

## DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA O MONITORAMENTO DE UM PARQUE SOLAR EM SHERBROOKE, CANADÁ *DEVELOPMENT OF A TOOL FOR MONITORING A SOLAR PARK IN SHERBROOKE, CANADA*

Renan de Oliveira Alves Takeuchi<sup>1</sup> Maïté Volatier<sup>2</sup> Maxime Darnon<sup>3</sup> Jair Urbanetz Junior<sup>4</sup> 

**Resumo:** Dentre as fontes alternativas de energia, a energia fotovoltaica tem destacado ao apresentar um crescimento exponencial nos últimos anos. Contudo, assim como em outras fontes existem fatores externos que podem alterar o desempenho da conversão de energia. Como a energia gerada por módulos fotovoltaicos é diretamente influenciada pela irradiância solar absorvida, se faz importante o entendimento do comportamento da geração de energia conforme a localização do módulo, pois a irradiância pode ser diferente na superfície do painel fotovoltaico. Mas o formato limitado das ferramentas de monitoramento de sistemas fotovoltaicos disponibilizadas pelos fabricantes de inversores normalmente dificulta ou impossibilita a análise por módulo. Por isso, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento para um parque solar real, tendo como principal diferencial a possibilidade de realizar a análise do desempenho dos subsistemas fotovoltaicos por módulo através de um mapa, construído de acordo com a localização física dos módulos. Produzida a partir de dados reais um parque solar coletados através de sensores de radiação solar e otimizadores, a ferramenta mapeia a produção de energia de cada módulo em cada rastreador em diferentes períodos, traça o ganho entre diferentes tecnologias e possibilita a análise estatística da produção de energia.

**Palavras-chave:** Módulo Fotovoltaico. Monitoramento. Confiabilidade. Detecção de Falhas.

---

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Paraná, Jacarezinho, Paraná, e-mail: renan.takeuchi@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutora em Nanotecnologia, Laboratoire Nanotechnologie Nanosystèmes, Université de Sherbrooke, Canadá, e-mail: maite.volatier@usherbrooke.ca.

<sup>3</sup> Doutor em Micro e Nano Eletrônica, Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique, Université de Sherbrooke, Canadá, e-mail: maxime.darnon@usherbrooke.ca.

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, urbanetz@utfpr.edu.br.

**Abstract:** Photovoltaic energy has been highlighted among alternative energy sources by presenting exponential growth in recent years. However, as with other sources, external factors can change the performance of energy conversion. As the energy generated by photovoltaic modules is directly influenced by the solar irradiance absorbed, it is important to understand the energy generation behavior according to the module's location, as the irradiance may be different on the surface of the photovoltaic panel. But the limited format of PV system monitoring tools made available by inverter manufacturers often makes analysis by module difficult or impossible. Therefore, this work presents the development of a monitoring tool for a real solar park, having as the main differential the possibility of performing the analysis of the performance of photovoltaic subsystems per module through a map, built according to the physical location of the modules. Produced from real data from a solar park collected through solar radiation sensors and optimizers, the tool maps the energy production of each module in each tracker in different periods, traces the gain between different technologies and allows the statistical analysis of energy production.

**Keywords:** Photovoltaic Module. Monitoring. Reliability. Fault Detection.

# 1 INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica é um dos recursos energéticos que mais crescem globalmente e foi a segunda tecnologia de energia renovável mais implantada no mundo por capacidade instalada até 2019 (IRENA, 2019). O último Relatório Global de Status de Energia Renovável atualizou os números globais para 2020 e apresentou números preliminares para 2021. A capacidade instalada global de energia solar fotovoltaica superou a capacidade instalada global de energia eólica pelo segundo ano consecutivo, em aproximadamente 760 GW e 745 GW em 2020 para 942 GW e 845 GW em 2021, respectivamente (REN21, 2022). Entre 2010 e 2021, esta fonte de energia apresentou um crescimento médio anual de 34%, passando de uma capacidade instalada de 39 GW em 2010 para 942 GW no final de 2021. Só em 2021 foram instalados 175 GW em todo o mundo (REN21, 2021;2022; IEA, 2022).

