

# Ferramenta para Avaliação do Desempenho Energético de Usinas Fotovoltaicas \*

Graciele Rediske  
Departamento de Engenharia de  
Produção e Sistemas  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
gra\_rediske@hotmail.com

Anderson dos Santos Cezario  
Departamento de Engenharia de  
Produção e Sistemas  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
anderson.cezario@acad.ufsm.br

Paula Donaduzzi Rigo  
Departamento de Engenharia de  
Produção e Sistemas  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
pauladonaduzzi@gmail.com

Andrei da Cunha Lima  
Departamento de Processamento de  
Energia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
andrei@inriufsm.com.br

Julio Cezar Mairesse Siluk  
Departamento de Engenharia de  
Produção e Sistemas  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
jsiluk@ufsm.br

Leandro Michels  
Departamento de Processamento de  
Energia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil  
michels@inriufsm.com.br

**Resumo** — Este artigo apresenta uma ferramenta para avaliação do desempenho energético de usinas fotovoltaicas. A ferramenta é baseada em 12 indicadores de desempenho. Por meio dessa ferramenta, a equipe gestora consegue visualizar os resultados e identificar os indicadores-chave de desempenho (KPIs) que não atenderam às metas propostas. A modelagem considera diferentes níveis de importância entre os critérios objetivos, permitindo o desenvolvimento de planos que levam em conta o peso de cada um. Desta forma, é possível promover melhorias nos KPIs mais importantes, contribuindo significativamente para a avaliação global do desempenho energético da central fotovoltaica. O modelo foi testado em um sistema fotovoltaico simulado com capacidade total instalada de 3,77 MWp, localizado na cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. O estudo conclui que a ferramenta proposta pode ser utilizada para avaliar o desempenho energético de usinas fotovoltaicas, considerando as características técnicas de cada sistema e contribuindo para atender a alta demanda por energia mundial.

**Palavras-chave** — usina fotovoltaica, desempenho, tomada de decisão, ferramenta computacional.

## I. INTRODUÇÃO

Evidentemente o consumo de energia elétrica mundial está crescendo a cada ano e entre as diferentes tecnologias que competem pela geração de energia pode-se destacar as energias renováveis, especialmente a solar fotovoltaica (FV). A geração por essa fonte cresceu rapidamente nas últimas décadas e pode desempenhar um papel importante no cumprimento da alta demanda por energia em todo o mundo. Uma grande quantidade de sistemas FV instalados anualmente mostra a seriedade e a responsabilidade de cada país sobre o assunto para salvar o planeta por meio de energias renováveis [1].

A energia solar FV está entre as fontes de energia mais eficientes e sustentáveis, que não apresenta significativa contribuição para a degradação ambiental, pois os sistemas fotovoltaicos não emitem poluentes em seu funcionamento, não produzem ruído e podem ser instalados em telhados residenciais [2]. Outro fator de destaque está no seu perfil de expansão linear, pois a área de instalação e o número de módulos FV em relação à potência de geração cresce linearmente. Esse fator faz com que a energia solar FV seja empregada em diversas modalidades, como em Geração Distribuída (GD) ou Geração Centralizada (GC), de pequeno

a grande porte, e instalação em telhados, em solo, ou até mesmo sobre a água [3].

O custo do gerenciamento da operação destes sistemas pode ser reduzido quando o sistema de monitoramento e gerenciamento é usado [4]. Assim, é fundamental para o sucesso do empreendimento estabelecer uma estrutura que possa avaliar de forma abrangente o desempenho dessas usinas FV. Essa estrutura oferece aos gestores da usina o entendimento da situação de cada etapa e assim a identificação dos problemas e proposição de soluções para a formação de estratégias futuras. Isso também auxiliaria os responsáveis a supervisionar adequadamente o status da produção, possibilitando garantir uma produção sustentável dessas usinas [5].

Há muitas razões para monitorar um sistema tão caro e de longo prazo quanto uma instalação solar FV, como acompanhar o rendimento de energia, avaliar o desempenho do sistema e identificar oportunamente falhas ou mau funcionamento. Todas essas mensurações acopladas a indicadores que informem o desempenho dos processos são de grande importância ao setor FV.

