

# AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMA MÓVEL VERSUS FIXO NA USFV TANQUINHO

**Ronaldo Antonio Roncolato** – ronaldo.ant@ig.com.br

RAR – Consultoria e Engenharia

**Antonio Roberto Donadon** – donadon@cpfl.com.br

CPFL – Companhia Piratininga de Força e Luz

**João Carlos Camargo** – joao.carlos@hytron.com.br

HYTRON – Ind. Com. e Assessoria Tecnológica em Energia e Gases Industriais Ltda.

**Resumo.** Este trabalho apresenta uma avaliação de desempenho técnico e econômico, sob a ótica da energia produzida, de um arranjo de planta fotovoltaica com sistema móvel (tracker) de um eixo comparativamente a um sistema fixo, em operação na Usina Solar Fotovoltaica Tanquinho da CPFL. A USFV Tanquinho faz parte do Projeto de P&D Inserção Técnico-Comercial de Geração Solar Fotovoltaica na Rede da CPFL – Diversificando a Matriz Energética Brasileira, que atende à Chamada Estratégica Nº 013/2011 da ANEEL. Na USFV Tanquinho estão sendo estudados 4 tipos de arranjo de planta, 5 tecnologias de painéis FV (sendo uma nacional) e integração solar/eólica. Dentre os arranjos citados encontra-se o arranjo com módulos fotovoltaicos com tecnologia de 1ª geração (silício policristalino) montado no solo em sistema com tracker de um eixo horizontal norte-sul, que opera ao lado de arranjos de mesma potência (kWp) com exatamente o mesmo tipo de módulo fotovoltaico, porém montados no solo com estruturas fixas. O presente trabalho apresenta as informações sobre os diferentes arranjos citados, suas premissas e critérios de operação e os resultados em termos de geração de energia que os mesmos apresentaram, considerando a exposição às mesmas condições solarimétricas, climáticas e operacionais. É feita também uma análise comparativa entre os valores reais obtidos em campo e os valores obtidos em simulações de projeto para os mesmos arranjos. Os resultados obtidos mostram que os ganhos em geração de energia e custos associados a cada opção de instalação (sistema tracker com um eixo vis-à-vis sistema fixo) devem ser estudados caso a caso quanto à viabilidade técnico x econômica e que não há uma conclusão que possa ser generalizada.

**Palavras-chave:** Planta Fotovoltaica, Tracker, Arranjo (máximo de 3)

## 1. INTRODUÇÃO

O Projeto de P&D CPFL Inserção Técnico-Comercial de Geração Solar Fotovoltaica na Rede da CPFL – Diversificando a Matriz Energética Brasileira é composto de uma planta fotovoltaica (FV) que integra energia solar FV e energia eólica, monitorada pelo Smart Integration, um sistema de instrumentação virtual desenvolvido no projeto de plataforma de hardware e software aberta com simulação de cargas variáveis e conexão aos serviços auxiliares da subestação. Funcionalidades do sistema Smart Integration incluem medição sincronizada multi-algoritmo, monitoramento de grandezas ambientais, módulos e sua conversão, da operação e gestão de fornecimento de energia da planta, incluindo conexões de caráter comercial, bem como sua inteiração com o sistema elétrico.

O denominado Arranjo de P&D integra cinco tecnologias distintas: Si-Amorfo (15 kW<sub>p</sub>), Si-Policristalino (15 kW<sub>p</sub>, de tecnologia nacional), Telureto de Cádmio (15 kW<sub>p</sub>), Si-Monocristalino (15 kW<sub>p</sub>), e Si-Monocristalino de alto desempenho (15 kW<sub>p</sub>), integrados a um aerogerador de 6 kW. Um pacote completo de funções para estudo de desempenho e vida útil dos componentes foi desenvolvido.

O denominado Arranjo Comercial é composto por duas partes, sendo uma com tecnologia de primeira geração com módulos fotovoltaicos de silício policristalino – Planta 1 (1.800 módulos com potência nominal individual de 280 Wp) e outra com tecnologia de segunda geração com módulos fotovoltaicos de silício amorfo – Planta 2 (3.600 módulos com potência nominal individual de 142 Wp).

A Fig. 1 apresenta uma visão geral dos arranjos e localização física das várias plantas na USFV Tanquinho



Figura 1 – Arranjos das plantas FV e Centro de Estudo

Especificamente para o presente estudo será feita a análise comparativa técnico-econômica do Arranjo 1 em relação ao Arranjo 2, considerando obviamente que o Arranjo 2 tem o dobro da potência nominal (em kWp) do Arranjo 1.

