

## 6

### Resultados e Discussões

Este capítulo apresenta as redes simuladas, os resultados obtidos, o comparativo destes e comentários pertinentes. Como mencionado na seção 1.2, este projeto tem dois objetivos. O primeiro seria ratificar e mensurar o ganho em desempenho de redes ópticas quando conversores de comprimento de onda são introduzidos em cada nó; e o segundo seria determinar a disposição sub-ótima de um número limitado de WC's que proporcionem um ganho em desempenho em termos de probabilidade de bloqueio.

A ratificação do ganho em desempenho escopo do primeiro objetivo é apresentada com as simulações descritas na seção 6.1, juntamente com os resultados mensurados e comentários pertinentes.

Os resultados obtidos através das metodologias de alocação propostas são apresentados na seção 6.2. As curvas de desempenho são comparadas com as obtidas através dos métodos descritos na seção 5.3 e comentários pertinentes são apresentados.

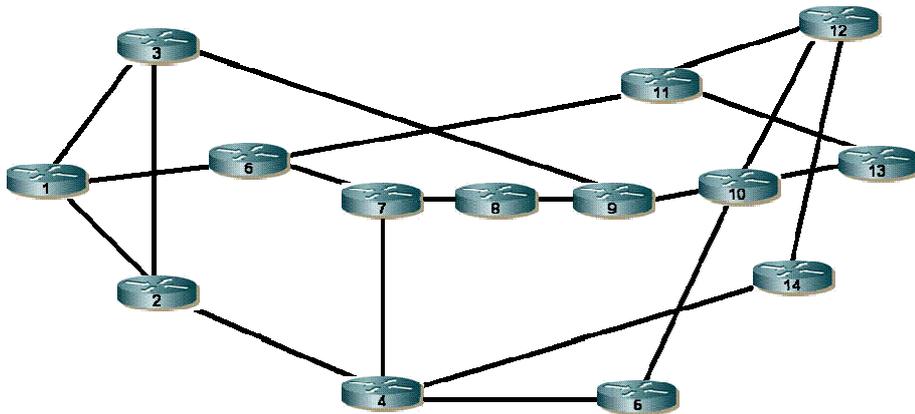
#### 6.1

##### **Análise do Ganho Conversão Total x Conversão Zero**

As redes consideradas para investigação do ganho em desempenho com a introdução de dispositivos de conversão bem como para aplicação dos métodos propostos são redes comumente utilizadas em trabalhos neste campo de pesquisa.

A primeira topologia corresponde ao backbone *National Science Foundation*, também conhecido como NSFNET. Esta rede é composta por 14 nós e 20 enlaces bidirecionais (composta de duas fibras unidirecionais, de acordo com o modelo de rede apresentado na seção 5.1). A matriz de tráfego foi composta considerando demanda de tráfego entre todos os pares de nós (premissa adotada em todas as topologias), perfazendo um total de 182 conexões. Considerou-se 12 comprimentos de onda por enlace bidirecional e, para a composição do caso extremo de conversão (CT), são necessários 480 conversores de comprimento de

onda.



**Figura 6.1 – Topologia 1 (NSFNET)**

A segunda topologia, conhecida como TORÓIDE 4x4 (Figura 6.2), é uma rede mais complexa, composta por 16 nós, 32 enlaces bidirecionais, matriz de tráfego com 240 conexões e 15 comprimentos de onda por enlace bidirecional. Para a composição do caso de conversão total, são necessários 960 conversores ópticos.

A terceira (Figura 6.3) é a utilizada no estudo de caso feito em [23] e é uma representação de doze estados brasileiros. Esta rede é composta por 12 nós, 20 enlaces bidirecionais, 132 conexões e 12 comprimentos de onda por enlace bidirecional. Para a composição do caso CT, são necessários 480 conversores.

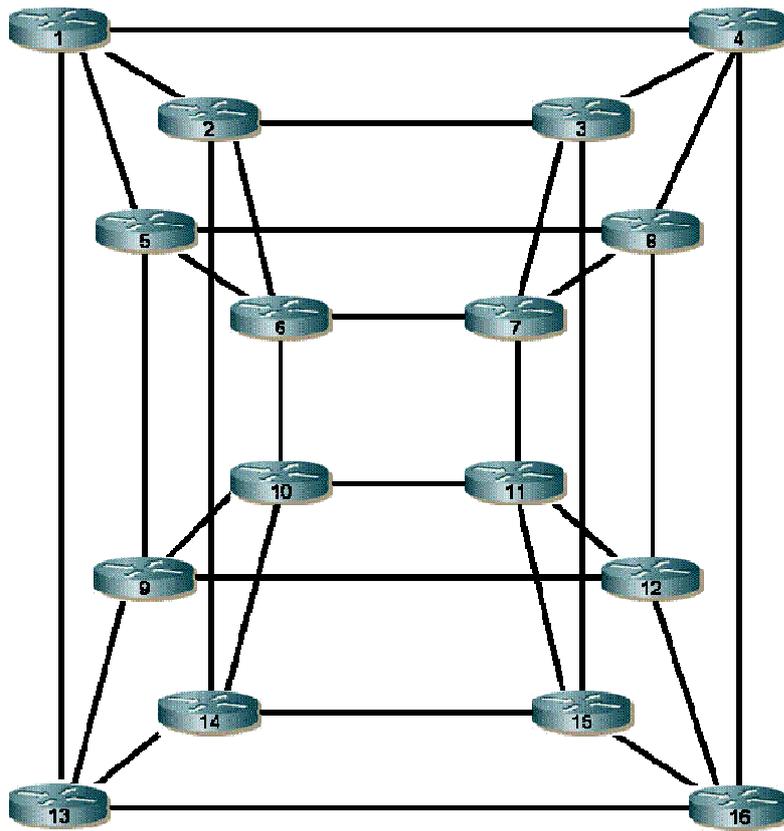


Figura 6.2 – Topologia 2 (TORÓIDE 4x4)

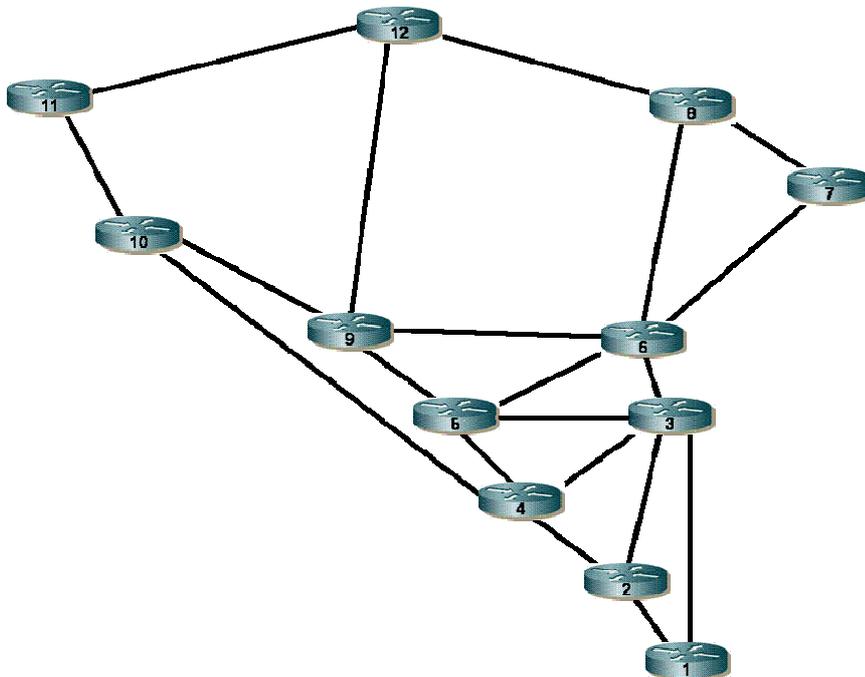
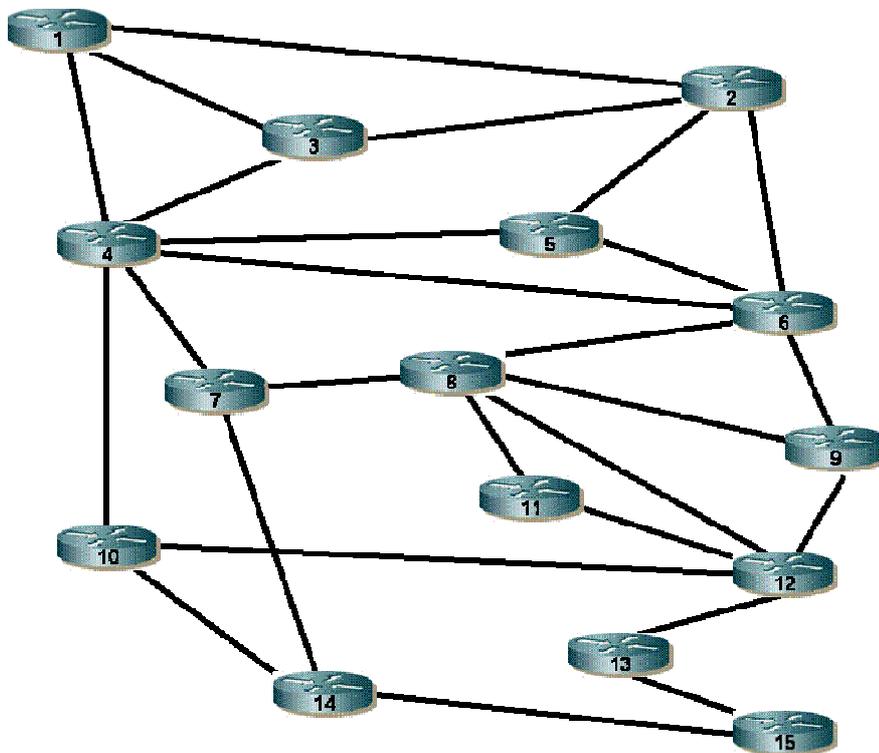


Figura 6.3 – Topologia 3 (HIPOTÉTICA)

A quarta e última corresponde ao Backbone da Bellcore, localizado na costa leste dos Estados Unidos. Esta rede é composta por 15 nós, 26 enlaces bidirecionais, 210 conexões e 15 comprimentos de onda por enlace bidirecional. Para o caso CT, são necessários 735 conversores.