Acompanhando essa evolução do setor fotovoltaico, pesquisadores tem focado na análise do rendimento de sistemas fotovoltaico, análise do comportamento de diferentes tecnologias em diferentes regiões climáticas, assim como na detecção de falhas e na análise de mecanismos de degradação. Seus resultados permitem o encaminhamento de medidas mais assertivas voltadas ao setor fotovoltaico. No entanto, dados de sistema mais extensos ainda são raros, principalmente para sistemas bifaciais rastreados, devido às condições específicas de instalação e sombreamento (KOPECEK e LIBAL, 2018).

O desempenho a longo prazo de um sistema fotovoltaico é uma das fontes fundamentais de seu valor, o outro é o valor unitário da energia que está gerando (GOLNAS, 2012). Normalmente a análise de desempenho dos sistemas fotovoltaicos são realizadas através de dados armazenados por string ou por inversor, mas a análise por módulo pode fornecer resultados que não são vistos ao analisar a *string* ou o inversor. Portanto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento de um parque solar composto por rastreadores de eixo duplo e módulos fixos e inclinados

instalados em altas latitudes em Québec, Canadá. Ela possibilita a análise de desempenho por módulo através de um mapa conforme a localização física nos módulos no rastreador, além de apresentar outras funcionalidades relevantes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de geração solar inteligente no Parque de Inovação Park-ACELP (veja Figura 1) está dentro do campus principal da Université de Sherbrooke. Faz parte do maior parque solar dedicado à pesquisa aplicada no Canadá, com a capacidade instalada de aproximadamente 1 MWp. Localizado na cidade de Sherbrooke na província de Quebec, a uma latitude de  $45^{\circ} 40'$ , o parque solar é composto por módulos fotovoltaicos CPV (*Concentrator Photovoltaic*), módulos bifaciais de silício monocristalino, módulos monofaciais de silício policristalino e monocristalino, instalados em três subsistemas. Aproximadamente 500 kWp estão instalados com uma inclinação fixa no telhado e no solo, 270 kWp estão instalados em 17 rastreadores de eixo duplo e 230 kWp estão instalados em 8 Rastreadores de CPV.

**Figura 1** – Imagem aérea dos rastreadores analisados neste trabalho, tendo o norte geográfico representado pela seta vermelha e a letra N.



Fonte: Acervo Université de Sherbrooke

Os dados solarimétricos são coletados no parque solar através do sensor piranômetro que mede a radiação solar global e pelo sensor pireliômetro que mede a radiação direta do sol. Os dados de energia gerada pelos módulos são coletados através de otimizadores conectados aos módulos. Estes dados são enviados para um banco de dados que organiza e armazena as informações sobre um domínio específico. A extração destes dados foi realizada através do protocolo FTP (*File Transfer Protocol*), que gera arquivos CSV (*Comma-separated values*).

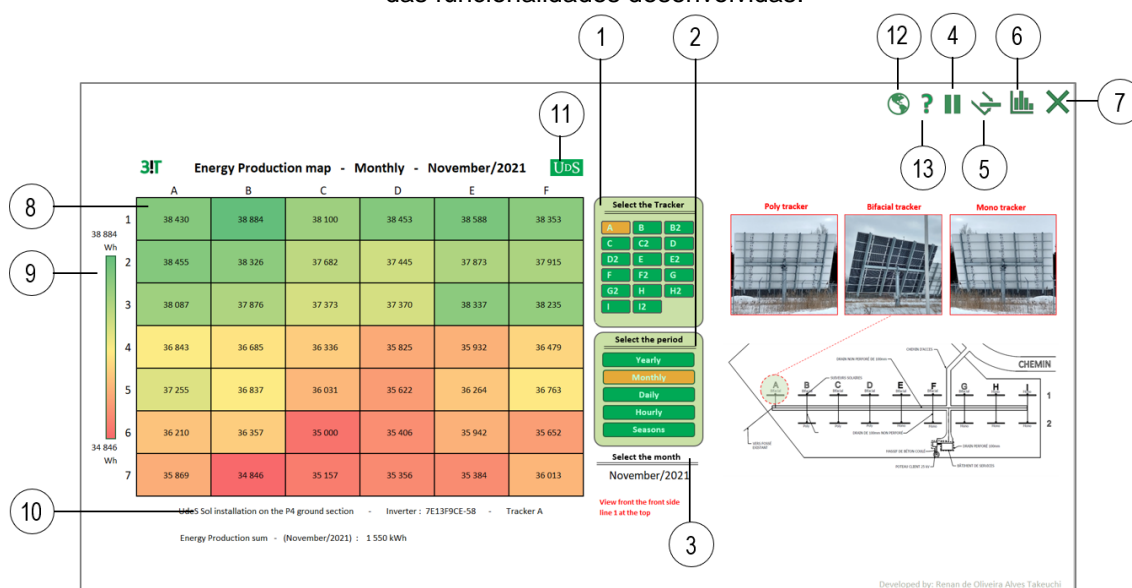
A ferramenta foi desenvolvida utilizando o Microsoft Excel 365 e seu suplemento *Power Query* para extrair, transformar e carregar dados de diferentes fontes de dados. A partir destes dados carregados, uma base de dados foi construída, sendo esta a fonte de dados que alimenta a ferramenta. Suas telas de análise foram desenvolvidas através de diversas fórmulas que incorporam diferentes informações como a ID do módulo, sua localização no parque solar e sua produção de energia. Os botões interativos foram desenvolvidos através de links ou macros, que possibilitam a navegação dentro da ferramenta. A automação da escala de cores foi implementada através do gerenciador de regras de formatação condicional.