## 2. PLANTA FV COM SISTEMA TRACKER

A Planta 1, composta por painéis de silício policristalino fabricados pela empresa Yingli modelo YL 280-35b, utiliza um inversor centralizado marca Ingeteam modelo Ingecon Sun 500 HE TL com potência total de 500 kW. O inversor possui três módulos de potência independentes de 166,67 kW, sendo cada um com seu próprio sistema de rastreamento de máxima potência dos painéis FV (MPPT) a ele conectados e seu próprio sistema de monitoramento e coleta de dados. A cada módulo do inversor estão conectados o mesmo número de painéis FV. A Tab. 1 detalha as características da Planta 1.

Tabela 1– Descrição dos módulos de potencia inversor central Planta 1

MÓDULO	Nº DE PAINÉIS	POTÊNCIA STC (KWP)	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DOS PAINÉIS	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS	AZIMUTE
R81	594	166	Fixa	20°	0°
R82	594	166	Fixa	20°	0°
R83	594	166	Móvel (eixo N-S)	-45°/+45°	0°

O arranjo de painéis da Planta 1 permite comparar de maneira mais eficiente a produção de energia e, conseqüentemente, o desempenho de cada conjunto de painéis. Aos módulos denominados R81 e R82 do inversor estão conectados arranjos de mesma característica, inclinação e orientação. Já o arranjo de painéis conectados ao módulo denominado R83 possui a mesma potência que os outros módulos, mas a configuração dos painéis é diferente por conta do sistema de rastreamento (tracking) que movimenta estes painéis de leste para oeste durante o dia, a fim de posicionar a face dos mesmos perpendicularmente à irradiação direta. A Fig. 2 apresenta a imagem aérea da Planta 1 onde estão destacados os painéis com a localização de cada arranjo que compõe essa Planta.

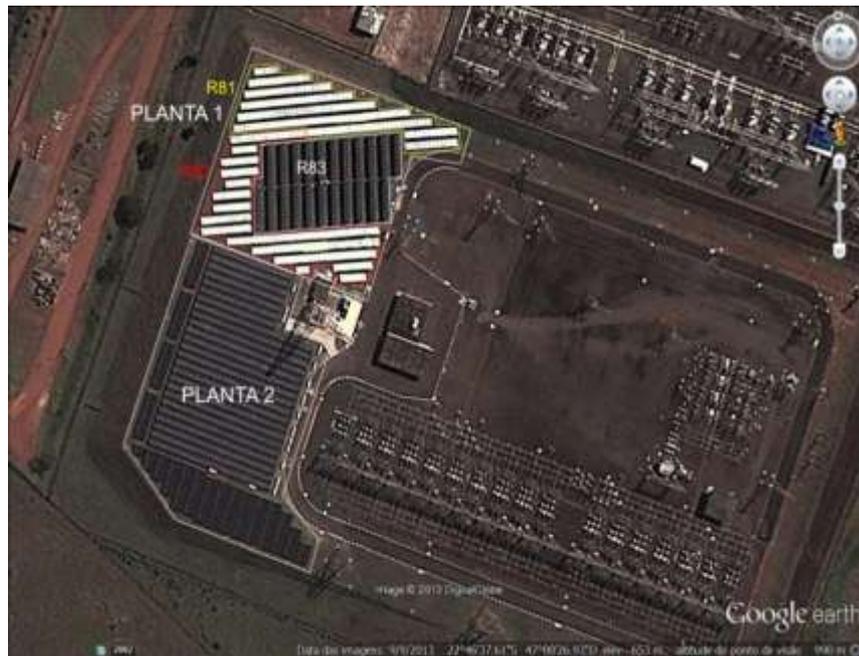


Figura 2 – Localização dos arranjos R81, R82 e R83 da Planta 1

A Fig. 3 apresenta uma visão geral da montagem física das estruturas tipo tracker. O sistema tracker é composto por estrutura metálica, que movimentam os painéis entre  $45^\circ$  e  $-45^\circ$  em relação ao plano horizontal, com orientação Norte-Sul, com 600 módulos fotovoltaicos no total, em 33 strings em 11 mesas.