**Figura 6.4 – Topologia 4 (BACKBONE BELLCORE)**

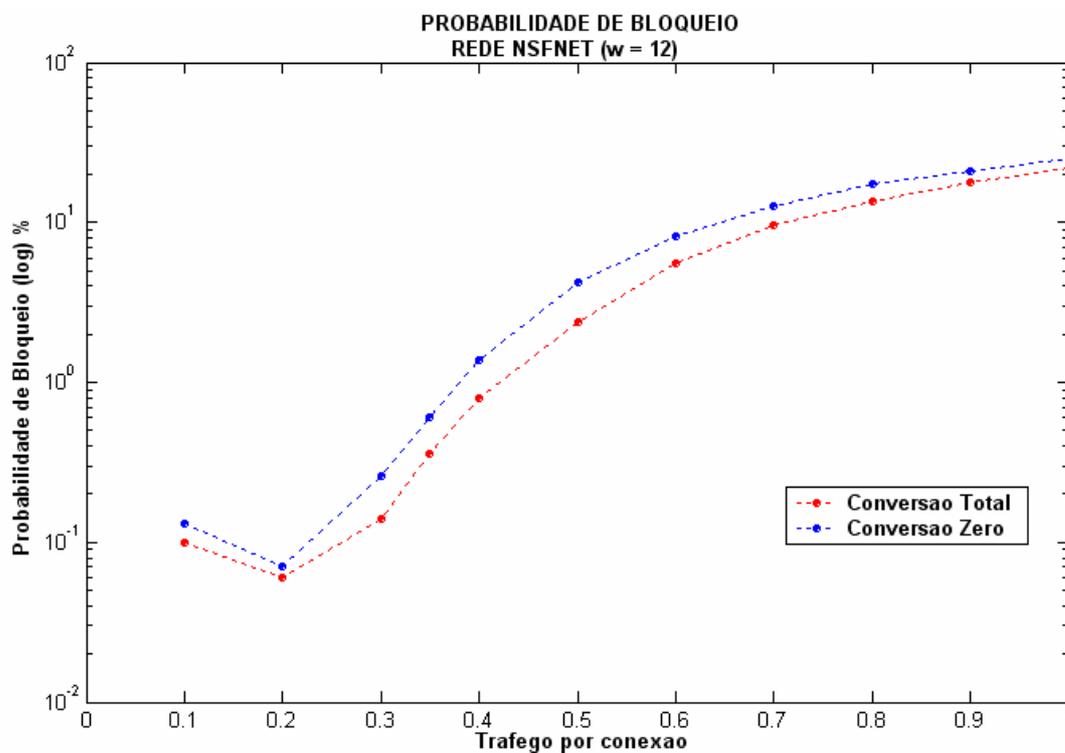
Na primeira abordagem do trabalho, que objetiva comprovar o ganho em desempenho com a utilização de conversores, considera-se os dois casos extremos: CT e CZ. Para cada uma das topologias, o tráfego de cada uma das conexões foi sendo ampliado, para observação do comportamento em termos do número médio de chamadas bloqueadas.

Ao longo desta seção, os resultados gráficos em vermelho correspondem ao cenário de conversão total e os dados em azul ao de conversão zero.

Os dados abaixo correspondem a topologia 1.

**Tabela 6.1 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (NSFNET - 12 comprimentos de onda)**

<i>Tráfego</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CT)</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CZ)</i>
0.1	0.10 %	0.13 %
0.2	0.06 %	0.07 %
0.3	0.14 %	0.26 %
0.35	0.36 %	0.61 %
0.4	0.80 %	1.38 %
0.5	2.41 %	4.26 %
0.6	5.60 %	8.20 %
0.7	9.52 %	12.63 %
0.8	13.66 %	17.35 %
0.9	17.92 %	21.11 %
1	21.87 %	25.20 %

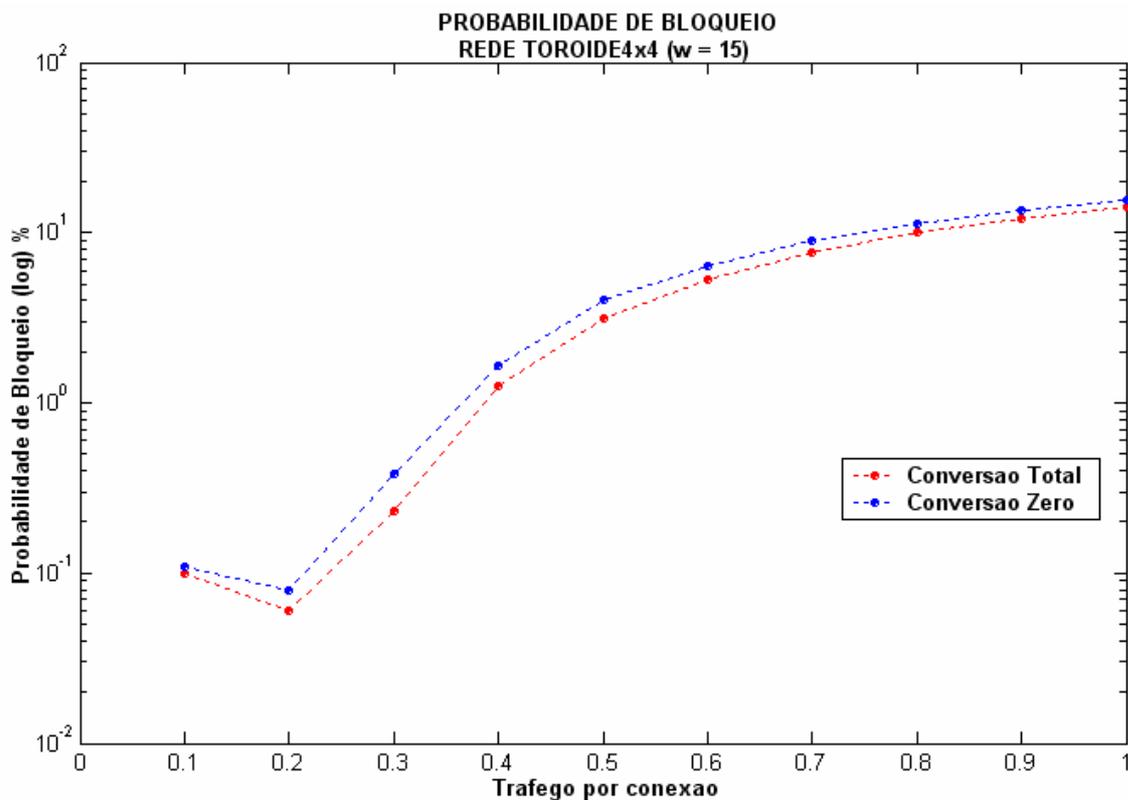


**Figura 6.5 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (NSFNET - 12 comprimentos de onda)**

Os dados abaixo correspondem a topologia 2.

**Tabela 6.2 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (TORÓIDE - 15 comprimentos de onda)**

<i>Tráfego</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CT)</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CZ)</i>
0.1	0.10 %	0.11 %
0.2	0.06 %	0.08 %
0.3	0.23 %	0.38 %
0.4	1.25 %	1.65 %
0.5	3.12 %	4.02 %
0.6	5.35 %	6.40 %
0.7	7.66 %	8.87 %
0.8	10.13 %	11.16 %
0.9	12.14 %	13.41 %
1	14.13 %	15.42 %

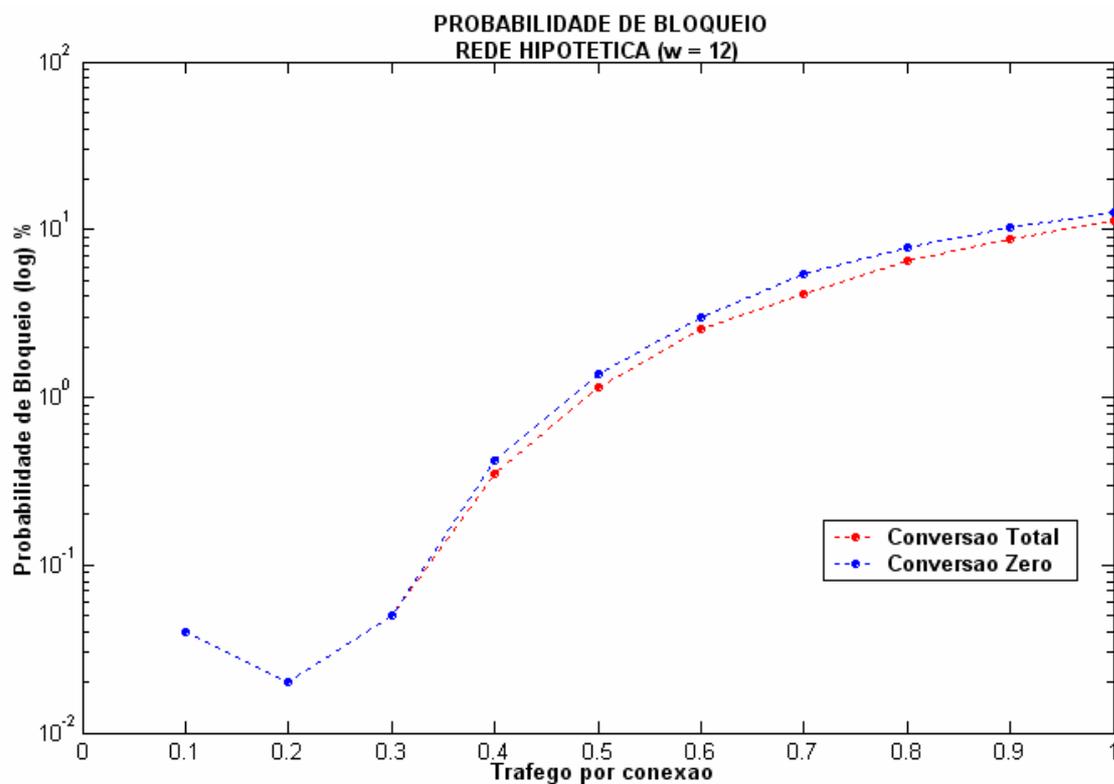


**Figura 6.6 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (TORÓIDE - 15 comprimentos de onda)**

Os dados abaixo correspondem a topologia 3.

