

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

## Redes de transmissão de energia: topologias para sincronização com baixo acoplamento

Juliana Lacerda <sup>1</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil

Celso Freitas <sup>2</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil

Elbert Macau<sup>3</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil

Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, Brasil

### 1 Introdução

Redes de transmissão de energia, ou *power grids*, são umas das maiores construções já feitas pelo homem. Representam um exemplo típico de um sistema no qual se tem um comportamento coletivo de unidades dinâmicas interconectadas. Instabilidades locais nessas redes podem resultar em falhas em cascata e até mesmo em *blackouts*. Para que uma rede de transmissão elétrica funcione perfeitamente, seus componentes devem apresentar sincronização nas suas frequências, mesmo quando submetida a repentinas mudanças no consumo do sistema ou a alguma falha em seus componentes. Portanto, essas redes devem ser construídas de maneira a serem estáveis e robustas em relação a falhas e distúrbios, de maneira que o estado síncrono seja preservado. [3]

Fontes renováveis de energia, de natureza estocástica, como solar e eólica, estão se tornando cada vez mais comuns e isso faz com que a topologia e a funcionalidade das redes de transmissão de energia mudem drasticamente ao longo do tempo. A produção de energia se torna descentralizada e heterogênea, podendo degradar o estado síncrono, comprometendo o total funcionamento da rede. O impacto que a topologia da rede tem na sua dinâmica coletiva e na operação da rede de transmissão elétrica ainda é objeto de intensos estudos. [4]

### 2 Metodologia

Redes de transmissão de energia elétrica podem ser descritas com o uso de redes complexas de osciladores, onde as linhas de transmissão são descritas por arestas e os gerado-

---

<sup>1</sup>juliana.lacerda@inpe.br

<sup>2</sup>cbnfreitas@gmail.com

<sup>3</sup>elbert.macau@inpe.br

res/consumidores de energia são representados por nós. O modelo de oscilador utilizado nesse trabalho, que descreve o comportamento dos geradores/consumidores, é descrito pelo modelo de Kuramoto de segunda ordem. [2]

Partindo de uma situação onde existem 15 geradores e 15 consumidores, foi utilizada a técnica de otimização evolutiva chamada *edge snapping evolutivo* [1, 5] para a geração topologias de redes de osciladores de Kuramoto de segunda ordem que favorecem sincronização de frequência e tem um número reduzido de arestas [5]. Quando comparadas com redes aleatórias com o mesmo número de arestas, mostra-se que elas atingem sincronização para um valor menor da constante de acoplamento, que é um dos parâmetros do modelo de Kuramoto de segunda ordem.

### 3 Conclusão

As topologias de redes geradas pelo método *edge snapping evolutivo* possuem um número reduzido de arestas e, portanto, são de grande interesse na construção de redes de transmissão de energia, devido aos custos envolvidos na construção das linhas de transmissão. Uma das características marcantes das redes construídas a partir desse método é o fato de que os nós com frequências naturais mais distantes da frequência natural média são os que possuem o maior número de ligações, ou seja, possuem os maiores graus da rede.

### Agradecimentos

Juliana Lacerda gostaria de agradecer ao CNPq. Elbert Macau agradece ao CNPq e à FAPESP (projeto 2015/50122-0).

### Referências

- [1] P. DeLellis, F. Garofalo, M. Porfiri, et al. Evolution of complex networks via edge snapping. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 57(8):2132–2143, 2010.
- [2] G. Filatrella, A. H. Nielsen, and N. F. Pedersen. Analysis of a power grid using a kuramoto-like model. *The European Physical Journal B*, 61(4):485–491, 2008.
- [3] J. Grzybowski, E. E. Macau, and T. Yoneyama. Power-grids as complex networks: emerging investigations into robustness and stability. In *Chaotic, Fractional, and Complex Dynamics: New Insights and Perspectives*, pages 287–315. Springer, 2018.
- [4] M. Rohden, A. Sorge, D. Witthaut, and M. Timme. Impact of network topology on synchrony of oscillatory power grids. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 24(1):013123, 2014.
- [5] F. Scafuti, T. Aoki, and M. di Bernardo. Heterogeneity induces emergent functional networks for synchronization. *Physical Review E*, 91(6):062913, 2015.