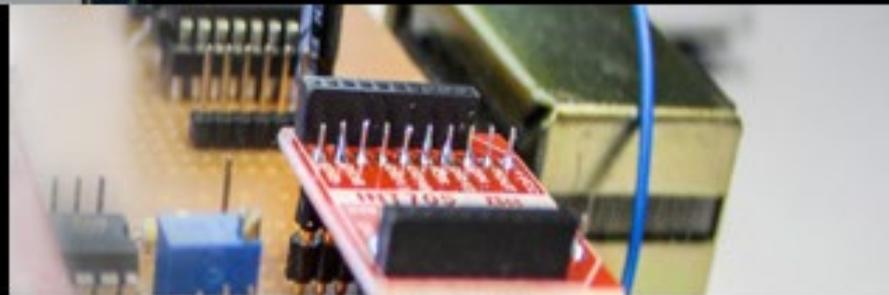
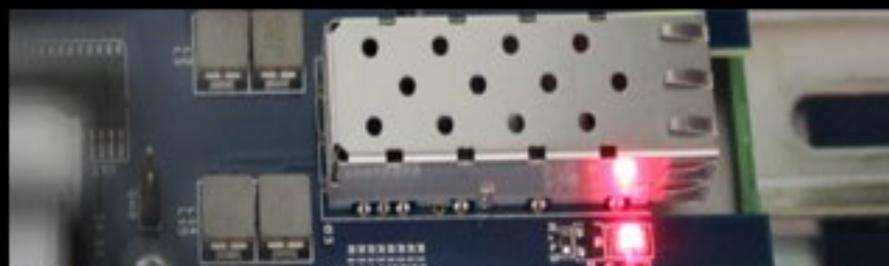


# XI SICEEL

SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
DA ENGENHARIA ELÉTRICA

**19 DE OUTUBRO DE 2023**



**São Carlos  
EESC-USP  
2023**

# **XI Simpósio de Iniciação Científica da Engenharia Elétrica**

**19 de outubro de 2023**

## **Resumos do 11º Simpósio de Iniciação Científica da Engenharia Elétrica**

**Coordenador:**

Prof. José Carlos Vieira de Melo Junior

**Editores:**

André Camilo Terra Costa

**SÃO CARLOS-SP  
EESC | USP  
2024**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Diretor: Professor Fernando Martini Catalano  
Vice-Diretor: Professor Antônio Néson Rodrigues da Silva

**Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação**  
Chefe: Professora Vilma Alves de Oliveira  
Vice: Professor Ben-Hur Viana Borges

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Apoio à Pesquisa e Comunicação  
Acadêmica do Serviço de Biblioteca  
"Prof. Dr. Sergio Rodrigues Fontes" da EESC-USP

S612r.11  
2023

Simpósio de Iniciação Científica da Engenharia Elétrica  
(11. : 2023 : São Carlos)  
Resumos do 11. simpósio de iniciação científica da  
engenharia elétrica [recurso eletrônico] / Coordenador:  
José Carlos Vieira de Melo Junior; Editores: André  
Camilo Terra Costa. -- São Carlos : EESC/USP,  
2024.  
20 p. -- Dados eletrônicos  
ISBN 978-65-86954-40-1

1. Engenharia elétrica - iniciação científica.  
I. Melo Junior, José Carlos Vieira de. II. Costa, André  
Camilo Terra. III. Título.

*Flávia Helena Cassin – CRB-8/5812*

Número de páginas: 20  
ISBN 978-65-86954-40-1

Versão eletrônica em PDF disponível online no Portal de Eventos Científicos da  
EESC-USP – [www.eventos.eesc.usp.br](http://www.eventos.eesc.usp.br)

Tamanho e dimensões da obra: 21 cm × 29,7 cm (padrão Folha A4)  
Obra sem cobrança ou valor monetário

## **Ficha Técnica**

Publicação da IX Semana de Integração da Engenharia Elétrica (SIEEL) do IX Simpósio de Iniciação Científica da Engenharia Elétrica (SICEEL) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

### **Coordenador**

Professor Associado José Carlos Vieira de Melo Junior

### **Editores**

André Camilo Terra Costa

### **Comissão pré-avaliativa**

Emiliano Rezende Martins  
Helder Vinícius Avanço Galeti  
Carlos Alberto De Francisco  
Jéssica Fernandes Alves  
Paulo Roberto Ubaldo Guazzelli

### **Comissão principal de avaliação**

Emiliano Rezende Martins  
Helder Vinícius Avanço Galeti  
Carlos Alberto De Francisco  
Jéssica Fernandes Alves  
Paulo Roberto Ubaldo Guazzelli

### **Editoração**

Serviço de Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC-USP  
Portal de Eventos Científicos da EESC-USP

**Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação**  
SEL/EESC/USP  
Avenida Trabalhador São-Carlense, nº400  
São Carlos-SP  
CEP: 13566-590

PATROCINADORES

**MG**<sup>®</sup>  
**MARGIRIUS**

**ADVANTECH**

**SIEMENS**  
ENERGY

alura

 **chipus**

*Sleep* INN  
São Carlos

## **APRESENTAÇÃO**

O XI Simpósio de Iniciação Científica da Engenharia Elétrica (SICEEL) ocorreu no dia 19 de outubro de 2023, de forma presencial. No SICEEL, alunos da graduação da USP e UFSCar são convidados a inscreverem seus projetos de iniciação científica, conclusão de curso ou extracurriculares relacionados à Engenharia Elétrica para serem avaliados por professores de ambas as universidades. Os trabalhos com as melhores avaliações são publicados pela Biblioteca Central da Escola de Engenharia de São Carlos.

O grande intuito do evento é incentivar e promover a divulgação de pesquisas realizadas por alunos dentro das universidades, apresentando aos demais estudantes a variedade de temas disponíveis dentro da área de Engenharia Elétrica.

Por fim, agradecemos aos autores pela inscrição e apresentação de seus projetos no nosso evento, e aos alunos da pós-graduação e professores participantes da banca avaliadora pela disponibilidade e contribuição ao evento.

Atenciosamente,

Os Editores.

## **SICEEL**

O Simpósio de Iniciação Científica da Engenharia Elétrica é um evento realizado anualmente durante a Semana da Integração da Engenharia Elétrica (SIEEL) e organizado em parceria entre a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O SICEEL tem como objetivo incentivar e divulgar os projetos de pesquisas científicas, tecnológicas e acadêmicas na área de Engenharia Elétrica realizadas por alunos de graduação da USP e da UFSCar. Além disso, o evento propõe aos alunos estabelecer um contato inicial com rotinas avaliativas, a fim de prepará-los para apresentações de seus trabalhos acadêmicos e/ou inscrição em outros eventos pertinentes à carreira acadêmica.

Em 2023, o evento apresentou sua décima primeira edição, com um sistema de premiação em dinheiro aos trabalhos com melhor avaliação. O evento contou ainda com o apoio de um dos patrocinadores, a Alura, que contribui com premiações extras para os três trabalhos melhor classificados.