**Tabela 6.3 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (HIPOTÉTICA - 12 comprimentos de onda)**

<i>Tráfego</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CT)</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CZ)</i>
0.1	0.04 %	0.04 %
0.2	0.02 %	0.02 %
0.3	0.05 %	0.05 %
0.4	0.35 %	0.42 %
0.5	1.16 %	1.38 %
0.6	2.54 %	3.01 %
0.7	4.09 %	5.38 %
0.8	6.57 %	7.84 %
0.9	8.68 %	10.37 %
1	11.17 %	12.75 %

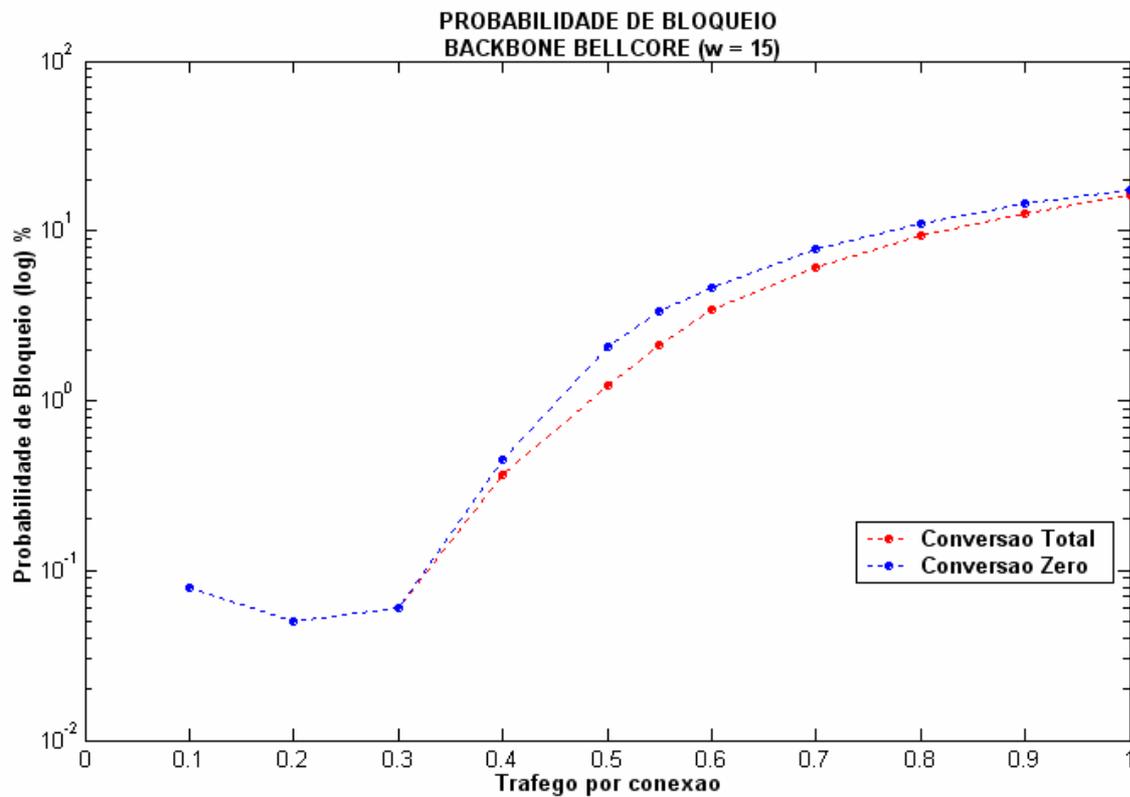


**Figura 6.7 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (HIPOTÉTICA - 12 comprimentos de onda)**

Os dados abaixo correspondem a topologia 4.

**Tabela 6.4 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (BELLCORE - 15 comprimentos de onda)**

<i>Tráfego</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CT)</i>	<i>Probabilidade de Bloqueio (CZ)</i>
0.1	0.08 %	0.08 %
0.2	0.05 %	0.05 %
0.3	0.06 %	0.06 %
0.4	0.37 %	0.45 %
0.5	1.23 %	2.07 %
0.55	2.12 %	3.33 %
0.6	3.40 %	4.59 %
0.7	6.07 %	7.87 %
0.8	9.48 %	11.11 %
0.9	12.63 %	14.52 %
1	16.12 %	17.52 %



**Figura 6.8 – Probabilidade de Bloqueio x Tráfego (BELLCORE - 15 comprimentos de onda)**

Seguem alguns comentários pertinentes aos resultados encontrados:

- i) em condições de baixo tráfego, a probabilidade de bloqueio em ambos os casos (CT e CZ) são equivalentes e possuem valores relativamente baixos;
- ii) a pequena variação da probabilidade de bloqueio em condições de baixo tráfego é considerada uma igualdade estatística;
- iii) a medida que a carga aumenta, as probabilidades de bloqueio também aumentam, e o caso CT passa a apresentar um número maior de chamadas bloqueadas;
- iv) em cada um dos casos, existe uma região que a introdução de conversores reflete em um ganho em termos de probabilidade de bloqueio;
- v) na rede NSFNET, diferentemente das demais, esta região possui dimensão maior;
- vi) a medida que a carga aumenta, o aumento da probabilidade de bloqueio na NSFNET é mais íngreme.

Os comportamentos descritos em i), ii) e iii) são evidentes. O descrito em iv) também, visto que, a medida que aumenta o tráfego injetado na rede, chamadas serão bloqueadas não pela ausência de conversor mas sim pela indisponibilidade de canal óptico nos enlaces. A questão é definir o limiar desta região, que possui relação direta com a justificativa do item v).

É evidente que há diversos fatores que influenciam na dimensão desta região: topologia da rede, total de conexões, matriz de tráfego, número de comprimentos de onda por enlace, algoritmo de roteamento, ...

As linhas que seguem procuram descrever o porquê dos comentários feitos em v) e vi). Para justificar estes fatos, considere os seguintes parâmetros:

- ▼  $W$  = número de canais ópticos em cada fibra unidirecional (definido na subseção 3.1.1);
- ▼  $J$  = quantidade de enlaces ópticos bidirecionais compostos de duas fibras unidirecionais (também definido na subseção 3.1.1);

(NOTA: Os parâmetros a seguir consideram a situação em que há um canal dedicado estabelecido para cada uma das conexões previstas em cada uma das topologias simuladas)

- ▼  $FU_{Média}$  = fator de utilização médio dos J enlaces que compõe a rede;
- ▼  $FU_{Máx}$  = fator de utilização do enlace mais congestionado;
- ▼  $J_{SP}$  = número de enlaces em que o parâmetro  $FU_{Máx}$  é maior que 1 (ou seja, enlaces que requerem um número maior de canais que os “existentes” nos cenários simulados).

Outros parâmetros que serão considerados são a variância do fator de utilização dos enlaces bem como o fator densidade de ocupação dos mesmos, que indica quão próximo da média está a utilização de cada um dos enlaces que compõe a topologia.

**Tabela 6.5 – Parametrização das Redes NSFNET, TORÓIDE 4x4, HIPOTÉTICA e BELLCORE**

<b>W</b>	12	<b>W</b>	15	<b>W</b>	12	<b>W</b>	15
<b>J</b>	20	<b>J</b>	32	<b>J</b>	20	<b>J</b>	26
<b>FU<sub>MED</sub></b>	0.83	<b>FU<sub>MED</sub></b>	0.53	<b>FU<sub>MED</sub></b>	0.57	<b>FU<sub>MED</sub></b>	0.60
<b>FU<sub>Max</sub></b>	1.33	<b>FU<sub>Max</sub></b>	1.8	<b>FU<sub>Max</sub></b>	1.25	<b>FU<sub>Max</sub></b>	1.33
<b>J<sub>SP</sub></b>	6 (30%)	<b>J<sub>SP</sub></b>	3 (9%)	<b>J<sub>SP</sub></b>	1 (5%)	<b>J<sub>SP</sub></b>	3 (11%)

Com relação a rede NSFNET, a média de ocupação dos enlaces é elevada. O fator densidade é concentrado na média (o que significa que a ocupação enlaces tende a uma ocupação uniforme) e, apesar de 30% dos enlaces possuírem fator de utilização superior a 1, estes estão próximos da média e da unidade, ou seja, apesar de grande parte dos enlaces atenderem a um número razoavelmente elevado de chamadas, a dimensão deste compartilhamento é de tal forma que a relação chamada *versus* canal é de 1 para 1.

A observação descrita acima é relevante pois, a medida que a carga injetada na rede aumenta, também aumenta o número de chamadas bloqueadas, visto que a disputa por recursos (canais ópticos) ocorre em na maioria dos enlaces (que

suporta grande parte das conexões), diferentemente das demais redes simuladas em que parte das conexões concentram-se em determinados enlaces. Um outro ponto relevante é que, quanto menor a probabilidade de existir pelo menos um comprimento de onda livre em cada um dos enlaces, menor é a probabilidade de existir pelo menos um mesmo comprimento livre em todos os enlaces. Esta situação possui maior probabilidade de ocorrência nas redes que possuem uma  $FU_{Média}$  elevada e variância pequena. Observando que esta condição reflete o cenário apresentado para a rede NSFNET, e, dado que o tráfego é distribuído pela rede, o ganho com a introdução de dispositivos de conversão é maior, o que justifica o comentário feito em v). Diferentemente das demais redes, que possuem a seguinte particularidade: a média do fator de utilização dos enlaces é baixa e a variância é grande, conforme pode ser visto a seguir.

Com relação a rede TORÓIDE 4x4, a média de ocupação dos enlaces é baixa e o fator densidade é concentrado na média. A dimensão do compartilhamento na maioria dos enlaces é pequena. Porém, existe um único enlace, que suporta aproximadamente 25% das conexões, em que o compartilhamento é da ordem de 2 para 1, aproximadamente. O reflexo disto é uma maior probabilidade de bloqueio das conexões que utilizam este enlace para cursar os tráfegos associados, que conseqüentemente aumenta a probabilidade de bloqueio médio da rede e, como a disputa pelo recurso canal óptico é grande em um ponto único da rede, num enlace que suporta uma quantidade elevada de conexões, a introdução de dispositivos de conversão não traz grandes benefícios para a rede. O benefício é exclusivo para algumas conexões, mas na média este benefício não é refletido em ganho para a rede.

Com relação a rede HIPOTÉTICA, a média de ocupação dos enlaces é baixa e o fator densidade é concentrado na média. A dimensão do compartilhamento na maioria dos enlaces é pequena. O reflexo disto é uma menor probabilidade de bloqueio da rede. Porém, existe um único enlace, que suporta aproximadamente 25% das conexões, em que a dimensão do compartilhamento é de aproximadamente 1.3 para 1. Como conseqüência, a introdução de dispositivos de conversão, em alta carga, não traz grandes benefícios para a rede.

Com relação a rede BELLCORE, o comportamento se assemelha com o da TORÓIDE.

Em suma, a grande diferença da NSFNET com as demais redes, com relação a região maior de ganho apresentada, é que na NSFNET, apesar da média de ocupação ser alta, não há um ponto único de concentração de conexões, ou seja, o tráfego é distribuído uniformemente na rede. Nas demais, apesar da média de ocupação ser pequena, há um número elevado de conexões concentrado em um ponto único, onde os  $W$  comprimentos de onda são compartilhados por um número  $R$  de conexões ( $R > W$ ). Com esta configuração, a introdução de dispositivos de conversão, em alta carga, não traz grandes benefícios para a rede.

## 6.2

### **Comparações entre os métodos de alocação de conversores de comprimento de onda**

Na seção 5.2, os métodos desenvolvidos neste trabalho foram apresentados e utiliza as metaheurísticas PSO, GA e SA para minimização da função apresentada na seção 3.1. Na seção 5.3, foram apresentados os algoritmos existentes em fontes de literatura: os métodos denominados Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico. Na presente seção, os resultados apresentados por cada um dos métodos, aplicados as topologias descritas em 6.1, são comparados em termos da probabilidade de bloqueio, considerando o número e alocação dos conversores de comprimento de onda.