O uso de indicadores-chave de desempenho (KPIs) para avaliação de desempenho permite identificar se a operação do sistema está sob controle e onde melhorias são necessárias, além de permitir ações sobre as causas geradoras de desempenho futuro [6]. As análises de desempenho auxiliam os gestores no estabelecimento de seus objetivos estratégicos e operacionais. Os KPIs estabelecidos e suas relações com as metas e atividades devem ser determinados e verificados. Os KPIs não fornecem informações detalhadas, mas apresentam gerenciamento barato e simples que auxilia de forma intensa os gestores nas questões diárias.

O processo de avaliar o desempenho de geração energética de sistemas FV justifica-se pela necessidade de os gestores disporem de ferramentas que lhes retornem o nível de desempenho que sua usina se encontra, apoiando o processo de tomada de decisão. A partir desta motivação, buscou-se modelar um sistema de avaliação de desempenho e construir uma ferramenta eletrônica capaz de auxiliar a adoção prática da modelagem. Sendo assim, o presente artigo tem por objetivo apresentar uma ferramenta computacional capaz de mensurar o nível de desempenho energético de usinas FV em operação.

Essa ferramenta tem como base KPIs resultantes de uma revisão de literatura e documental, no qual verificou-se a inexistência de uma ferramenta que seja capaz de identificar e avaliar KPIs pré-estabelecidos, somado a modelagem que apresenta o nível de desempenho energética destes sistemas FV. Pretende-se preencher essa necessidade de uma ferramenta que apoie os gestores no processo de tomada de decisão.

II. MÉTODOS

Este trabalho permeou por várias etapas que deram suporte a modelagem da ferramenta, para melhor compreender os principais aspectos abordados e alcançar o objetivo proposto, o procedimento metodológico foi conduzido em quatro etapas, conforme a Fig. 1.

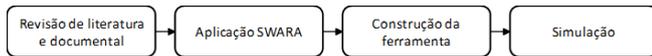


Fig. 1. Etapas da Pesquisa

Iniciou-se com uma revisão de literatura e pesquisa documental que deram suporte ao levantamento dos 12 fatores responsáveis pela avaliação de desempenho energético de usinas (FV). Os KPIs responsáveis por medir o desempenho energético da planta são aqueles relevantes no momento de avaliar o desempenho da operação do sistema em si. A mensuração é composta por KPIs que tratam da disponibilidade do sistema, capacidade, perdas, entre outras características técnicas. Na Tabela I são apresentados os KPIs que mensuram o desempenho de cada fator de desempenho energético, juntamente com os parâmetros que compõem cada KPI. A partir do levantamento dos fatores e construção dos KPIs foi realizado a validação destes KPIs juntamente com especialistas da área.

TABELA I. KPIS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Fator	KPI	Parâmetros
Rendimento Solar de Referência	$Y_r = \frac{H_{POA}}{G_{ref}}$	$H_{POA}$ = irradiação medida no plano do arranjo fotovoltaico (POA) para o período $i$ (kWh/m <sup>2</sup> ) $G_{ref}$ = irradiação de referência em condições de teste padrão (STC) (1kW/m <sup>2</sup> )
Rendimento de Energia do Arranjo	$Y_a = \frac{E_A}{P_0}$	$E_A$ = produção de energia pelo arranjo fotovoltaico no período $i$ (kWh) c.a. $P_0$ = potência nominal (kW)
Rendimento de Energia do Sistema	$Y_f = \frac{E_{out}}{P_0}$	$E_{out}$ = produção de energia pelo sistema fotovoltaico no período $i$ (kWh) c.a. $P_0$ = potência nominal (kW)
Eficiência Energética do Arranjo	$\eta_A = \frac{E_A}{A * H_{POA}}$	$E_A$ = produção de energia pelo arranjo fotovoltaico no período $i$ (kWh) c.a. $A$ = área ativa do arranjo (m <sup>2</sup> ) $H_{POA}$ = irradiação medida no plano do arranjo fotovoltaico (POA) para o período $i$ (kWh/m <sup>2</sup> )
Eficiência Energética do Inversor	$\eta_{inv} = \frac{E_{out}}{E_A}$	$E_{out}$ = produção de energia pelo sistema fotovoltaico no período $i$ (kWh) c.a. $E_A$ = produção de energia pelo arranjo FV (kWh) c.a.

