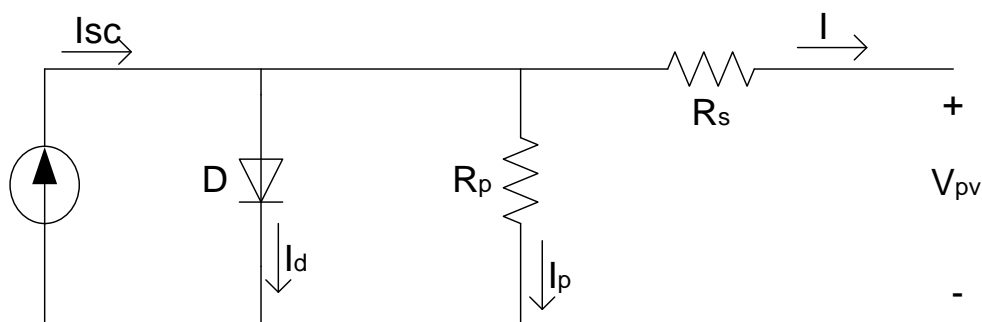


Figura 41 Modelo elétrico equivalente do painel fotovoltaico

A partir do modelo apresentado na figura 40, tem-se um cálculo de corrente diferenciado, comparando-se ao representado na equação 23. Agora a corrente de saída do painel pode ser considerada como na equação 27.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (27)$$

As resistências R_s e R_p podem ser calculadas a partir das equações 28 e 29.

$$R_p > 100 \cdot V_{oc} / I_{sc} \quad (28)$$

$$R_s < 0,01 \cdot V_{oc} / I_{sc} \quad (29)$$

E a corrente I_p pode ser calculado pela equação 30.

$$I_p = \frac{V_d}{R_p} \quad (30)$$

Para o calculo preciso da tensão entregue nos terminais do painel, leva-se em conta a queda de tensão provocada pela resistência série (R_s), assim o calculo deve ser efetuado através da equação 31.

$$V = V_d - I \cdot R_s \quad (31)$$

3.3. Painel Fotovoltaico

Como uma única célula fotovoltaica pode produzir tensões de aproximadamente 0,5V, sua aplicação não é muito comum, para tanto é feita a associação (figura 42) em série de várias células de modo a aumentar a tensão dos terminais, essa associação é normalmente composta de 33 a 36 células de modo a ter-se uma média de 12 V nos terminais.

Assim, para o caso de um painel composto de mais de uma célula fotovoltaica o valor da tensão é proporcional ao número de celular, ou seja, o valor da tensão deve ser multiplicado pelo numero de células presentes no modulo, como é demonstrado na equação 32.

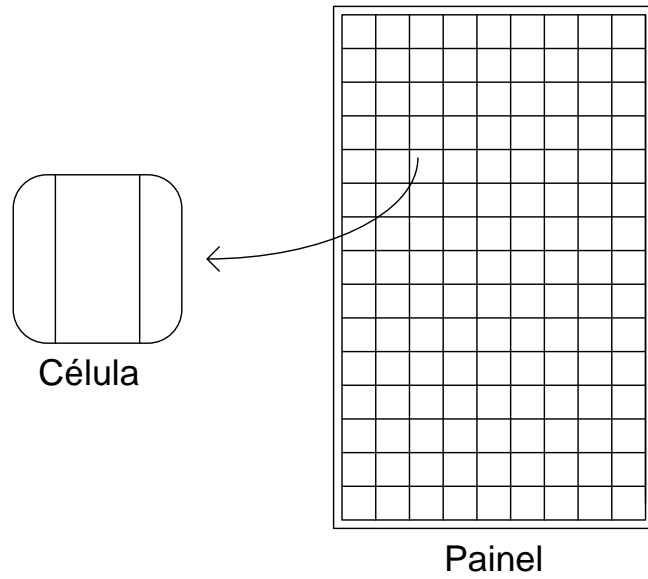


Figura 42 Célula e painel fotovoltaico

$$V_{\text{modulo}} = nV = n(V_d - I \cdot R_S) \quad (32)$$

Desta forma, pode ser efetuado o cálculo da potência do modulo com n células, através da equação 33.

$$P = V_{\text{modulo}} \cdot I \quad (33)$$

A variação de tensão pode ser mais bem compreendida com o auxílio do gráfico da figura 43, que representa a corrente versus a tensão do painel.

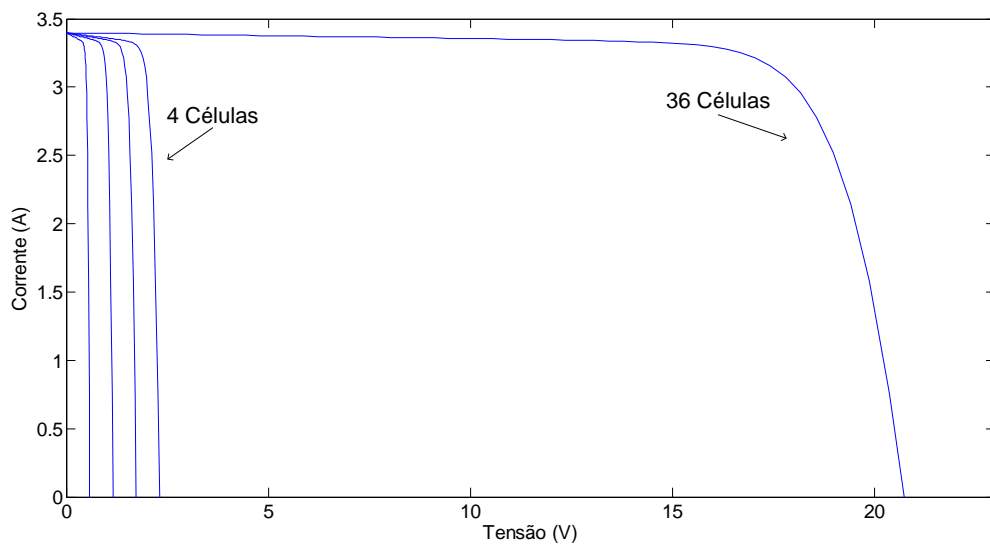


Figura 43 Variação da tensão com o aumento de células no painel

3.4. Ganho de geração

Para os cálculos do ganho de geração possível, no ano é usado o equacionamento modelado no item 5, além das radiações solares já calculadas no item 4. O modelo de painel simulado é da marca Kyocera modelo KD210GX-LP, de 210 W, os demais dados do painel segue no *datasheet* do mesmo presente no anexo VI.

A simulação de potência é feita através do ganho de radiação do painel, determinação da corrente e da tensão, determinada a potência, limitada a $210W + 5\%$, e traçados os gráficos da geração máxima possível durante o ano, com horário solar entre 6 e 18 horas.

Como a corrente e a tensão dependem também da variação da temperatura, foi feito um levantamento, através dos dados do INMET, da temperatura média mensal dos últimos cinco anos, os quais resultaram nos valores amostrados na tabela VII.

TABELA VII. Temperatura média mensal dos últimos 5 anos: Fonte: Dados da Rede do INMET

Mês	Temperatura (°C)
Janeiro	26,15
Fevereiro	25,42
Março	23,7
Abril	20,35
Mai	16,22
Junho	14,35
Julho	13,44
Agosto	15,04
Setembro	16,93
Outubro	19,75
Novembro	22,15

TABELA VII. Temperatura média mensal dos últimos 5 anos: Fonte: Dados da Rede do INMET

Mês	Temperatura (°C)
Dezembro	24,38

A partir dos dados é simulada a geração em ambiente Matlab, para os mesmos patamares de horários presentes no item 4 e demonstrados nos gráficos presentes nas figuras 44 a 56.

