

# Uma ferramenta livre para geração de topologias físicas de redes de telecomunicações

Marina Girolimetto<sup>1</sup>, Rafael Augusto Galuppo<sup>1</sup>, Claunir Pavan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Ciência da Computação  
Campus Chapecó – SC – Brasil

marina.gtto@yahoo.com.br, galuppo.rafael@hotmail.com,  
claunir.pavan@uffs.edu.br

**Abstract.** *We present a software to generate realistic optical transport network topologies, named NTT Gen (Network Transport Topology Generator). Topologies generated from this software resemble characteristics of real transport networks and suitable for routing algorithms, techno-economic and network services analysis.*

**Resumo.** *Neste artigo, apresentamos um software gerador de topologias realísticas de redes ópticas de transporte de telecomunicações, chamado de NTT Gen (Network Transport Topology Generator). As topologias geradas refletem vários aspectos das redes reais, incluindo a distribuição do grau nodal, número médio de saltos, conectividade par a par de ligações disjuntas e conectividade par a par de nós disjuntos. As topologias podem ser utilizadas para simular diferentes cenários, em trabalhos como análise de algoritmos de roteamento, tecno-econômica e comportamento de serviços de rede.*

## 1. Introdução

Topologias de redes geradas por computador são amplamente empregadas em tarefas tais como análise de desempenho de algoritmos, estratégias de segurança, engenharia de tráfego, análise tecno-econômica, entre outras. A falta de informações sobre topologias de redes reais em número suficiente para conduzir simulações extensivas motivou o desenvolvimento de softwares para a geração de topologias artificiais [Gunes and Sarac 2007]. Contudo, no âmbito das redes de telecomunicações, a utilização de topologias aleatórias ou topologias baseadas na Internet não são aplicáveis [Pavan et al. 2010], [Naldi 2005].

Um software gerador de topologias de redes que represente as características de redes ópticas de transporte de telecomunicações reais pode evitar decisões incorretas, como a subestimação do impacto de falhas nas ligações ou nos nós e erros de análise de performance em algoritmos de engenharia de tráfego.

A literatura dispõe de um conjunto de geradores de topologias para propósitos diversos: [Waxman 1988], [Doar 1996], [Zegura et al. 1996], [Cheng et al. 2008], [Faloutsos et al. 1999], [Jin et al. 2000], [Magoni 2002], [Palmer and Steffan 2000], [Medina et al. 2001]. Por exemplo no artigo [Waxman 1988], o autor apresenta um modelo para gerar grafos aleatórios onde os vértices (que representam os nós da rede) são distribuídos sobre um plano e arestas (que representam as ligações da rede) são adicionadas ao grafo usando uma função de probabilidade baseada na distância Euclidiana entre os vértices. Em [Doar 1996], [Zegura et al. 1996] a hierarquia multinível encontrada na Internet é utilizada para gerar topologias que refletem a

Internet. Nos geradores apresentados em [Cheng et al. 2008], [Jin et al. 2000], [Magoni 2002], [Palmer and Steffan 2000], [Medina et al. 2001] a distribuição do grau nodal das redes geradas segue uma lei de potência (power-law). Entretanto, esses esforços visaram reproduzir características da Internet que é uma rede livre de escala (scale-free network) [Faloutsos et al. 1999] e, redes de transporte de telecomunicações não são da categoria livre-de-escala.

Neste contexto, o artigo [Pavan et al. 2010] propõe um método para a geração de topologias físicas para redes ópticas de telecomunicações. Nele, os autores também identificaram algumas características de redes reais, como a distribuição do grau nodal, o número médio de saltos necessários para interconexão dos nós, a conectividade par a par de ligações disjuntas, a conectividade par a par de nós disjuntos e o coeficiente de agrupamento. Neste trabalho implementamos um software seguindo o método proposto por [Pavan et al. 2010] e o disponibilizamos gratuitamente para a comunidade científica. Em adição o software calcula uma nova medida, a centralidade de intermediação (betweenness centrality), que indica o número de caminhos mínimos que passam por um nó.