Eixo Horizontal  
Inclinação:  $-45^\circ/+45^\circ$

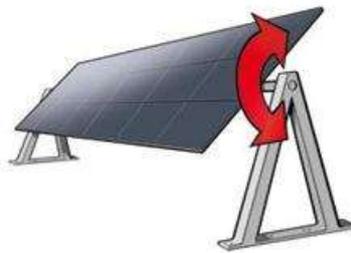


Figura 3 – Montagem física estrutura tracker

## 2.1 Parâmetros para avaliação técnica

Os parâmetros que descrevem valores de quantidades de energia para sistemas FV e seus componentes foram estabelecidos pela Agência Internacional de Energia (IEA) no programa Photovoltaic Power Systems e são descritos na norma IEC 61724 (NREL, 2005).

Três dos parâmetros de desempenho da norma IEC 61724 podem ser usados para definir o desempenho geral do sistema fotovoltaico em relação à produção de energia, o recurso solar e o efeito geral das perdas do sistema. Estes parâmetros são o rendimento final do sistema FV, o rendimento de referência e a relação de desempenho PR (Performance Ratio).

O rendimento final do sistema FV ( $Y_f$ ) é a energia líquida entregue ( $E$ ) dividida pela potência nominal C.C. ( $P_{cc}$ ) do sistema fotovoltaico instalado. Ele representa o número de horas que o sistema FV precisaria operar na sua potência nominal a fim de fornecer a mesma energia. As unidades são horas ou kWh/kW. O  $Y_f$  normaliza a energia produzida em relação ao tamanho do sistema; consequentemente, é uma forma conveniente de comparar a energia produzida por sistemas FV de diferentes tamanhos.

$$Y_f = E/P_{cc} \text{ (kWh/kW) ou (horas)} \quad (1)$$

O rendimento de referência  $Y_r$  é a irradiação total incidente no plano dos painéis ( $H$ ) dividida pela irradiação de referência ( $G$ ). Ela representa um número equivalente de horas na irradiação de referência. Se  $G$  é igual a 1 kW/m<sup>2</sup>, então  $Y_r$  é o número de horas-pico ou a irradiação solar em unidades de kWh/m<sup>2</sup>. O  $Y_r$  é função da localização, orientação do arranjo FV, e a variação mês a mês ou ano a ano do clima:

$$Y_r = H/G \text{ (horas)} \quad (2)$$

A relação de desempenho PR (Performance Ratio) é o  $Y_f$  dividido pelo  $Y_r$ . Normalizando em relação à irradiação, o PR quantifica o efeito geral das perdas à saída nominal devido a: ineficiência do inversor, cabeamento, desajustes entre painéis, e outras perdas quando da conversão c.c. para c.a.; temperatura dos painéis, uso incompleto da irradiação devido à reflexão que ocorre na superfície do painel, acúmulo de sujeira principalmente poeira, desligamentos e falha de componentes:

$$PR = Y_f/Y_r \quad (3)$$

Os valores de PR são calculados tipicamente em base mensal ou anual. Valores calculados em intervalos menores, como semanal ou diário, podem ser úteis para identificar a ocorrência de falhas em componentes. Devido às perdas por temperatura, geralmente os valores de PR são maiores nos meses de inverno que nos meses de verão e estão geralmente na faixa de 60 a 80%. Valores anuais decrescentes de PR podem indicar perda permanente de desempenho da planta FV.

O fator de capacidade (FC) mede a quantidade de energia produzida pela planta comparada à energia que a mesma poderia produzir se operasse em sua potência máxima durante todo o período analisado. O FC é muito utilizado no setor elétrico a fim de comparar o desempenho plantas geradoras de diversas tecnologias e com diferentes insumos para produção de energia elétrica. O período de análise para uma planta geradora é geralmente anual. Nesse relatório utilizou-se o período mensal de 30 dias (720 h/mês) e a potência nominal STC dos painéis foi utilizada para o cálculo do FC de acordo com a equação:

$$FC = E/P_0 \times T \quad (4)$$

FC = fator de capacidade.

$E$  = energia produzida (Wh) pelo arranjo FV (Wh)

$P_0$  = Potência STC do arranjo FV ( $W_p$ )

$T$  = intervalo de tempo considerado (h).

## 2.2 Valores de PR para a Planta 1: arranjos com sistema fixo e com tracker

Os valores de PR da Planta 1 foram medidos ou calculados de acordo com a equação (3) com os dados de energia de cada módulo do inversor Ingeteam e os valores de irradiação da estação solarimétrica local.