Ademais, como principal objetivo, o SICEEL busca sempre ampliar o contato dos alunos de graduação com a pesquisa e os professores das universidades. Permitindo que os alunos adquiram a experiência de apresentar um projeto em um simpósio e passar pela aprovação de uma banca avaliadora.

## **SIEEL**

A Semana da Integração da Engenharia Elétrica surgiu em 2015 como resultado da união do Integra Elétrica (Semana de Engenharia Elétrica da USP São Carlos) e da SEMEL (Semana da Engenharia Elétrica da UFSCAR), eventos que por sua vez já possuíam certa tradição. Trata-se de uma semana com diversas atividades voltadas para alunos e apreciadores do tema, organizada por alunos do curso de Engenharia Elétrica da USP e da UFSCar.

O grande objetivo do evento é complementar o conteúdo apresentado na graduação, aproximando o estudante de temas atuais e da atuação profissional de um Engenheiro Eletricista. Dessa forma, a semana procura trazer especialistas das áreas mais relevantes no momento, fornecendo palestras e minicursos de ponta. Além disso, a SIEEL também busca fornecer ao participante a possibilidade de começar o contato com o mercado de trabalho, trazendo profissionais de diferentes empresas para o evento.

A edição de 2023 ocorreu entre os dias 16 de outubro e 20 de outubro e contou com atividades on-line. Ao longo de toda semana foram realizados diversos minicursos e palestras.

## SUMÁRIO

Análise da representação de geradores eólicos em ferramentas de análise de estabilidade de tensão

*Lucas Carnevalli de Almeida, Matheus Rosa Nascimento*

Determinação da máxima potência trifásica em nós de sistemas de distribuição de energia elétrica

*Michel G. Oliveira, Prof. José Carlos de Melo Vieira Júnior*

Ensino de competências da BNCC através da robótica visando o desenvolvimento de soft skills

*Laila Pereira El Haddad, Luís Felipe Rodrigues de Brito Campos, Tatiana F. P. A. Taveira Pazelli*

Modelagem de relé baseado em tensão para a proteção de microrredes

*Amanda Tsutsumi, Gabriella Pinheiro dos Santos, Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior*

Modificações estruturais em sensores óticos baseados em guias de onda: estudo e aplicação

*Otávio Pinheiro, Luís A. M. Barêa*

Protótipo de Sistema Fotovoltaico Off Grid de árvore solar - fase 1

*Rafael Bastos Duarte, Rafael Viana Brant, Prof. Elmer Pablo Tito Cari*

# Análise da Representação de Geradores Eólicos em Ferramentas de Análise de Estabilidade de Tensão

Lucas Carnevalli de Almeida<sup>1</sup>, Matheus Rosa Nascimento<sup>2</sup>

Universidade de São Paulo

lucas\_almeida@usp.br, rmatheus@usp.br

## 1 Objetivos

A inserção da geração eólica vem crescendo anualmente no Brasil e no mundo. Contudo, a representação do vento incidente nos aerogeradores é um dos desafios nas análises de estabilidade dos sistemas elétricos de potência. Em vista deste problema, este trabalho tem como o objetivo a avaliação da representação dos geradores eólicos nas ferramentas de análise de estabilidade de tensão em redes elétricas, tendo como foco principal observação da Margem de Estabilidade de Tensão (MET) do sistema.

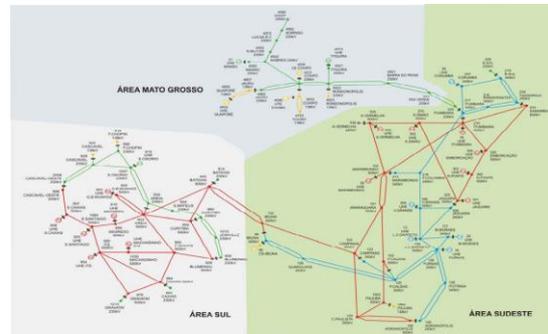
## 2 Métodos e Procedimentos

Para atingir a proposta apresentada, primeiramente, foi estabelecida uma representação da curva de distribuição de probabilidade do vento para a determinação da potência gerada pelos *Doubly-Fed Induction Generators* (DFIG), onde, dada a incerteza da geração e a necessidade da avaliação de cenários críticos a curto prazo, optou-se pela utilização da distribuição de probabilidade Beta como alternativa a Normal (BOUFFARD; GALIANA, 2008). Sob essas condições, foram desenvolvidos códigos em software MATLAB que possibilitassem a caracterização da potência gerada pelos DFIG, em diversos cenários de operação.

sua curva de capacidade estabelecida pela ONS, é realizado um fluxo de potência (FC) e fluxo de potência continuado (FCC), para a determinação da MET do caso gerado (CHIANG et al., 1995).

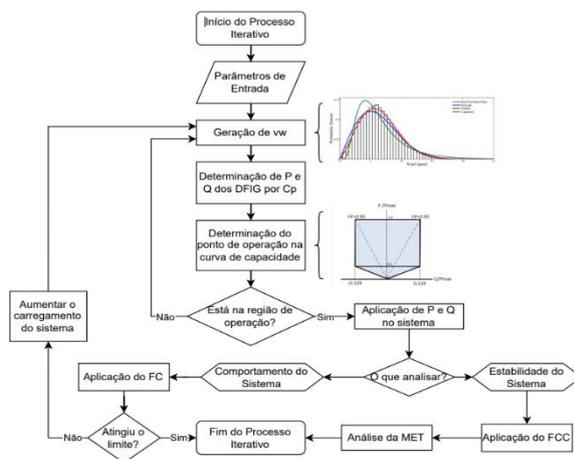
Por fim, para tornar o experimento mais condizente com a realidade, foi considerado um Sistema Teste Brasileiro de 107 Barras (Figura 2), onde 6 parques eólicos são inseridos em barramentos distintos do modelo, com o objetivo de se ter ao menos uma usina eólica em cada área e que no total eles representassem 25% da injeção de potência ativa no sistema presente nas suas 3 grandes áreas (ALBURGUETTI, 2022).

Figura 2: Sistema Brasileiro de 107 Barras



Fonte (ALBURGUETTI, 2022)

Figura 1: Representação do Processo iterativo



Fonte: Autor

Assim, subsequentemente, um processo iterativo é estabelecido (Figura 1), onde, a partir do valor de potência ativa (P) e reativa (Q) captada pelo DFIG e respeitada a

Os resultados obtidos foram comparados aos do programa da ferramenta de análise de estabilidade, Anarede da CEPEL. Com isso, foi possível mensurar a influência dos DFIG sobre os barramentos mais críticos da rede, obtendo como resultado as suas respectivas curvas PV (Figuras 3 e 4) e MET do modelo.

Ademais, em virtude do tamanho do sistema analisado, foram escolhidas 4 barras de maior relevância, segundo os seguintes critérios: 1) por ser uma barra de carga no intercâmbio entre as regiões; 2) por agrupar uma carga de alta relevância; 3) por proximidade com os geradores eólicos; 4) e a barra mais crítica do sistema base, ou seja, a que sofreu a maior queda de tensão, será também avaliada.

