MANUTENÇÃO PREVENTIVA E DETECTIVA EM PLANTAS FOTOVOLTAICAS APLICANDO A TÉCNICA DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

José Bione de Melo Filho – jbionef@bol.com.br
Mestrado Profissional em Tecnologia da Energia – Escola Politécnica de Pernambuco (UPE)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)
Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF
Andreza de Albuquerque Gomes de Santana – andrezaags@yahoo.com.br
Mestrado Profissional em Tecnologia da Energia – Escola Politécnica de Pernambuco (UPE)

Resumo. *O principal objetivo deste trabalho é apresentar um método de análise de desempenho de uma planta fotovoltaica aplicando a técnica de regressão linear simples. Ele se baseia em utilizar a linearidade entre variáveis do sistema como Índice de Produtividade Final (Yf) versus Índice de Produtividade de Referência (Yr) para identificar pontos de operação fora da tendência da reta de regressão. Esse padrão linear pode ser afetado por falhas na planta fotovoltaica e elas podem ser identificadas a partir da análise de gráficos de dispersão, erro dos resíduos e coeficiente de determinação. Esse método deve ser considerado como um apoio à manutenção preventiva da planta fotovoltaica, pois ao identificar características no erro residual e dispersão fora do esperado, devem ser realizadas análises mais detalhadas nos dados do sistema supervisório, como também visitas técnicas para manutenção local. O trabalho apresenta os resultados da metodologia aplicada a Usina Solar Fotovoltaica Noronha I, localizada em Fernando de Noronha-PE.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Regressão Linear Simples.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país tropical. Esse fato, que já foi descrito e cantado por diversos intérpretes, chama a atenção para uma realidade bem menos cantada, mas de igual importância: o enorme potencial de energia solar do país. A geração de energia elétrica para fins comerciais usando a energia solar pela conversão fotovoltaica é chamada usina fotovoltaica. É considerada uma forma de produção desse insumo de forma sustentável e com uma interferência ambiental bem reduzida. Esse modelo de geração elétrica está em franca expansão no mundo atual, em que cada vez mais a preocupação é justamente elevar o nível de preservação ambiental. A tendência mundial é aproveitar mais a fonte de energia solar que, ao ser largamente utilizada, terá custos de implantação cada vez mais reduzidos.

Até o ano de 2017, o Brasil possuía 26.857 sistemas de energia fotovoltaica instalada em seu território (EPE, 2017). No entanto, a maior parte do país possui regiões com altos índices de irradiância e por isso, os projetos fotovoltaicos vêm crescendo cada vez mais.

Acompanhamento de desempenho de micro e minigeração fotovoltaica é algo comum na Europa, onde a tecnologia encontra-se consolidada (Decker e Jahn, 1997). Esse acompanhamento da produção da planta é normatizado pela IEC 61724, e utilizando apenas algumas variáveis coletas pelo sistema supervisório é possível proceder diagnósticos para identificação de possíveis falhas na planta.

A manutenção preventiva e detectiva têm como objetivo prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. É a primeira grande quebra de paradigma na manutenção, e tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitam avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento. Este sentimento está integrado com a tecnologia fotovoltaica, visto ao seu atual estágio dinâmico de evolução.

Este trabalho propõe uma técnica de análise de desempenho utilizando regressão linear simples, visando identificação de desvios mais significativos na produção e possíveis problemas de operação na planta. As análises são baseadas em gráficos de espalhamento, erro residual e coeficiente de determinação. Devido à planta ser relativamente nova, realizamos as análises em quatro meses, visando validação da técnica proposta.

1.1 A usina fotovoltaica

A USF – Usina Solar Fotovoltaica Noronha I está localizada na ilha de Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil. Ela foi construída na área do Comando da Aeronáutica, a partir de um projeto de P&D - Pesquisa e Desenvolvimento da CELPE - Companhia Energética de Pernambuco, empresa do Grupo Neoenergia, responsável pela distribuição de energia elétrica no estado de Pernambuco. Possui capacidade instalada de 402,78 kWp, conectada a rede de baixa tensão do Comando da Aeronáutica, com uma área total ocupada de 4467 m2 e uma área de módulos de 2685 m2. São

1644 módulos de silício policristalino Yingli YL245P-29b distribuídos em 66 strings de 22 módulos e 8 strings de 24 módulos cada, todas conectadas em 13 inversores ABB TRIO-27.6. Os módulos estão montados em 49 mesas de aço inoxidável Schletter com azimute a 33° leste e inclinação de 15°. A Figura 1 apresenta uma foto aérea da usina e a Figura 2 um diagrama elétrico esquemático.