Esta ferramenta possibilita a análise de geração de energia do parque solar através da organização dos dados de geração de energia por rastreador em formato de mapa conforme a localização física dos módulos, com uma escala de cores que diferencia os níveis de produção dos módulos vizinhos no mesmo rastreador. Esta análise é realizada individualmente ao selecionar o rastreador desejado, sendo possível alterar o período analisado em anual, mensal, diário, horário ou pela estação do ano. Além disso, outras análises também foram desenvolvidas, como a de ganho bifacial, análise estatística do sombreamento da estrutura e análise da produção global do parque.

### 3 RESULTADOS

A Figura 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a tela inicial da ferramenta desenvolvida com uma identificação por números de 1 a 13 das funcionalidades desenvolvidas, assim como suas devidas legendas. A seguir será apresentado uma descrição detalhada de todas as funcionalidades da ferramenta, assim como os impactos percebidos através do seu uso.

**Figura 2** – Tela de Inicialização da ferramenta com a numeração e legenda das funcionalidades desenvolvidas.



- 1 - Botões de seleção do rastreador
- 2 - Botões de seleção do tipo de período
- 3 - Botões de seleção de período específico
- 4 - Botão de acesso ao sistema de inclinação fixa
- 5 - Botão de acesso à análise de ganho bifacial
- 6 - Botão de acesso à análise estatística do sombreamento da estrutura
- 7 - Botão para sair do modo de apresentação
- 8 - Mapa de produção de energia por módulo
- 9 - Escala de cores com índice máximo e mínimo
- 10 - Identificação do sistema analisado
- 11 - Botão do modo de apresentação
- 12 - Botão de acesso à Produção Global de Energia
- 13 - Botão de ajuda

**Fonte:** Autoria própria.

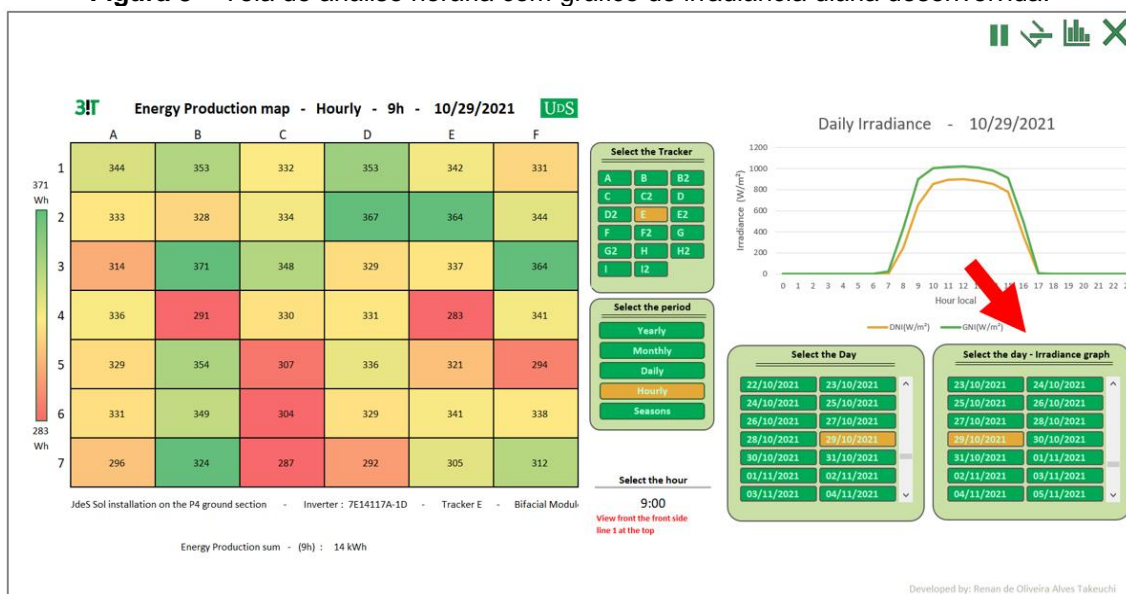
Através dos botões localizados na caixa de seleção dos rastreadores (botões 1), é possível alterar o rastreador que deseja analisar, estando disponíveis os 17 rastreadores do parque solar, identificados por letras (A a I) e números (1 e 2) de acordo com o layout mostrado no canto inferior direito da Figura 2. O mapa de produção de energia, a escala de cores e a identificação do sistema analisado são carregados automaticamente ao alterar o rastreador.