## 3 Resultados

Com o resultado do processo iterativo, foram gerados mais de 50 casos possíveis de geração, destacando-se três casos: o caso médio, extremos positivo e negativo.

Figura 3: Curvas PV dos barramentos do caso extremo positivo

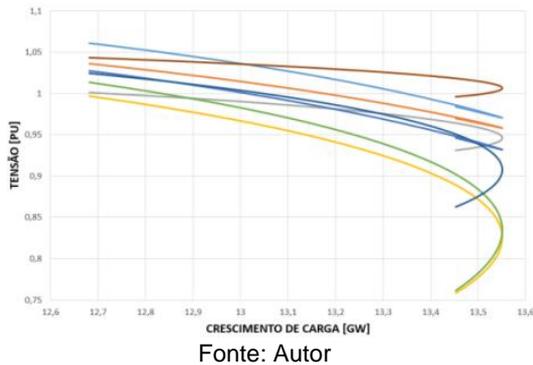
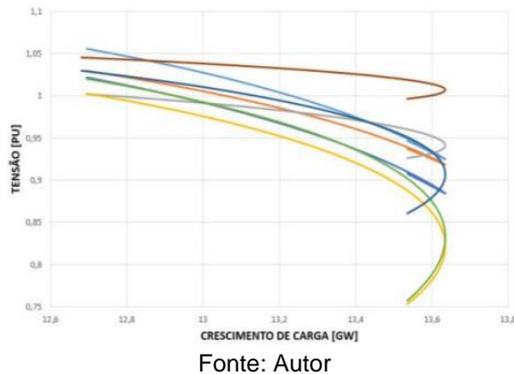


Figura 4: Curva PV dos barramentos do caso extremo negativo



Primeiramente, para o caso médio, verificou-se que nos barramentos de interligação a variação de tensão verificada foi superior a 15% em relação ao caso base. Em contrapartida, os barramentos próximos aos aerogeradores apresentaram um aumento inferior a 5% e, em muitos casos, tiveram um ganho de 2% na tensão sobre alto carregamento. A barra crítica, por sua vez, pouco variou no caso médio e, além disso, a MET melhorou mais de 3%.

Já para o caso extremo positivo, os barramentos de interligação sofreram um aumento na variação de tensão, cerca de 9%. Além disso, tanto a barra crítica e as próximas aos geradores eólicos resultaram em uma elevação em sua tensão de até 18% comparado ao caso base. Neste caso, a melhor estabilização da tensão foi devido ao maior suporte reativo fornecido pelas DFIG.

Por fim, para o caso extremo negativo verificou-se que o abaixamento da tensão foi agravado em mais de 10% para todos os barramentos analisados, chegando a quase 30% na barra crítica e numa das principais cargas do sistema. Tal comportamento deve-se a diminuição da capacidade de inserção de reativo que os DFIG sofreram neste caso.

## 4 Conclusões Finais

Portanto, foi possível concluir que a representação adequada do vento é de extrema relevância para a avaliação da estabilidade de tensão do sistema, visto que a variação da potência ativa e reativa dos aerogeradores, de acordo com a distribuição de probabilidade do vento, influenciam significativamente na MET.

De maneira satisfatória, verificou-se que a participação dos aerogeradores, através do seu redespacho de potência, possibilitou, na maioria dos casos, a melhoria da MET.

Entretanto, quanto à variação da tensão nos barramentos, percebeu-se que as eólicas são capazes de melhorar a tensão das barras próximas, com crescimento de carga, porém, podem também agravar o  $\Delta V$  de locais críticos, assim como nas áreas de interligação e em grandes consumidores da rede.

## Referências

ALBURGUETTI, Livia M. et al. Assessment of critical scenarios for voltage stability considering uncertainty of wind power generation. 2022, Anais.. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1109/PESGM48719.2022.9916956>. Acesso em: 13 set. 2023.

BOUFFARD, F.; GALIANA, F. D. Stochastic security for operations planning with significant wind power generation. IEEE Transactions on Power Systems, v. 23, n. 2, p. 306–316, maio 2008.

Chiang HD, Shah KS, Balu N (1995) CPFLOW: a practical tool for tracing power system steady-state stationary behavior due to load and generation variations. IEEE Transactions on Power Systems, vol 10, no 2, pp 623–634

Fonte financiadora

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

Responsabilidade pelas informações

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

# DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA POTÊNCIA TRIFÁSICA EM NÓS DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Michel G. Oliveira<sup>1</sup>, José Carlos M. Vieira Jr.<sup>2</sup>  
 Dept. Eng. Elétrica e de Computação - EESC - USP  
 michelgirotto@usp.br<sup>1</sup>, jcarlos@sc.usp.br<sup>2</sup>

## 1 Objetivos

O planejamento da expansão dos sistemas de distribuição envolve uma análise do desempenho operacional das redes elétricas, com o objetivo de identificar a necessidade de realizar investimentos para atender a demanda crescente e manter a eficiência do sistema (CANDIAN; FELTRIN, 2008). Dentre os principais aspectos técnicos analisados, tem-se o carregamento das redes de distribuição e as violações de tensão. Posto isso, esse trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia analítica para determinar a máxima potência ativa trifásica em nós dos sistemas de distribuição, de modo que não ocorram violações de tensão.

## 2 Métodos e Procedimentos

O modelo em regime permanente do sistema elétrico linearizado em torno de um ponto de equilíbrio é dado pela Equação 1 (AYRES et al., 2010).

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\theta} & J_{PV} \\ J_{Q\theta} & J_{QV} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (1)$$

em que  $\Delta$  indica variações incrementais;  $P$  e  $Q$  são as potências ativa e reativa;  $V$  e  $\theta$  são o módulo e o ângulo da tensão;  $J_{P\theta}$ ,  $J_{PV}$ ,  $J_{Q\theta}$  e  $J_{QV}$  são as submatrizes da matriz Jacobiana.

Supondo  $\Delta Q = 0$  e substituindo na Equação 1, obtém-se a Equação 2.

$$\Delta P = (J_{PV} - J_{P\theta} J_{Q\theta}^{-1} J_{QV}) \Delta V = J_{RPV} \Delta V \quad (2)$$

Analogamente, supondo  $\Delta P = 0$ :

$$\Delta Q = (J_{QV} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{PV}) \Delta V = J_{RQV} \Delta V \quad (3)$$

Reescrevendo a potência reativa em função da potência ativa e do fator de potência ( $f_p$ ) e aplicando o Princípio da Superposição, é possível reescrever as variações de tensão da Equação 1 conforme mostrado na Equação 4.

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_f - V^0 = \\ &= (J_{RPV}^{-1} + J_{RQV}^{-1} \tan[\text{acos}(f_p)]) \Delta P = J_{PQ} \Delta P. \end{aligned} \quad (4)$$

em que  $V_i^0$  é a tensão no cenário base e  $V_f$  é a tensão ao final do horizonte de análise.