Eficiência Energética do Sistema	$\eta_{PV} = \frac{E_{out}}{A * H_{POA}}$	$E_{out}$ = produção de energia pelo sistema fotovoltaico no período $i$ (kWh) c.a. $A$ = área ativa do arranjo FV (m <sup>2</sup> ) $H_{POA}$ = irradiação medida no plano do arranjo FV (POA) para o período $i$ (kWh/m <sup>2</sup> )
Perdas de Captura do Arranjo	$L_c = Y_r - Y_a$	$Y_r$ = rendimento de referência para o período $i$ expresso em horas de sol a pico (kWh/kW) $Y_a$ = rendimento do Arranjo (h)
Perdas nos Componentes do Sistema	$L_s = Y_a - Y_f$	$Y_a$ = rendimento de energia do arranjo no período $i$ (kWh/kW) $Y_f$ = rendimento de energia do sistema no período $i$ (kWh/kW)
Taxa de Desempenho	$PR = \frac{Y_f}{Y_r} * 100$	$Y_f$ = rendimento de energia do sistema no período $i$ (kWh/kW) $Y_r$ = rendimento de referência para o período $i$ expresso em horas de sol a pico (kWh/kW)
Fator de Capacidade	$CF = \frac{E_{out}}{P_{aco} * \Delta t}$	$E_{out}$ = produção de energia pelo sistema fotovoltaico no período $i$ (kWh) c.a. $P_{aco}$ = potência nominal do sistema (kW) c.a. $\Delta t$ = intervalo de Tempo (h)
Taxa de Degradação	$D_R = \frac{P_{LY} - P_{CY}}{P_{LY}} * 100$	$P_{CY}$ = potência do ano atual (kW) $P_{LY}$ = potência do ano anterior (kW)
Disponibilidade baseada em Energia	$A_{Ei} = \frac{E_{out}}{E_{out} + E_{loss}}$	$E_{out}$ = produção de energia pelo sistema fotovoltaico no período $i$ (kWh) c.a. $E_{loss}$ = somatório de energia perdida no período $i$ (kWh)

Na sequência foi aplicado o método SWARA junto a 6 especialistas do setor FV para realizar a ponderação dos KPIs. No qual os especialistas possuem a liberdade de expor o percentual de peso que consideram para cada KPI, ou seja, o respondente avalia o KPI e marca o percentual de importância que acredita que o KPI representa no desempenho energético da usina FV. Em seguida são realizados os cálculos do SWARA para determinar o nível de importância de cada KPI, seguindo os cálculos da Tabela II.

TABELA II. FÓRMULAS SWARA

Importância comparativa no valor médio	Coefficiente	Peso recalculado	Peso
$s_j$	$k_j = s_j + 1$	$w_j = \frac{w_j - 1}{k_j}$	$q_j = \frac{w_j}{\sum w_j}$

Fonte: (ZOLFANI; SAPARAUSKAS, 2013)

O sistema de avaliação inicia-se com a coleta dos parâmetros referentes aos KPIs definidos neste estudo, possibilitando o cálculo de cada KPI ( $kpi_j$ ), essa etapa é de responsabilidade da equipe técnica da usina. O segundo passo da avaliação depende do estabelecimento de metas para cada KPI ( $g_j$ ) pela equipe de gestão. Com essas duas etapas atendidas, é possível calcular o índice de desempenho de cada KPI ( $p_j$ ), inicialmente é medido quanto da meta de cada KPI foi atingido ( $gf_j$ ), em seguida esse valor é multiplicado pelo peso do seu respectivo indicador ( $w_{ij}$ ), resultando no desempenho final obtido ( $p_j$ ). O desempenho do KPI é calculado pela (1).