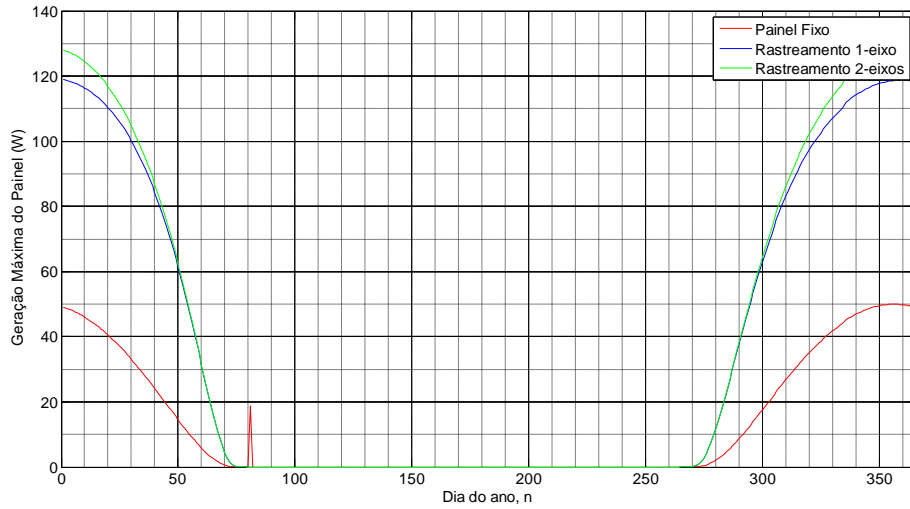


Figura 44 Ganho de radiação no painel, às 6 horas, durante o ano

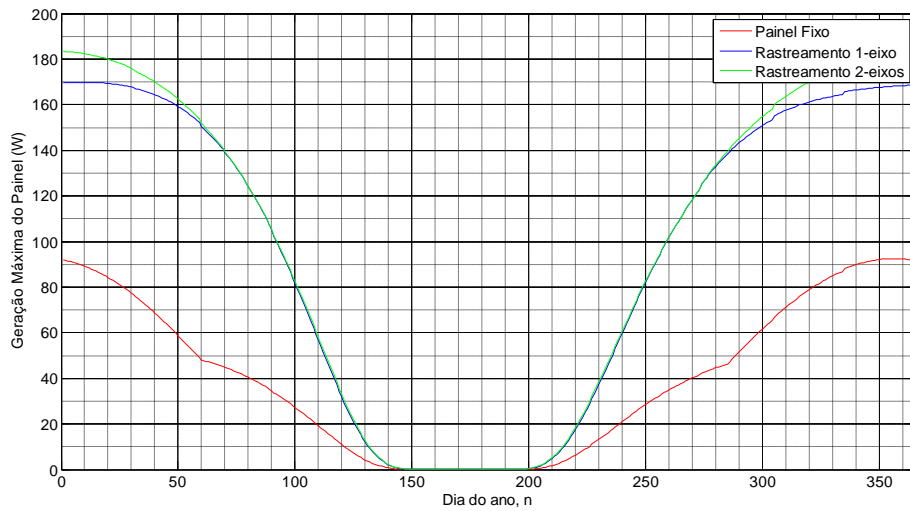


Figura 45 Ganho de geração no painel, às 7 horas, durante o ano

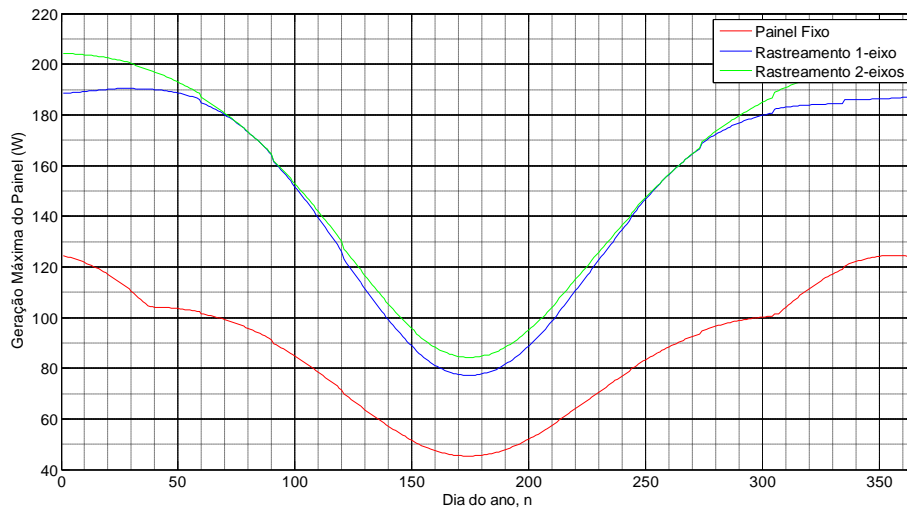


Figura 46 Ganho de geração no painel, às 8 horas, durante o ano

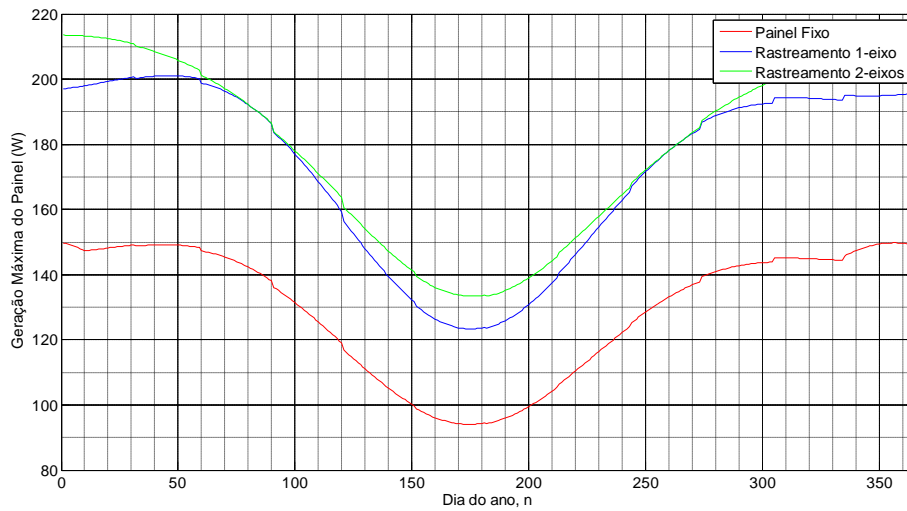


Figura 47 Ganho de geração no painel, às 9 horas, durante o ano

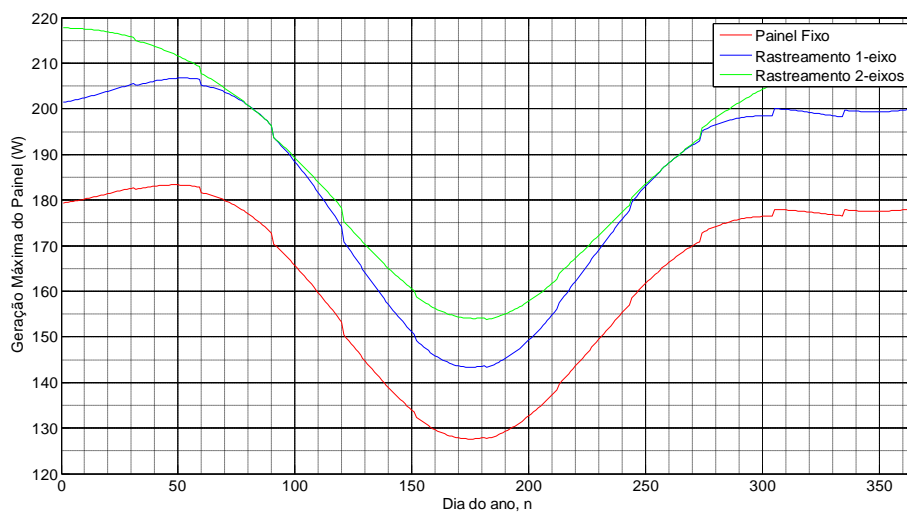


Figura 48 Ganho de geração no painel, às 10 horas, durante o ano

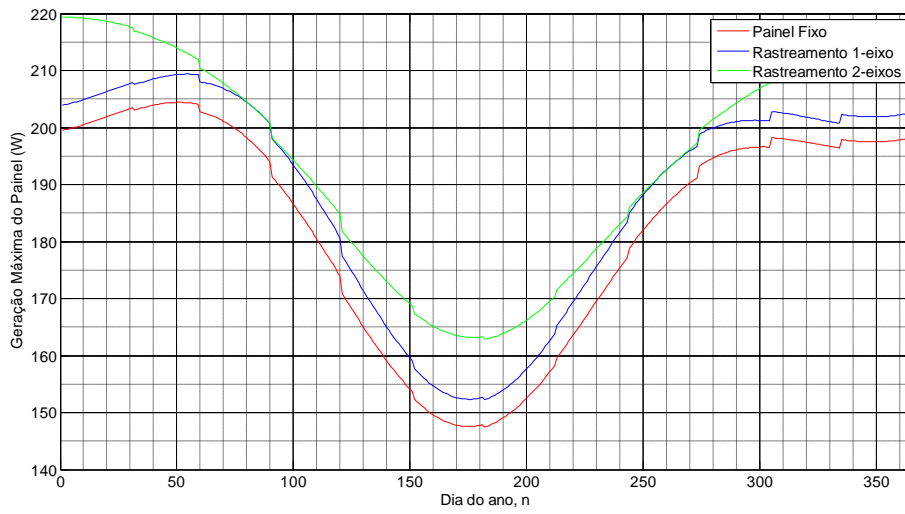


Figura 49 Ganho de geração no painel, às 11 horas, durante o ano

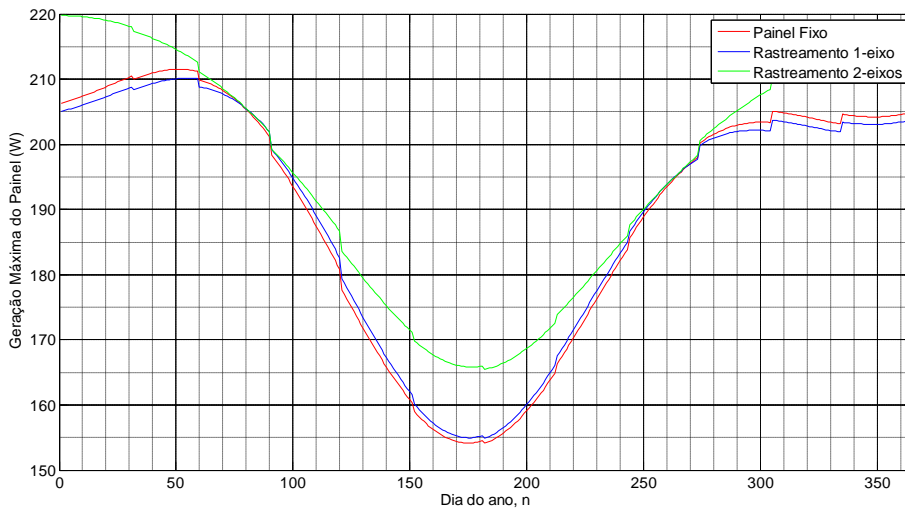


Figura 50 Ganho de geração no painel, às 12 horas, durante o ano

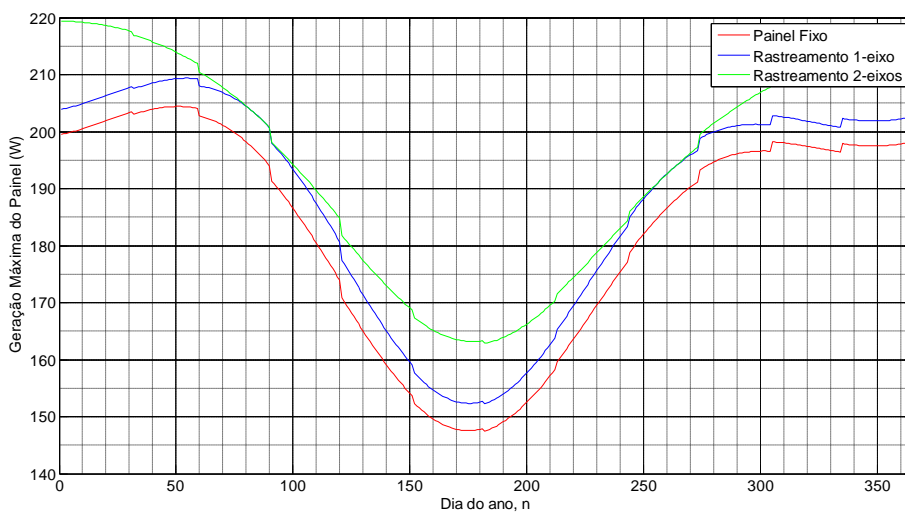


Figura 51 Ganho de geração no painel, às 13 horas, durante o ano

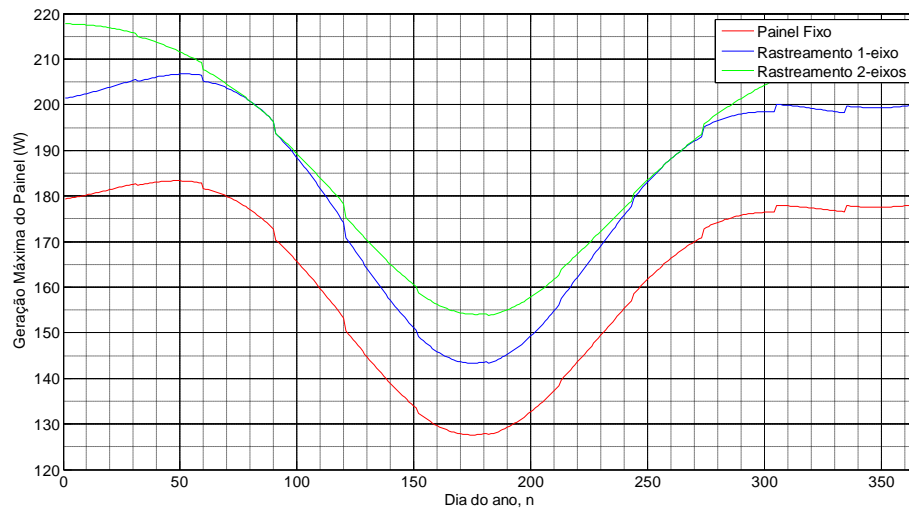


Figura 52 Ganho de geração no painel, às 14 horas, durante o ano

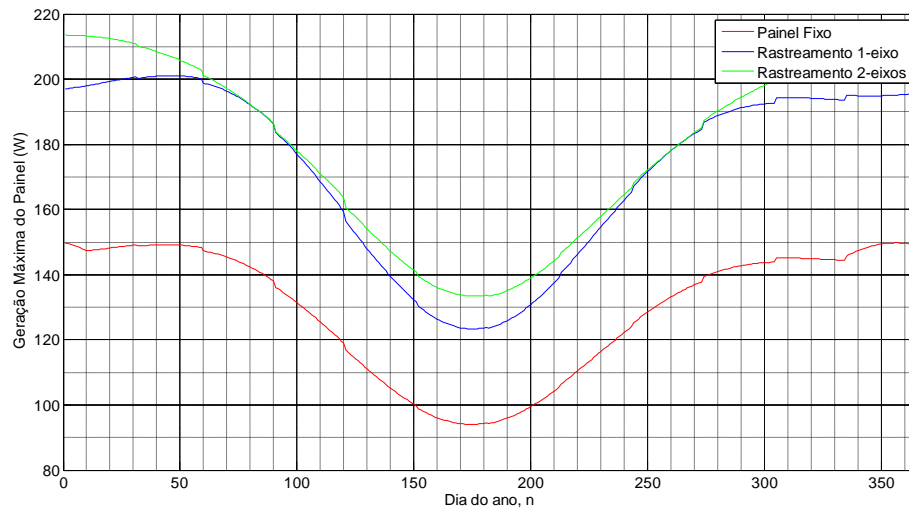


Figura 53 Ganho de geração no painel, às 15 horas, durante o ano

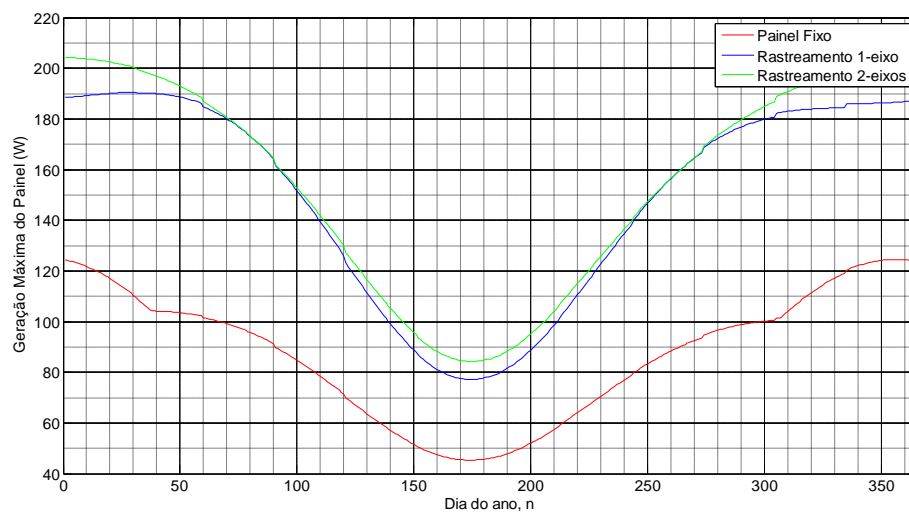


Figura 54 Ganho de geração no painel, às 16 horas, durante o ano

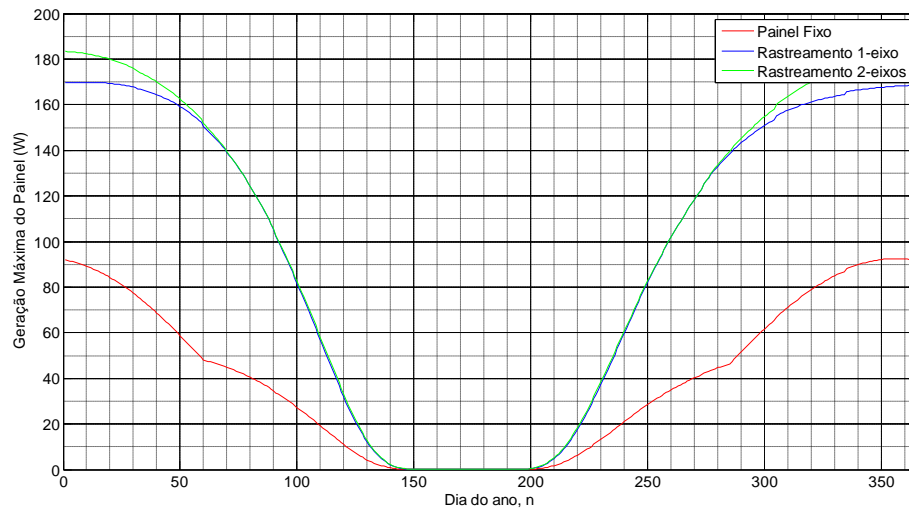


Figura 55 Ganho de geração no painel, às 17 horas, durante o ano

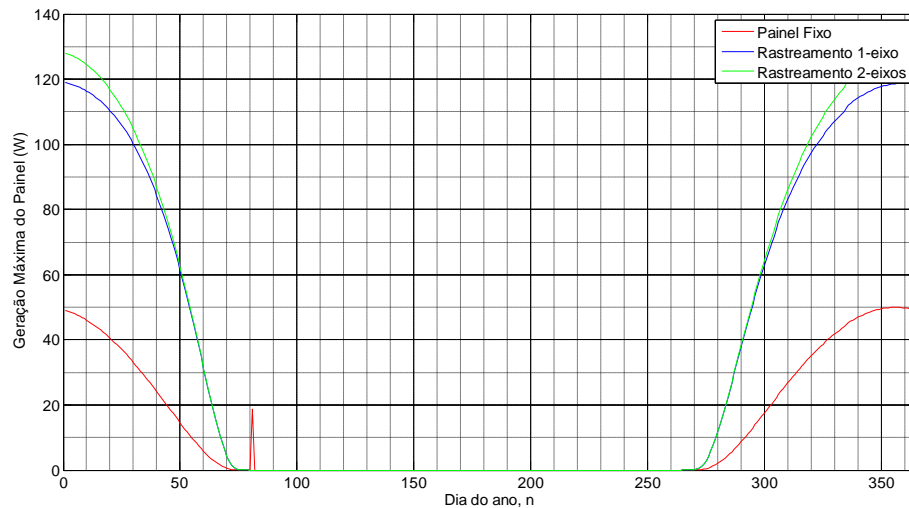


Figura 56 Ganho de geração no painel, às 18 horas, durante o ano

A partir dos gráficos pode ser encontrada, aproximadamente a energia máxima possível durante o ano para cada horário, conforme tabela VIII.