Analisando a Equação 4, observa-se que uma injeção líquida de potência positiva (geração) resulta em uma elevação na tensão em relação ao cenário base. Por outro lado, um acréscimo de carga (injeção negativa de potência) resulta em diminuição da tensão. Logo, ao limitar a tensão  $V_f$  dentro da faixa adequada estabelecida no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), é possível determinar a máxima injeção de potência em cada barra do sistema elétrico, garantindo que não ocorram violações de tensão.

O foco deste trabalho é o aumento de carga nas redes de distribuição de baixa tensão (BT), de modo que  $V_f$  deverá ser limitada em 0,92 p.u., sendo este o limite inferior da faixa adequada de tensão (ANEEL, 2018). Dessa forma, os maiores incrementos de potência em cada barra podem ser determinados analiticamente pela Equação 5.

$$\Delta P_{\max} = \min(J'_{PQ} \cdot \Delta V) \quad (5)$$

em que  $J'_{PQ(m,k)} = \text{inv}(J_{PQ(k,m)})$  e o operador  $\min$  retorna o menor valor da linha. A fim de validar a metodologia, foram realizados cálculos de sucessivos fluxos de carga com incrementos de potência, visando determinar o valor limite de cada barra que não resulte em violações de tensão, conforme feito na literatura (AYRES et al., 2010). Além disso, os valores obtidos foram restringidos pela capacidade nominal dos transformadores em ambos os métodos de análise. A Figura 1 mostra o fluxograma de aplicação da metodologia descrita.

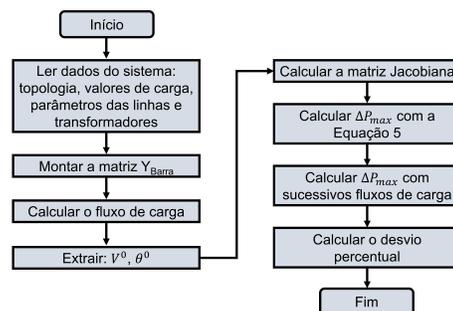


Figura 1: Fluxograma da metodologia

### 3 Resultados

A Figura 2 exibe o diagrama unifilar da rede de média tensão (MT) do sistema elétrico brasileiro real, que foi utilizado como base neste estudo. A rede primária opera a uma tensão de 13,8 kV, enquanto a secundária opera a 220 V. O sistema é composto por 1.140 barras de BT, apresentando uma demanda de pico de 4,1 MW e 47 transformadores MT-BT, sendo modelado por (BROLIN; ROLIM; TRINDADE, 2019) no *software* OpenDSS.

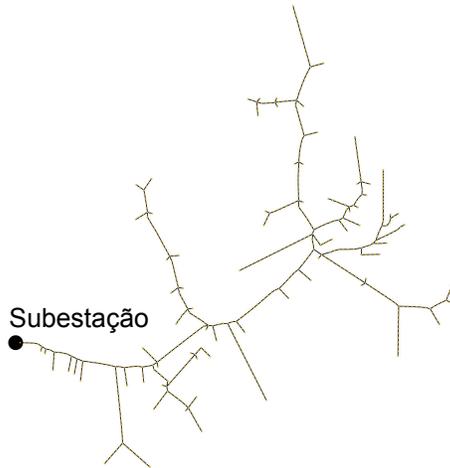


Figura 2: Diagrama unifilar

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre a metodologia proposta e a de sucessivos fluxos de carga para determinar a máxima potência ativa trifásica. Verifica-se que em 66,06% das barras, o erro entre ambas as abordagens ficou abaixo de 5 kW, com um erro médio de 3,92 kW e desvio padrão de 4,43 kW. Além disso, os resultados ressaltam que, em uma mesma rede secundária, há barramentos que suportam aumentos de carga de até 75 kW sem violações de tensão, enquanto outros têm uma capacidade limitada de apenas 3 kW. Este destaque sublinha a relevância de considerar não apenas o valor absoluto, mas também a localização dos incrementos de potência durante o planejamento.

Tabela 1: Comparação dos resultados

Critério	Número de barras [%]
$\text{Erro} \leq 1\text{ kW}$	33,71
$1\text{ kW} < \text{Erro} \leq 5\text{ kW}$	32,35
$5\text{ kW} < \text{Erro} \leq 10\text{ kW}$	24,89
$\text{Erro} > 10\text{ kW}$	9,05

Para determinar a máxima potência dos barramentos de todas as redes secundárias do sistema

em estudo usando o método de sucessivos fluxos de carga, demandou-se o cálculo de cerca de 32 mil fluxos de potência. Em contrapartida, com a metodologia proposta, foi necessário apenas um cálculo de fluxo de potência e operações matriciais simples. Isso resultou em uma significativa redução do esforço computacional e, consequentemente, menor tempo de análise.

### 4 Conclusões

A metodologia proposta demonstrou ser uma abordagem eficaz na determinação da máxima potência ativa trifásica em redes de distribuição, reduzindo significativamente o esforço computacional em comparação com o método de sucessivos fluxos de carga. A análise comparativa revelou que, em grande parte das barras, a diferença de resultados entre as duas abordagens foi mínima, mostrando que a metodologia proposta pode ser uma alternativa viável em estudos de planejamento da expansão dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

### Referências

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional-PRODIST: Módulo 8-Qualidade da Energia Elétrica**. 2018.

AYRES, H. M. et al. **Desenvolvimento de metodologias de análise de geradores distribuídos em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia ..., 2010.

BROLIN, L. C.; ROLIM, F. B.; TRINDADE, F. C. Fast screening approach to estimate the hosting capacity of rooftop pv generators in electric power distribution systems. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, v. 29, n. 3, 2019.

CANDIAN, F. J.; FELTRIN, A. P. Planejamento da expansão de sistemas elétricos de distribuição considerando fatores de riscos em análise econômica. **XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**, 2008.

Fonte financiadora: os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2022/00091-5. Responsabilidade pelas informações: Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho

# Ensino de Competências da BNCC Através da Robótica Visando o Desenvolvimento de Soft Skills

Laila Pereira El Haddad, Luís Felipe Rodrigues de Brito Campos, Tatiana F. P. A. Taveira Pazelli

Universidade Federal de São Carlos

[laila.haddad@estudante.ufscar.br](mailto:laila.haddad@estudante.ufscar.br), [luisfrbc@estudante.ufscar.br](mailto:luisfrbc@estudante.ufscar.br), [tatianapazelli@ufscar.br](mailto:tatianapazelli@ufscar.br)

## 1 Objetivos

Este resumo sintetiza o artigo sobre a atuação da equipe de robótica Red Dragons, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), no desenvolvimento e aplicação de um curso de robótica pautado nos conteúdos previstos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), motivada pela necessidade de uma nova abordagem de ensino nas escolas brasileiras, considerando os dados insatisfatórios sobre a educação básica no país obtidos através de exames como o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (Pisa).