Os botões localizados na caixa de seleção de período (botões 2), possibilitam a mudança do período desejado, estando disponíveis os seguintes

períodos: anual, mensal, diário, horário ou estações do ano. Através deste botão, o usuário define o tipo de período a ser analisado, por exemplo, se o usuário deseja fazer uma análise mensal, deve clicar no botão “*Monthly*” e depois escolher qual mês específico (botão 3). Se o usuário quiser fazer por estações do ano, ele deve clicar no botão “*Seasons*” e depois escolher qual estação específica (botão 3), entre a primavera, verão, outono ou inverno.

Na tela horária (*Hourly*), também será possível visualizar a curva diária de irradiância direta normal (DNI) e irradiância normal global (GNI), ao selecionar o dia na caixa de seleção à direita da tela mostrada na Figura 3.

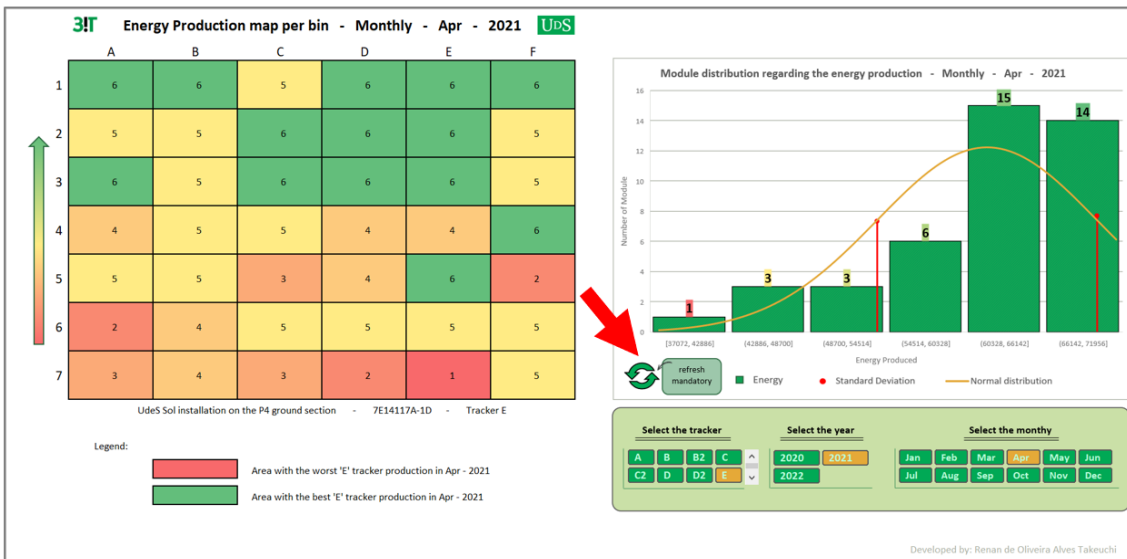
**Figura 3** – Tela de análise horária com gráfico de irradiância diária desenvolvida.



**Fonte:** Autoria própria.

Na tela mensal (*Monthly*), também é possível visualizar a distribuição dos módulos referente à análise de produção de energia (Figura 4). O mapa é separado no bin (grupos de intervalo do histograma), e a escala, a identificação do sistema analisado, será carregada automaticamente.

