

Estudo comparativo de estratégias baseadas em medidas de centralidade e heurísticas para ataques a redes complexas

Vander Luis de Souza Freitas¹

Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Douglas Meneses Barbosa²

Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Suleimane Ducure³

Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Uma rede complexa é um grafo composto por vértices, representando entidades que compõem o sistema complexo em estudo, e arestas, as quais capturam as interações entre eles. Exemplos são redes de mobilidade, a internet e redes sociais [2].

O objetivo deste trabalho é comparar estratégias baseadas em medidas de centralidade e heurísticas para ataque a redes complexas [1, 4, 7], no intuito de fragmentar sua estrutura.

Utiliza-se grau e *betweenness* para guiar os ataques coordenados que, por sua vez, são efetuados com base em um dos dois cenários a seguir:

- Sem atualização: Inicialmente, calcula-se a métrica (grau ou *betweenness*) relacionada a cada nó e ordena-se os nós em ordem *decrecente*, a partir da métrica escolhida. Ataca-se os nós da rede a partir desta sequência, do mais importante ao menos importante.
- Com atualização: Diferentemente do caso anterior, onde a ordem dos ataques é definida uma única vez no início do processo, aqui recalcula-se a métrica associada a cada nó presente na rede, após cada ataque, e ataca-se aquele de maior valor.

Investigou-se a aplicação de duas heurísticas, a saber Descida Randômica e Busca Tabu [5]. Na Descida Randômica, dada uma solução inicial - sequência de nós a serem removidos da rede -, a heurística explora os vizinhos desta solução, caracterizados por pequenas mudanças no ordenamento do vetor solução. A cada iteração, verifica-se se o vizinho apresenta solução melhor do que a melhor solução encontrada até então. No caso de essa solução existir, zera-se no número de iterações, elege-se a solução encontrada como inicial e repete-se o processo. O algoritmo termina quando o número máximo de iterações for alcançado e o resultado é a melhor solução encontrada. A Busca Tabu também se utiliza da geração de vizinhos de uma dada solução. Porém, considera também uma lista, chamada lista tabu, que guarda uma certa quantidade de soluções testadas. Isso promove uma busca mais aprofundada e evita que as mesmas trocas aconteçam. Apesar disso, há também a chamada função de aspiração, que analisa a troca, mesmo que ela esteja registrada na lista tabu. Na Busca Tabu gera-se uma quantidade de vizinhos e aceita-se aquele que possui a melhor performance, mesmo sendo pior que o da melhor solução e o contador não é reiniciado. A partir desse melhor vizinho, gera-se outros vizinhos e o processo continua até atingir um número máximo de iterações.

¹vander.freitas@ufop.edu.br.

²douglas.meneses@aluno.ufop.edu.br.

³suleimane.ducure@aluno.ufop.edu.br.

Para mensurar o dano causado pelos ataques coordenados, como uma forma de avaliar as soluções - sequência de nós a serem removidos - utiliza-se a seguinte equação:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{\infty}\left(\frac{i}{n}\right) \quad (1)$$

sendo n a quantidade total de nós da rede e $P_{\infty}\left(\frac{i}{n}\right)$ o percentual do tamanho do componente gigante após a remoção de n nós. O fato de R ser normalizado permite a comparação entre as diferentes estratégias em redes de tamanho variado.

Testes foram realizados com 3 redes: aérea [3] (157 nós e 603 arestas), fluvial [6] (140 nós e 405 arestas) e proteínas [1] (2018 nós e 2930 arestas). Em todos os casos, os ataques baseados em métricas com atualização foram os mais eficazes em fragmentar a rede, com os menores valores de R . Em segundo vieram os ataques com as heurísticas, com valores de R por volta de 20% maiores na menor rede e 50% maiores na maior. Ataques com métricas sem atualização apresentaram os piores resultados. Ataques sem atualização são os de menor custo computacional, mas conforme eles acontecem as propriedades da rede mudam e as métricas deveriam ser atualizadas para melhor representá-la. Isso explica os bons resultados da estratégia com atualização, cujo custo computacional é superior ao caso sem atualização, especialmente no cálculo do *betweenness*. Ainda assim, as heurísticas são as mais custosas, pois calculam R milhares de vezes (um parâmetro dos algoritmos), que é naturalmente custoso. Para exemplificar, os tempos gastos na execução dos ataques à rede de proteínas, em um computador com processador Intel i5, com *betweenness* sem e com atualização são de 0,74s e 5,75s, respectivamente; seguido de 1197,79s e 790,77s para Descida Randômica e Busca Tabu. Em suma, as heurísticas são ordens de grandeza mais custosas e não produzem resultados tão eficazes quanto *betweenness* com atualização, nas redes investigadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Referências

- [1] BARABÁSI, A.-L., AND PÓSFAL, M. *Network science*. Cambridge University Press, Cambridge, 2016.
- [2] BOCCALETTI, S., LATORA, V., MORENO, Y., CHAVEZ, M., AND HWANG, D.-U. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports* 424, 4 (2006), 175–308.
- [3] BRASIL. Censo demográfico 2010: Resultados gerais da amostra. <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>, 2021. access 05 Março. 2021.
- [4] FREITAS, V. L. S., MOREIRA, G. J. P., AND SANTOS, L. B. L. Robustness analysis in an inter-cities mobility network: modeling municipal, state and federal initiatives as failures and attacks toward sars-cov-2 containment. *PeerJ* (2021).
- [5] GOLDBARG, E. F. G., GOLDBARG, M. C., AND LUNA, H. P. C. *Otimização Combinatória e Meta-heurísticas: Algoritmos e Aplicações*. GEN LTC, 2015.
- [6] IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Ligações rodoviárias e hidroviárias: 2016*. IBGE, Coordenação de Geografia, 2017.
- [7] IYER, S., KILLINGBACK, T., SUNDARAM, B., AND WANG, Z. Attack robustness and centrality of complex networks. *PloS one* 8, 4 (2013).