Este curso foi aplicado para alunos da rede pública da cidade de São Carlos durante o ano de 2023, utilizando métodos de ensino que se diferenciam dos tradicionais ao enfatizar não só o desenvolvimento de habilidades cognitivas, mas também das áreas afetivas e metacognitivas. Adicionalmente, foi criado um sistema de avaliação que visa permitir a análise da efetividade deste modelo.

## 2 Métodos e Procedimentos

Para o ensino da robótica e programação nas escolas públicas de São Carlos, foi escolhida a Metodologia Lego, que divide o aprendizado entre as etapas de Contextualização, Construção, Análise e Continuação, se diferenciando dos métodos tradicionais de ensino ao tratar o estudante como elemento ativo em seu aprendizado.

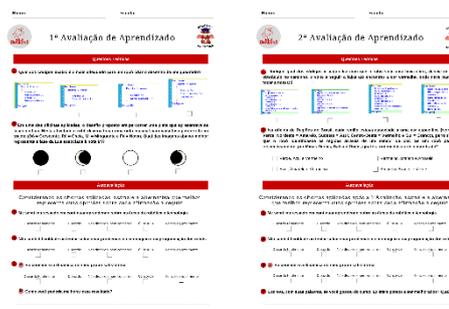
Durante o processo de busca dos kits de robótica que seriam utilizados nas oficinas, a Red Dragons utilizou Kits Alpha Mecatrônica, que contém o módulo de programação e peças de alumínio.

Para iniciar o processo de criação das oficinas, foram estudadas as diferentes Unidades Temáticas designadas pela BNCC para definir os temas dos roteiros, estruturando-os entre o objetivo, conteúdo, materiais, parte prática, tempo, recursos e requisitos para cada uma das atividades.

Por fim, foi criado um método de avaliação baseado nos objetivos do aprendizado significativo da Taxonomia de Fink, no intuito de abranger não só o desenvolvimento de competências do domínio cognitivo nos estudantes, mas também das áreas afetivas e metacognitivas. Para isso, foram estruturados dois exames, mostrados na Figura 1, que seriam

aplicados respectivamente no meio e no fim do curso, de forma a utilizar os dados obtidos para comparar o desempenho dos alunos em cada fase.

Figura 1 – Avaliações Desenvolvidas



Fonte: Autores (2023)

## 3 Resultados

Após desenvolver um curso completo de 12 oficinas seguindo o padrão apresentado na Seção 2, membros de todas as áreas do projeto Robótica na Escola da Equipe Red Dragons realizaram a aplicação dessas práticas em 4 escolas públicas do município de São Carlos, atendendo 90 alunos semanalmente durante o primeiro semestre do ano de 2023.

Porém, como o desenvolvimento do método de avaliação apresentado neste artigo ocorreu de forma simultânea ao período de realização das atividades, não foi possível aplicá-lo nessa primeira experiência presencial de oficinas contínuas, que serviu como base para aprimorar as próximas atuações da equipe, aspirando conseguir utilizar esse modelo no futuro.

## 4 Conclusões parciais/finais

Este resumo apresentou a organização da Equipe de Robótica Red Dragons, da Universidade Federal de São Carlos, que se dedica em levar a transformação social através da robótica educacional com o projeto Robótica na Escola.

Apesar de não ter sido possível aplicar os testes desenvolvidos pela equipe nesse primeiro curso, eles serão aproveitados nos próximos, que, por sua vez, estão programados para acontecer duas vezes ao ano.

Assim, a equipe pretende continuar se dedicando na busca pela democratização e desmistificação da ciência, num processo que

agrega não só na formação dos estudantes que recebem as oficinas, mas também na daqueles que as oferecem.

## Referências

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

FEITOSA, Jefferson Gustavo. Manual didático-pedagógico. Curitiba: ZOOM Editora Educacional, 2013.

FINK, L. Dee. Creating significant learning experiences: An integrated approach to designing college courses. John Wiley & Sons, 2013.

PISA, RELATÓRIO BRASIL NO. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). 2018.

# Modelagem de Relé Baseado em Tensão para a Proteção de Microrredes

Estudante: Amanda Tsutsumi<sup>1</sup>, Gabriella Pinheiro dos Santos<sup>2</sup>, Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior<sup>3</sup>

EESC/USP

amandatsutsumi@usp.br<sup>1</sup>, gabriella.pinheiro.santos@usp.br<sup>2</sup>, jcarlos@sc.usp.br<sup>3</sup>

## 1 Objetivos

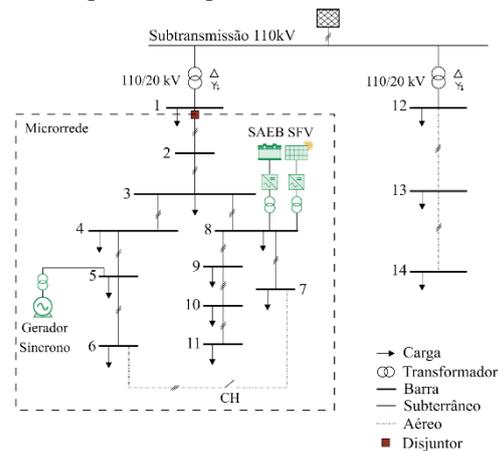
Com a crescente inserção de Recursos Energéticos Distribuídos (RED) na rede elétrica, observa-se que métodos convencionais de proteção podem não mais serem adequados. Nos últimos anos, tem-se estudado as microrredes (MR), caracterizadas como a junção de cargas e RED agindo de forma unificada. Dentro destas, a proteção por sobrecorrente usual é insuficiente, visto que a MR pode operar isolada da rede maior, situação na qual as correntes de falta medidas são relativamente baixas ou podem apresentar direcionalidades distintas, dentre outros fatores complicantes. Frente a tal desafio, foi proposto como alternativa um método de proteção baseado em tensão. Neste trabalho, tal relé foi modelado para avaliação de seu desempenho, e é proposta a utilização de um algoritmo de otimização para reduzir seu tempo de atuação.

## 2 Métodos e Procedimentos

A etapa inicial do projeto foi a realização de uma revisão bibliográfica, com estudo das estratégias de proteção de MRs comumente utilizadas e as propostas, de modo a comparar seu desempenho. Em seguida, foi montada uma MR teste no *software* Alternative Transients Program (ATP) via interface do ATPDraw, para verificação de uma estratégia baseada em tensão, de maneira a comprovar que mantém os critérios necessários de coordenação e seletividade entre os relés.

A MR em média tensão modelada foi baseada no sistema CIGRÉ de 14 barras, e contém carga total de 24,16 MW e 6,07 Mvar, além de um Gerador Síncrono (GS), um Sistema Fotovoltaico (SFV), e um Sistema de Armazenamento de Energia a Bateria (SAEB). A MR em si é a região correspondente ao Alimentador 1, que engloba os RED junto a carga total de 4,32 MW e 1,43 Mvar. A Figura 1 representa o diagrama unifilar do sistema, onde a disposição das cargas e RED pode ser vista.