Figura 1 - Vista aérea da Usina Solar Fotovoltaica Noronha I.

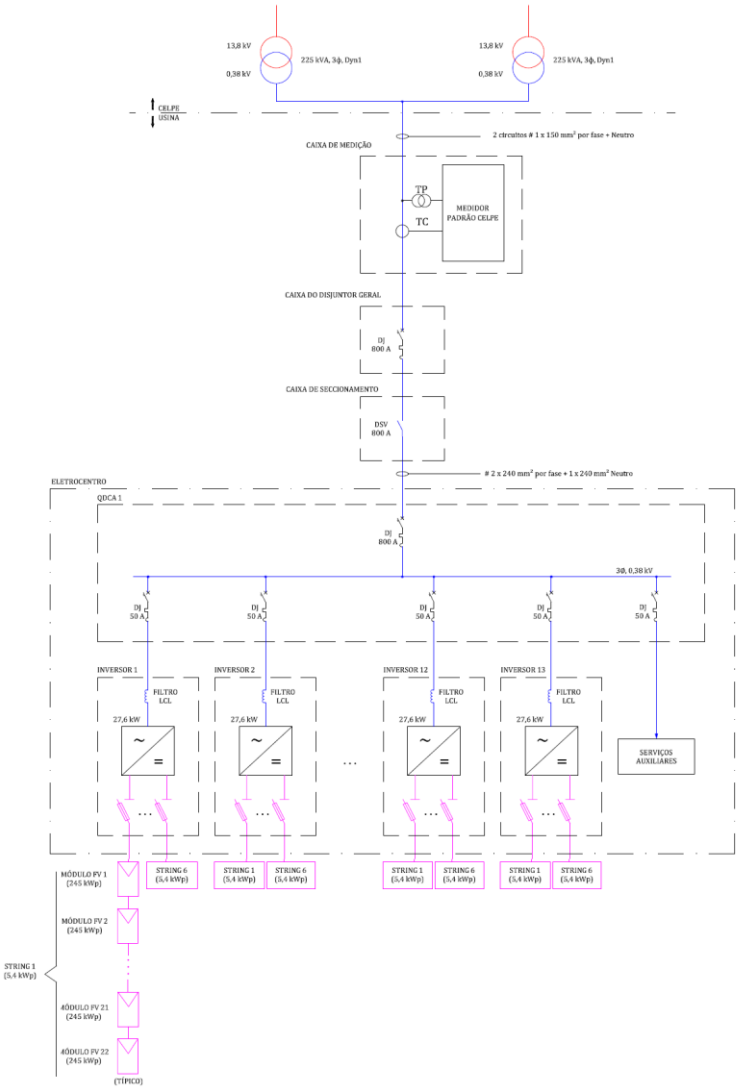

Figura 2 - Diagrama elétrico esquemático.

2. METODOLOGIA

2.1 Análise de desempenho do sistema fotovoltaico

A avaliação do desempenho de usina fotovoltaica é baseada nos dados adquiridos pelo seu sistema de monitoramento. Os principais parâmetros que devem ser monitorados estão listados IEC 61724.

Um bom sistema de monitoramento permite, além da avaliação da própria usina, também que ela seja comparada com outros empreendimentos de diferentes tamanhos de instalação e até mesmo, operando em condições climáticas diversas.