A caracterização das topologias em termos de número de comprimentos de onda por fibra unidirecional e quantidade total de conexões está em conformidade com a seção 6.1. Com relação a carga por conexão, conforme tabelas 6.1 a 6.4, procurou-se trabalhar com a carga que apresenta valores médio de bloqueio próximos aos valores usuais adotados em projetos de redes. Para as redes NSFNET e TORÓIDE 4x4, considerou-se 0.5 Erlang por conexão; para a HIPOTÉTICA, 0.5 Erlang e para o Backbone BELLCORE, 0.55 Erlang por conexão.

### 6.2.1

#### Resultados Topologia 1 (NSFNET)

Analisando o número total de conexões que atravessa cada nó da rede, observa-se que, no caso de existir uma rota estabelecida para cada uma das 182 conexões, os nós ditos mais congestionados, ou seja, que atendem a um fluxo maior de conexões, são os nós 4, 6, 7 e 10.

Analisando ainda o resultado apresentado por cada um dos 6 métodos discutidos, observa-se também uma concentração maior de conversores nestes mesmos nós.

Cabe ressaltar que, diferentemente do método Xi, Arakawa e Murata que, a partir de um total de  $N_c$  conversores, o algoritmo propõe a alocação sub-ótima destes conversores, os métodos propostos partem de uma probabilidade de bloqueio máxima sugerida em busca da solução sub-ótima, que é apresentada em termos de número mínimo de conversores necessários e alocação específica.

A tabela 6.6 abaixo apresenta a quantidade de conversores oferecida por cada um dos métodos propostos, para uma probabilidade de bloqueio sugerida, bem como a probabilidade de bloqueio *real*, quando simula-se a rede com cada um dos resultados obtidos.

**Tabela 6.6 – Nº de Conversores x Probabilidade de Bloqueio \_ Métodos Propostos (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)**

PB SUGERIDA	Nº de Conversores através do seguintes Métodos			PB REAL (SIMULAÇÃO)		
	PSO	GA	SA	PSO	GA	SA
3.15 %	33	33	33	2.60 %	2.32 %	2.60 %
3.65 %	24	24	27	2.79 %	2.65 %	2.84 %
4.10 %	18	18	20	3.00 %	2.61 %	2.77 %
4.6 %	14	14	15	2.94 %	2.82 %	2.89 %
5%	11	11	12	3.14 %	3.01 %	3.05 %
5.5 %	8	8	8	3.29 %	3.40 %	3.40 %
6%	5	6	5	3.40 %	3.55 %	3.37 %
6.5 %	4	4	4	3.40 %	3.50 %	3.58 %
7%	2	2	2	3.77 %	4.08 %	3.86 %

Cabe ressaltar que, apesar de na maioria dos casos o número de conversores oferecidos por cada um dos métodos propostos serem equivalentes, as alocações destes são diferentes. Apesar da função acusar uma mesma probabilidade de bloqueio para estas diferentes soluções, quando simula-se com estas configurações, observa-se quão boas são cada uma delas.

A tabela a seguir apresenta os valores da probabilidade de bloqueio obtida através de cada um dos métodos e considera os valores de bloqueio obtidos com a função e através do simulador.

Uma observação imediata dos valores de bloqueio apresentados por cada um dos métodos de cômputo, é quanto a imprecisão da função apresentada na seção 3.1.

Tabela 6.7 – Resultados das Probabilidades de Bloqueio das soluções obtidas a partir dos Métodos Propostos e dos Métodos Convencionais, computados através da função e do cálculo real (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

Nº Conversores	PB FUNÇÃO					PB REAL (SIMULAÇÃO)					
	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	SIM
480 (CT)	2.67 %					2.41 %					
33	3.15 %	3.15 %	3.15 %	3.19 %	3.11 %	2.60 %	2.32 %	2.60 %	2.63 %	2.73 %	2.62 %
27			3.58 %	3.50 %	3.39 %			2.84 %	2.55 %	2.67 %	2.62 %
24	3.64 %	3.62 %		3.67 %	3.58 %	2.79 %	2.65 %		2.70 %	2.53 %	2.77 %
20			4.10 %	4.01 %	3.88 %			2.77 %	2.77 %	2.63 %	2.77 %
18	4.09%	4.05 %		4.15%	4.05 %	3.00 %	2.61 %		2.64 %	2.83 %	2.82 %
15			4.58 %	4.46 %	4.36 %			2.89 %	2.97 %	2.90 %	2.70 %
14	4.51 %	4.55 %		4.59 %	4.48 %	2.94 %	2.82 %		2.96 %	3.18 %	2.96 %
12			4.90 %	4.88 %	4.73 %			3.05 %	3.15 %	2.77 %	2.99 %
11	4.92 %	4.97 %		5.01 %	4.86 %	3.14 %	3.01 %		3.07 %	3.13 %	2.97 %
8	5.33 %	5.48 %	5.40 %	5.37 %	5.33 %	3.29 %	3.40 %	3.40 %	3.32 %	3.29 %	3.14 %
6		5.88 %		5.82 %	5.75 %		3.55 %		3.22 %	3.31 %	3.30 %
5	6 %		5.97 %	6 %	5.97 %	3.40 %		3.37 %	3.40 %	3.37 %	3.35 %
4	6.37 %	6.22 %	6.29 %	6.22 %	6.22 %	3.40 %	3.50 %	3.58 %	3.50 %	3.50 %	3.56 %
2	6.82 %	6.86 %	6.83 %	6.83 %	6.81 %	3.77 %	4.08 %	3.86 %	3.86 %	3.73 %	3.73 %
0 (CZ)	7.48 %					4.26 %					