Figura 1: Diagrama unifilar da microrrede

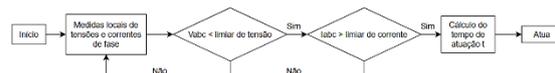


Fonte: Santos, 2021

A fim de avaliar como as tensões do sistema comportam-se frente a um curto-circuito, foi realizado um mapeamento dessas no sistema. Foram aplicadas faltas diversas, com resistências variadas, de maneira a analisar a variação em magnitude das tensões.

Em seguida, o relé baseado em tensão foi modelado no MATLAB. Seu funcionamento toma por princípio a queda de tensão devido a falta, mensurável mesmo com a variação da magnitude da corrente de curto-circuito. Sua atuação é determinada conforme a Figura 2:

Figura 2: Fluxograma indicando atuação ou não do relé baseado em tensão



Fonte: Autoria própria.

Sua característica é dada pelas seguintes relações:

$$t = TDS \left( \frac{A}{\left(\frac{1}{K}\right)^p - 1} \right) \log_2 \left( \frac{1}{K} \right) \cdot \left( \frac{1}{K} \right) + D \quad (1)$$

$$K = \left( \frac{V_{sc}}{2} \cdot \left( 1 - \frac{V_{sc}}{2} \right) \right)^m \quad (2)$$

Onde  $V_{sc}$  é a tensão de falta medida, TDS o ajuste de tempo do relé, D o tempo mínimo para atuação. A, m, p são parâmetros da curva, ajustados, a priori, manualmente.

Propõe-se o uso do algoritmo microgenético para os ajustes TDS e  $m$ , mantendo  $A$  e  $p$  com os valores apresentados no estudo de Santos (2021). Assim, objetiva-se a minimização da soma dos tempos de atuação dos relés, respeitando o intervalo de coordenação entre relés de retaguarda e primários, dentro das limitações de valores conhecidas dos parâmetros, isto é:

$$\min \sum t_i \quad (3)$$

$$t_{P_i} < 100 \text{ ms} \quad (4)$$

$$t_S - t_P > 200 \text{ ms} \quad (5)$$

$$D = 30 \text{ ms} \quad (6)$$

$$0 < m_i < 3 \quad (7)$$

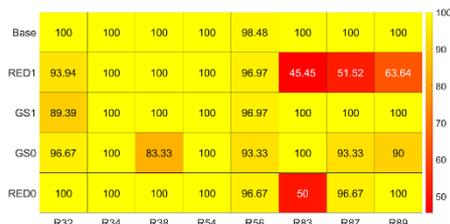
$$0 < TDS_i < 5 \quad (8)$$

$$0 < m_{il_i} < m_i \quad (9)$$

### 3 Resultados

O resultado principal deste trabalho foi a modelagem da MR, com todos os RED necessários para sua operação, e de um relé baseado em tensão, mais adequado à proteção da MR que os usuais, de sobrecorrente.

Figura 3: Taxas de atuação correta do relé para cada cenário da MR



Fonte: Autoria própria.

O desempenho do relé modelado, no tocante a taxa de atuações consideradas corretas, pode ser visto na Figura 3. Para comparação, Santos (2021) apresenta em seu trabalho índices de erro de um relé convencional, que o mostram pouco apropriado à utilização em uma MR.

### 4 Conclusões

Os RED mostram-se soluções eficazes a diversas problemáticas relacionadas à rede de potência e à geração e uso responsável de energia elétrica. Contudo, sua implementação gera desafios distintos dos clássicos, para os quais soluções inovadoras devem ser propostas a fim de explorar todas suas vantagens, sem efeitos nocivos ao sistema.

A partir da microrrede modelada, é possível verificar o efeito de uma falta na tensão do sistema como um todo, que abre espaço para a utilização da estratégia de proteção aqui discutida. Além disso, apresentou-se o

equacionamento para aplicação de um algoritmo de otimização, com o intuito de verificar o efeito deste na eficácia do relé.

### Referências

BARRA, P.; COURRY, D.; FERNANDES, R. A survey on adaptive protection of microgrids and distribution systems with distributed generators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 118, 2020.

CIGRE. *Benchmark Systems for Network Integration of Renewable Energy Resources*. 2014.

JAMALI, S.; BORHANI-BAHABADI, H. Protection Method for Radial Distribution Systems with DG Using Local Voltage Measurements. *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 34, n. 2, p. 651–660, 2019

NASCIMENTO, J. P. Um sistema de proteção de sobrecorrente adaptativa aplicado a sistemas de distribuição de energia elétrica. *Dissertação (Doutorado)*. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2020. p. 95.

SANTOS, G. P. *Análise e Desenvolvimento de uma Proteção Baseada em Tensão Contra Curtos-Circuitos em Microrredes de Corrente Alternada*. *Dissertação (Mestrado)*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021. p. 113.

Fonte financiadora

A pesquisa foi realizada com apoio financeiro da bolsa PIBIC, fornecida pela CNPq.

Responsabilidade pelas informações

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

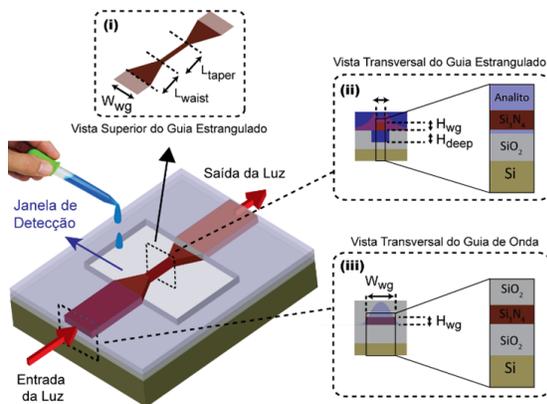
# Modificações Estruturais em Sensores óticos baseados em Guias de Onda: Estudo e Aplicação

Otávio Pinheiro<sup>1</sup>, Luís A. M. Barêa<sup>2</sup>  
 Universidade Federal de São Carlos - UFSCar  
 otavio.pinheiro@estudante.ufscar.br<sup>1</sup>  
 luisbarea@ufscar.br<sup>2</sup>

## 1 Objetivos

Este estudo foca em aprimorar sensores óticos baseados em guias de onda. A meta é melhorar a sensibilidade e linearidade, reduzir a complexidade de detecção e facilitar sua integração. As melhorias envolvem modificações estruturais nos guias, aumentando a interação entre a onda evanescente e o analito. Isso resulta em perdas de propagação e modulação da potência na saída do guia conforme o índice de refração (IR) do analito varia. A eficácia dessas modificações estruturais será demonstrada aplicando-se o sensor otimizado na detecção da concentração de hemoglobina no sangue. O projeto também busca viabilizar a fabricação desses sensores e destacar sua sensibilidade e acessibilidade, promovendo inovações e aplicações diversas.