O método proposto visa à área de manutenção voltada para prevenção, com um trabalho de acompanhamento mensal de parâmetros da USF. De acordo com a tendência apresentada pelos parâmetros analisados, torna-se possível identificar falhas que podem passar despercebidas apenas analisando a produção diária isoladamente, pois a produção de uma planta depende de vários parâmetros como localização, clima e diversos mecanismos de perda. O acompanhamento apenas da produção diária é uma técnica com características mais corretivas, pois o problema precisa ser um tanto grave para alterar consideravelmente a produção diária, e assim, chamar atenção para a realização de correção imediata. A proposta do trabalho é analisar tendências e possibilitar uma programação de parada para manutenção, de acordo com as necessidades identificadas nos gráficos.

Para a avaliação inicial de minigeração, pode-se considerar dois índices principais a serem calculados, o Y_f - índice de produtividade final, o Y_r - índice de produtividade de referência. O índice de produtividade final e índice de produtividade de referência são definidos por:

$$Y_f = \frac{E\ [kW\ h_{ac}]}{P_r\ [kW_{dc}]} \tag{1}$$

$$Y_r = \frac{H_t\ [kWh/m^2]}{Go} \tag{2}$$

Onde:

E - Energia de saída do sistema fotovoltaico em kWh (AC);

P_r - Potência instalada da usina em kW (DC) ;

H_t – Irradiação solar total recebida no plano do gerador fotovoltaico em kWh/m^2;

G_0 = 1 kW/m^2 – Irradiação solar de referência em kW/m^2;

2.2 Modelo matemático

A RLS - regressão linear simples é um método estatístico que permite estudar a relação entre duas variáveis quantitativas, apresentando como resultado uma equação matemática, que para um dado valor de X (variável independente), pode-se prever o valor de Y (variável dependente) (Montgomery e Runger, 2003). Supondo que cada observação da variável dependente Y possa ser descrita por

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \tag{3}$$

Onde Ɛ é o erro aleatório, com média 0 e variância σ^2, β_0 é a interseção, encontrado quando X = 0 e β_1 é a inclinação da reta, que pode ser positiva, negativa ou nula.

Considerando a existência de n pares de dados de (x_1, y_1) a (x_n, y_n), é possível estimar os parâmetros β_0 e β_1 através do método dos mínimos quadrados.

$$L = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \tag{4}$$

As estimativas amostrais de β_0 e β_1 são $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ devem satisfazer

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_0}\Big| \hat{\beta}_0 \hat{\beta}_1 = -2 \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) \tag{5}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_1}\Big|\hat{\beta}_0\hat{\beta}_1 = -2\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i)\,x_i \tag{6}$$

Procedendo com a simplificação temos

$$n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1\sum_{i=1}^{n}x_i = \sum_{i=1}^{n}y_i \tag{7}$$

$$\hat{\beta}_0\sum_{i=1}^{n}x_i + \hat{\beta}_1\sum_{i=1}^{n}x_i^2 = \sum_{i=1}^{n}x_i y_i \tag{8}$$

Para encontrar $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ temos

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1\bar{x} \tag{9}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^{n}y_i)(\sum_{i=1}^{n}x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2}{n}} \tag{10}$$

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{n}y_i \tag{11}$$

$$\bar{x} = \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{n}x_i \tag{12}$$

E $\hat{\beta}_1$ pode ser escrito em termos de S_{xy} – covariância de x,y e S_{xx} – desvio padrão de x

$$S_{XX} = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^{n}x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{n}x_i)^2}{n} \tag{13}$$

$$S_{Xy} = \sum_{i=1}^{n}y_i(x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^{n}x_i\,y_i - \frac{(\sum_{i=1}^{n}x_i)(\sum_{i=1}^{n}y_i)}{n} \tag{14}$$

Para cada observação há um valor residual, descrito por $\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$, onde esse valor residual, também chamado de erro, é a diferença entre o valor encontrado e o valor previsto.