## 2. Gerador de topologias: NTT Gen

O *NTT Gen* (*Network Transport Topology Generator*) é uma ferramenta para geração de topologias físicas para redes ópticas de transporte de telecomunicações. O software foi implementado em linguagem *Java*, utilizando API *Graphstream* [Balev et al. 2010-2012] e requer a Java Virtual Machine 7.0 e está disponível para download no endereço: <https://github.com/nttgen/nttgen>.

Em [Pavan et al. 2010] é proposto um método que tem como base o modelo de Waxman [Waxman 1988]. Topologias geradas através do modelo de Waxman apresentam uma distribuição do grau nodal que tende a Poisson, a mesma distribuição identificada para redes reais de telecomunicações [Pavan et al. 2010].

As topologias de redes de transporte de telecomunicações são, por natureza, sobreviventes, o que significa que cada par de nós deve conter, pelo menos, dois caminhos disjuntos por ligação. A fim de obter esta e outras características, algumas restrições foram incluídas ao modelo de Waxman incluindo a distribuição (posicionamento) dos nós do plano, como pode ser visto no fluxograma da Figura 1.

A probabilidade de uma ligação existir entre um par de nós  $(i, j)$ , segundo o modelo de Waxman, é dada por:

$$P(i, j) = \beta e^{-d(i,j)/v\alpha} \quad (1)$$

em que  $d$  é a distância Euclidiana entre os nós origem e destino  $(i, j)$ ,  $v$  é a distância máxima entre dois nós e  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros para calibração que tem intervalo entre 0 e 1. Na sequência descrevemos o software com mais detalhes.