Figura 1: Sensor otimizado com guia de onda de  $Si_3N_4$  estrangulado e região de interação suspensa no analito alvo. (i) Vista superior do guia estrangulado com dimensões a serem otimizadas. (ii) Vista transversal do guia de onda na região estrangulada, mostrando os materiais e a profundidade do analito e (iii) na entrada do guia de onda, exibindo os materiais.



Fonte: Autoria Própria

## 2 Métodos e Procedimentos

Poucos estudos abordam modificações estruturais em guias de onda para melhorar sua sensibilidade e simplificar seu uso como sensores (RIBEIRO, 2021). No entanto, sabe-se que estrangular um guia de onda aumenta o modo evanescente (Fig. 1 (ii)), melhorando a sensibilidade do dispositivo em relação ao modo de um guia não estrangulado (Fig. 1 (iii)). Este trabalho avalia o impacto do estrangulamento e imersão de um guia de nitreto de silício ( $Si_3N_4$ ) envolto em dióxido de silício ( $SiO_2$ ) em um analito alvo (vide Fig. 1 (ii)). A proposta de imersão do guia estrangulado no analito é de incrementar ainda mais a interação luz-analito na região inferior do guia, antes ocupado pelo  $SiO_2$ . A altura ( $H_{wg}$ ) e a largura inicial ( $W_{wg}$ ) foram fixadas em  $300\eta m$  e  $1000\eta m$ , garantindo perdas abaixo de  $0,5dB/cm$ . Os seguintes parâmetros foram otimizados: a largura do estrangulamento ( $W_{waist}$ ), o comprimento do estrangulamento ( $L_{waist}$ ), o comprimento das partes que levam da largura inicial ao estrangulamento e vice-versa ( $L_{taper}$ ) e a profundidade com que se corrói o  $SiO_2$  abaixo do guia ( $H_{deep}$ ). Utilizando o módulo BeamProP do software comercial RSOFT, exploraram-se essas variações em busca de linearidades ( $R^2$ ) e sensibilidades ( $S_{bulk}$ ) ideais para o sensor, calculadas pelas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$R^2 = \left( \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad (1)$$

$$S_{bulk} = \left( \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \right) * 100 \quad (2)$$

Nas Equações 1 e 2,  $x$  representa as saídas de potência do guia,  $y$  denota os IR do analito,  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  suas respectivas médias. A faixa de variação do IR é de 1,33 a 1,38 o comprimento de onda é de  $633\eta m$ . Além disso, calculou-se o limite de detecção (sLOD) para avaliar a resolução mínima do sensor.

### 3 Resultados

O estudo iniciou-se com a avaliação da  $R^2$  e  $S_{bulk}$  em um guia de onda sem modificações estruturais, referido como guia reto, para fins de comparação. Em seguida, otimizou-se o estrangulamento do guia e, posteriormente, sua suspensão no analito alvo, onde se encontrou o valor de  $100\eta m$  para Hdeep. As dimensões otimizadas estão apresentadas na Tabela 1 tanto para Transversal Elétrica (TE) quanto Magnética (TM). A Tabela 2 traz as métricas obtidas ( $S_{bulk}$ ,  $R^2$  e  $S_{LOD}$ ) para as 3 modificações aqui citadas, provando que a suspensão do guia de onda garante uma linearidade superior a 0,99 em ambas polarizações, com  $S_{bulk}$  de até 1000 vezes maior do que a de um guia reto. Como os resultados estão na mesma faixa de IR para monitorar concentrações críticas e normais de hemoglobina (Hb) no sangue (BAHADORAN et al., 2022). A Figura 2 demonstra a capacidade do dispositivo em diagnosticar níveis de anemia de pacientes.

Tabela 1: Dimensões otimizadas para as modificações.

	Modo	Wwaist ( $\eta m$ )	Lwaist ( $\mu m$ )	Ltaper ( $\mu m$ )
Estrangulamento	TE	140	25	15
	TM	90	30	30
Suspensão em Anlito	TE	140	25	15
	TM	90	20	30

Fonte: Autor

Tabela 2: Métricas de performance dos sensores óticos baseados em guias de onda.

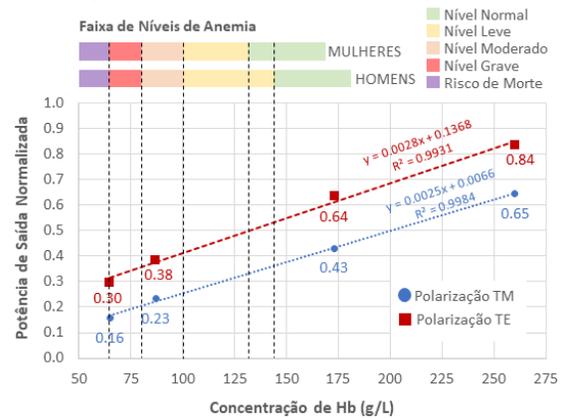
	Modo	$S_{bulk}$ (%/RIU)	$R^2$	$sLOD$ ( $10^{-4}$ )
Guia Reto	TE	1	0,9566	10000
	TM	5	0,9977	2000
Estrangulamento	TE	1194	0,93	8,38
	TM	1390	0,983	7,19
Suspensão em Analito	TE	1443	0,9948	6,93
	TM	1203	0,9913	8,31

Fonte: Autoria Própria

A Figura 3 ilustra o roteiro de fabricação proposto para fabricação desse sensor. Na etapa I limpa-se e deposita-se  $Si_3N_4$  sobre  $2,2\mu m$  de  $SiO_2$  sobre um substrato de Si, seguido de eletroresiste sobre  $Si_3N_4$  (IV). Em III escreve-se por feixe de elétrons as dimensões dos guias para o eletroresiste (ER) e, em IV, usa-se técnicas de corrosão seca no  $Si_3N_4$ . O ER é removido com uma etapa final de limpeza (V), tornando o dispositivo pronto para inserção de qualquer analito alvo (VI).

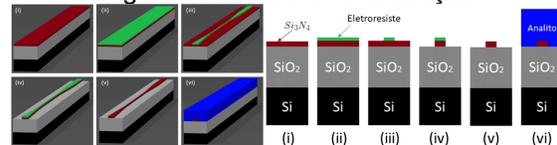
Portal de Eventos Científicos da Escola de Engenharia de São Carlos

Figura 2: Resultado simulado do sensor na detecção de níveis de anemia em pacientes.



Fonte: Autoria Própria

Figura 3: Roteiro de Fabricação



Fonte: Autoria Própria

### 4 Conclusões

Em suma, demonstrou-se modificações estruturais capazes de incrementar a sensibilidade e linearidade de sensores baseados em guias de onda, reduzindo a necessidade de uso de equipamentos complexos, como lasers sintonizáveis e receptores de alta precisão. A eficiência do sensor foi demonstrada em uma aplicação para detecção dos níveis de hemoglobina no sangue e um roteiro de fabricação em laboratórios parceiros foi proposto, a fim de provar que esse sensor é relevante para área biomédica e factível no Brasil.