Há também outro parâmetro desconhecido no modelo de regressão, σ^2 (variância do erro Ɛ). A soma dos quadrados dos erros é

$$SS_E = \sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{15}$$

Pode ser mostrado que o valor esperado da soma é $E(SS_E)=(n-2)\,\sigma^2$. Portanto, o quadrado médio residual é

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{SS_E}{n-2} \tag{16}$$

Apresentando uma forma mais conveniente para o cálculo

$$SS_E = SS_T - \hat{\beta}_1 S_{xy} \tag{17}$$

$$SS_T = SS_E + SS_R \tag{18}$$

Onde a soma total dos quadrados é

$$SS_T = \sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^{n} y_i^2 - ny^{-2} \tag{19}$$

Para julgar a adequação do modelo de regressão utiliza-se o coeficiente de determinação

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \tag{20}$$

3. RESULTADOS - ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE DE REFERÊNCIA X ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE FINAL

Utilizando os dados obtidos da USF Noronha I, a aplicação da RLS é utilizada para análise de desempenho do sistema, visando encontrar nas amostras desvios significativos, ou seja, pontos que figurem, com destaque, fora do intervalo de previsão. Os intervalos são utilizados com nível de confiança de 95% e destacados nas figuras como: intervalo de confiança inferior (ICI), intervalo de confiança superior (ICS), intervalo de previsão inferior (IPI) e intervalo de previsão superior (IPS). Também são apresentadas tabelas contendo os parâmetros da RLS, Teste t e Teste F para os meses analisados. Para as tabelas da RLS, os parâmetros mais relevantes são SSE e R^2, e os testes de significância t e F, que comprovam a relação entre as variáveis.

Esses pontos que divergem da reta de regressão, em geral, indicam algum tipo de falha na planta fotovoltaica, que deve ser estudada utilizando outros parâmetros da planta e até mesmo uma visita presencial nas instalações (Woyte et al., 2014).

A retirada do ponto divergente da amostra tende a diminuir a SS_E e aumentar R^2, após aplicação da RLS para a nova amostra com ajustamento, adotam-se os meses de maio, setembro e dezembro de 2016. A escolha dos respectivos meses é devido registrarem ocorrencias na operação da planta, permitindo testar o procedimento proposto.

3.1 Maio de 2016

Foram coletados dados referentes aos 13 inversores, estação meteorológica e multimedidor do painel de corrente alternada. Os dados foram divididos em amostras de 1 hora no período das 07h às 17h de cada dia do mês.

Para as divisões das semanas foram usados os seguintes períodos: semana 1 – 01 a 08 MAI 2016; semana 2 – 09 a 16 MAI 2016; semana 3 – 17 a 24 MAI 2016 e semana 4 – 25 a 31 MAI 2016.

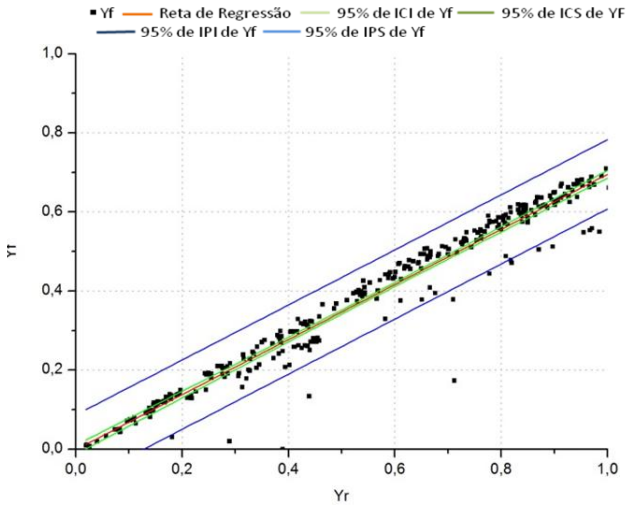

Figura 3 - Índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em maio de 2016.

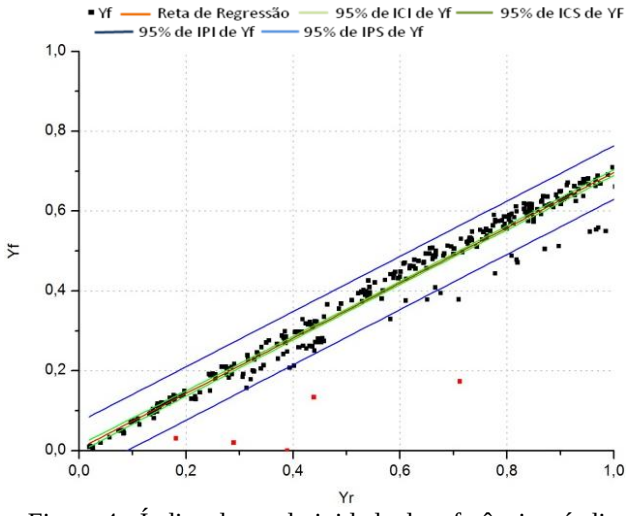

Figura 4 - Índice de produtividade de referência x índice de produtividade final com ajustamento de pontos perdidos em maio de 2016.

