

UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRICA

ANALISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA SEGUIDOR SOLAR DE UM EIXO
HORIZONTAL PARA GERADORES FOTOVOLTAICOS

CLAUDENOS CARLOS ULIANI FILHO

MARINGÁ – PR

2019

CLAUDENOS CARLOS ULIANI FILHO

**ANALISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA SEGUIDOR SOLAR DE UM EIXO
HORIZONTAL PARA GERADORES FOTOVOLTAICOS**

Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia Elétrica da UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Prof. Jose Junior Calin De Pierri.

MARINGÁ – PR

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO
CLAUDENOS CARLOS ULIANI FILHO

**ANALISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA SEGUIDOR SOLAR DE UM EIXO
HORIZONTAL PARA GERADORES FOTOVOLTAICOS**

Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia Elétrica da UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Prof. Jose Junior Calin De Pierri.

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor – (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

ANALISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA SEGUIDOR SOLAR DE UM EIXO HORIZONTAL PARA GERADORES FOTOVOLTAICOS

Claudenos Carlos Uliani Filho

RESUMO

Este artigo tem por objetivo comparar o desempenho e a eficiência de três geradores fotovoltaicos em específico, analisando o custo de implementação dos projetos e a produtividades de cada um, dois geradores são exatamente iguais nos itens como tipos de inversores e painéis mudando apenas a estrutura, sendo que um deles usa a estrutura fixa de solo e o outro a o seguidor solar de um eixo horizontal estrutura tracker Romagnole. O terceiro gerador também tem a estrutura fixa de solo mas usa um painel com menor potência e eficiência, o que se mostrou uma boa opção e custo benefício quando o projeto não apresenta restrições de espaço, todos os geradores são exemplos reais e estão funcionando normalmente no estado do paraná, nas cidades de Cambé e Cascavel.

Palavras-chave: Energia. Estrutura tracker. Gerao

FEASIBILITY ANALYSIS OF THE HORIZONTAL AXIS SOLAR FOLLOWING SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC GENERATORS

ABSTRACT

This article aims to compare the performance and efficiency of three photovoltaic generators in specific, analyzing the cost of project implementation and the productivity of each, two generators are exactly the same in items like inverter types and panels changing only the structure, one of them uses the fixed ground structure and the other uses the solar follower of a horizontal axis Romagnole tracker structure. The third generator also has fixed ground structure but uses a panel with lower power and efficiency, which proved to be a good option and cost effective when the project has no space constraints, all generators are real examples and are normally operating in the state of Parana, in the cities of Camb and Cascavel.

Keywords: Energy. Generator. Tracker Structure.

1 INTRODUÇÃO

Para poder aproveitar a radiação solar com os painéis fotovoltaicos é importante posicionar eles perpendicular aos raios do sol ao longo do dia. Por esse motivo uma solução foi desenvolvida que busca otimizar ao máximo a captação de radiação solar, conhecido como seguidor solar, sistema de rastreamento solar ou simplesmente Estrutura Tracker.

Mas, o que determina a viabilidade de qualquer projeto é seu custo benefício, ou seja, Se ele tem ou não capacidade de gerar resultados satisfatórios, com as necessidades energéticas aumentado constantemente e com o desenvolvimento industrial, o aumento da população mundial e da qualidade de vida, esta situação torna-se problemática quando a principal fonte de energia para satisfazer essas necessidades provém de combustíveis fósseis, isso tem incentivado o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos mais eficientes e baratos.

Os módulos fotovoltaicos são a parte mais importante do gerador fotovoltaico, é o componente que exige mais atenção na hora de dimensionar este equipamento, pois, este item é comum em todas as variações possíveis do gerador e determina o tamanho e a capacidade de produção de energia em Watt-pico [Wp], assim podemos dizer que quanto mais eficiente o modulo fotovoltaico menor e mais potente o gerador pode ser também.

Existem várias tecnologias que podem otimizar essa eficiência como o melhoramento da capacidade de captura de luz, a otimização da geometria das células solares e a utilização de sistemas de seguimento solar, neste artigo vamos fazer uma análise do ganho de potência e energia de um gerador fotovoltaico equipado com a utilização deste último.