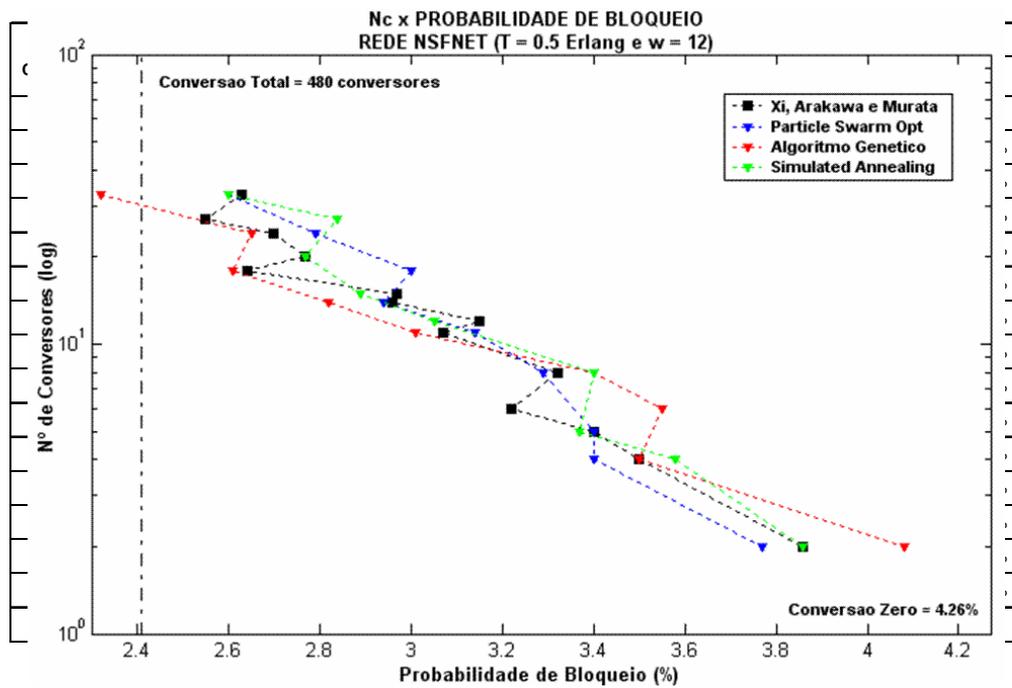


Figura 6.9 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

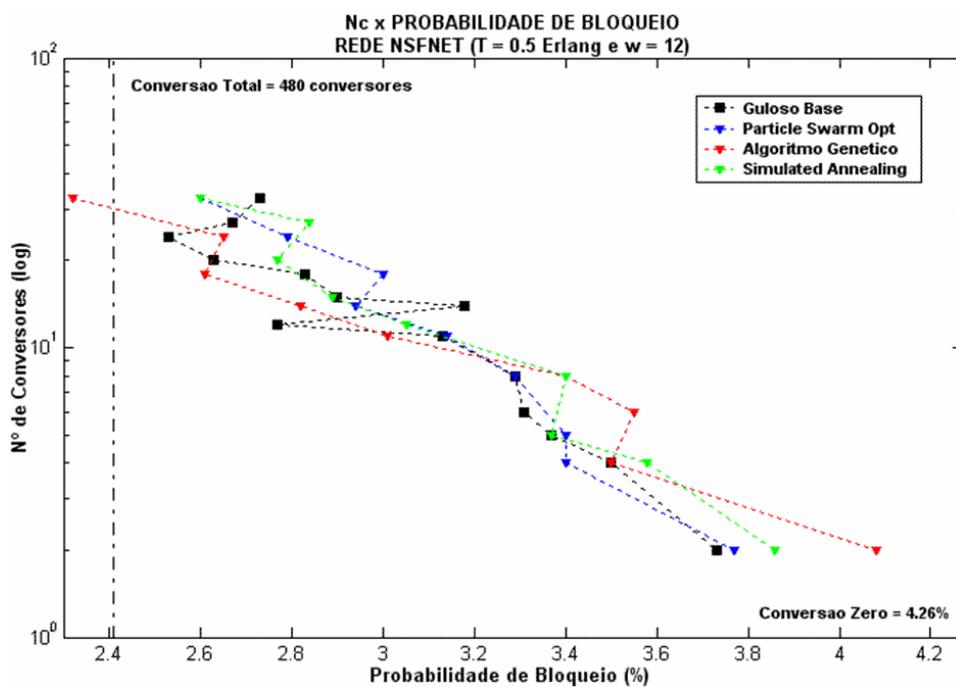


Figura 6.10 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

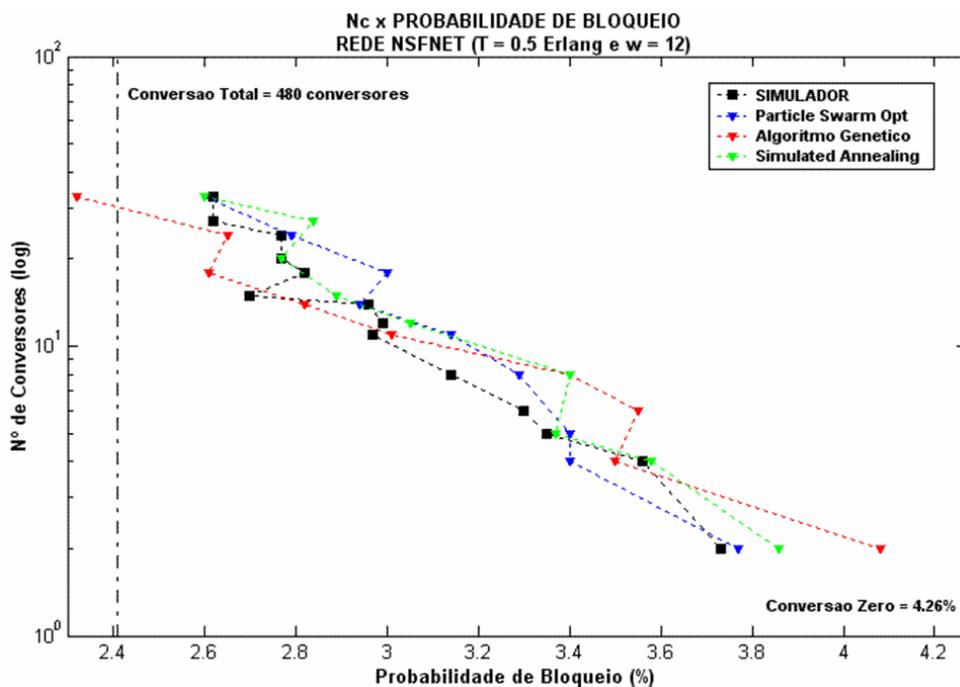


Figura 6.11 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

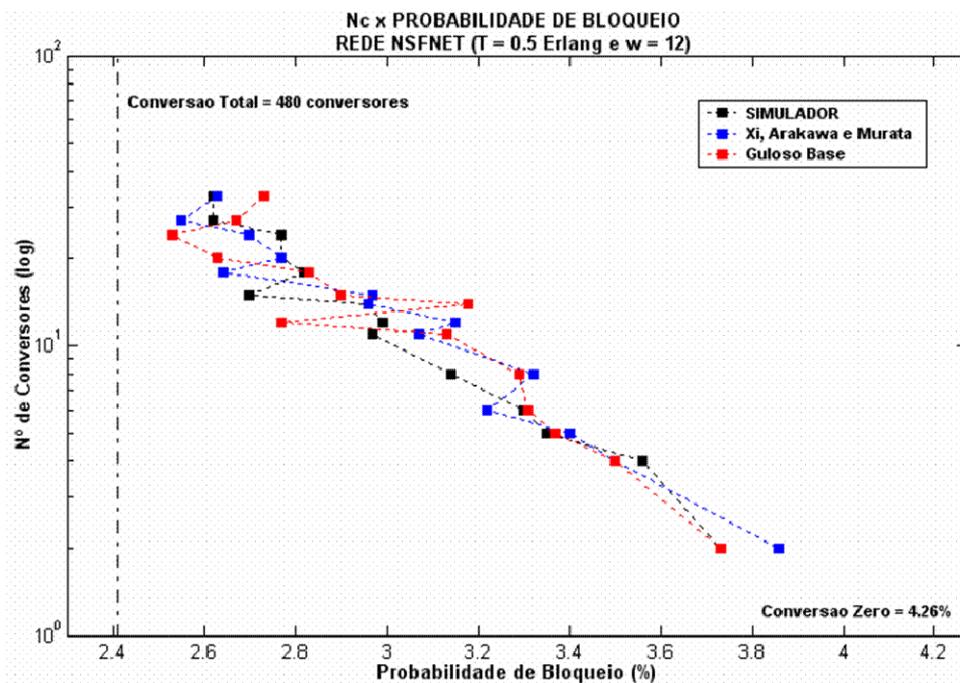


Figura 6.12 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

Uma segunda observação interessante é com relação a solução apresentada pelo algoritmo genético, na solução com 33 conversores. Conforme pode ser observado, esta solução apresenta um valor de bloqueio menor que o caso extremo de conversão total. Até então, o esperado era que o caso CT apresenta-se uma menor probabilidade de bloqueio (seção 2.3).

A subseção a seguir objetiva apresentar uma melhor compreensão para este fato.

## 6.2.2

### Rede de Referência - Anel com 6 nós

A Figura 6.12 apresenta uma rede de referência composta de 6 nós, 6 enlaces bidirecionais onde cada enlace está configurado para suportar 2 comprimentos de onda em cada uma das direções.

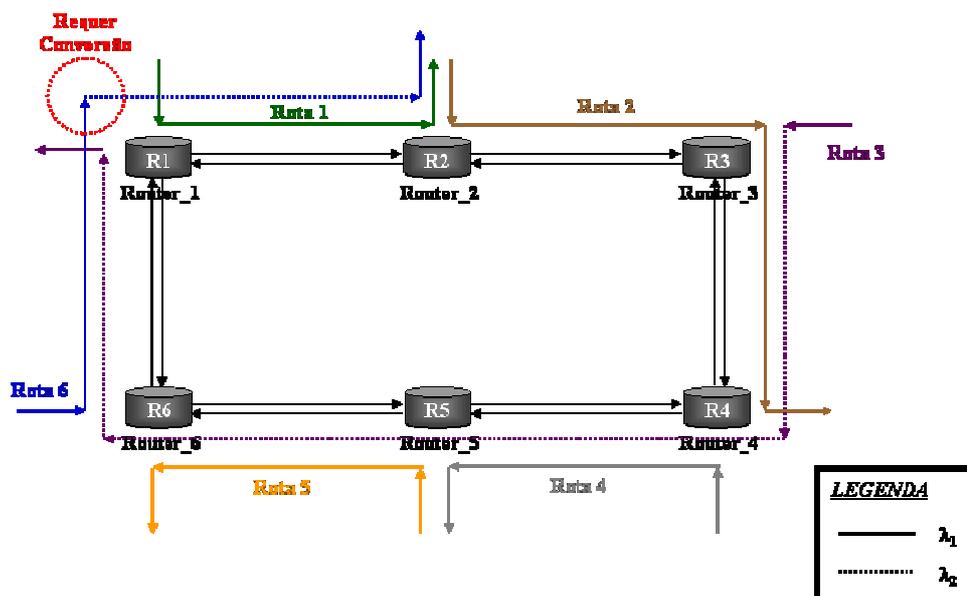


Figura 6.13 – Topologia Rede de Referência em Anel

Supondo conexões unidirecionais, suportadas pela rotas conforme representado na figura acima, observa-se que, para atendimento a todas as conexões simultaneamente, o esquema de alocação de comprimento de onda em cada um dos enlaces, para atendimento a todas as conexões, deve preferencialmente seguir o representado na figura acima, além de ser necessário

um conversor no nó 1 para atendimento a Rota 6.

Isto leva a crer que, a introdução do conversor no nó 1, *necessariamente* beneficiará o desempenho da rede. Seguem os resultados encontrados:

---- RESULTADOS DA SIMULAÇÃO ---

(Cenário Conversão Zero e 0.5 Erlang por conexão)

Total de Chamadas = 3.044

Chamadas Bloqueadas = 712

Prob. Bloqueio = 23.39 %

ESCOAMENTO DAS ROTAS

Rota 1 -> Cursado 79.47 % 422 em 531 chamadas

Rota 2 -> Cursado 85.17 % 425 em 499 chamadas

Rota 3 -> Cursado 53.66 % 264 em 492 chamadas

Rota 4 -> Cursado 85.21 % 432 em 507 chamadas

Rota 5 -> Cursado 83.76 % 423 em 505 chamadas

Rota 6 -> Cursado 71.76 % 366 em 510 chamadas

---- RESULTADOS DA SIMULAÇÃO ---

(Cenário Nó 1 com 1 Conversor e 0.5 Erlang por conexão)

Total de Chamadas = 3.033

Chamadas Bloqueadas = 709

Prob. Bloqueio = 23.38 %

ESCOAMENTO DAS ROTAS

Rota 1 -> Cursado 81.62 % 413 em 506 chamadas

Rota 2 -> Cursado 85.35 % 431 em 505 chamadas

Rota 3 -> Cursado 50.50 % 255 em 505 chamadas

Rota 4 -> Cursado 82.79 % 428 em 517 chamadas

Rota 5 -> Cursado 82.21 % 416 em 506 chamadas

Rota 6 -> Cursado 77.13 % 381 em 494 chamadas

Os números acima oferecem conclusões importantes. De acordo com o diagrama da rede, o primeiro ponto a ser observado é que o conversor introduzido no nó 1 beneficia única e exclusivamente a Rota 6. Os números refletem isto: apesar da probabilidade de bloqueio média da rede não variar com a introdução deste, o tráfego cursado da Rota 6 aumenta consideravelmente, enquanto que o da Rota 3 decresce. De fato este resultado é esperado pois, a medida que aumenta a probabilidade de sucesso no estabelecimento de conexões para as requisições provenientes da Rota 6, o atendimento a Rota 3 fica comprometido - além de possuir a restrição de continuidade de comprimento de onda, a disputa em um dos enlaces aumenta, o que diminui a probabilidade de sucesso na alocação dos recursos para atendimento a esta conexão.

Face ao exposto, é correto afirmar que o ganho em desempenho com a introdução de conversores não é uniformemente distribuído entre todas as conexões. Na verdade, o que ocorre é que, parte das conexões são favorecidas, enquanto uma outra parte pode ou não ser prejudicada pois, com o aumento do tráfego cursado pela rede, cresce a disputa por recursos da rede, resultando assim em uma maior indisponibilidade de alguns destes recursos.

Com isto em mente, será adotada a seguinte estratégia: a carga de tráfego das 182 conexões será reduzida para 0.4 Erlang, com o objetivo de reduzir a concorrência pelos recursos, uma vez que diminui o número médio de requisições por unidade de tempo. Serão mantidas as configurações obtidas na subseção 6.2.1.

### **6.2.3**

#### **Resultados NSFNET (0.4 ERLANG por conexão)**

Seguem os resultados obtidos.