Tabela 1 - Parâmetros RLS para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em maio de 2016.

	β_0	β_1	SS_R	SS_E	SS_T	R^2 ajust
Sem ajustamento	-0,00135	0,69662	11,104	0,58614	11,69015	0,94969
Com ajustamento	0,00485	0,69187	10,81456	0,33564	11,1502	0,9698
			Diminuição de	-42,74%	Aumento de	2,12%

Tabela 2 - Teste t para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em maio de 2016.

Teste t para β1	Graus de Liberdade	Valor	Referência t (α=0,05) $t_0 < \pm t_{\alpha/2,\, n-2}$	Resultado
Sem ajustamento	298	75,13553	-1,96 < t < 1,96	Relação Linear Significativa
Com ajustamento	293	97,16325	-1,96 < t < 1,96	Relação Linear Significativa

Tabela 3 - Teste F para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em maio de 2016.

Teste F para β1	Valor	Referência (Nível de Significância 0,05)	Resultado
Sem ajustamento	5645,349	3,84	Relação Linear Significativa
Com ajustamento	9440,697	3,84	Relação Linear Significativa

Para o mês de maio de 2016 foi aplicada a RLS na janela de 07h às 17h com amostras a cada 1h e identificado na Figura 3 cinco pontos mais afastados do intervalo de previsão e os dados sem ajustamento descritos nas Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3. Após análise no banco de dados verificou-se que:

- 03 MAI 2016 - Das 15h28min às 16h29min ocorreu desbalanceamento da tensão entre as fases AB, o que ocasionou paralisação na geração da usina.
- 16 MAI 2016 – Das 13h21min às 15h50min ocorreu falha na rede comercial o que ocasionou paralisação na geração da usina. Sem registro de tensão e corrente no medidor principal

Considerando esses pontos como dados perdidos (missing data), a RLS foi reaplicada gerando os dados com ajustamento das Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3. Verificou-se que a relação linear é significativa e uma diminuição do SS_E em 42,74% e aumento do R^2 em 2,12%.

Foram identificados outros pontos fora do intervalor de previsão, mas eles foram atribuídos a perturbações na planta devido a um treinamento ocorrido no período de 03 a 05 MAI 2016. Os dados do dia 23 MAI 2016 foram desconsiderados da análise por apresentar falha na gravação do banco de dados por quase todo o dia.

3.2 Setembro de 2016

Foram coletados dados referentes aos 13 inversores, estação meteorológica e multimedidor do painel de corrente alternada. Os dados foram divididos em amostras de 1 hora no período das 07h às 17h de cada dia do mês. Para as divisões das semanas foram usados os seguintes períodos: semana 1 – 01 a 08 SET 2016; semana 2 – 09 a 16 SET 2016; semana 3 – 17 a 23 SET 2016 e semana 4 – 24 a 30 SET 2016.

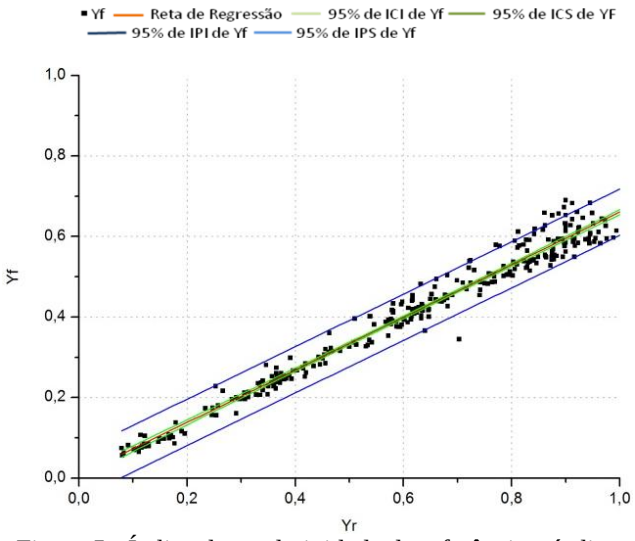

Figura 5 - Índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em setembro de 2016.