### Referências

- BAHADORAN, M. et al. Label free identification of the different status of anemia disease using optimized double-slot cascaded microring resonator. **Sci Rep** **12**, 5548 (2022), v. 12, n. 1, apr 2022.
- RIBEIRO, L. **Otimização da Sensibilidade de Sensores Óticos de Índice de Refração Baseados em Guias de Onda**. [S.l.]: Tese (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas, São Carlos, SP, 2021.

Esse trabalho conta com o fomento da FAPESP (2021/11491-1) e colaboração do LPD/Unicamp.

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

## Protótipo de Sistema Fotovoltaico Off Grid de

### Árvore Solar - Fase 1

Rafael Bastos Duarte, Rafael Viana Brant

Prof. Elmer Pablo Tito Cari

Escola de Engenharia de São Carlos

[rafaelb.duarte@usp.br](mailto:rafaelb.duarte@usp.br), [rvbrant@usp.br](mailto:rvbrant@usp.br), [elmerpab@sc.usp.br](mailto:elmerpab@sc.usp.br)

### Objetivos

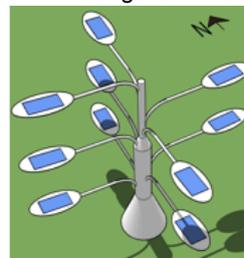
O objetivo é desenvolver um protótipo de árvore solar fotovoltaica. Para isso, são necessários os seguintes objetivos específicos: I. Construção do protótipo virtual tridimensional; II. Pesquisa dos materiais adequados para a estrutura, suporte e revestimento da árvore solar. III. Construir o protótipo de mini árvore solar e teste dos módulos fotovoltaicos para geração de energia; IV. Análise da eficiência de parâmetros como inclinação das folhas com os módulos e durabilidade da estrutura frente a fenômenos como chuvas e ventos; V. Conscientizar o campus USP São Carlos sobre o uso de energia solar a partir do protótipo desenvolvido.

### Métodos e Procedimentos

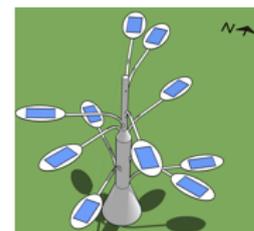
O projeto da mini árvore solar a partir de pequenos módulos foi pensado para ser executado no software SketchUp, que é amplamente utilizado em diversas áreas da engenharia e permite a criação de protótipos virtuais tridimensionais. É necessário considerar os efeitos do sombreamento causado pelas próprias folhas da estrutura, e a otimização do ângulo azimutal e ângulo de orientação das superfícies em que estarão os módulos, de modo a obtermos as células fotovoltaicas perpendiculares aos raios solares da região (São Carlos, SP). Nesta etapa do projeto, foram obtidos os seguintes modelos de árvores. Destaca-se as inspirações em árvores reais nos protótipos c) e e), inspirado em

araucárias e o modelo d), cuja estrutura foi pensado como uma copa de árvore:

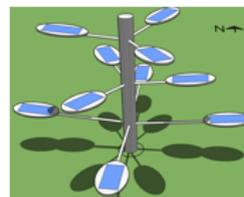
Figura 1: Modelos 3D desenhados



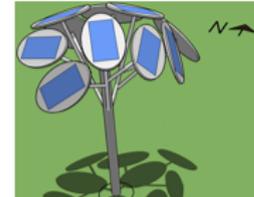
a) ESPCREAL



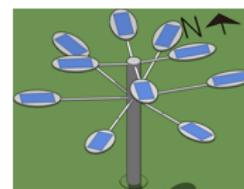
b) ESPCREDES



c) GALPLA



d) COPARV



e) PLANALT

Fonte: Próprios autores

## Sombreamento

Com os dados de perda de potência por sombreamento para cada modelo, com o efeito do sombreamento real (considerando efeito do diodo bypass) e do efeito do horário, foi feita a comparação:

Tabela 1: Comparação do efeito de sombreamento real nos modelos a), b), c) e e)

Modelos	Perdas por sombreamento (%)	Perdas por sombreamento Real (%)	Perdas por sombreamento Real +Hora(%)
ESPCREAL	7,06%	12,29%	12,95%
ESPCREDES	6,60%	13,54%	12,32%
GALPLA	5,52%	9,38%	9,61%
PLANALT	3,10%	6,88%	5,80%

Fonte: Próprios autores

## Energia gerada

Também fizemos a comparação de energia gerada, como visto na tabela a seguir, a exemplo do sombreamento simplificado:

Tabela 2: Comparação da energia gerada nos modelos a), b), c) e e)

Modelos	Energia anual sem sombreamento (kWh)	Energia anual com sombreamento (kWh)
ESPCREAL	3904,95	3629,16
ESPCREDES	3904,95	3647,06
GALPLA	3904,95	3689,36
PLANALT	3904,95	3783,73

Fonte: Próprios autores

## Conclusões

Analisando os resultados das análises de sombreamento como da tabela 1, é evidente que o "PLANAT" se sobressaiu em todos os testes realizados, sendo assim, portanto, o modelo ideal a ser escolhido para a fase seguinte de impressão 3D e testes em laboratório do modelo de árvore solar. No fim, em um possível modelo para o projeto final da árvore foi anexada uma base de 60 cm à árvore solar, que servirá não somente como banco para o uso público, como também para guardar componentes como controlador de carga e bateria.

No final, prevê-se também a disponibilização de tomadas e lâmpadas na base da árvore, para que a energia gerada possa ser utilizada por aqueles que desejarem, contribuindo assim

para o fator de conscientização do uso dessa energia.

Além disso, os testes de sombreamento envolvem somente as sombras formadas pela própria árvore sobre si mesma, e não prevêm sombras geradas por fontes externas como prédios ou outras árvores. Portanto, como o efeito de sombreamento pode ser extremamente prejudicial é altamente recomendado que a árvore seja colocada em local aberto, sem estar sujeita a sombras externas. Recomenda-se também que seja instalada em local de alto movimento de pessoas, visto que a mesma possui o objetivo de ser vista e utilizada para garantir seu propósito de conscientização.

Atualmente, estamos trabalhando em um protótipo de pequeno porte para validar a metodologia. O protótipo está sendo desenvolvido a escala com dimensões reduzidas para futura implementação real, e terá análise estrutural feita em trabalhos posteriores. Por último, estamos buscando empresas parceiras para poder produzir o sistema em grande escala.

## Agradecimentos

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, projeto nº 2022/13338-9, e ao PUB - Programa Unificado de Bolsas, projeto nº 1432, que forneceu o apoio financeiro necessário para a garantir a infraestrutura da pesquisa.

## Referências

CARI, E. P. T. Estudo de sistemas fotovoltaicos off grid: Apostila Módulo 1 e 2 do Curso Solar Fotovoltaico da USP - São Carlos. SEL-EESC-USP, 2020. Disponível em: <http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/>

COUTINHO, C. R. O efeito do sombreamento e diodos de bypass em módulos fotovoltaicos. 2016