TABELA VIII. Disponibilidade de geração em um ano com painel de 220 W

Hora	Painel Estático (kWh)	Rastreamento Polar (kWh)	Rastreamento em 2 Eixos (kWh)
6:00	4,69	13,19	13,90
7:00	14,68	34,54	35,84
8:00	31,84	54,41	56,63

TABELA VIII. Disponibilidade de geração em um ano com painel de 220 W

Hora	Painel Estático (kWh)	Rastreamento Polar (kWh)	Rastreamento em 2 Eixos (kWh)
9:00	47,23	63,00	65,52
10:00	59,29	66,88	69,42
11:00	66,71	68,66	71,13
12:00	69,21	69,21	71,61
13:00	66,71	68,66	71,13
14:00	59,29	66,88	69,42
15:00	47,23	63,00	65,52
16:00	31,84	54,41	56,63
17:00	14,68	34,54	35,84
18:00	4,69	13,19	13,90
Total	518,9	670,57	696,47

Assim, através dos dados da TABELA VI. , encontram-se os valores de disponibilidade de geração anual, representados na Figura 39 :

- Painel Estático = 518,9kWh
- Rastreamento Polar = 670,57kWh
- Rastreamento em Dois Eixos = 696,47kWh

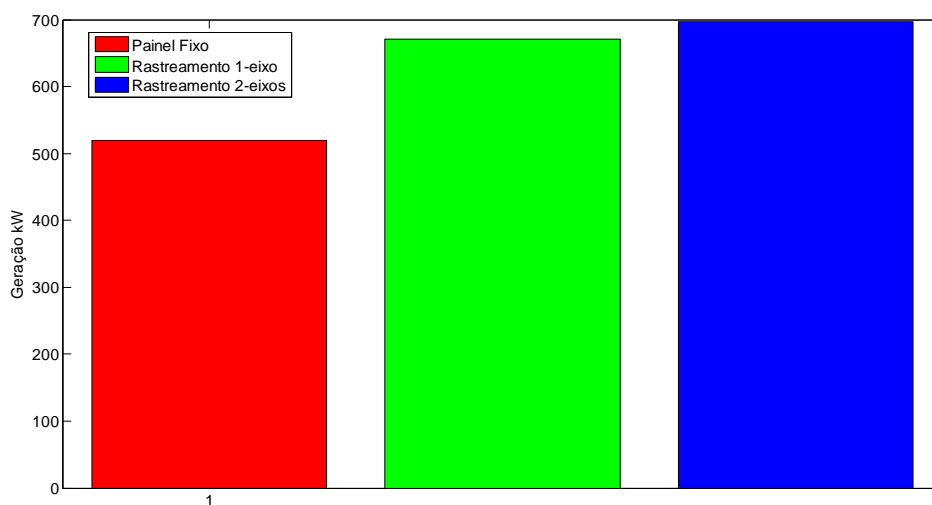


Figura 57 Disponibilidade de geração fotovoltaica com painel de 220W durante o ano

Considerando que o total anual de geração, contando o dia media das 6 às 18 horas, com o painel estático é de aproximadamente 518,9kWh, a diferença possível de geração com o sistema de rastreamento polar seria de aproximadamente 151,67 kWh, o que acarreta num ganho próximo a 29,2%. Já se comparando com o sistema de dois eixos a diferença de geração é de aproximadamente 177,57kWh, ocasionando um ganho de aproximadamente 34,2%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do