Em termos de rastreamento solar temos duas opções hoje em dia, o seguidor solar de eixo único e de dois eixos. Apesar da Estrutura Tracker de dois eixos ser mais eficiente em termos de captação da radiação solar, sistemas de eixo único proporcionam um custo benefício melhor dependendo da aplicação e condições de projeto.

Nosso foco será analisar o exemplo de uma instalação equipada com o seguidor solar de um eixo horizontal estrutura tracker Romagnole.

Onde foi feita uma comparação de custos de implementação e produção de energia, para assim poder dizer quais as condições ideais que justificam a implementação da Estrutura Tracker.

2 O SISTEMA SEGUIDOR SOLAR

2.1 O CONCEITO

Um sistema seguidor solar ou tracker é um dispositivo que altera várias vezes a posição dos painéis fotovoltaicos durante o dia, seguindo o caminho do sol para aumentar a produção de energia solar do sistema fotovoltaico. O uso de seguidores solares é cada vez mais comum em usinas fotovoltaicas fora do Brasil, uma vez que a indústria solar tem provado os grandes benefícios que eles têm. Mas como qualquer sistema ele tem vantagens e desvantagens,

É um fato que em alguns períodos do ano o sistema com seguidor solar gera mais energia do que os sistemas fixos. Já que existe um aumento da exposição direta aos raios solares, esse ganho pode alcançar valores muito bons dependendo da região em que está instalado o gerador, e da época do ano.

Porém, com a evolução tecnológica empregada no desenvolvimento e fabricação dos módulos fotovoltaicos observamos uma significativa diminuição do seu custo, viabilizando algumas práticas que tornam o gerador mais eficiente justamente por compensar as perdas existentes na geração fotovoltaica seja devido ao posicionamento, a temperatura ou um possível sombreamento.

Hoje em dia a eficiência máxima das células solares de silício cristalino é aproximadamente 28%. A Sun Power Corp. já conseguiu uma eficiência de 24% (LEVITAN, 2012). Porém, a eficiência dos painéis fica normalmente em torno de 16%, embora já exista tecnologia de fabricação para atingir 20%. Então para maximizar a transferência da energia do painel para sua carga podemos usar técnica de procura do ponto de máxima potência, que garante instantaneamente o casamento de impedância do painel com o conversor estático, que é geralmente a sua carga (CARVALHO, 2012). O aumento da captação da radiação pelo painel pode ser maximizado através de um sistema automático de rastreamento cuja finalidade é manter o plano do painel perpendicular à radiação solar incidente.

2.2 TIPOS DE ESTRUTURAS

A estrutura fixa em questão, é o modelo de solo 4 painéis terrestre inclinação 5 a 30 graus, em projetos de geração fotovoltaica, estas estruturas são instaladas a partir de análises técnicas e fixadas em uma posição onde ocorre maior irradiância solar útil do dia. São as mais

comuns por apresentarem menor custo e maior simplicidade de instalação quando comparados aos sistemas fotovoltaicos que utilizam rastreamento solar na sua estrutura.

Figura 1 - Estrutura fixa solo



Fonte: O autor / 2018

O seguidor solar de um eixo horizontal estrutura tracker Romagnole, segundo o fabricante usa acionamento linear eletromecânico com motor reversível, motor de alta eficiência de 0,5 cv movimento de giro amplo - 90° (+/-45°) número mínimo de acionamentos (5) por MW instalado consumo mínimo de energia (menor que 5kWh/dia/MWp), seu sistema de controle é de alta confiabilidade devido ao uso de componentes de reconhecimento mundial com algoritmo de backtracking configurável para cada seguidor solar, com fácil integração e comunicação com sistemas SCADA por meio de protocolo Modbus (TCP/IP), além disso o fabricante recomenda a mínima intervenção em trabalho devido à robustez do sistema, revisões anuais para manutenção

Figura 2 - Estrutura Tracker



Fonte: Datasheet do fabricante Romagnole.

Disponível em: <<https://www.romagnole.com.br/produtos/estruturas-fotovoltaicas>> acesso em 12, jun. 2019.