$$p_j = w_{ij} * g_{fj} \quad (1)$$

Onde  $p_j$  é o desempenho do KPI,  $w_{ij}$  é o peso do KPI, e  $g_{fj}$  é a percentagem de atendimento da meta do KPI

Para a realização dos cálculos e apresentação do desempenho dos KPIs de forma iterativa, é desenvolvida uma ferramenta computacional elaborada através de uma série de planilhas eletrônicas com o uso do Software Microsoft Office Excel® para alocar o modelo matemático construído. Na aba de interface da ferramenta, é inserido o algoritmo com a função de agregação do tipo aditiva entre as células de entrada, referentes à avaliação da usina em cada um dos KPIs e o peso de cada um deles. A equação global é capaz de avaliar, efetivamente, o desempenho referente ao desempenho energético da usina FV.

O instrumento é composto por abas de questões relacionadas aos parâmetros e metas que compõe cada KPI. As respostas das usinas são processadas individualmente, visto que cada usina resultará em um grau de atingimento do desempenho. A avaliação do desempenho envolve a obtenção de resultados diretamente quantitativos, aspecto que proporciona maior confiabilidade à modelagem matemática.

A avaliação dos resultados quantitativos, e sua consequente conversão em parâmetros qualitativos, são propostos com base em quatro faixas para classificar o nível desempenho global, conforme mostrado na Tabela III.

TABELA III. NÍVEIS DE DESEMPENHO

Níveis de desempenho (%)	Descrição
0%  ----- 25%	Desempenho muito inadequado
25%  ----- 50%	Desempenho inadequado
50%  ----- 75%	Desempenho parcialmente adequado
75%  -----  100%	Desempenho adequado

Dessa forma, um desempenho equivalente a 50% demonstra que o desempenho energético da usina se encontra em um patamar de desempenho inadequado. Assim, um desempenho acima desse percentual coloca a usina em uma situação de desempenho aceitável frente aos requerimentos mínimos do setor. Caso a usina supere suas deficiências, poderá ultrapassar a marca de 75%, em que, nesse caso, sua alta performance será enquadrada em um nível considerado de desempenho adequado.

Com o intuito de testar o modelo desenvolvido, foi simulada a categoria dos KPIs de avaliação do desempenho energético utilizando uma plataforma modular de simulação de desempenho de sistemas FV de modelos iterativos, que apresenta resultados próximos à geração real de um sistema projetado.

### III. RESULTADOS

Esta é composta dos resultados obtidos pela aplicação do método SWARA para ponderação dos fatores e do funcionamento da ferramenta com sua aplicação juntamente com a discussão dos resultados.

Após o retorno dos especialistas, as respostas foram calculadas utilizando as diretrizes do método SWARA. O comitê classificou os KPIs em ordem decrescente de

importância e, a seguir, avaliou a preferência de cada KPI sobre o seguinte. Com base nas fórmulas apresentadas na Tabela 1 foram derivados os pesos subjetivos, que estão listados na quarta coluna da Tabela IV.

TABELA IV. NÍVEIS DE DESEMPENHO

Categoria	KPIs	Símbolo	$w_{ij}$
Desempenho Energético	Rendimento solar de referência	$Y_r$	9,91%
	Rendimento de energia do arranjo	$Y_a$	6,60%
	Rendimento de energia do sistema	$Y_f$	6,67%
	Eficiência energética do arranjo	$n_A$	7,56%
	Eficiência energética do inversor	$n_{inv}$	6,60%
	Eficiência energética do sistema	$n_{PV}$	6,23%
	Perdas de captura do arranjo	$L_c$	6,94%
	Perdas de captura do sistema	$L_s$	6,73%
	Taxa de desempenho	$PR$	12,32%
	Fator de capacidade	$CF$	9,53%
	Taxa de degradação	$D_R$	9,81%
	Disponibilidade baseada em energia	$A_{EI}$	11,10%

Após a obtenção do nível de importância dos KPIs buscou-se estender a pesquisa e construir uma ferramenta eletrônica capaz de auxiliar na adoção prática do modelo matemático construído. Para tanto, foram elaboradas uma série de planilhas eletrônicas. A tela inicial, disposta na Fig. 2, possui três blocos: materiais para consulta; entrada de dados; saída de dados. O botão “Apresentação” leva o usuário a uma aba em que são informados o objetivo e a funcionalidade da ferramenta, bem como a apresentação da lista de KPIs sugeridos no estudo. No botão “Desenvolvedores” é apresentado a bibliografia e área de conhecimento de cada um dos desenvolvedores da ferramenta. E no botão “KPIs” é descrito o objetivo e apresentado a equação de cada um dos KPIs.