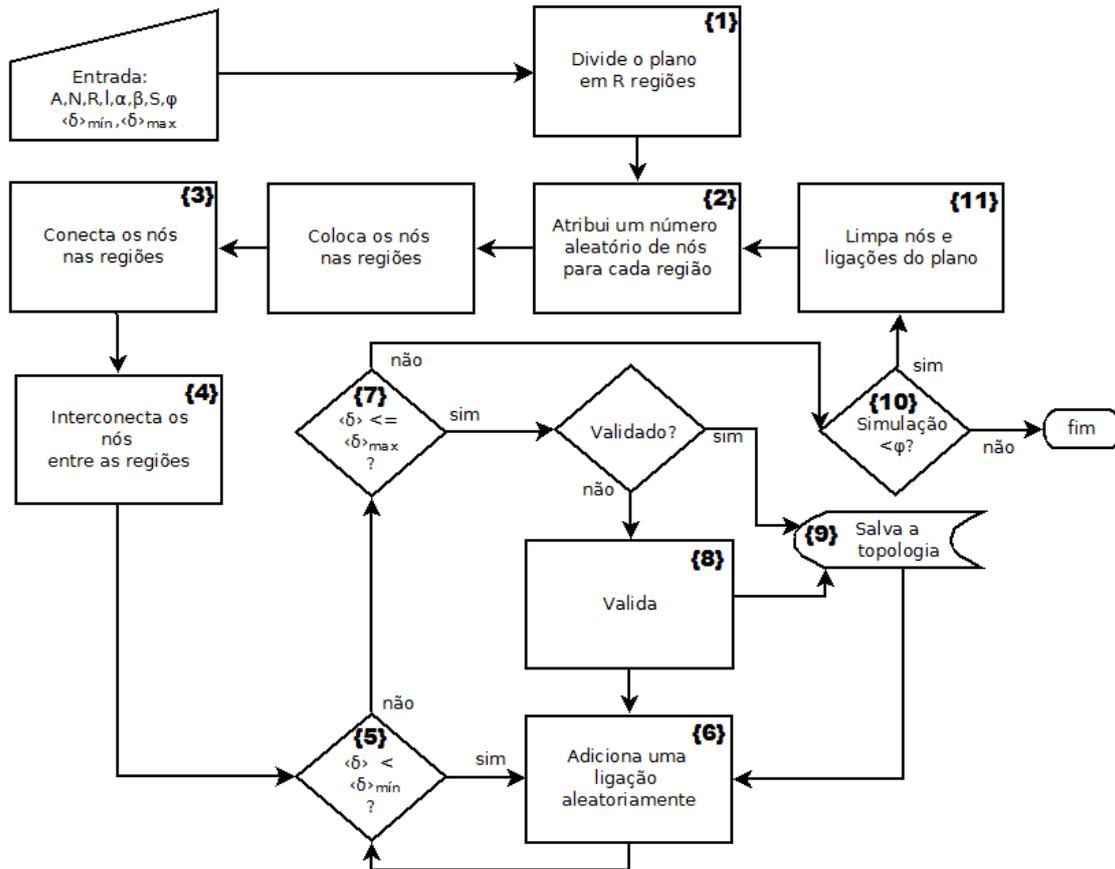


Figura 1. Diagrama de fluxo do algoritmo

Dado um conjunto de entradas (ver Tabela 1), o software simula um plano de lado A, onde as topologias serão instaladas. Este plano será dividido em R regiões de igual tamanho (indicação {1} na Figura 1).

Tabela 1. Variáveis de entrada do NTT Gen

| Variável        | Descrição                                    |
|-----------------|--|
| A               | Raiz quadrada do plano                       |
| N               | Número de nós                                |
| R               | Número de regiões                            |
| l               | Distância mínima entre nós                   |
| α               | Parâmetro de probabilidade de ligação Waxman |
| β               | Parâmetro de probabilidade de ligação Waxman |
| δ<sub>min</sub> | Grau mínimo                                  |
| δ<sub>max</sub> | Grau máximo                                  |
| S               | Posição dos nós (variável ou uniforme)       |
| φ               | Número de simulações                         |

Após a divisão do plano em regiões, um número de nós é atribuído a cada região {2}. Este número de nós é aleatório, contudo, considera as restrições de distância mínima entre os nós e espaço dentro de cada região. A atribuição pode ser realizada de modo uniforme ou de modo variável. No modo uniforme o número de nós  $N$  é dividido pelo número de regiões e, portanto, cada região recebe o mesmo número de nós (exceto quando  $N$  for ímpar), e no modo variável cada região pode receber uma quantidade diferente de nós. Para distribuir os nós neste modo, o algoritmo sorteia inicialmente um número entre 0 e o número de nós que caberiam na primeira região (canto superior esquerdo da área), ou o total de nós  $N$  (considera o que for menor). Se ainda restarem nós para serem distribuídos nas regiões vizinhas, o algoritmo executa o mesmo passo até inserir todos os nós. Caso os nós não couberem na área, o programa é finalizado e uma mensagem é dirigida ao usuário.

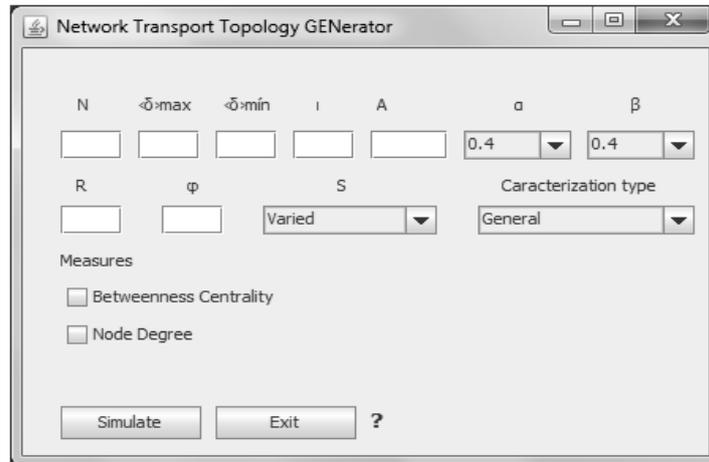
Depois da inserção dos nós no plano, podem existir regiões sem nós, com um nó, com dois ou mais de dois nós. Na sequência são feitas as ligações entre os nós de uma mesma região {3}. Caso a região tiver somente dois nós, eles são ligados diretamente. Se existirem mais de dois nós, será formado um ciclo seguindo a probabilidade de Waxman.