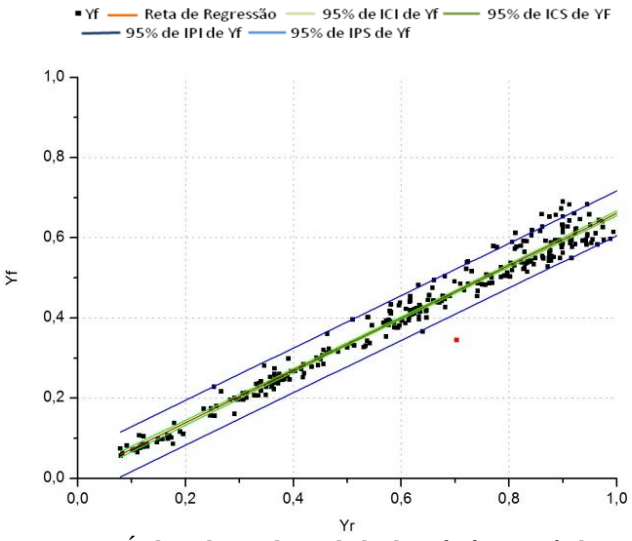

Figura 6 - Índice de produtividade de referência x índice de produtividade final com ajustamento de pontos perdidos em setembro de 2016.

Tabela 4- Parâmetros RLS para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em setembro de 2016.

	β_0	β_1	SS_R	SS_E	SS_T	R^2 ajust
Sem ajustamento	0,00799	0,65251	9,01082	0,25222	9,26303	0,97268
Com ajustamento	0,00805	0,65308	9,02239	0,23733	9,25972	0,97428
			Diminuição de	-5,90%	Aumento de	0,16%

Tabela 5 - Teste t para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em setembro de 2016.

Teste t para β1	Graus de Liberdade	Valor	Referência t (α=0,05) $t_0 < \pm t_{\alpha/2,\, n-2}$	Resultado
Sem ajustamento	298	103,18202	-1,96 < t < 1,96	Relação Linear Significativa
Com ajustamento	297	106,25795	-1,96 < t < 1,96	Relação Linear Significativa

Tabela 6 - Teste F para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em setembro de 2016.

Teste F para β1	Valor	Referência (Nível de Significância 0,05)	Resultado
Sem ajustamento	10646,53	3,84	Relação Linear Significativa
Com ajustamento	11290,75	3,84	Relação Linear Significativa

Para o mês de setembro de 2016 foi aplicada a RLS na janela de 07h às 17h com amostras a cada 1h e identificado na Figura 5 um ponto mais afastados do intervalo de previsão e os dados sem ajustamento descritos nas Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6. Após análise no banco de dados verificou-se que:

- 14 SET 2016 - Das 09h04min às 09h08min ocorreu falha na rede comercial o que ocasionou paralisação na geração da usina. Sem registro de tensão e corrente no medidor principal

Considerando esse ponto como dado perdido (*missing data*), a RLS foi reaplicada gerando os dados com ajustamento das Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6. Verificou-se que a relação linear é significativa e uma diminuição do SS_E em 5,90% e aumento do R^2 em 0,16%.

3.3 Dezembro de 2016

Foram coletados dados referentes aos 13 inversores, estação meteorológica e multimedidor do painel de corrente alternada. Os dados foram divididos em amostras de 1 hora no período das 07h às 16h de cada dia do mês. Para as divisões das semanas foram usados os seguintes períodos: semana 1 – 01 a 08 DEZ 2016; semana 2 – 09 a 16 DEZ 2016; semana 3 – 17 a 24 DEZ 2016 e semana 4 – 25 a 31 DEZ 2016.