Fig. 2. Tela inicial da ferramenta eletrônica

No bloco “entrada de dados”, é a opção que do acesso aos formulários construídos para a coleta de dados que alimentam a modelagem. Assim, o usuário, ao clicar será direcionado para outra aba da planilha na qual estarão disponíveis os parâmetros e o espaço indicado para inserção do dado. O recorte da tela para ilustrar o caso dos KPIs “Rendimento Solar de Referência” e “Rendimento de Energia do Arranjo” está disposto na Fig. 3.

**1.1 RENDIMENTO SOLAR DE REFERÊNCIA**

$H_{POA}$  irradiação medida no plano do arranjo fotovoltaico (POA) para o período i:  kWh/m<sup>2</sup>

$G_{ref}$  irradiação de referência em condições de teste padrão (STC):  kW/m<sup>2</sup>

$Y_r = \frac{H_{POA}}{G_{ref}}$   $Y_r = \frac{2107,1604}{1}$  kWh / kW

META: KPI deve ser maior/igual a:  h

---

**1.2 RENDIMENTO DE ENERGIA DO ARRANJO**

$E_i$  produção de energia pelo arranjo fotovoltaico no período i (CC):  kWh

$P_n$  potência nominal do arranjo fotovoltaico (CC):  kW

$Y_e = \frac{E_i}{P_n}$   $Y_e = \frac{6396,90932}{3769,92}$  kWh / kW

META: KPI deve ser maior/igual a:  h

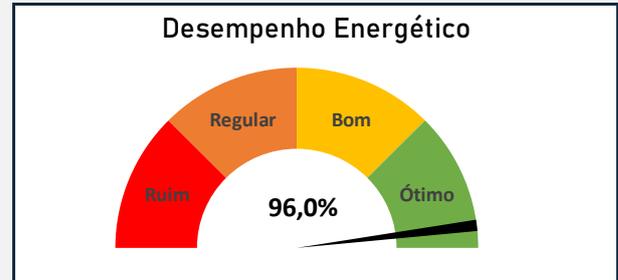
Fig. 3. Tela de entrada de dados

É responsabilidade do usuário preencher os parâmetros para cálculo do KPI e é responsabilidade da gestão da usina estabelecer as metas de cada KPI. Não é possível estabelecer as metas neste estudo para a ferramenta, pois elas são sensíveis a diversas variáveis do sistema. As metas podem variar principalmente com o local onde o sistema está instalado, tipo da estrutura [7] e tecnologia dos equipamentos que estão sendo utilizados na usina FV [8], [9]. Na sequência da ferramenta, o usuário deve completar todos os espaços indicados para cada questão. O processamento dos dados é modelado em uma aba da planilha denominada “cálculos”, na qual estão inseridas todas as fórmulas matemáticas e lógicas necessárias para a quantificação das taxas de cumprimento de meta frente ao respectivo KPI.

O terceiro bloco de funções da tela inicial, denominado “saída de dados”, está desenhado para gerar relatórios gráficos do desempenho energético da usina FV e os cálculos utilizados. Ao clicar na aba dashboard, é possível uma rápida inspeção do diagnóstico do desempenho total através de gráficos de velocímetros, abaixo é possível verificar visualmente através de gráficos de termômetro a situação de cada KPI individualmente, conforme mostrado na Fig. 4.

A forma de apresentação de resultados por meio do dashboard contribui com a gestão visual do desempenho da usina FV, permitindo que os gestores o exponham em murais ou outros canais de divulgação, facilitando a comunicação, apresentação e avaliação do cumprimento, ou não, das metas previamente estabelecidas. De resto, ainda cria subsídios para a elaboração de planos de melhoria que podem alavancar a atual performance para patamares mais elevados de desempenho.