Uma vez que os nós no interior de cada região estão interconectados, é possível interligar os nós entre as diferentes regiões {4}. Portanto, para cada região, pelo menos dois nós serão interligados com outros nós de regiões vizinhas.

A partir de então, é verificado se a topologia alcançou o grau médio mínimo esperado. Se o grau médio mínimo estipulado nos parâmetros de entrada for maior que o atual {5}, então ligações são adicionadas {6} até o grau médio mínimo ser atingido. Estas novas ligações também obedecem a probabilidade de Waxman.

Enquanto o grau médio estiver no intervalo estipulado na entrada do programa, cada nova topologia gerada é armazenada {9}, desde que seja sobrevivente. Uma topologia é sobrevivente a uma falha em uma ligação (um link) se cada par de nós estiver conectado por pelo menos dois caminhos disjuntos por ligações. A verificação de sobrevivência é feita usando o algoritmo de Suurballe [Sousa and Oliveira 2010] {8}. Esta validação é executada repetidamente até obter uma topologia sobrevivente. Novas ligações quando adicionadas em uma topologia sobrevivente {6} não alteram a característica de sobrevivência, portanto, não será preciso nova validação.

Neste ponto, caso o número de simulações não tenha chegado ao máximo escolhido {10}, as variáveis serão zeradas {11} e novos posicionamentos para os nós no plano serão definidos para criar novas topologias. A Figura 2 apresenta a interface do programa *NTT Gen*.



**Figura 2. Interface do programa NTT Gen.**

O programa cria dois arquivos de saída. Em um dos arquivos são registradas as posições dos nós no plano em coordenadas (x, y), junto com a informação das ligações das topologias e o comprimento de cada ligação. No outro arquivo são armazenadas medidas como o número médio de saltos do caminho de trabalho  $\langle h \rangle$ , número médio de saltos do caminho de backup  $\langle h' \rangle$ , o grau do nó mínimo ( $\langle \delta \rangle_{\min}$ ), médio ( $\langle \delta \rangle_{\text{avg}}$ ) e máximo ( $\langle \delta \rangle_{\max}$ ) e o betweenness centrality mínimo (bcMin), médio (bcMed) e máximo (bcMax) de cada topologia. Outras medidas serão implementadas em novas versões do programa. A validação das topologias geradas por este método foi estudada no artigo [Pavan et al. 2010], onde foi observado através de testes estatísticos paramétricos e não paramétricos de Kolmogorov-Smirnov, que as medidas das variáveis das topologias resultantes deste método seguem as mesmas distribuições das variáveis das redes reais, ao nível de significância de 5%. A Figura 3 exibe um exemplo de saída para uma rede com seis nós.

| a) | Id             | nNodes | nEdges | $\langle h \rangle$ | $\langle h' \rangle$ | $\langle \delta \rangle_{\min}$ | $\langle \delta \rangle_{\max}$ | $\langle \delta \rangle_{\text{avg}}$ | bcMin | bcMed | bcMax |
|----|----------------|--------|--------|---------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|
|    | Topology [1:1] | 6      | 9      | 1,4                 | 2,27                 | 2                               | 4                               | 2,67                                  | 0,00  | 2,00  | 6,00  |

| b) | Topology [1:1] (Links) |    |        |
|----|------------------------|----|--------|
|    | From                   | To | Lenght |
|    | 0                      | 1  | 2,83   |
|    | 0                      | 2  | 2,24   |
|    | 1                      | 2  | 3,00   |
|    | 1                      | 3  | 3,00   |
|    | 2                      | 4  | 3,61   |
|    | 2                      | 5  | 5,10   |
|    | 3                      | 4  | 6,08   |
|    | 3                      | 5  | 2,83   |
|    | 4                      | 5  | 5,00   |

| c) | Topology 1 |   |
|----|------------|---|
|    | X          | Y |
|    | 0          | 5 |
|    | 2          | 7 |
|    | 2          | 4 |
|    | 5          | 7 |
|    | 4          | 1 |
|    | 7          | 5 |