2,3 TIPOS DE PAINÉIS

O projeto de referência usa painéis fotovoltaico Q Cells L-G5.0.G Q.PEAK 72 CELULAS Q ANTUM MONO PERC 365W 18,8% eficiência, ilustrado na figura 1. O painel solar fotovoltaico Q Cells tem garantia de 12 anos contra defeitos de fabricação e garantia linear de produção de 25 anos com até 82% da potência conforme o datasheet do fabricante.



Ainda veremos outro projeto que usa painéis fotovoltaico BYD 335PHK-36 POLICRISTALINO 144 CEL. 335W HALF CELL 17% eficiência, ilustrado na figura 2. O painel solar fotovoltaico BYD tem garantia de 10 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos de até 80% da eficiência conforme o datasheet do fabricante.

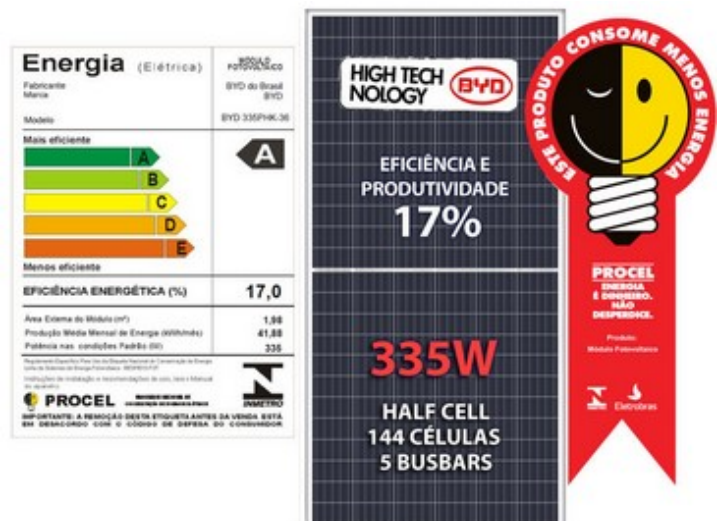


Figura 4 PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO BYD (44858-7)335PHK-36 POLICRISTALINO 144 CEL. 335W HALF CELL 17% EFICIENCIA

Fonte: Loja Aldo Solar. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/loja/pesquisa/painel%20solar%20fotovoltaico>> acesso em 12. jun. 2019.

2.4 METODOLOGIA

O projeto de referência é um gerador de energia fotovoltaico de 8,76 kWp que é composto por:

4 conectores MC4 320016p0001-ur pv-kbt4/6ii-ur femea.

4 conectores MC4 32.0017p0001-ur pv-kst4/6ii-ur macho.

1 inversor solar fronius primo 8,2kw monofasico 220v 2 MPPT monitoramento.

24 painéis solar q cells l-g5.0.g q.peak 72 células q antum mono perc 365w 18,8% eficiência.

1 string box proauto dehn 20389 sb-2e/4e-2s-1000dc quadro 4 entradas/2 saída 4str 1000v.

50 metros de cabo solar nexans 47064 energyflex afítox 0,6/1kv 1500v dc preto.

50 metros de cabo solar nexans 43221 energyflex afítox 0,6/1kv 1500v dc vermelho.

Basicamente neste artigo vamos comparar o desempenho deste gerador variando sua estrutura conforme os tipos descritos no item 2.2, levando em consideração o custo do equipamento instalado, a produção de energia e o tempo de payback.

Deve ficar claro que os dados do gerador equipado com a estrutura tracker Romagnole, foram fornecidos pelo fabricante da estrutura e sevem de referência para análises de desempenho e desenvolvimento de melhorias no produto. Segundo o fabricante esta solução apresenta um melhor desempenho em sistemas com mais de 640 painéis fotovoltaicos, já que depende de um alto investimento para viabilizar a instalação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cálculo de produção de energia baseia-se na irradiação solar e pode ter alteração de cidade para cidade, fatores como a inclinação dos painéis fotovoltaicos, direção da estrutura de fixação e sombra influenciam na produção de energia do gerador

Tabela 1 - Simulação baseada no índice de incidência de irradiação Solar da região sul m²

KW	KWh/M ²	KW
GEF 8,71	4,20	1097
GEF 8,76	4,20	1104

. Fonte: O autor / 2018

O gerador de referência equipado com a estrutura de solo fixa que está instalado em uma propriedade rural próxima de Cascavel PR, foi instalado em julho de 2018, este gerador tem um custo atual de R\$ 44.570,00, a mão de obra, projeto, instalação e homologação junto a concessionária para instalá-lo, em média custa de 35 a 45 por cento do valor do equipamento segundo um orçamento realizado com algumas empresas para termos uma estimativa real vamos fixar este valor em 40% do valor do equipamento.