posicionamento geográfico (capítulo 4) são definidos os eixos a serem usados no rastreamento e movimentação da placa solar fotovoltaica. Observou-se que, para locais de maior latitude, a possibilidade de obtenção de ganhos, em relação ao painel fixo, na faixa de 26% e 31% para as estruturas em um e dois eixos, respectivamente. Já para locais de menores latitudes, o ganho com rastreadores de dois eixos é muito parecido ao rastreamento polar, este chegando a 29%. Estes ganhos permitem reduzir, no horizonte de tempo, o retorno financeiro do investimento inicial.

Se demonstrado no contexto anual, o máximo de radiação que incide no sistema de painel estático é próximo a $2646,88 \text{ kW/m}^2$, já para o caso do rastreamento polar esse valor eleva-se para $3456,16 \text{ kW/m}^2$, o que representa um acréscimo próximo a 30%, e com o rastreamento em dois eixos esse valor aumenta para $3600,32 \text{ kW/m}^2$, o que acarreta num ganho de aproximadamente 36%.

Em se tratando da potência gerada (capítulo 5), partindo do princípio que o painel tem potência máxima de $210 \text{ W} + 0,5\%$ instalado estaticamente, pode-se chegar a valores de geração de $518,9 \text{ kW/ano}$, já com a mudança do sistema para rastreamento polar a geração pode chegar a $670,57 \text{ kW/ano}$, representando um ganho de 29,2%. Já se tratando do painel instalado com o sistema de rastreamento em dois eixos, podemos ter uma geração de $696,47 \text{ kW/ano}$, o que acarreta num ganho de 34,2%.