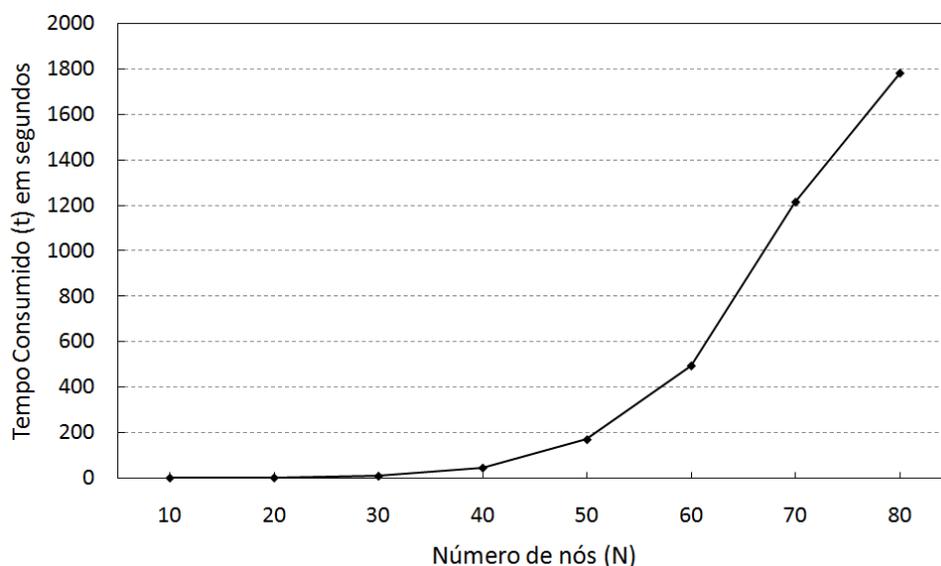
  

| d) | Visualização gráfica de uma topologia gerada. |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
|    | 0   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

**Figura 3. Exemplo de saída do NTT Gen: a) medidas calculadas para cada topologia gerada; b) e c) ligações diretas entre os nós e posição dos nós no plano, respectivamente; d) visualização gráfica de uma topologia gerada.**

## 2.1. Desempenho

A fim de observarmos o desempenho da aplicação em função dos parâmetros de entrada, realizamos um conjunto de simulações considerando diferentes tamanhos de rede (em número de nós) e calculamos o tempo de execução do NTT Gen. Em relação ao número de nós, consideramos valores entre  $N = 10$  e  $N = 80$ ; para o grau médio mínimo e máximo usamos  $\langle \delta \rangle_{\min} = \langle \delta \rangle_{\max} = 3$ ; espaço entre os nós  $l = 2$ ; raiz quadrada da área  $A = 100$ ; parâmetros de probabilidade das ligações Waxman  $\alpha = \beta = 0.4$ ; o número de regiões  $R = \lfloor N/4 \rfloor$ ; número de simulações com cada  $N$  foi de  $\phi = 1$ ; para a posição dos nós usamos a opção “variável/varied” e o tipo de caracterização “geral/general”. Os resultados foram obtidos em um PC Pentium(R) Dual-Core CPU, 2.20GHz com 4GB de RAM.



**Figura 4. Gráfico demonstrativo do desempenho do NTT Gen**

O gráfico da Figura 4 mostra o tempo consumido para gerar uma topologia de rede validada (i.e., sobrevivente) considerando os parâmetros indicados anteriormente. Os tempos variam entre 0.347 segundos e 29.6 minutos para a geração de redes com número de nós entre 10 e 80 e grau médio igual a 3. Contudo, observamos que estes tempos podem variar dependendo da distribuição dos nós nas regiões (que é realizado de maneira aleatória pelo algoritmo). Este é um aspecto que pretendemos melhorar para as próximas versões do programa. O tempo consumido para a geração das topologias inclui o cálculo do número médio de saltos para o caminho de trabalho e número médio de saltos para o caminho de backup. Note que as redes de transporte de telecomunicações, foco do trabalho, têm em geral menos de 100 nós, como pode ser constatado através da lista de redes reais apresentadas em [Pavan et al. 2010].