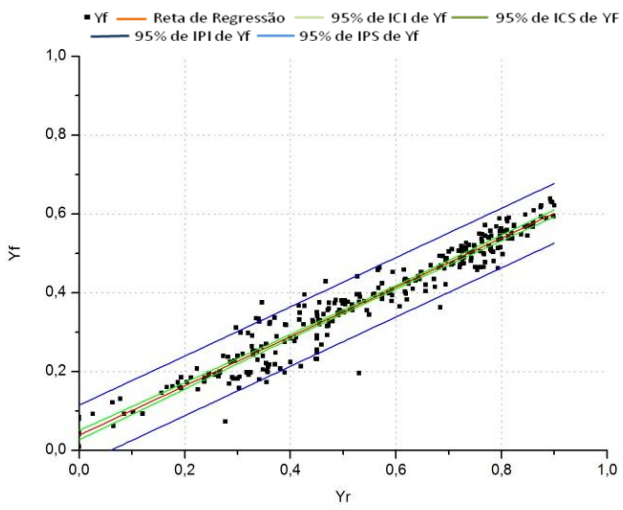

Figura 7 - Índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em dezembro de 2016

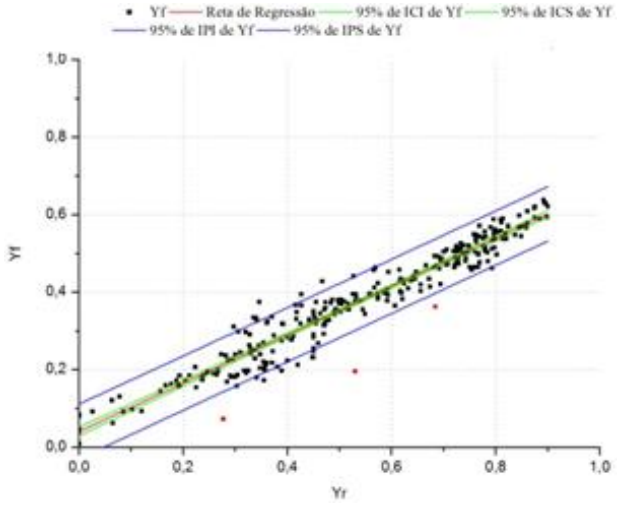

Figura 8 - Índice de produtividade de referência x índice de produtividade final com ajustamento de pontos perdidos em dezembro de 2016

Tabela 7 - Parâmetros RLS para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em dezembro de 2016.

	β_0	β_1	SS_R	SS_E	SS_T	R^2 ajust
Sem ajustamento	0,03858	0,62552	5,37591	0,40455	5,78045	0,92976
Com ajustamento	0,04093	0,62394	5,31411	0,34359	5,65769	0,93905
			Diminuição de	-15,07%	Aumento de	1,00%

Tabela 8 - Teste t para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em dezembro de 2016.

Teste t para β1	Graus de Liberdade	Valor	Referência t (α=0,05) $t_0 < \pm t_{\alpha/2,\, n-2}$	Resultado
Sem ajustamento	277	60,67091	-1,96 < t < 1,96	Relação Linear Significativa
Com ajustamento	274	65,09882	-1,96 < t < 1,96	Relação Linear Significativa

Tabela 9 - Teste F para índice de produtividade de referência x índice de produtividade final em dezembro de 2016.

Teste F para β1	Valor	Referência (Nível de Significância 0,05)	Resultado
Sem ajustamento	3680,96	3,84	Relação Linear Significativa

Com ajustamento	4237,857	3,84	Relação Linear Significativa

Para o mês de dezembro de 2016 foi aplicada a RLS na janela de 07h às 16h com amostras a cada 1h e identificado na Figura 8 três pontos mais afastados do intervalo de previsão e os dados descritos nas Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9 sem ajustamento. Após análise no banco de dados verificou-se que:

- 09 DEZ 2016 - Das 8h24min às 8h52min ocorreu uma falha no banco de dados e os registros foram perdidos nesse horário.
- 10 DEZ 2016 - Das 15h04min às 15h29min ocorreu falha na rede comercial o que ocasionou paralisação na geração da usina. Sem registro de tensão e corrente no medidor principal.
- 15 DEZ 2016 – Das 13h09min às 13h15min queda nas correntes dos inversores, sem causa aparente na análise do banco de dados..