Outro item a ser avaliado, e de grande importância, é o custo da implementação do sistema versus ganho de geração, em locais de media latitude. Eventualmente, as diferenças entre os ganhos entre os sistemas de um ou dois eixos podem não justificar a instalação do mais oneroso, sendo este ponto um objeto de análise a ser realizado em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL, “**Atlas de Energia Elétrica do Brasil**”, 3ª edição, Brasília, 2008.
- ANEEL, “**Resolução Normativa n° 482**”, Brasil, 2012.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Plano nacional de energia 2030. Brasília, DF, 2007
- CASTRO, R. M. G., “**Introdução à energia fotovoltaica**”, Universidade Técnica de Lisboa, maio de 2008.
- CRESESB, “**Atlas Solarimétrico do Brasil**”, UFPE, 2000.
- CRESESB, “**Energia Solar Princípios e Aplicações**”, 2006.
- da SILVA, R. M. S; WIECHERT, M. D.; OLIVEIRA, E. S.; DUQUE, L. H. “**Sistema de Rastreamento Solar**”, IPADE, Anhanguera Educacional, 2010
- DUFFIE & Beckman, “**Solar engineering of thermal processes**”; Wiley, 2006
- GORDON, S. ARMSTRONG, R. & MATZKE; “**Spectrally Enhanced Lighting Program Implementation for Energy Savings: Field Evaluation**”; PNNL - Pacific Northwest National Laboratory, August 2006.
- IEA, “**World Energy Outlook**” – Energy For All, Oslo, 2011
- INMET; “**Base de dados do INMET**”, disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>
- MASTERS, GILBERT M.; “**Renewable and efficient electric power systems**”; Wiley; 2004
- MURTA, I. F. ; BRAGA, A. R.; BRAGA, J. P., “**Alguma experiência em rastreamento de radiação solar em usina termoeletrica solar**”. CEFET-MG, Induscon, 2008
- NLPIP - National Lighting Product Information Program; “**Photosensors: Dimming and Switching Systems for Daylight Harvesting**”; Volume 11, Number 1, Outubro 2007
- Pedrycz, W. & Gomide, F.; “**Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing**”, John Wiley, (2007).
- RAMAMURTHY, V. & SCANZE, K. “**Optical Sensors and Switches**”; Volume 7, Marcel Dekker, Inc; 2001
- SHAW, I. A. N. AND M. G. SIMÕES. “**Controle e Modelagem Fuzzy**”, E. Blucher; 1999.
- VÉRAS, P. C.; “**Estudo dos Benefícios e Proposta de um Modelo de Controle de um Rastreador Solar Ativo**”, POLI, UFPE, 2004

APÊNDICE I - CÓDIGO FONTE EM MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GANHO DE DISPONIBILIDADE SOLAR NO SOLSTÍCIO DE VERÃO EM ALEGRETE

- RS

```

%% Ganho de Radiação Solar com Rastreamento - Alegrete - Latitude -29,8° -
%% Longitude -55,8°
%% Calculo para 21 de dezembro - Solstício de Verão
%% Radiação Direta
L=-29.8;
sigma=6.35;
ro=0.2;
n=355;
A=1160+75*sind((360/365)*(n-275));
k=0.174+0.035*sind((360/365)*(n-100));
delta=-23.45*sind((360/365)*(n-81));
C=0.095+0.04*sind((360/365)*(n-100));
H=105:-15:-105;
h=5:19;
beta=asind(cosd(-L)*cosd(delta)*cosd(H)+sind(-L)*sind(delta));
m=rdivide(1,sind(beta));
IB=A*exp(-k*m);
IDH=times(C,IB);
FI_s=asind(rdivide(cosd(delta)*sind(H),cosd(beta)));
FI_c=0;
FI=FI_s-FI_c;
teta=acosd(times(times(cosd(beta),cosd(FI)),sind(sigma))+
times(sind(beta),cosd(sigma)));
%% PanelFixo
IBCF=times(IB,cosd(teta));
IDCF=times(IDH,((1+cosd(sigma))/2));
IRCF=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(sigma))/2));
ICF=IBCF+IDCF+IRCF;
ICF1=[0 ICF(2:14) 0];
%% Rastreamento 1 Eixo
IBC1=times(IB,cosd(L));
IDC1=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta+delta))/2));
IRC1=times(times(ro,IB),(sind(beta)+C),((1-cosd(90-beta+delta))/2));
IC1=IBC1+IDC1+IRC1;
IC11=[0 IC1(2:14) 0];
%% Rastreamento 2 Eixos
IBC2=IB;
IDC2=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta))/2));
IRC2=times(times(ro,IB),(sind(beta)+C),((1-cosd(90-beta))/2));
IC2=IBC2+IDC2+IRC2;
IC21=[0 IC2(2:14) 0];
%% Plots
plot(h,ICF1,'r');
holdon
plot(h,IC11,'g');
plot(h,IC21,'b');
title('Geração Fotovoltaica Verão Alegrete');
xlabel('Hora do Dia');
ylabel('Geração (W/m²)');
legend('Painel Fixo','Rastreamento Polar','Rastreamento 2 Eixos');
%% Descrição
fprintf(' Hora ; IC Fixo ; IC 1 eixo; IC 2 eixos\n');
fori=1:15
fprintf('%6.2f; %6.2f ; %6.2f ;
%6.2f\n',h(i),ICF1(i),IC11(i),IC21(i));

```

```
end  
fprintf('\n');
```

APÊNDICE II - CÓDIGO FONTE EM MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GANHO DE DISPONIBILIDADE SOLAR NO SOLSTÍCIO DE INVERNO EM ALEGRETE - RS

```

%% Ganho de Radiação Solar com Rastreamento - Alegrete - Latitude -29,8° -
%% Longitude -55,8°
%% Calculo para 21 de Junho - Solstício de Inverno
%% Radiação Direta
L=-29.8;
sigma=53;
ro=0.2;
n=172;
A=1160+75*sind((360/365)*(n-275));
k=0.174+0.035*sind((360/365)*(n-100));
delta=-23.45*sind((360/365)*(n-81));
C=0.095+0.04*sind((360/365)*(n-100));
H=75:-15:-75;
h=7:17;
beta=asind(cosd(-L)*cosd(delta)*cosd(H)+sind(-L)*sind(delta));
m=rdivide(1,sind(beta));
IB=A*exp(-k*m);
IDH=times(C,IB);
FI_s=asind(rdivide(cosd(delta)*sind(H),cosd(beta)));
FI_c=0;
FI=FI_s-FI_c;
te-
ta=acosd(times(times(cosd(beta),cosd(FI)),sind(sigma))+times(sind(beta),cosd(sigma)));
%% PainelFixo
IBCF=times(IB,cosd(teta));
IDCF=times(IDH,((1+cosd(sigma))/2));
IRCF=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(sigma))/2));
ICF=IBCF+IDCF+IRCF;
%% Rastreamento 1 Eixo
IBC1=times(IB,cosd(L));
IDC1=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta+delta))/2));
IRC1=times(times(ro,IB),(sind(beta)+C),((1-cosd(90-beta+delta))/2));
IC1=IBC1+IDC1+IRC1;
%% Rastreamento 2 Eixos
IBC2=IB;
IDC2=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta))/2));
IRC2=times(times(ro,IB),(sind(beta)+C),((1-cosd(90-beta))/2));
IC2=IBC2+IDC2+IRC2;
%% Plots
plot(h,ICF,'r');
holdon
plot(h,IC1,'g');
plot(h,IC2,'b');
title('Geração Fotovoltaica Inverno Macapá');
xlabel('Hora do Dia');
ylabel('Geração (W/m²)');
%% Descrição
fprintf(' Hora ; IC Fixo ; IC 1 eixo; IC 2 eixos\n');
fori=1:11
fprintf('%6.2f; %6.2f ; %6.2f ; %6.2f\n',h(i),ICF(i),IC1(i),IC2(i));
end
fprintf('\n');

```

APÊNDICE III - CÓDIGO FONTE EM MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GA- NHO DE DISPONIBILIDADE SOLAR NO SOLSTÍCIO DE VERÃO EM MACAPÁ -

AP

```

%% Ganho de Radiação Solar com Rastreamento - Macapá - Latitude -0,2°
%% Longitude -51,3°
%% Calculo para 22 de dezembro - Solstício de Verão
%% Radiação Direta
L=-0.2;
sigma=6.35;
ro=0.2;
n=355;
A=1160+75*sind((360/365)*(n-275));
k=0.174+0.035*sind((360/365)*(n-100));
delta=-23.45*sind((360/365)*(n-81));
C=0.095+0.04*sind((360/365)*(n-100));
H=90:-15:-90;
h=6:18;
beta=asind(cosd(-L)*cosd(delta)*cosd(H)+sind(-L)*sind(delta));
m=rdivide(1,sind(beta));
IB=A*exp(-k*m);
IDH=times(C,IB);
FI_s=asind(rdivide(cosd(delta)*sind(H),cosd(beta)));
FI_c=-12.88;
FI=FI_s-FI_c;
te-
ta=acosd(times(times(cosd(beta),cosd(FI)),sind(sigma))+times(sind(beta),cosd(sigma)));
%% PainelFixo
IBCF=times(IB,cosd(teta));
IDCF=times(IDH,((1+cosd(sigma))/2));
IRCF=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(sigma))/2));
ICF=IBCF+IDCF+IRCF;
ICF1=[0 ICF(2:14) 0];
%% Rastreamento 1 Eixo
IBC1=times(IB,cosd(L));
IDC1=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta+delta))/2));
IRC1=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(90-beta+delta))/2));
IC1=IBC1+IDC1+IRC1;
IC11=[0 IC1(2:14) 0];
%% Rastreamento 2 Eixos
IBC2=IB;
IDC2=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta))/2));
IRC2=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(90-beta))/2));
IC2=IBC2+IDC2+IRC2;
IC21=[0 IC2(2:14) 0];
%% Plots
plot(h,ICF1,'r');
holdon
plot(h,IC11,'g');
plot(h,IC21,'b');
title('Geração Fotovoltaica Inverno Macapá');
xlabel('Hora do Dia');
ylabel('Geração (W/m²)');
%% Descrição
fprintf(' Hora ; IC Fixo ; IC 1 eixo; IC 2 eixos\n');
fori=1:13
fprintf('%6.2f; %6.2f ; %6.2f ; %6.2f\n',h(i),ICF1(i),IC11(i),IC21(i));