Há três sensores de irradiação instalados na Planta 1. O primeiro coleta os valores da irradiação global no plano inclinado a 20°. O segundo, os valores de irradiação ortogonal ao plano dos painéis móveis e o último a irradiação global no plano horizontal. Os valores de potência instantânea da irradiação global (W/m<sup>2</sup>) são integrados a cada quinze minutos pelo logger da estação solarimétrica. O gráfico da Fig. 4 mostra os valores calculados de PR da Planta 1, para o ano de 2014.

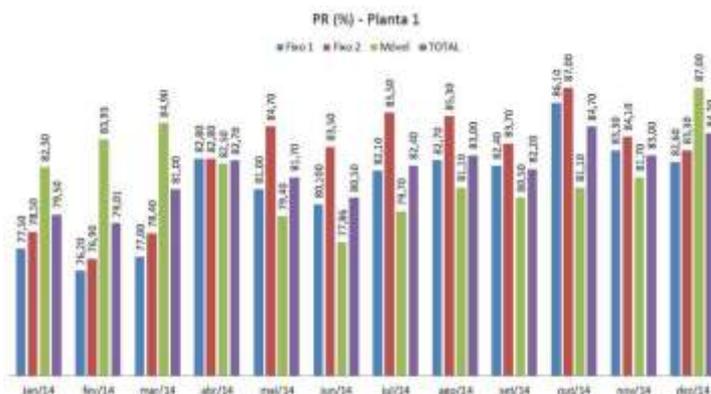


Figura 4 – Evolução do PR dos arranjos FV da Planta 1

### 2.3 Valores de FC para a Planta 1: arranjos com sistema fixo e com tracker

O gráfico da Fig. 5 mostra os valores do fator de capacidade calculados através da equação (4).

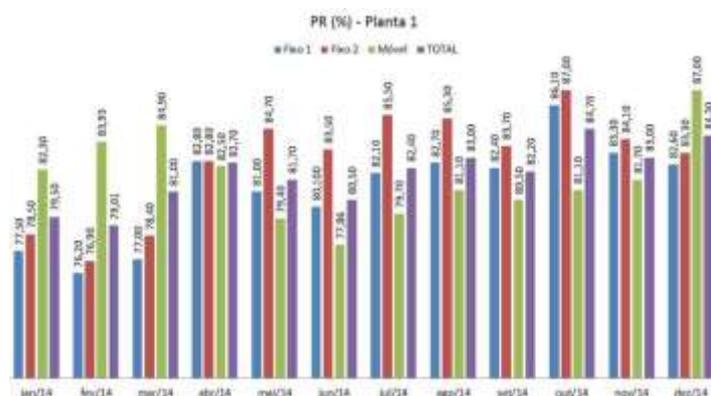


Figura 5 – Evolução do FC dos arranjos FV da Planta 1

Os valores obtidos tanto para o PR quanto para o FC da Planta 1 estão condizentes com a as premissas e critérios utilizados para as simulações computacionais desenvolvidas na etapa de projeto, considerando fatores principais como: recurso solar, nível de irradiação e sua variação anual, impacto de sombras, clima local, temperatura, topografia e conexão à rede.

### 3. ENERGIA GERADA - PLANTA FV COM SISTEMA TRACKER x SISTEMA FIXO

A Produção de Energia em MWh/mês da Planta 1, segregada entre as partes fixas e com tracker durante o ano de 2014, é apresentado na Fig. 6 a seguir:

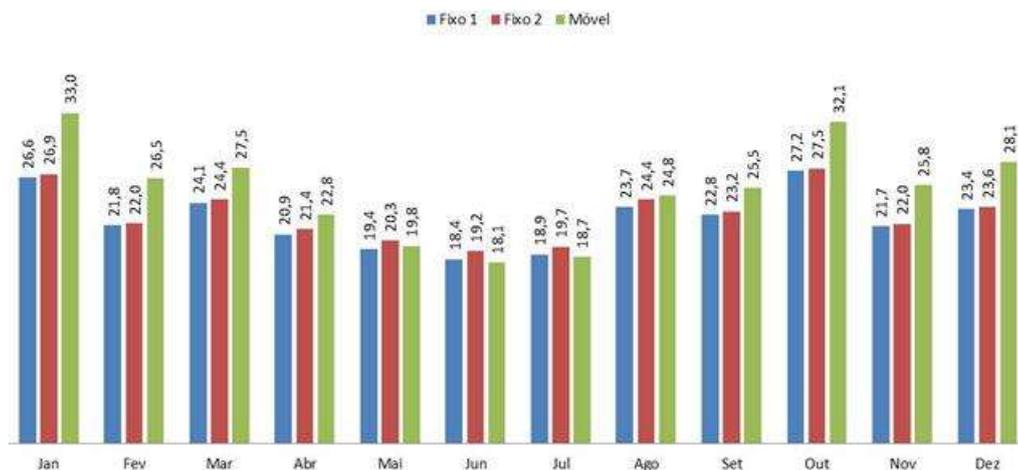


Figura 6 – Produção Planta 1 – 2014 - MWh

Comparativamente, considerando o sistema com tracker e a média da geração dos sistemas com estruturas fixas (potência base 166 kWp), obteve-se o gráfico a seguir apresentado na Fig. 7. No ano de 2014 o ganho em energia do sistema móvel para o sistema fixo foi de 11% para as condições do local de instalação da usina. O valor teórico feito por simulação em software mostrou um valor de 13% de ganho.

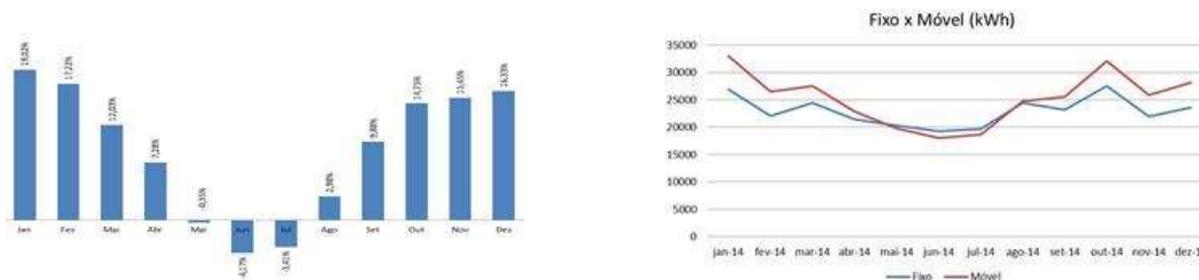


Figura 7 – Sistema fixo x sistema móvel - 2014

#### 4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA - PLANTA FV COM SISTEMA TRACKER x SISTEMA FIXO

Para avaliação de viabilidade econômica da instalação com sistema fixo x sistema tracker, foram consideradas para a Planta 1 da USFV Tanquinho as seguintes premissas:

- Valor do dólar no início do projeto de Tanquinho = R\$ 2,00
- Valores praticados nos contratos firmados para construção (2012)
- Valores corrigidos pelo dólar vigente (out/2014)
- Preço venda do MWh atual = R\$ 302,00
- Diferença de preço entre estrutura fixa e tracker de dois eixos (informada em % pelo fabricante)

Deve-se ressaltar que todos esses parâmetros influem diretamente na análise, bem como as forma de obtenção de recursos financeiros, de praxe numa análise de viabilidade.

No presente trabalho, como exercício, foi feita uma análise considerando a metodologia de payback simples, conforme ilustrado nas Fig. 8 e 9:

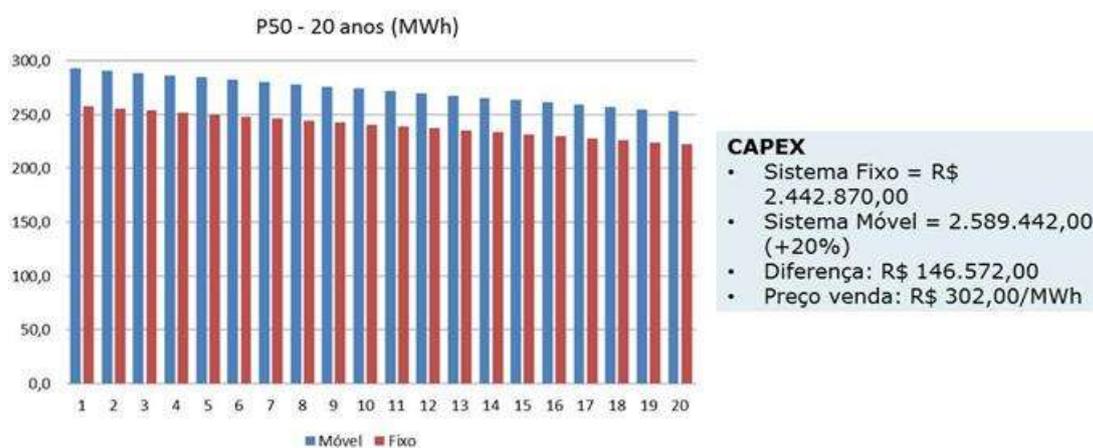


Figura 8 – Análise Sistema Fixo x Móvel – Planta Silício Policristalino

O gráfico da Fig. 9 mostra o payback simples do sistema móvel em relação ao sistema fixo com base nos valores do custo de instalação (CAPEX) apresentados na Fig. 8. O retorno financeiro para a instalação do sistema móvel acontece a partir do ano 14 da instalação. Se o valor do CAPEX for superior a 25% do CAPEX do sistema fixo não haverá retorno financeiro durante a vida útil econômica do projeto para as condições de instalação da USFV Tanquinho.