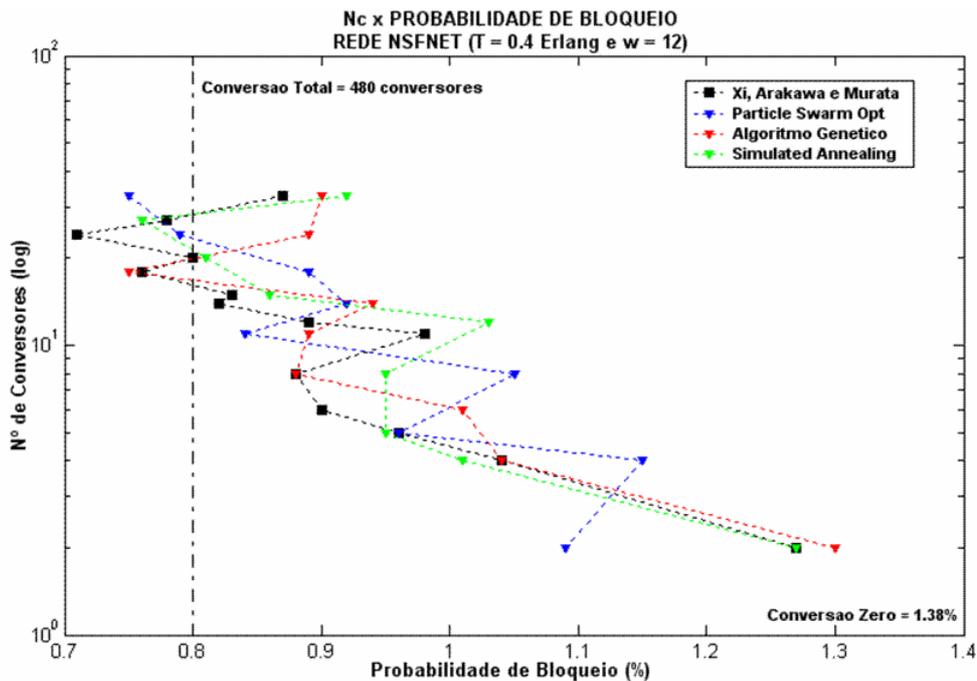


Figura 6.14 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

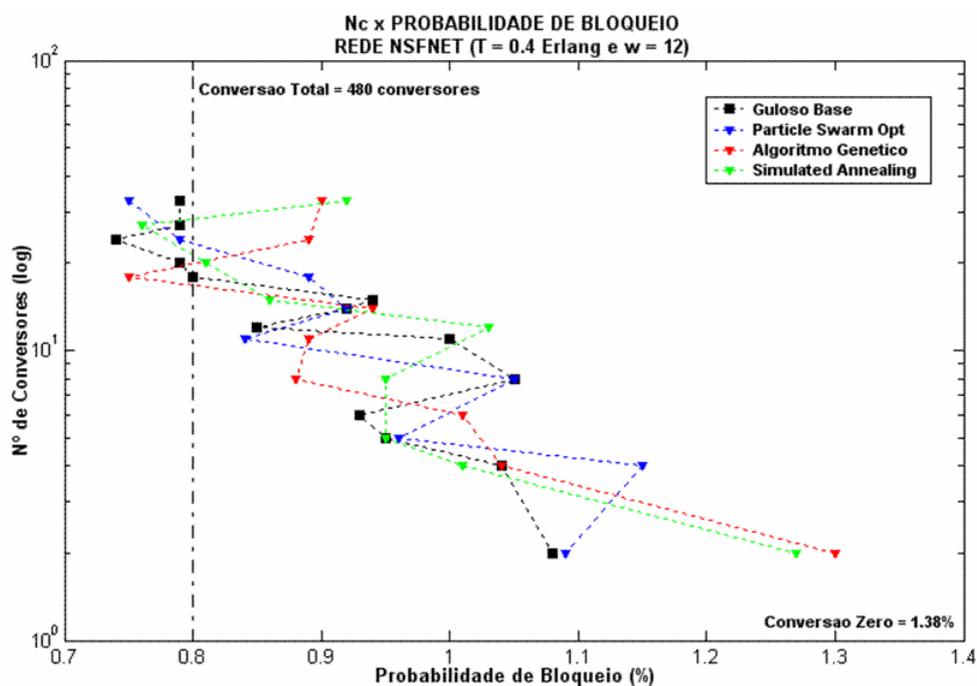


Figura 6.15 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

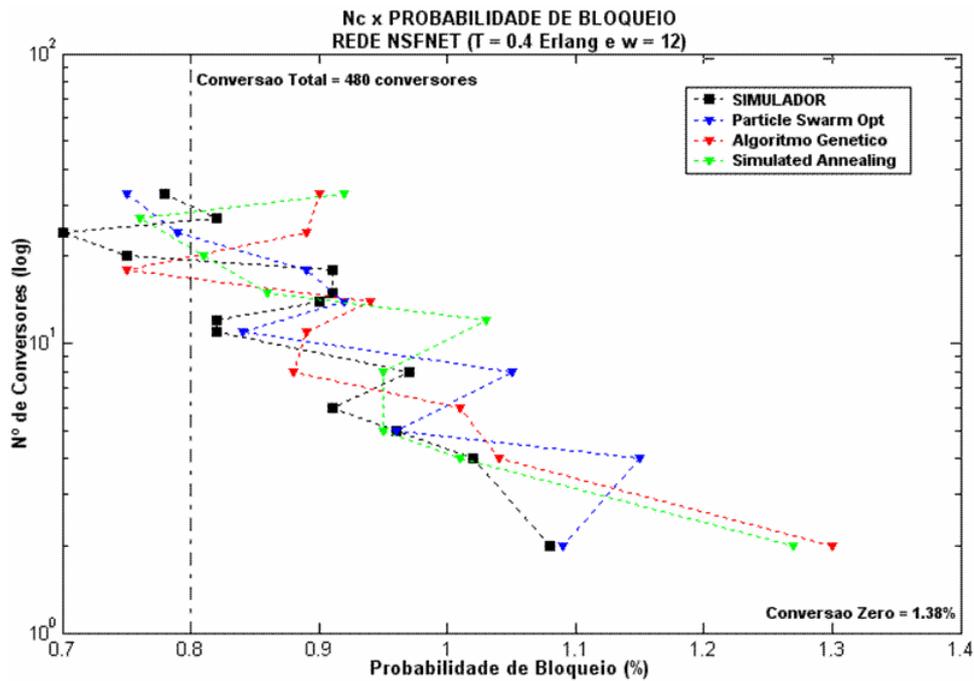


Figura 6.16 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

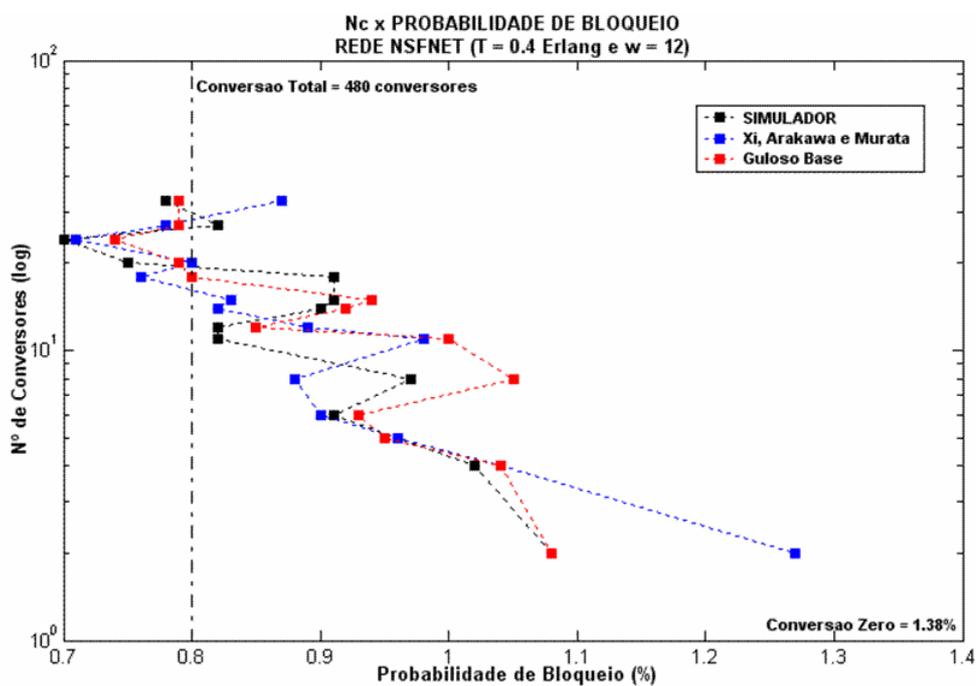


Figura 6.17 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico (NSFNET – 12 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

Com a redução da carga do tráfego de cada uma das conexões, observa-se

uma diminuição na probabilidade de bloqueio dos casos extremos CT e CZ. Observa-se também uma maior ocorrência do efeito da distribuição não uniforme do ganho em desempenho com o acréscimo de conversores.

Um dos motivos é que, apesar das configurações consideradas terem sido obtidas para minimização do bloqueio na mesma topologia, por terem sido obtidas em um cenário que contempla um volume maior de tráfego, o comportamento do bloqueio de chamadas não é o mesmo, quando reduz-se a carga injetada na rede.

#### 6.2.4

#### Resultados Topologia 2 (TORÓIDE 4x4)

Analisando o número total de conexões que atravessa cada nó da topologia, observa-se que os nós ditos mais congestionados são os nós 1, 2, 3 e 4. Nos nós 11, 12, 13 e 14, o fluxo de conexões que atravessam é bem pequeno e zero no caso dos nós 15 e 16. Comparando com os resultados apresentados por cada um dos 6 métodos discutidos, observa-se que as soluções sugeridas concentram todos os conversores nos nós de menor índice.

**Tabela 6.8 – Nº de Conversores x Probabilidade de Bloqueio \_ Métodos Propostos (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)**

PB SUGERIDA	Nº de Conversores através do seguintes Métodos			PB REAL (SIMULAÇÃO)		
	PSO	GA	SA	PSO	GA	SA
3.50 %	27	28	30	3.13 %	3.09 %	3.05 %
3.75 %	20	21	21	3.20 %	3.26 %	3.37 %
4.00 %	16	16	19	3.31 %	3.25 %	3.32 %
4.25 %	12	13	17	3.07 %	3.11 %	3.39 %
4.50 %	9	9	12	3.38 %	3.31 %	3.38 %
4.75 %	7	8	8	3.39 %	3.31 %	3.49 %
5%	6	6	6	3.63 %	3.63 %	3.34 %
5.3 %	3	3	4	3.87 %	3.77 %	3.77 %
5.55 %	2	2	2	3.86 %	3.68 %	3.68 %

Tabela 6.9 – Resultados das Probabilidades de Bloqueio das soluções obtidas a partir dos Métodos Propostos e dos Métodos Convencionais, computados através da função e do cálculo real (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