```

```
end  
fprintf('\n');
```

APÊNDICE IV - CÓDIGO FONTE EM MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GANHO DE DISPONIBILIDADE SOLAR NO SOLSTÍCIO DE INVERNO EM MACAPÁ

- AP

```

%% Ganho de Radiação Solar com Rastreamento - Macapá - Latitude -0,2°
%% Longitude -51,3°
%% Calculo para 21 de Junho - Solstício de Inverno
%% Radiação Direta
L=-0.2;
sigma=23.65;
ro=0.2;
n=172;
A=1160+75*sind((360/365)*(n-275));
k=0.174+0.035*sind((360/365)*(n-100));
delta=-23.45*sind((360/365)*(n-81));
C=0.095+0.04*sind((360/365)*(n-100));
H=90:-15:-90;
h=6:18;
beta=asind(cosd(-L)*cosd(delta)*cosd(H)+sind(-L)*sind(delta));
m=rdivide(1,sind(beta));
IB=A*exp(-k*m);
IDH=times(C,IB);
FI_s=asind(rdivide(cosd(delta)*sind(H),cosd(beta)));
FI_c=0;
FI=FI_s-FI_c;
te-
ta=acosd(times(times(cosd(beta),cosd(FI)),sind(sigma))+times(sind(beta),cosd(sigma)));
%% PainelFixo
IBCF=times(IB,cosd(teta));
IDCF=times(IDH,((1+cosd(sigma))/2));
IRCF=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(sigma))/2));
ICF=IBCF+IDCF+IRCF;
ICF1=[0 ICF(2:12) 0];
%% Rastreamento 1 Eixo
IBC1=times(IB,cosd(L));
IDC1=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta+delta))/2));
IRC1=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(90-beta+delta))/2));
IC1=IBC1+IDC1+IRC1;
IC11=[0 IC1(2:12) 0];
%% Rastreamento 2 Eixos
IBC2=IB;
IDC2=times(times(C,IB),((1+cosd(90-beta))/2));
IRC2=times(times(times(ro,IB),(sind(beta)+C)),((1-cosd(90-beta))/2));
IC2=IBC2+IDC2+IRC2;
IC21=[0 IC2(2:12) 0];
%% Plots
plot(h,ICF1,'r');
holdon
plot(h,IC11,'g');
plot(h,IC21,'b');
title('Geração Fotovoltaica Inverno Macapá');
xlabel('Hora do Dia');
ylabel('Geração (W/m²)');
%% Descrição
fprintf(' Hora ; IC Fixo ; IC 1 eixo; IC 2 eixos\n');
fori=1:14
fprintf('%6.2f; %6.2f ; %6.2f ; %6.2f\n',h(i),ICF1(i),IC11(i),IC21(i));

```

```
end  
fprintf('\n');
```

APÊNDICE V - CÓDIGO MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GANHO ANUAL DE DISPONIBILIDADE SOLAR

```

% Algoritmo para simulação da disponibilidade solar
% Referência Principal: Renewable and Efficient Electric
% Power Systems - Gilbert M. Masters
% Comparações com
% http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/sun-position-calculator

% -----
clc;      clear all;      close all;
% -----
% Constantes
    L = - (29 + 47/60); % latitude (em Alegrete: - 29°47'01,63)
Lo = - (55 + 47/60); % longitude (em Alegrete - 55°47'27,54)
for j=6:18
    CT = j; % Horário do dia (24 horas)
ro = 0.2; % coeficiente de reflexão da superfície horizontal
% -----
% Equação do tempo
for i = 1:365
    dia(i) = i;
    Bd(i) = (360/364)*(dia(i) - 81); % graus
    E(i) = 9.87 * sind(2*Bd(i)) - 7.53 * cosd(Bd(i)) - 1.5 * sind(Bd(i)); % minutos
end
% plot(dia,E)
% ylabel('Equação do tempo, min');
% xlabel('Número do dia do ano, n'); grid on;
% axis([0 365 -15 20]);
% -----
% Painel fixo
% Para o painel fixo, é necessário considerar o ângulo de inclinação
% Considerar a inclinação de Alegrete
for i = 1:365
    dia(i) = i;
% -----
% Cálculo da declinação solar e inclinação do coletor - eq. 7.6 e 7.7 do
Masters
    d(i) = 23.45 * sind((360/365)*(dia(i) - 81)); % Declinação solar
% -----
% Cálculo do ângulo horário
    H(i) = 15 * (CT - 12); %+-3 - correção horário GMT
%H > 0 - antes das 12:00
%H < 0 - depois das 12:00
% -----
% Cálculo do ângulo de altitude solar
B(i) = asind(cosd(L)*cosd(d(i))*cosd(H(i)) + sind(L)*sind(d(i)));
% -----
if B(i)==0
    m(i)=0;
else
    m(i) = 1 / sind(B(i));
end
% -----
% Cálculo do ângulo de azimuth do coletor
phi_s(i) = asind((cosd(d(i)) * sind(H(i))/cosd(B(i))));
if abs(phi_s(i)) > 90

```



```

if sign(phi_s(i)) > 0
phi_sc(i) = 180 - abs(phi_s(i));
elseif sign(phi_s(i)) < 0
phi_sc(i) = - (180 - abs(phi_s(i)));
end
elseif abs(phi_s(i)) <= 90
phi_sc(i) = phi_s(i);
end
% -----
% Cálculo do ângulo incidência entre o sol e a face do coletor
% sigma - angulo de inclinação do coletor
sigma(i) = abs(L) + 0.0; %usar inclinação = latitude local
%phi_c - ângulo azimutal do coletor
phi_c = 0; %phi_s(i); % coletor apontado para o Equador (alinhado com o
Norte)
cos_theta(i) = cosd(B(i)) * cosd(phi_s(i) - phi_c) * sind(sigma(i)) +
sind(B(i)) * cosd(sigma(i));
theta(i) = acosd(cos_theta(i));
% % -----
-
% %Cálculo das intensidades
% Io(i) = 1370 * (1 + 0.034 * cosd(360*dia(i)/365));
A(i) = 1160 + 75 * sind((360/365) * (dia(i) - 275));
k(i) = 0.174 + 0.035 * sind((360/365)*(dia(i) - 100));
Ib(i) = A(i) * exp(-k(i) * m(i));
Ibc(i) = Ib(i) * cos_theta(i);
Ibh(i) = Ib(i) * cosd(90 - B(i));
C(i) = 0.095 + 0.04 * sind((360/365) * (dia(i) - 100));
Idc(i) = Ib(i) * C(i) * ((1 + cosd(sigma(i)))/2);
Irc(i) = ro * Ib(i) * sind(B(i) + C(i)) * (1 - cosd(sigma(i)))/2;
Idh(i) = C(i) * Ib(i);
%%
% Painel Estático
Ic0(i) = Ibc(i) + Idc(i) + Irc(i);
if j==6 | j==18
if Ic0(i)>250 | Ic0(i)<0
Ic(i)=0;
else
Ic(i)=Ic0(i);
end
else
Ic(i)=Ic0(i);
end

%%
% Rastreamento em um eixo
% for i = 1:365
Ibc1(i) = Ib(i) * cosd(d(i));
Idc1(i) = C(i) * Ib(i) * ((1 + cosd(90 - B(i) + d(i)))/2);
Irc1(i) = ro * (Ibh(i) + Idh(i)) * ((1 - cosd(90 - B(i) + d(i)))/2);

Ic01(i) = Ibc1(i) + Idc1(i) + Irc1(i);
if j==6 | j==18
if Ic01(i)>1000 | Ic01(i)<0
Ic1(i)=0;
else
Ic1(i)=Ic01(i);
end
else
Ic1(i)=Ic01(i);
end