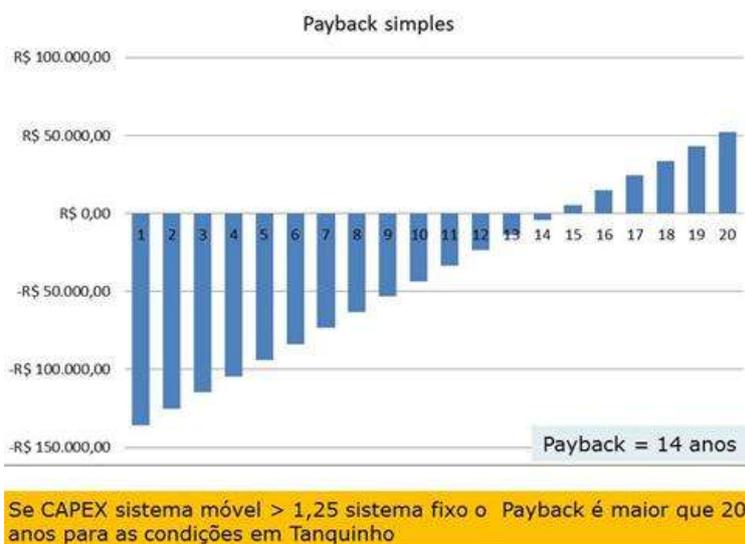


Figura 9 – Análise Sistema Fixo x Móvel – Planta Silício Policristalino

## 5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma análise técnica comparativa com base em medições reais de campo, para as condições da USFV Tanquinho, portanto os resultados não podem ser extrapolados ou generalizados para outras Usinas Solares. O mesmo se aplica à análise comparativa de custos, que como frisado é um exercício preliminar de análise tomando apenas os valores de custo de instalação, não considerando os custos de operação e manutenção do sistema móvel que são maiores que os valores de um sistema fixo de instalação de painéis fotovoltaico.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com recursos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica das empresas Piratininga, Jaguari, Mococa, Santa Cruz, Leste paulista, Sul paulista, RGE e Paulista, Foz do Chapecó, Enercan, Baesa, Ceran, EPASA e CPFL Renováveis, do Programa de P&D regulado pela ANEEL, projeto PD-2937-0045/2011 - INSERÇÃO TÉCNICO-COMERCIAL DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NA REDE DA CPFL - DIVERSIFICANDO A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.

### REFERÊNCIAS

NREL, 2005. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. National Renewable Energy Laboratory – NREL. February 2005 – NREL/CP-520-37358

## TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION OF TRACKING VERSUS FIXED SYSTEM IN THE USFV TANQUINHO

**Abstract:** *This paper presents a technical and economic performance evaluation of a tracking system versus a fixed system both in operation in the Tanquinho Photovoltaic Power Plant (USFV Tanquinho) in the city of Campinas – SP. The USFV Tanquinho is part of Brazilian national R&D called Inserção Técnico-Comercial de Geração Solar Fotovoltaica na Rede da CPFL – Diversificando a Matriz Energética Brasileira ANEEL’s Strategic Call N° 013/2011. In USFV Tanquinho four arrangement and five PV module technologies alongside solar/wind integration are being studied. One of arrangements is a single north-south horizontal axis tracking system and another is a fixed tilted ground mounting system, both using 1st generation pv technology (polycrystalline silicon). Each one has the same power (kWp) and the same pv modules model. This paper presents information about the different mentioned arrangements, their assumptions, operating criteria and the results in terms of power generation, considering the same irradiation exposition, climate and operating conditions. It also made a comparative analysis between the real values obtained in the field and the values obtained in design simulations to the same arrangements. The results show that the power generation gains and costs associated with each installation option (one axis tracker system versus fixed tilted mounting system) must be studied case by case on the technical x economic viability and that there is no conclusion that can be generalized.*

**Key words:** *Photovoltaic plant, array, tracker system*