Nº Conversores	PB FUNÇÃO					PB REAL (SIMULAÇÃO)					
	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	SIM
960 (CT)	3.26 %					3.12 %					
30			3.49 %	3.83 %	3.43 %			3.05 %	3.11 %	3.30 %	3.00 %
28		3.50 %		3.86 %	3.47 %		3.09 %		3.11 %	3.08 %	3.29 %
27	3.50 %			3.93 %	3.50 %	3.13 %			3.40 %	3.13 %	3.00 %
21		3.75 %	3.73 %	4.03 %	3.70 %		3.26 %	3.37 %	3.23 %	3.29 %	3.37 %
20	3.75 %			4.04 %	3.74 %	3.20 %			3.22 %	3.17 %	3.17 %
19			4.00 %	4.06 %	3.79 %			3.32 %	3.12 %	3.21 %	3.17 %
17			4.09 %	4.09 %	3.89 %			3.39 %	3.11 %	3.31 %	3.16 %
16	3.95 %	3.96 %		4.11 %	3.95 %	3.31 %	3.25 %		3.14 %	3.31 %	3.26 %
13		4.23 %		4.33 %	4.15 %		3.11 %		3.33 %	3.32 %	3.16 %
12	4.23 %		4.50 %	4.37 %	4.23 %	3.07 %		3.38 %	3.29 %	3.37 %	3.28 %
9	4.50 %	4.50 %		4.63 %	4.50 %	3.38 %	3.31 %		3.30 %	3.38 %	3.38 %
8		4.69 %	4.75 %	4.69 %	4.60 %		3.31 %	3.49 %	3.31 %	3.38 %	3.43 %
7	4.74 %			4.82 %	4.72 %	3.39 %			3.51 %	3.50 %	3.26 %
6	4.93 %	4.93 %	4.95 %	4.95 %	4.83 %	3.63 %	3.63 %	3.34 %	3.29 %	3.55 %	3.55 %
4			5.24 %	5.11 %	5.11 %			3.77 %	3.74 %	3.74 %	3.74 %
3	5.29 %	5.27 %		5.27 %	5.27 %	3.87 %	3.77 %		3.76 %	3.76 %	3.76 %
2	5.43 %	5.44 %	5.44 %	5.44 %	5.43 %	3.86 %	3.68 %	3.68 %	3.68 %	3.69 %	3.68 %
0 (CZ)	5.82 %					4.02 %					

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310470/CA

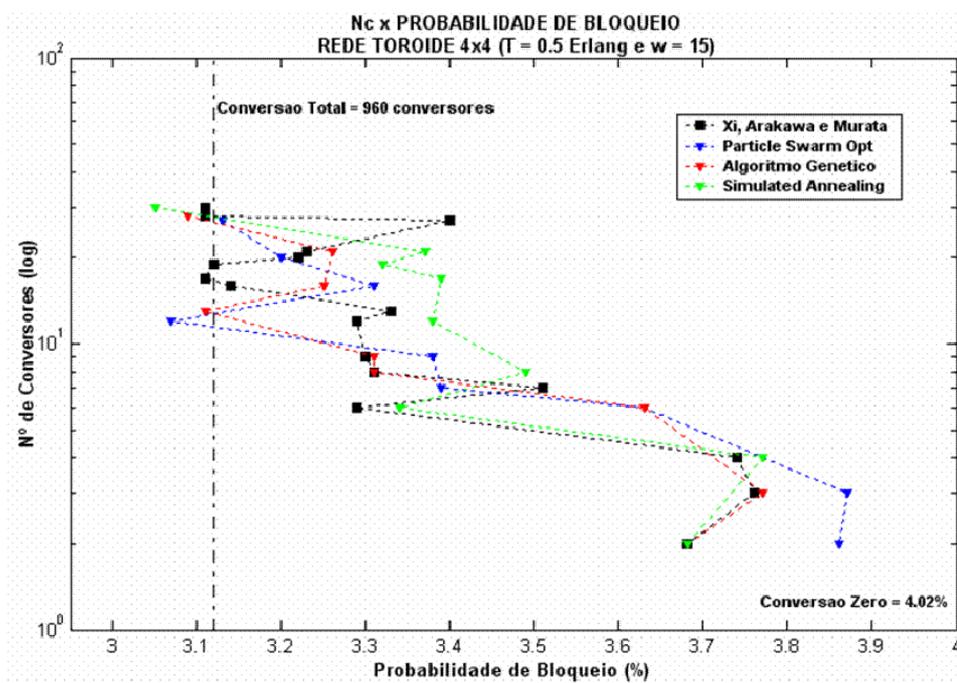


Figura 6.18 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

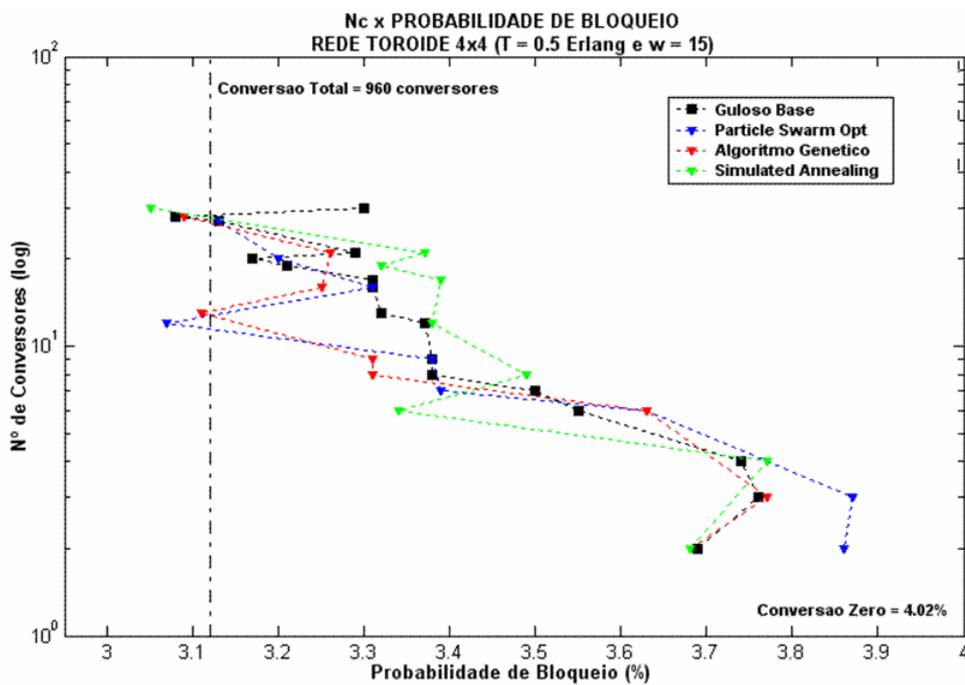


Figura 6.19 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)

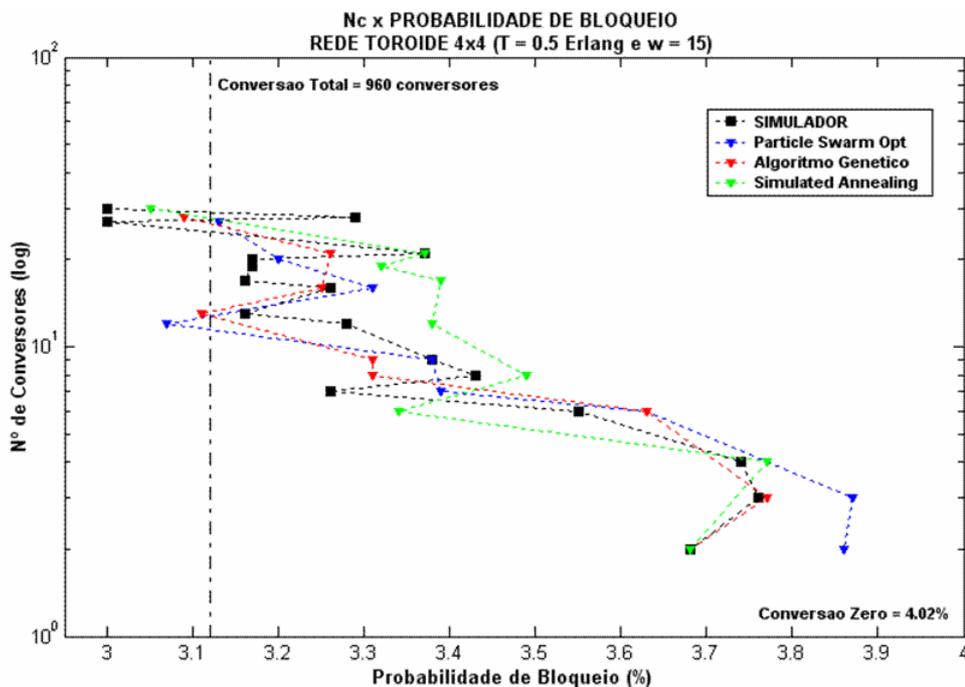
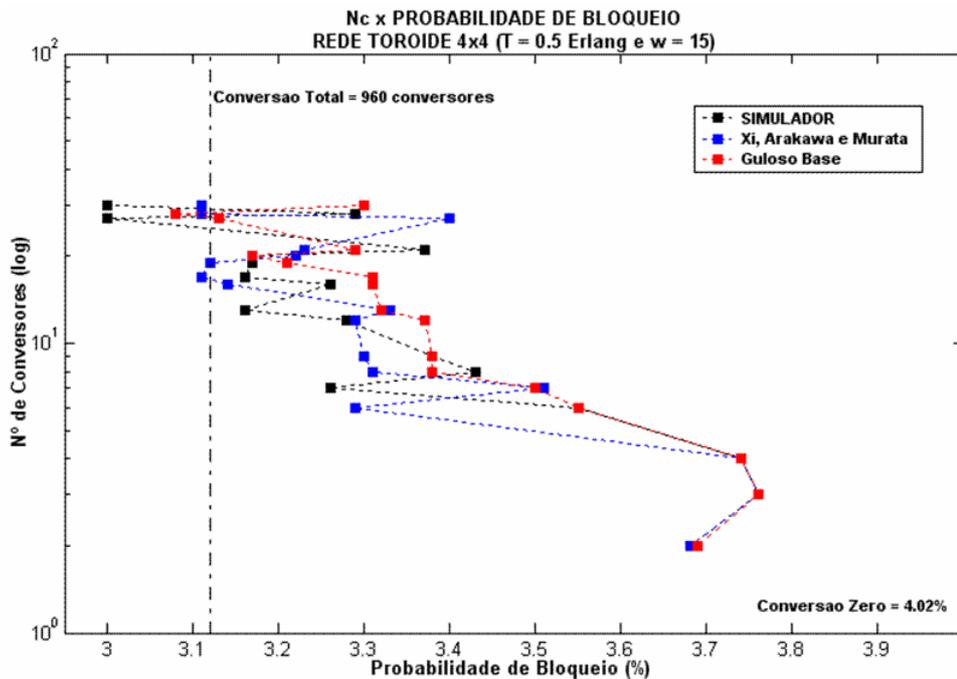


Figura 6.20 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)



**Figura 6.21 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.5ERLANG por conexão)**

Os resultados também refletem a imprecisão da função descrita na seção 3.1, principalmente na região de conversão zero. Observa-se também a ocorrência do efeito da distribuição não uniforme do ganho em desempenho, principalmente na região cujos valores de bloqueio estão nas proximidades do caso extremo CT. A medida que afasta-se desta região, nota-se que com aproximadamente 2% (20) do total de conversores do caso CT, obtém-se valores de bloqueio próximos ao obtido com a conversão total.

Adotando-se estratégia similar a adotada no caso da NSFNET: a carga de tráfego das 240 conexões será reduzida para 0.4 Erlang.