```

```

end

%%
% Rastreamento em dois eixos
    Ibc2(i) = Ib(i);
    Idc2(i) = C(i) * Ib(i) * ((1 + cosd(90 - B(i)))/2);
    Irc2(i) = ro * (Ibh(i) + Idh(i)) * ((1 - cosd(90 - B(i)))/2);
    Ic02(i) = Ibc2(i) + Idc2(i) + Irc2(i);
if j==6 | j==18
if Ic02(i)>1000 | Ic02(i)<0
Ic2(i)=0;
else
Ic2(i)=Ic02(i);
end
else
Ic2(i)=Ic02(i);
end

end

%%
Rad=sum(Ic) % Soma a radiação para cada horário do painel estático
Rad1=sum(Ic1) % Soma a radiação para cada horário do rastreamento polar
Rad2=sum(Ic2) % Soma a radiação para cada horário do rastreamento 2 eixos
%%
% plot(dia,Ibh,'m')
figure
plot(dia,Ic,'r')
hold
plot(dia,Ic1,'b')
plot(dia,Ic2,'g')
set(gca,'fontsize',14);
xlabel('Dia do ano, n','fontsize',14);
xlim([0 365]);
ylabel('Insolação sobre o painel, I_C (W/m^2)','fontsize',14)
gridminor
leg=legend('PainelFixo','Rastreamento 1-eixo','Rastreamento 2-eixos');
set(leg,'fontsize',14)
hold
figure
subplot(2,2,1); plot(dia,d); ylabel('declinacao, \delta'); xlabel('Dia do
ano, n');
subplot(2,2,2); plot(dia,B); ylabel('angalt solar, \beta'); xlabel('Dia do
ano, n');
subplot(2,2,3); plot(dia,phi_s); ylabel('angazim solar, \phi_s'); xla-
bel('Dia do ano, n');
subplot(2,2,4); plot(dia,theta); ylabel('angincid sol-coletor, \theta');
xlabel('Dia do ano, n');
end

```

APÊNDICE VI - CÓDIGO MATLAB PARA DETERMINAÇÃO DO GANHO ANUAL DE GERAÇÃO

```
% Algoritmo para simulação da disponibilidade solar
% Referência Principal: Renewable and Efficient Electric
% Power Systems - Gilbert M. Masters
% Comparações com
% http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/sun-position-calculator
clc
clearall
closeall
% Constantes
q=1.602*10^-19;
K=1.381*10^-23;
I0=1*10^-9;
Rs=0.005;
Rp=1;
Vd=0:0.001:0.6;
a=1;
n=54;
    L = - (29 + 47/60);% latitude (em Alegrete: - 29°47'01,63)
    Lo = - (55 + 47/60); % longitude (em Alegrete - 55°47'27,54)
for j=6:18
    CT = j;% Horário do dia (24 horas)
    ro = 0.2; % coeficiente de reflexão da superfície horizontal
% -----
% Equação do tempo
for i = 1:365
    dia(i) = i;
    Bd(i) = (360/364)*(dia(i) - 81); % graus
    E(i) = 9.87 * sind(2*Bd(i)) - 7.53 * cosd(Bd(i)) - 1.5 * sind(Bd(i)); % minutos
end
% -----
% Painel fixo
% Para o painel fixo, é necessário considerar o ângulo de inclinação
% Considerar a inclinação de Alegrete
for i = 1:365
    dia(i) = i;
% -----
% Cálculo da declinação solar e inclinação do coletor
    d(i) = 23.45 * sind((360/365)*(dia(i) - 81)); % Declinação solar
% -----
% Cálculo do ângulo horário
    H(i) = 15 * (CT - 12);%+-3 - correção horário GMT
%H > 0 - antes das 12:00
%H < 0 - depois das 12:00
% -----
% Cálculo do ângulo de altitude solar
    B(i) = asind(cosd(L)*cosd(d(i))*cosd(H(i)) + sind(L)*sind(d(i)));
% -----
if B(i)==0
    m(i)=0;
else
    m(i) = 1 / sind(B(i));
end
% -----
% Cálculo do ângulo de azimuth do coletor
```

```

phi_s(i) = asind((cosd(d(i)) * sind(H(i))/cosd(B(i))));
if abs(phi_s(i)) > 90
if sign(phi_s(i)) > 0
phi_sc(i) = 180 - abs(phi_s(i));
elseif sign(phi_s(i)) < 0
phi_sc(i) = - (180 - abs(phi_s(i)));
end
elseif abs(phi_s(i)) <= 90
phi_sc(i) = phi_s(i);
end
% -----
% Calculo do ângulo incidencia entre o sol e a face do coletor
% sigma - angulo de inclinação do coletor
sigma(i) = abs(L) + 0.0; %usar inclinação = latitude local
%phi_c - ângulo azimutal do coletor
phi_c = 0; %phi_s(i); % coletor apontado para o Equador (alinhado com o
Norte)
cos_theta(i) = cosd(B(i)) * cosd(phi_s(i) - phi_c) * sind(sigma(i)) +
sind(B(i)) * cosd(sigma(i));
theta(i) = acosd(cos_theta(i));
% % -----
% %Cálculo das intensidades
A(i) = 1160 + 75 * sind((360/365) * (dia(i) - 275));
k(i) = 0.174 + 0.035 * sind((360/365)*(dia(i) - 100));
Ib(i) = A(i) * exp(-k(i) * m(i));
Ibc(i) = Ib(i) * cos_theta(i);
Ibh(i) = Ib(i) * cosd(90 - B(i));
C(i) = 0.095 + 0.04 * sind((360/365) * (dia(i) - 100));
Idc(i) = Ib(i) * C(i) * ((1 + cosd(sigma(i)))/2);
Irc(i) = ro * Ib(i) * sind(B(i) + C(i)) * (1 - cosd(sigma(i)))/2;
Idh(i) = C(i) * Ib(i);
%%
% Painel Estático
Ic0(i) = Ibc(i) + Idc(i) + Irc(i);
if j==6 | j==18
if Ic0(i)>250 | Ic0(i)<0
Ic(i)=0;
else
Ic(i)=Ic0(i);
end
else
Ic(i)=Ic0(i);
end

%%
% Rastreamento em um eixo
Ibc1(i) = Ib(i) * cosd(d(i));
Idc1(i) = C(i) * Ib(i) * ((1 + cosd(90 - B(i) + d(i)))/2);
Irc1(i) = ro * (Ibh(i) + Idh(i)) * ((1 - cosd(90 - B(i) + d(i)))/2);

Ic01(i) = Ibc1(i) + Idc1(i) + Irc1(i);
if j==6 | j==18
if Ic01(i)>1000 | Ic01(i)<0
Ic1(i)=0;
else
Ic1(i)=Ic01(i);
end
else
Ic1(i)=Ic01(i);
end
end

```

```

%%
% Rastreamento em dois eixos
    Ibc2(i) = Ib(i);
    Idc2(i) = C(i) * Ib(i) * ((1 + cosd(90 - B(i)))/2);
    Irc2(i) = ro * (Ibh(i) + Idh(i)) * ((1 - cosd(90 - B(i)))/2);
    Ic02(i) = Ibc2(i) + Idc2(i) + Irc2(i);
if j==6 | j==18
if Ic02(i)>1000 | Ic02(i)<0
Ic2(i)=0;
else
Ic2(i)=Ic02(i);
end
else
Ic2(i)=Ic02(i);
end

%Calculo de Geração
if i<=31
t=26.15;
elseif i<=59
    t=25.42;
elseif i<=90
    t=23.7;
elseif i<=120
    t=20.35;
elseif i<=151
    t=16.22;
elseif i<=181
    t=14.35;
elseif i<=212
    t=13.44;
elseif i<=243
    t=15.04;
elseif i<=273
    t=16.93;
elseif i<=304
    t=19.75;
elseif i<=334
t=22.15;
elseif i<=365
    t=24.38;
end
    T=t+273.5;
for z=1:12
forjj=1:601
if t>25
Voc=33.2-0.12*(t-25);
else
    Voc=33.2-0.12*(25-t);
end
Isc=8.58;
    I(jj)=(Ic(i)/1000)*(Isc-I0*(exp(q*Vd(jj)/(a*K*T))-1)-
(Vd(jj)/Rp));
if I(jj)>0
II(jj)=I(jj);
else
II(jj)=0;
end
V(jj)=n*(Vd(jj)-II(jj)*Rs);