Considerando esses pontos como dados perdidos (*missing data*), a RLS foi reaplicada gerando os dados com ajustamento das Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9. Verificou-se que a relação linear é significativa e uma diminuição do SS_E em 15,07% e aumento do R^2 em 1,00%.

A comparação dos resultados obtidos encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Comparação de resultados.

	Maio de 2016		**Setembro de 2016**		**Dezembro de 2016**	
	SS_E	**R^2**	**SS_E**	**R^2**	**SS_E**	**R^2**
Sem ajustamento	0,58614	0,94969	0,25222	0,97268	0,40455	0,92976
Com ajustamento	0,33564	0,9698	0,23733	0,97428	0,34359	0,93905
Comentários	Diminuição de SS_E = -42,74% Aumento de R^2 = 2,12%		Diminuição de SS_E = - 5,90% Aumento de R^2 = 0,16%		Diminuição de SS_E = -15,07% Aumento de R^2 = 1,00%	

4. CONCLUSÃO

A utilização da técnica de regressão linear simples permite analisar o desempenho da planta, a partir da seleção das variáveis monitoradas pelo sistema supervisório. Produção de referência versus produção final é a relação mais global de comparação para retratar a eficiência de conversão da instalação fotovoltaica. Essa eficiência pode ser afetada, principalmente, por falhas na rede de distribuição, que não são relativas à planta, mas paralisam a produção, falhas em inversores e *strings*, e também por sombreamentos. Analisar conjuntamente o nível de espalhamento do gráfico em relação à reta de regressão e ao intervalo de confiança, o erro dos resíduos e o coeficiente de determinação, permite identificar falhas mais significativas no arranjo fotovoltaico, pois ao verificar o nível de diminuição do SS_E e do aumento do R^2, após ajustamentos nos pontos divergentes da produção, pode-se concluir se o comportamento da produção da planta fotovoltaica encontra-se dentro do esperado. Essa técnica contribui com a manutenção preventiva e detectiva da planta, pois caso os gráficos, em conjunto com as análises, mostrem discrepâncias não conclusivas, é aconselhável proceder com análise local nas instalações.

REFERÊNCIAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório de Balanço Energético Nacional Ano Base 2016. Brasil. 2017.

Decker B. e Jahn U. (1997). Performance of 170 Grid Connected PV Plants in northern Germany – Analysis of Yields and Optimization Potentials. Solar Energy, 59, 4-6, 127-133.

IEC 61724, Photovoltaic System Performance Monitoring – Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis, IEC 1998.

Montgomery D. C. e Runger G. C. (2003). Applied Statistics and Probability for Engineers, 3ª edição, pp. 375-398. John Wiley & Sons, Inc, New York.

Woyte A., Richter M., Moser D., Reich N., Green M., Mau S., Beyer H.G. (2014). Analytical monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems - Good Practices for Monitoring and Performance Analysis. Report IEA PVPS T13-03:2014, 14-15.

PREVENTIVE AND DETECTIVE MAINTENANCE ON PHOTOVOLTAIC PLANTS APPLYING THE SIMPLE LINEAR REGRESSION TECHNIQUE

Abstract. *The main objective of this work is to show a performance analysis method of a photovoltaic system by applying simple linear regression. This is done by using the linearity between quantities of the system as system yield (Y_f) and reference yield (Y_r) to identify the trends of the operation points out of the regression line. This linear standard*

model can be effected by a failure in the photovoltaic system and they can be checked through an analysis in scatter diagram, residual error and coefficient of determination. This method should be considered as a support for preventive maintenance of photovoltaic system, because when it is identifying characteristics in residual error and scatter diagram out of trend, a more detailed analysis of the supervisory system data should be realized, as well as technical visit, to local maintenance. This work shows methodology results applied in photovoltaic system Noronha I, located in Fernando de Noronha-PE.

Key words: *Solar Energy, Photovoltaic System, Simple Linear Regression.*