Como a Estrutura Tracker não estava disponível na Aldo Solar, distribuidora que forneceu os equipamentos para a instalação tanto da planta com estrutura fixa como o gerador equipado com a estrutura tracker Romagnole, foi cotado com o fabricante da estrutura de forma individual, assim as estruturas para 24 painéis tem um custo estimado atualmente de R\$ 9.500,00, e o gerador sem estrutura aldo solar gef 8,76kwp q cells mono perc 365w primo 8.2kw 2mppt mono 220v custa R\$ 30.359,00, importante lembrar que a Estrutura Tracker atualmente é disponibilizada como solução pelo fabricante para uma quantidade mínima de 640 painéis, o que mostra que comercialmente a viabilidade para produzir depende de uma alta demanda, fator que contribui para o custo elevado da estrutura.

Um terceiro gerador em funcionamento está instalado em uma propriedade rural em Cambé PR, diferente dos exemplos anteriores está equipado com painéis BYD de 335W da figura 2, estrutura de solo fixa custa atualmente R\$ 33.209,00, e está equipado com 26 painéis BYD 335PHK-36 POLICRISTALINO 144 CEL. 335W HALF CELL 17% eficiência, ilustrado na figura 2, portanto 2 painéis a mais que o gerador com painel Q Cells 365w.

Isto significa dizer que o gerador de 26 painéis precisa de uma área mínima necessária de 52 m² contra 48 m² do gerador de 24 painéis.

Tabela 2 – Descrição do custo de instalação total dos geradores.

GERADORES	EQUIPAMENTO	PROJETO E INSTALAÇÃO	TOTAL
COM ESTRUTURA FIXA	33.559,00	13.423,60	46.982,60
COM ESTRUTURA TRACKER	39.859,00	15.943,60	55.802,60
COM ESTRUTURA FIXA + PAINEL BYD	33.209,00	13.283,60	46.492,60

Fonte: O autor / 2019

Para fazer o cálculo do payback, ou “retorno do investimento” vamos considerar um cliente Tarifa Convencional - subgrupo B1 da Copel

Tabela 3 – Tarifas vigentes para clientes do subgrupo B1 (Residencial) enquadrados na Modalidade Tarifária Convencional.

CONVENCIONAL	Resolução ANEEL Nº 2.559, De 18 de junho de 2019	
Tarifa em R\$/kWh	Resolução ANEEL	Com Impostos: ICMS e PIS/COFINS
B1 - Residencial	0,51761	0,79878

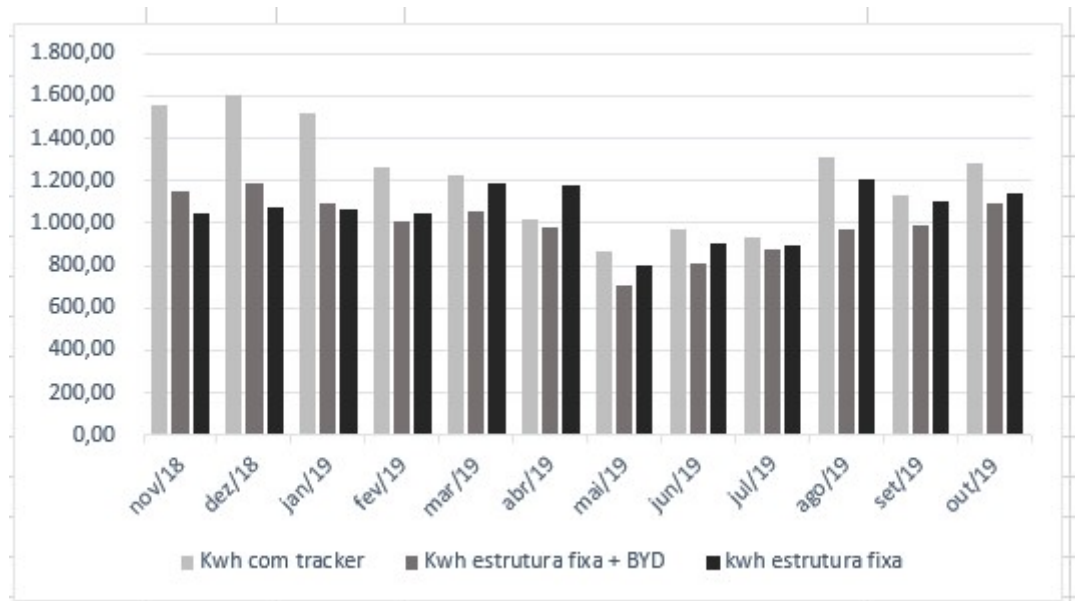
Fonte: Copel Disponível em:

<<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F3a5cb971ca23bf503257488005939ba>> acesso em 20, out. 2019.

Levando em conta um cliente do grupo B1 que consome em média 900KWh por mês, sua fatura será de aproximadamente R\$ 720,00, se fizermos um cálculo simples podemos observar que o gerador com estrutura fixa deste cliente levará aproximadamente 65 meses para se pagar, ou seja 5 anos e meio, no caso do gerador com estrutura fixa mais o painel BYD de 335w, 65 meses ou seja um mês a menos para pagar o investimento do gerador, e no caso do gerador com a estrutura tracker, serão necessários 78 meses para cobrir o investimento ou seja, 6 anos e meio.

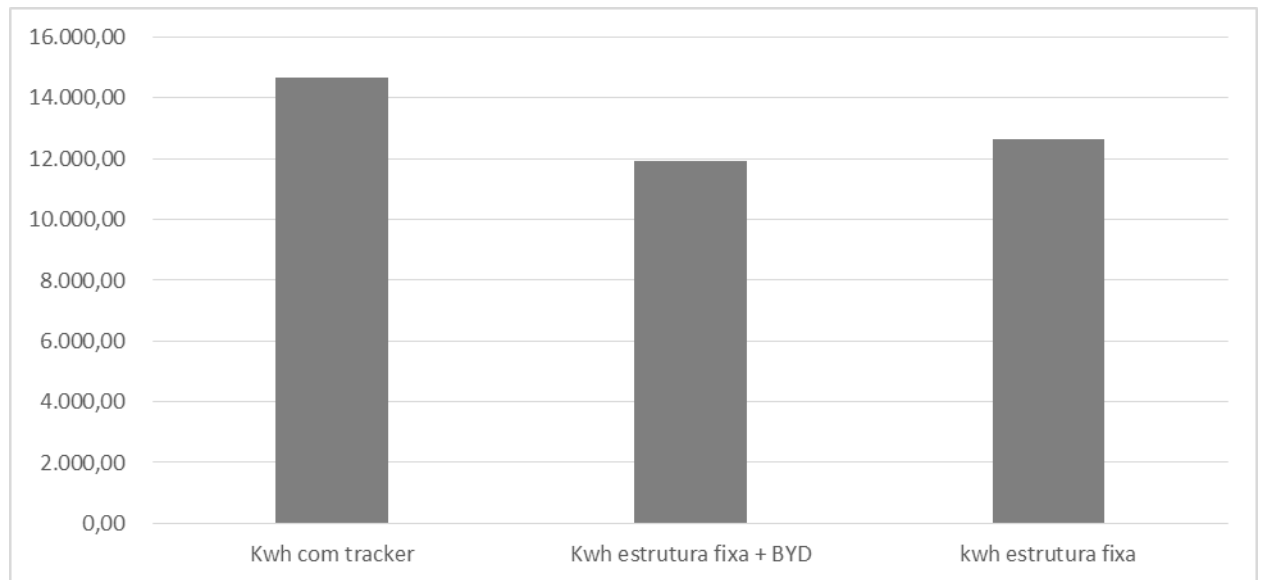
Comparando o histórico de produção de cada um, veremos que, o gerador equipado com a estrutura tracker tem um desempenho melhor e mais eficiente em comparação com os outros 2 geradores, mas ele é 15,81% mais caro que o gerador com os mesmos painéis Q Cells 365w com estrutura fixa, e 16,68% mais caro que o gerador com estrutura fixa e painéis BYD 335w.

