

# 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

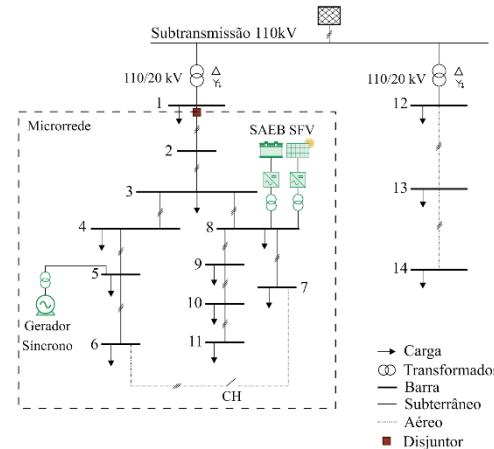
Com a crescente inserção de Recursos Energéticos Distribuídos (RED) na rede elétrica, observa-se que métodos convencionais de proteção podem não mais serem adequados. Nos últimos anos, tem-se estudado as microrredes (MR), caracterizadas como a junção de cargas e RED agindo de forma unificada. Dentro 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-círcuito, 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-círcuito. 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:

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

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

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:

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

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

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

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

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

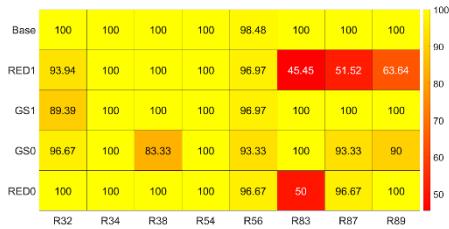
$$0 < TDS_i < 5 \quad (8)$$

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

### 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.; COURY, 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.