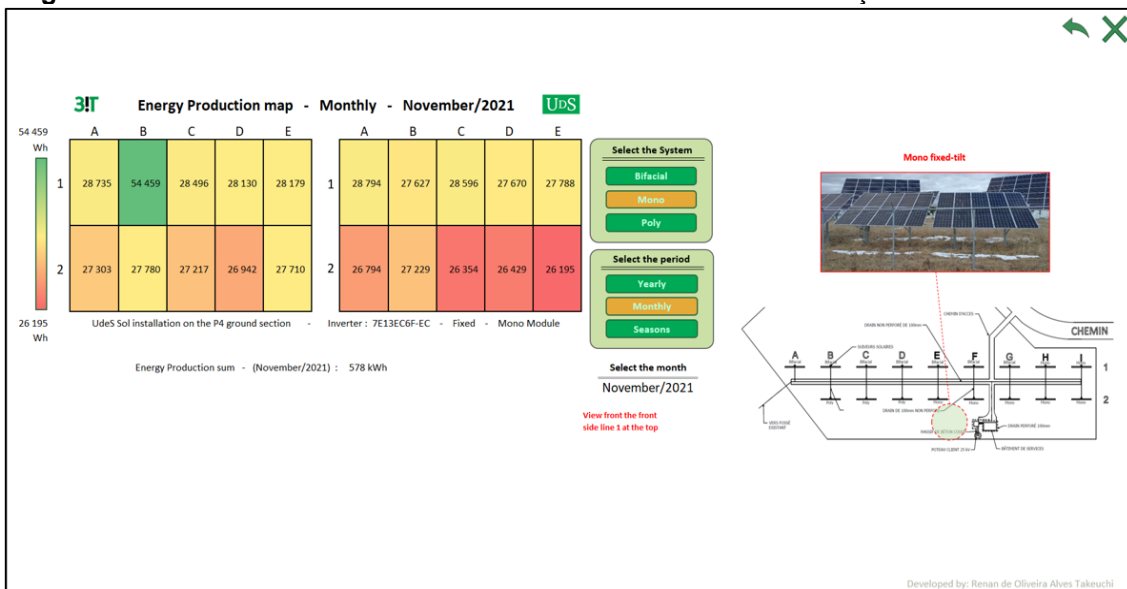
**Figura 4** – Tela de análise da distribuição dos módulos em relação a produção de energia desenvolvida.



Fonte: Autoria própria.

O botão 4 acessa os mapas de produção de energia dos sistemas instalados no solo com inclinação fixa. A tela mostrada na Figura 5 é aberta e a seleção dos sistemas fica disponível para as tecnologias: bifacial, monocristalino e policristalino, e os períodos disponíveis são: ano, mês e estações do ano. Ao clicar na seta ao lado do botão para sair do modo de apresentação, o usuário retorna à tela inicial.