Gráfico 1 – Histórico de produção de energia no período de novembro de 2018 até outubro de 2019.



Fonte: O autor / 2019

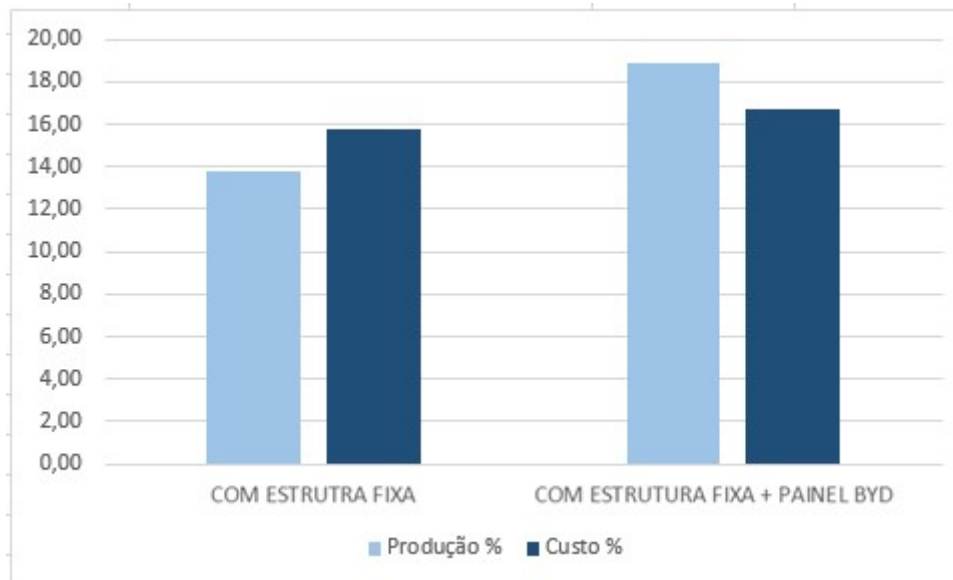
Gráfico 2 – Energia total produzida no período de novembro de 2018 até outubro de 2019.



Fonte: O autor / 2019.

Analisando o rendimento dos geradores podemos concluir que o gerador equipado com a estrutura tracker foi 13,81% mais eficiente que o gerador com os mesmos painéis Q Cells 365w com estrutura fixa, e no caso do o gerador com estrutura fixa e painéis BYD 335w ele foi 18,84% mais eficiente, um rendimento muito bom, mas que não justifica a diferença de investimento infelizmente.

Gráfico 3 – Comparação de produtividade x custo adicional em relação ao gerador com estrutura tracker.



Fonte: O autor / 2019

4 CONCLUSÃO

Neste artigo podemos concluir que o gerador equipado com a estrutura tracker é mais eficiente que o mesmo gerador com estrutura fixa, porém ele demanda um custo ainda muito maior, o que dificulta a viabilização do projeto visto que o custo de implantação é um item crítico para qualquer projeto.

Como esta estrutura tem motores e depende de um algoritmo para movimentar os painéis, a manutenção deve ser uma preocupação fundamental para manter o funcionamento do gerador com máxima eficiência, podemos ver isto no gráfico 1 por exemplo, a produção de energia no mês de abril foi 15,58% menor que o mesmo gerador equipado com a estrutura fixa, e apenas 3,47% maior que o gerador com estrutura fixa e painéis BYD 335w.

Fica claro que a estrutura tracker deve ser considerada uma solução viável em casos específicos em que o cliente tenha por exemplo um problema com espaço, caso contrário é mais vantajoso compensar as perdas de produção aumentando o número de painéis de acordo com a capacidade de overload do inversor, alguns fabricantes inclusive recomendam um percentual no datasheet do equipamento.