Como a modelagem considera que existem diferentes graus de importância entre os critérios-objetivos, a elaboração desses planos deverá levar em conta o peso de cada um deles, pois eles definem um ranking de importância. O foco, nesse caso, é promover melhorias primeiro nos KPIs que possuem maior importância, para que seja possível contribuir de maneira mais significativa para alavancar a avaliação global do desempenho energético da usina FV.



Indicador	Atingimento do Indicador
Rendimento Solar de Referência	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Rendimento de Energia do Arranjo	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Rendimento de Energia do Sistema	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Eficiência Energética do Arranjo	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Eficiência Energética do Inversor	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Eficiência Energética do Sistema	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Perdas de Captura do Arranjo	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Perdas nos Componentes do Sistema	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Taxa de desempenho	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Fator de Capacidade	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Taxa de Degradação	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Disponibilidade Baseada em Energia	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Fig. 4. Tela de apresentação dos resultados pelo dashboard

A. Simulação

O modelo foi testado em um sistema FV com uma capacidade total instalada de 3,77 MWp, com sistemas de rastreamento solar. O local definido para a geração do sistema foi na cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, que corresponde a latitude e longitude de -30.0277 e -51.2287, respectivamente. A Tabela V apresenta as características técnicas do sistema FV simulado.

TABELA V. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA SIMULADO

	Variável	Valor
<b>Módulo</b>	Modelo do módulo	Trina solar 440 Wp
	Tipo de célula	Monocristalino
	Potência do módulo	440 W
	Número total de módulos	8568
	Número de módulos em série	28
	Número de módulos em paralelo	18
	Dimensão do módulo	2102 × 1040 × 35 mm
<b>Inversor</b>	Modelo do inversor	SUN2000-215KTL-M0_480Vac
	Potência do inversor	215kW
	Número total de inversores	17

Foi realizada a simulação de um ano de geração de energia nesse sistema FV, sendo possível ter os parâmetros

necessários para os cálculos dos KPIs de desempenho energético. Em seguida, foram estipuladas as metas para cada KPI para prosseguir na avaliação. A Tabela VI apresenta os resultados do sistema de avaliação de desempenho do sistema energético para essa situação.

TABELA VI. ÍNDICE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

KPI	Peso (w <sub>ij</sub> ) (%)	Mensuração do KPI (k <sub>pij</sub> )	Meta (g <sub>j</sub> )	Alcance da Meta (g <sub>fj</sub> ) (%)	Desempenho do KPI no Sistema (p <sub>j</sub> ) (%)
Rendimento Solar de Referência	9,91	2107,16	2000	100	9,91
Rendimento de Energia do Arranjo	6,60	1696,83	1700	99,81	6,59
Rendimento de Energia do Sistema	6,67	1652,75	1660	99,56	6,64
Eficiência Energética do Arranjo	7,56	0,162079	0,17	95,34	7,21
Eficiência Energética do Inversor	6,60	0,97402	0,98	99,39	6,56
Eficiência Energética do Sistema	6,23	0,15787	0,17	92,86	5,79
Perdas de Captura do Arranjo	6,94	410,33	350	85,30	5,92
Perdas nos Componentes do Sistema	6,73	0,15787	0,165	100	6,73
Taxa de desempenho	12,32	0,78435	0,8	98,04	12,08
Fator de Capacidade	9,53	0,1946	0,2	97,30	9,27
Taxa de Degradação	9,81	2,99184	2,5	83,56	8,20
Disponibilidade Baseada em Energia	11,10	87,9174	87	100	11,10
<b>Total</b>					<b>95,99</b>

O modelo proposto neste estudo depende da coleta dos parâmetros no sistema FV e da atribuição de metas por parte da gestão da usina, com essas variáveis é possível realizar os cálculos de desempenho de cada KPI individualmente, verificar se está atingindo a meta proposta e realizar uma análise total do status de desempenho energético da usina. A visualização desses resultados pela ferramenta auxilia a equipe de gestão a identificar os KPIs que não atingiram as metas propostas

Em posse desse modelo, os gestores da usina FV podem refletir sobre os KPIs que mais impactam no desempenho energético. Lembrando que as metas precisam estar alinhadas a capacidade do sistema, bem como, seus investimentos em pessoas e infraestrutura.