**Figura 5** – Tela de análise dos sistemas instalados no solo com inclinação fixa desenvolvida.

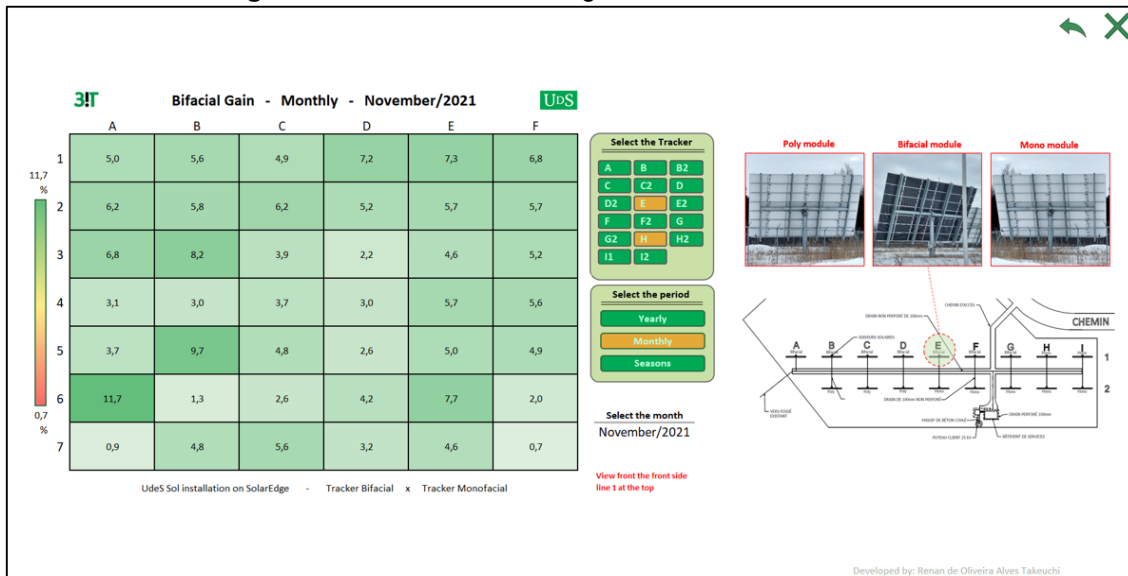


Fonte: Autoria própria.



O botão 5 acessa os mapas de análise de ganho bifacial entre o rastreador bifacial e monofacial. A tela mostrada na Figura 6 é aberta, estando disponível para seleção os 17 rastreadores do Parque Solar e os períodos anual, mensal e estações do ano.

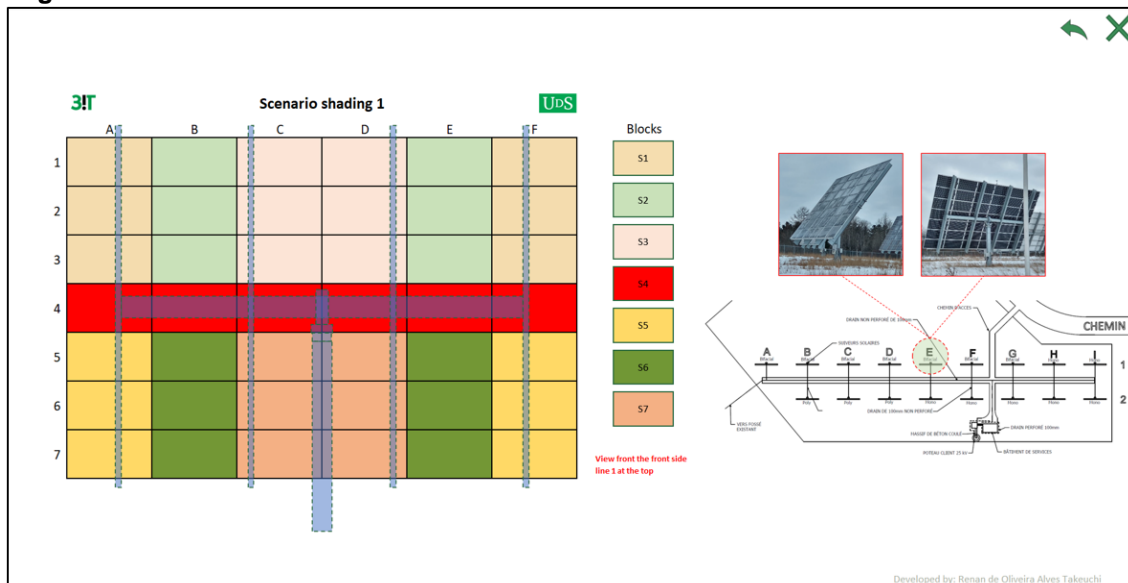
**Figura 6** – Tela de análise de ganho bifacial desenvolvida.



Fonte: Autoria própria.

O botão 6 acessa a análise estatística do sombreamento da estrutura do rastreador bifacial, conforme mostrada na Figura 7, que mostra o cenário hipotético testado.