Uma outra solução muito vantajosa é usar painéis com mais potência e eficiência, por exemplo, já é comercializado uma opção de painel com 400w e mesmo tamanho físico

que o painel de 335w BYD, é o caso do painel solar fotovoltaico trina solar TSM-DE15MII-400W TALLMAX 144 CEL. MONO PERC HALF CELL com 19,7% de eficiência ele tem garantia de 10 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos de até 83,1% da eficiência.

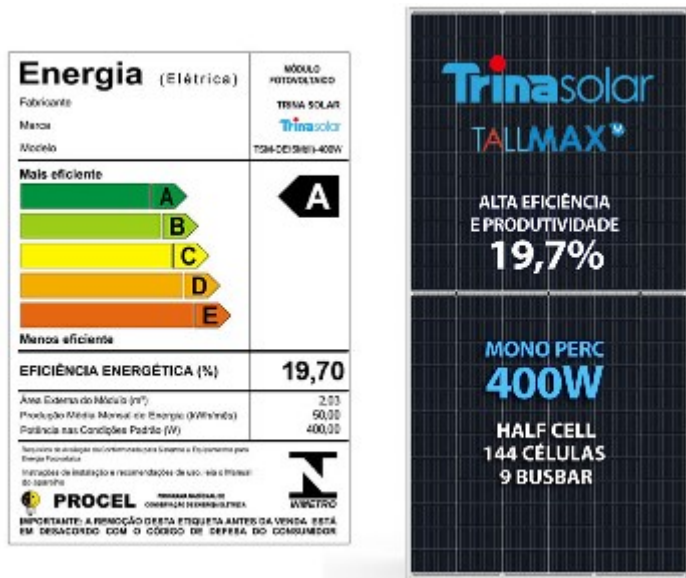


Figura 5 - PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO TRINA SOLAR (51989-9) TSM-DE15MII-400W TALLMAX 144 CEL. MONO PERC HALF CELL 19,7% EFICIENCIA
 Fonte: Loja Aldo Solar. Disponível em:

<<https://www.aldo.com.br/loja/pesquisa/painel%20solar%20fotovoltaico>>
 acesso em 12. jun. 2019.

Isto significa que apenas mudando a potência do painel para 400w o gerador terá uma capacidade de produção de 10,4 KWp e vai ocupar os mesmos 52 m² do gerador de 8,71 KWp, pode não parecer muito, mas este gerador pode produzir aproximadamente 1.310 KWh / mês, simplificando o projeto, instalação e reduzindo os custos também. Como este painel começou a ser vendido em agosto de 2019 pelo distribuidor Aldo Componentes no Brasil, não foi possível conseguir dados de produção no período de um ano para comparar com os outros geradores, mas já indica que é uma opção muito vantajosa para implementação frente a estrutura tracker, pois garante um excelente aproveitamento do espaço disponível para o gerador.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, E.P. **Uma nova abordagem de rastreamento do ponto de máxima potência.** Dissertação de Mestrado em Automação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, 2012.

LEVITAN, D. **The solar efficiency gap.** IEEE Spectrum, v.49, n.6 (INT), Jun 2012, p.9-10.

MOTTA, Régis da Rocha. CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** São Paulo: Editora Atlas, 2002.

Tarifa Convencional - subgrupo B1. Disponível em:

<<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fe3a5cb971ca23bf503257488005939ba>> acesso em 20, out. 2019.

Datasheet das estruturas fotovoltaicas. Disponível em:

<<https://www.romagnole.com.br/produtos/estruturas-fotovoltaicas>> acesso em 12, jun. 2019.

Datasheet dos painéis fotovoltaicos. Disponível em:

<<https://www.aldo.com.br/loja/pesquisa/painel%20solar%20fotovoltaico>> acesso em 12. jun. 2019.

FACULDADE DE CIENCIAS E TECNOLOGIA UNIVERCIDADENOVA DE LISBOA.
Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Energias Renováveis.

Seguidor solar de dois eixos com motores passo-a-passo Disponível em: <

https://run.unl.pt/bitstream/10362/27882/1/Martins_2016.pdf>. Acesso em: 07 set. 2019.