```

```

P(jj)=mtimes(V(jj),II(jj));

I1(jj)=(Ic1(i)/1000)*(Isc-I0*(exp(q*Vd(jj)/(a*K*T))-1)-(Vd(jj)/Rp));
if I1(jj)>0
II1(jj)=I1(jj);
else
II1(jj)=0;
end
V1(jj)=n*(Vd(jj)-II1(jj)*Rs);
P1(jj)=mtimes(V1(jj),II1(jj));

I2(jj)=(Ic2(i)/1000)*(Isc-I0*(exp(q*Vd(jj)/(a*K*T))-1)-(Vd(jj)/Rp));
if I2(jj)>0
II2(jj)=I2(jj);
else
II2(jj)=0;
end
V2(jj)=n*(Vd(jj)-II2(jj)*Rs);
P2(jj)=mtimes(V2(jj),II2(jj));
end

end
if max(P)>222
p(i)=222
else
p(i)=max(P);
end
if max(P1)>222
p1(i)=222
else
p1(i)=max(P1);
end
if max(P2)>222
p2(i)=222
else
p2(i)=max(P2);
end
end
figure
plot(p,'r')
holdon
plot(p1,'b')
plot(p2,'g')
set(gca,'fontsize',14);
xlabel('Dia do ano, n','fontsize',14);
xlim([0 365]);
ylabel('Geração Máxima do Pannel (W)','fontsize',14)
gridminor
leg=legend('PannelFixo','Rastreamento 1-eixo','Rastreamento 2-eixos');
set(leg,'fontsize',14)
holdoff
%%
G=sum(p)
G1=sum(p1)
G2=sum(p2)
end

```

ANEXO I - DATASHEET DO PAINEL KYOCERA KD210GX-LP



MODEL
KD210GX-LP



THE NEW VALUE FRONTIER



KD210GX-LP

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities produce a highly efficient multicrystal photovoltaic module.

The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 16%. These cells are encapsulated between a tempered glass cover and a pottant with back sheet to provide efficient protection from the severest environmental conditions.

The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation. Equipped with plug-in connectors.



APPLICATIONS

KD210GX-LP is ideal for grid tie system applications.

- Residential roof top systems
- Large commercial grid tie systems
- Water Pumping systems
- High Voltage stand alone systems
- etc.

QUALIFICATIONS

- MODULE : UL1703 listed
- FACTORY : ISO9001 and ISO 14001

QUALITY ASSURANCE

Kyocera multicrystal photovoltaic modules have passed the following tests.

- Thermal cycling test
- Thermal shock test
- Thermal / Freezing and high humidity cycling test
- Electrical isolation test
- Hail impact test
- Mechanical, wind and twist loading test
- Salt mist test
- Light and water-exposure test
- Field exposure test

LIMITED WARRANTY

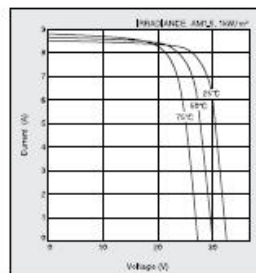
※ 1 year limited warranty on material and workmanship

※ 20 years limited warranty on power output: For detail, please refer to "category IV" in Warranty issued by Kyocera

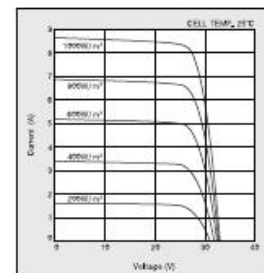
(Long term output warranty shall warrant if PV Module(s) exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under Kyocera's standard measurement conditions. Regarding the warranty conditions in detail, please refer to Warranty issued by Kyocera.)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LP at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LP at various irradiance levels



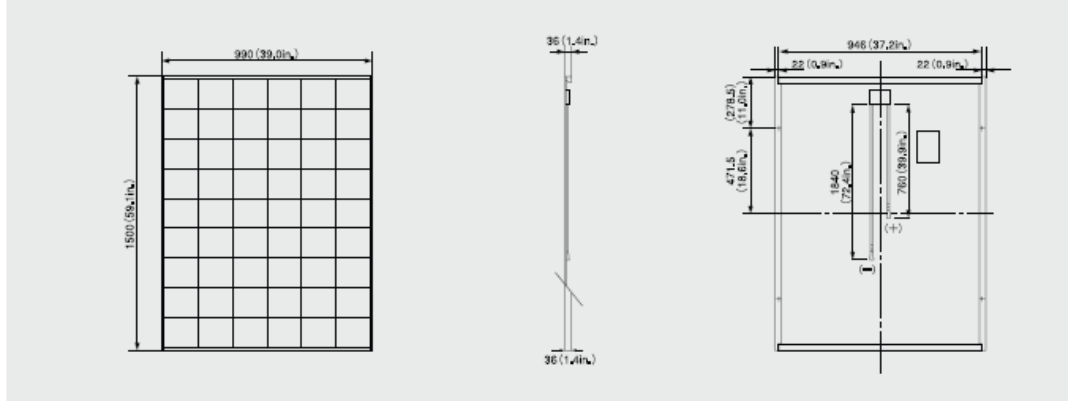
0803

SPECIFICATIONS

KD210GX-LP

Physical Specifications

Unit : mm (in.)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (Pmax)	210W (+5%/−5%)
Maximum Power Voltage (Vmpp)	26.6V
Maximum Power Current (Impp)	7.90A
Open Circuit Voltage (Voc)	33.2V
Short Circuit Current (Isc)	8.58A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of Voc	−0.120 V/°C
Temperature Coefficient of Isc	5.15×10 ⁻³ A/°C

*STC : Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, 25°C temperature

Electrical Performance at 800W/m ² , *NOCT, AM1.5	
Maximum Power (Pmax)	148W
Maximum Power Voltage (Vmpp)	23.5V
Maximum Power Current (Impp)	6.32A
Open Circuit Voltage (Voc)	29.9V
Short Circuit Current (Isc)	6.98A

*NOCT : Nominal Operating Cell Temperature : 45°C

Cells	
Number per Module	54

Module Characteristics	
Length × Width × Depth	1500mm(59.06in.)×990mm(39.01in.)×30mm(1.18in.)
Weight	18.5kg(40.8lbs.)
Cable	±1760mm(69.29in.)×1840mm(72.4in.)

Junction Box Characteristics	
Length × Width × Depth	102mm(4.01in.)×106mm(4.17in.)×15mm(0.59in.)
IP Code	IP65

Others	
*Operating Temperature	−40°C ~ 90°C
Maximum Fuse	15A

*This temperature is based on cell temperature.

Please contact our office for further information



KYOCERA Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

CORPORATE SOLAR ENERGY DIVISION
6 Takeda Tobadono-cho
Fushimi-ku, Kyoto
612-8501, Japan
TEL:(81)75-604-3476 FAX:(81)75-604-3475
<http://www.kyocera.com/>

KYOCERA Solar, Inc.

7812 East Acoma Drive
Scottsdale, AZ 85260, USA
TEL:(1)480-948-8003 or (800)223-9580 FAX:(1)480-483-6431
<http://www.kyocerasolar.com/>

KYOCERA Solar do Brasil Ltda.

Av. Guignard 661, Loja A
22790-200, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brazil
TEL:(55)21-4337-8526 FAX:(55)21-2437-2338
<http://www.kyocerasolar.com.br/>

KYOCERA Solar Pty Ltd.

Level 3, 6-10 Talavera Road, North Hyde
N.S.W. 2113, Australia
TEL:(61)2-8870-3848 FAX:(61)2-8888-9588
<http://www.kyocerasolar.com.au/>

KYOCERA Fineceramics GmbH

Fritz-Müller-Strasse 107, 73730 Esslingen Germany
TEL:(49)711-93934-999 FAX:(49)711-93934-950
<http://www.kyocerasolar.de/>
solar@kyocera.de

Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice

KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

298 Tiong Bahru Road, #13-03/05
Central Plaza, Singapore 168730
TEL:(65)6271-0600 FAX:(65)6271-0600

Kyocera Asia Pacific Ltd.

Room 801-802, Tower 1, South Seas Centre,
75 Mody Road, Tsimshatsui East, Kowloon, Hong Kong
TEL:(852)2723-7183 FAX:(852)2724-4501

KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd., Taipei Office

10F, No. 65, Nanking West Road, Taipei, Taiwan
TEL:(886)2-2555-3609 FAX:(886)2-2553-4131

KYOCERA (Tianjin) Sales & Trading Corp.

(Beijing Office) Room 2107, Beijing Huabin International Building,
No.8 Yong An Dong Li, Jian Guo Men Wei Road, Chao Yang District,
Beijing, 100022, China
TEL:(86)10-8528-8838 FAX:(86)10-8528-8839
<http://www.kyocera.com.cn/>

KYOCERA Korea Co., Ltd.

Diplomatic Center Room #406, 1376-1,
Seocho-2Dong, Seocho-Ku, Seoul, 137-072, Korea
TEL:(82)2-3463-3538 FAX:(82)2-3463-3539
<http://www.kyocera.co.kr/>

UE10A0711-SAGM