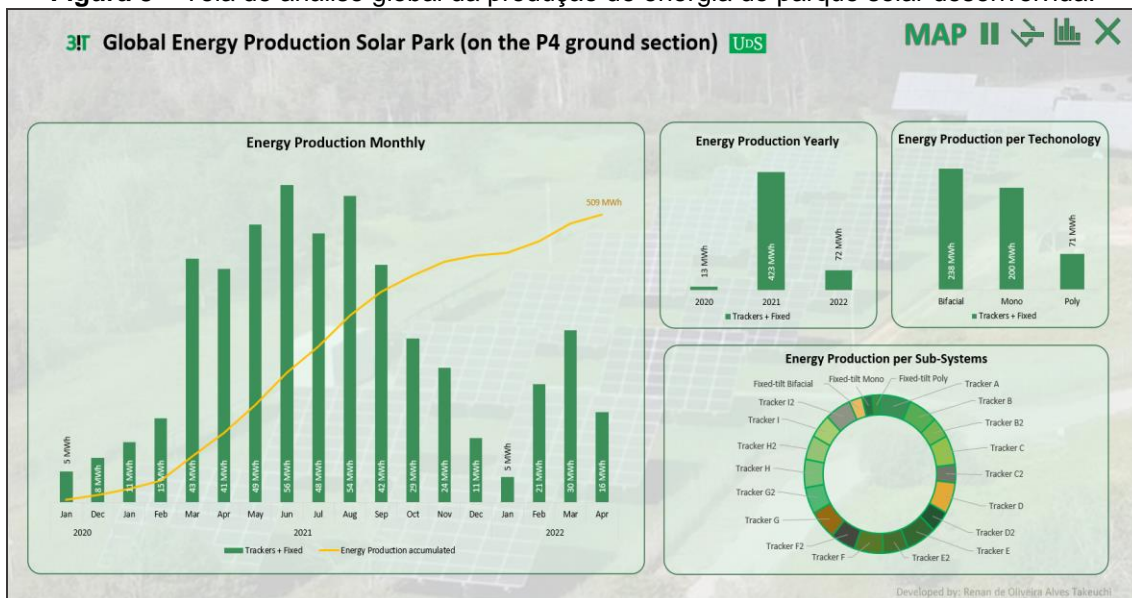
**Figura 7** – Tela de análise estatística do sombreamento da estrutura do rastreador desenvolvida.



Fonte: Autoria própria.

O botão 12 acessa a análise da produção global de energia do parque solar, conforme mostrado na Figura 8. Por fim, o botão de ajuda (13) fornece um breve texto descritivo de cada botão disponível na ferramenta para ajudar o usuário.

**Figura 8** – Tela de análise global da produção de energia do parque solar desenvolvida.



Fonte: Autoria própria.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento de um parque solar pode garantir a integridade do sistema e prevenir falhas, aumentando então sua confiabilidade. Uma ferramenta com diversas funcionalidades pode proporcionar agilidade na análise e maior eficiência. Portanto, este trabalho apresenta uma ferramenta para o monitoramento de parque solar com diversas telas de análises disponíveis.

Como resultado, a ferramenta integra todos os módulos do parque solar, permitindo a comparação da produção de energia de cada módulo ou subsistema. Isso foi muito útil para a validação do banco de dados e na detecção de alguns erros de instalação no parque solar. Além disso, houve um enorme impacto na capacidade de valorização dos dados de produção do parque solar através do desenvolvimento da ferramenta.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da UTFPR, STACE e Quebec Ministère de l'Économie et de l'Innovation. O LN2 é um Laboratório de Pesquisa Internacional conjunto (IRL 3463) financiado e cooperado no Canadá pela Université de Sherbrooke (UdeS) e na França pelo CNRS, bem como ECL, INSA Lyon e Université Grenoble Alpes (UGA). Takeuchi, R. O. A. agradece ao Fonds de Recherche du Québec Nature et Technologie (FRQNT), Fundação Araucária e MITACS pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

GOLNAS, Anastasios. **PV system reliability: An operator's perspective**. In: 2012 IEEE 38th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) PART 2. IEEE, Austin, United State of America, 2012. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/PVSC-Vol2.2012.6656744>.

IEA. **2022 Snapshot of Global PV Markets**. International Energy Agency, 2022. ISBN 978-3-907281-31-4.

IRENA. **Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects** (A Global Energy Transformation: paper), International Renewable Energy Agency, 2019, Abu Dhabi, [s.n.]. 73 p.

KOPECEK, R.; LIBAL, J. **Bifacial Photovoltaics: Technology, applications, and economics**. Institution of Engineering and Technology. Stevenage Herts, United Kingdom, 2018.

REN21. **Renewables 2022 Global Status Report**. Paris, FR: [s.n.], 2022. ISBN 978-3-948393-04-5.

REN21. **Renewables 2021 Global Status Report**. Paris, FR: [s.n.], 2021. ISBN 978-3-948393-03-8.

---

Edição especial – Simpósio de Engenharia de Controle e Automação - SIMECA  
- IFPR

Enviado em: 13 nov. 2022

Aceito em: 05 dez. 2022

Editor responsável: Mateus das Neves Gomes