#### IV. CONCLUSÃO

A instalação de sistemas FV se intensificou nos últimos anos. Como resultado, a capacidade instalada já ultrapassou os 1 TW, está segue avançando rapidamente. Com base em uma revisão de literatura e documental este estudo propõe a utilização de uma ferramenta para avaliação do desempenho

energético de usinas FV. Essa ferramenta tem como base indicadores de desempenho estruturados em um instrumento de pesquisa.

Com base no procedimento metodológico e nos resultados encontrados, considera-se que objetivo da pesquisa foi atingido, sendo que a ferramenta computacional proposta mensura o nível de desempenho energético de sistemas FV em operação. A ferramenta proposta permite que os gestores avaliem o nível de desempenho da usina e, possam aprimorá-la a partir dos indicadores levantados, os quais auxiliarão na prospecção de cenários futuros e tomadas de decisão.

As simulações foram possíveis com o uso da ferramenta computacional desenvolvida para embarcar a modelagem matemática. Posto isso, o modelo e os resultados obtidos encontram-se funcionais para o uso dos gestores das usinas, a fim de contribuir com o melhor desempenho do setor FV. De um modo geral, o modelo proposto permitiu a identificação de um método de avaliação de desempenho adaptável às modificações do cenário e as condições de cada usina. As fases que fizeram parte constituinte do modelo contribuíram sobremaneira para que se definisse o desempenho geral de desempenho energético e de seus KPIs, de modo a identificar como o cumprimento de cada um deles contribui com o todo.

#### ACKNOWLEDGMENT (Heading 5)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento e Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001.

#### REFERÊNCIAS

- [1] P. G. V. Sampaio and M. O. A. González, "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 590–601, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>.
- [2] G. Rediske, L. P. Lorenzoni, P. D. Rigo, J. C. M. Siluk, L. Michels, and T. B. Marchesan, "The impact of the COVID-19 pandemic on the economic viability of distributed photovoltaic systems in Brazil," *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 41, no. 5, 2022, doi: 10.1002/ep.13841.
- [3] P. D. Rigo, "Modelo de Avaliação do Potencial Competitivo para Instaladoras de Sistemas Fotovoltaicos," Universidade Federal de Santa Maria, 2022.
- [4] G. Liu, H. Qiu, L. Zhu, and Y. Chen, "Architecture and experiment of remote monitoring and operation management for multiple scales of solar power plants," in *Proceedings of 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2017*, 2017, pp. 2489–2495. doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054471.
- [5] N. Li and H. Zhao, "Performance evaluation of eco-industrial thermal power plants by using fuzzy GRA-VIKOR and combination weighting techniques," *Journal of Cleaner Production*, vol. 135, pp. 169–183, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.113>.
- [6] C. B. Rosa, "GESTÃO ORGANIZACIONAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL," Universidade Federal de Santa Maria, 2019.
- [7] R. Bakhshi and J. Sadeh, "A comprehensive economic analysis method for selecting the PV array structure in grid-connected photovoltaic systems," *Renewable Energy*, vol. 94, pp. 524–536, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.091>.
- [8] C. Cañete, J. Carretero, and M. Sidrach-de-Cardona, "Energy performance of different photovoltaic module technologies under

outdoor conditions,” *Energy*, vol. 65, pp. 295–302, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.013>.

- [9] C. L. de Azevedo Dias, D. A. C. Branco, M. C. Arouca, and L. F. L. Legey, “Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil,” *Renewable Energy*, vol. 114, pp. 367–375, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.033>.

**conference paper prior to submission to the conference. Failure to remove template text from your paper may result in your paper not being published.**

**IEEE conference templates contain guidance text for composing and formatting conference papers. Please ensure that all template text is removed from your**