## 3. Conclusão

Nós estudamos um método proposto na literatura para a geração de topologias físicas de redes de telecomunicações e implementamos um software que chamamos de *NTT Gen* (*Network Transport Topology Generator*). O software produz topologias com as características identificadas como relevantes para as redes de telecomunicações.

Adicionalmente, implementamos novas medidas de grafos que podem ser úteis no processo de simulação e dimensionamento de redes.

### **Agradecimentos**

Trabalho realizado com o auxílio financeiro da UFFS – Universidade Federal da Fronteira Sul, através dos projetos “Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a geração de topologias de redes de telecomunicações” e “Caracterização e geração de topologias realísticas para simulação de redes ópticas de transporte de telecomunicações” referente aos editais 168/UFFS/2011 e 160/UFFS/2012, respectivamente.

### **Referências**

- Balev, S., Baudry, J. Dutot, A., Pigné, Y. and Savin, G. (2010-2012) GraphStream – A Dynamic Graph Library, <http://graphstream-project.org/>, LITIS computer science lab.
- Cheng, L., Hutchinson, N. and Ito, M. (2008) “Realnet: a topology generator based on real Internet topology,” in *Proc. of the 22nd Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications, AINAW '08*, p. 526–532.
- Doar, M. (1996) “A better model for generating test networks,” in *Proc. of the IEEE Global Telecommunications Conf., GLOBECOM '96*, pp. 86–93.
- Faloutsos, M., Faloutsos, P. and Faloutsos, C. (1999) “On power-law relationships of the Internet topology,” in *Proc. of the Conf. On Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication, SIGCOMM '99*, New York, NY, USA: ACM, p. 251–262.
- Gunes, M.H. and Sarac, K. (2007) “Inferring subnets in router-level topology collection studies,” in *IMC '07: Proc. of the 7th ACM SIGCOMM Conf. on Internet Measurement*, New York, NY, USA: ACM, p. 203–208.
- Jin, C., Qian, C. J. and Jamin, S. (2000) “Inet: Internet topology generator,” Technical Report CSE-TR-433-00, EECS Department, University of Michigan.
- Magoni, D. (2002) “Nem: a software for network topology analysis and modeling,” in *Proc. of the 10th IEEE Int. Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems, MASCOTS '02*, p. 364–371.
- Medina, A., Lakhina, A., Matta, I. and Byers, J. (2001) “Brite: an approach to universal topology generation,” in *Proc. of the 9th Int. Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, MASCOTS '01*, p. 346–353.
- Naldi, M. (2005) “Connectivity of Waxman topology models,” in *Comput. Commun.*, vol. 29, no. 1, p. 24–31.
- Palmer, C. and Steffan, J. (2000) “Generating network topologies that obey power laws,” in *Proc. of the IEEE Global Telecommunications Conf., GLOBECOM '00*, vol. 1, p. 434–438.

- Pavan, C., Morais, R. M., da Rocha, J. R. F. and Pinto, A. N. (2010) “Generating realistic optical transport network topologies”, in *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 2, p. 80–90.
- Sousa, A. F. de and Oliveira, J. M. S. dos S. (2010) “Protecção máxima de redes de telecomunicações”, <http://ria.ua.pt/handle/10773/7557>
- Waxman, B. (1988) “Routing of multipoint connections,” in *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 6, no. 9, pp. 1617–162.
- Zegura, E., Calvert, K. and Bhattacharjee, S. (1996) “How to model na internetwork,” in *Proc. of the 15th Annu. Joint Conf. of the IEEE Computer Societies. Networking the Next Generation. INFOCOM’96*, vol. 2, p. 594–602.