## 6.2.5

## Resultados TORÓIDE 4x4 (0.4 ERLANG por conexão)

Seguem os resultados obtidos.

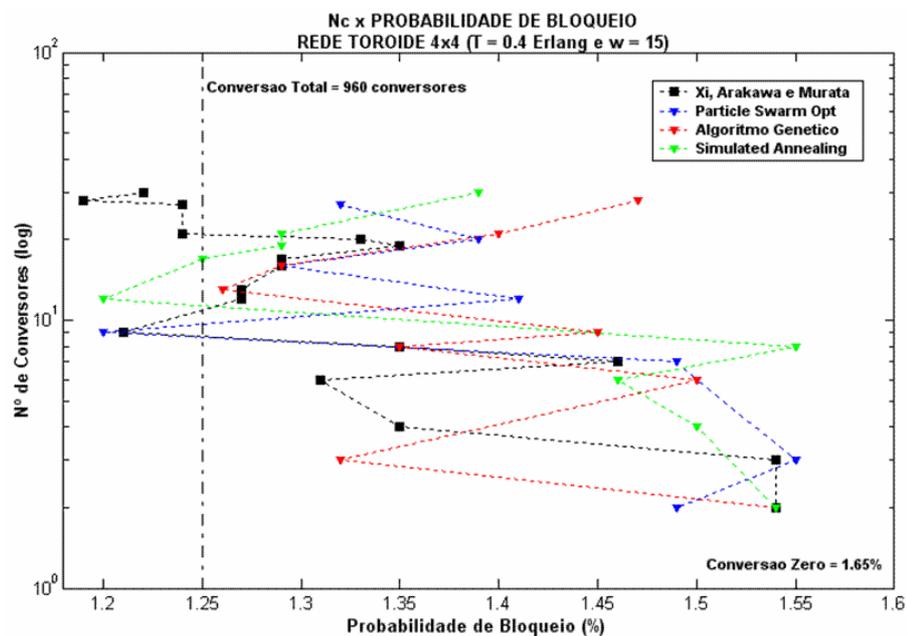


Figura 6.22 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

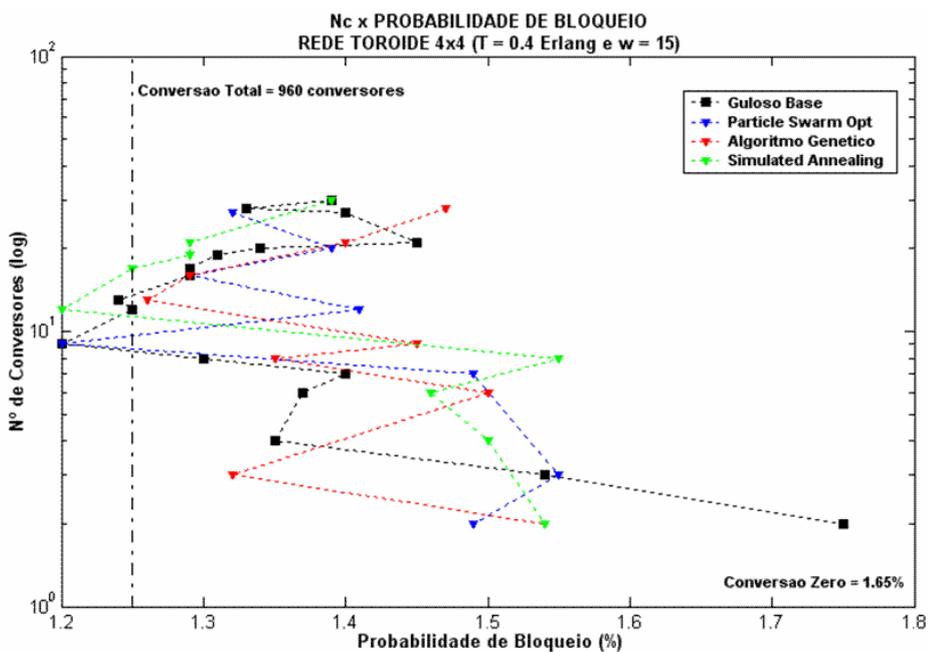


Figura 6.23 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

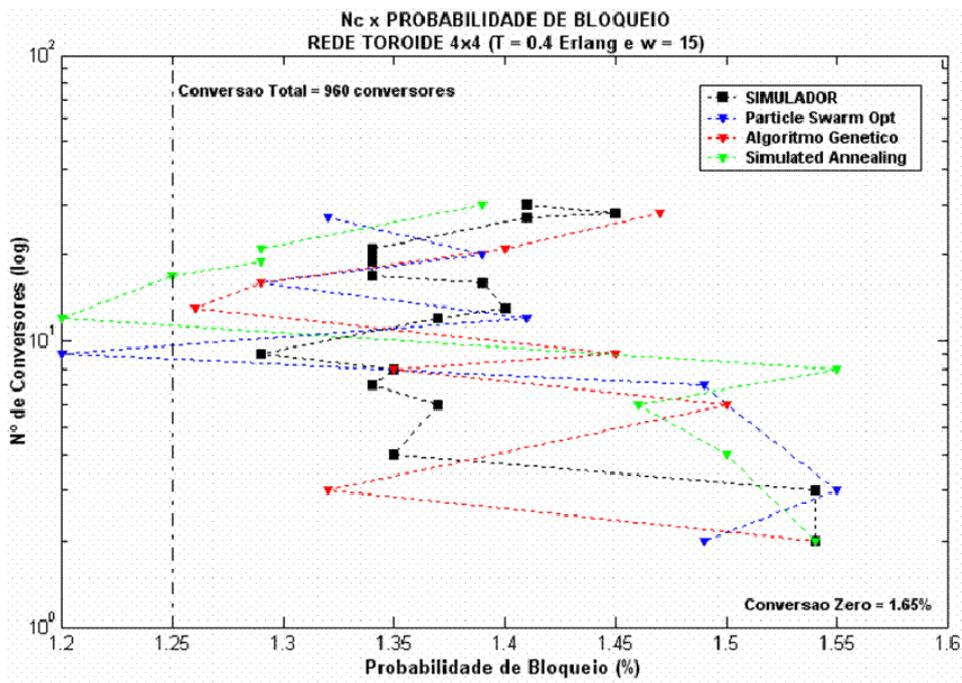


Figura 6.24 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

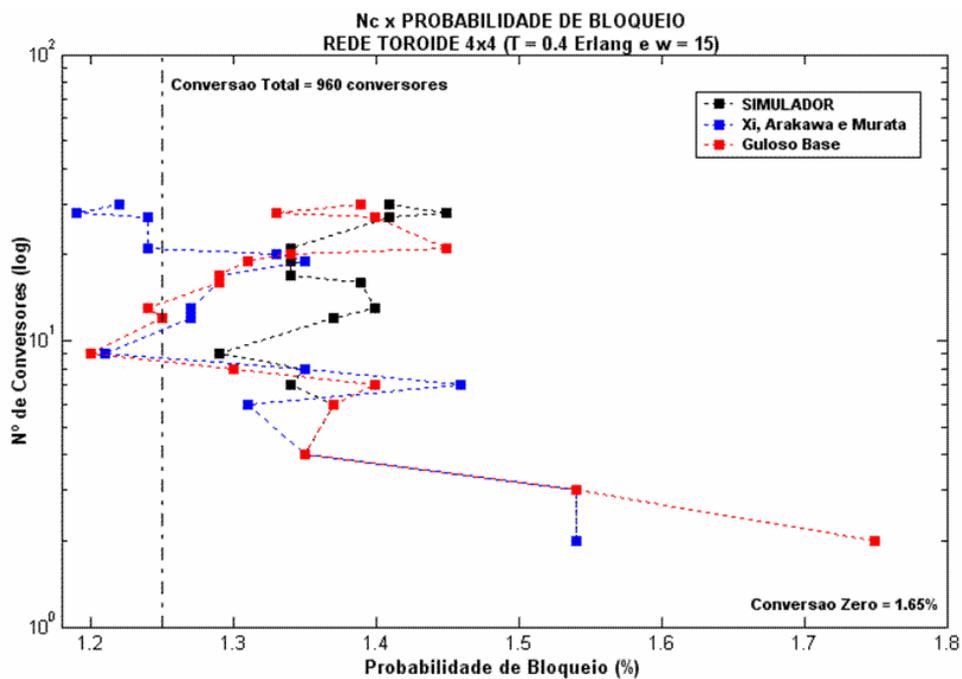


Figura 6.25 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico (TORÓIDE 4x4 – 15 comprimentos de onda e 0.4ERLANG por conexão)

Observa-se um comportamento similar com o apresentado pela rede NSFNET quando a estratégia de redução da carga é adotada. É claro que, uma vez que as condições da rede são alteradas, as configurações obtidas com as estratégias de minimização em condições diferentes não provêm garantia de resultados sub-ótimos.

## 6.2.6

### Resultados Topologia 3 (HIPOTÉTICA)

Analisando o número total de conexões que atravessa cada nó da rede, observa-se que os nós ditos mais congestionados são os nós 3, 4, 6, 9 e 10. No nó 12, o fluxo de conexões que atravessa é bem pequeno e zero no caso dos nós 1 e 7. Comparando com os resultados apresentados por cada um dos 6 métodos discutidos, observa-se que a alocação feita está de acordo com a análise feita.

**Tabela 6.10 – Nº de Conversores x Probabilidade de Bloqueio \_ Métodos Propostos (HIPOTÉTICA – 12 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)**

PB SUGERIDA	Nº de Conversores através do seguintes Métodos			PB REAL (SIMULAÇÃO)		
	PSO	GA	SA	PSO	GA	SA
2.8 %	21	21	30	2.21 %	2.29 %	2.50 %
3.1 %	15	16	18	2.57 %	2.62 %	2.43 %
3.47 %	11	11	13	2.41 %	2.41 %	2.34 %
3.7 %	9	9	10	2.75 %	2.55 %	2.83 %
4 %	7	7	7	2.65 %	2.71 %	2.55 %
4.35 %	5	5	5	2.72 %	2.58 %	2.61 %
4.65 %	3	3	3	2.76 %	2.76 %	2.76 %
4.95 %	2	2	2	2.71 %	2.71 %	2.71 %
5.25 %	1	1	1	2.89 %	2.89 %	2.89 %

Tabela 6.11 – Resultados das Probabilidades de Bloqueio das soluções obtidas a partir dos Métodos Propostos e dos Métodos Convencionais, computados através da função e do cálculo real (HIPOTÉTICA – 12 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)

Nº Conversores	PB FUNÇÃO					PB REAL (SIMULAÇÃO)					
	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	SIM
480 (CT)	2.51 %					2.54 %					
30			2.70 %	2.79 %	2.58 %			2.50 %	2.49 %	2.50 %	2.46 %
21	2.80 %	2.80 %		2.98 %	2.79 %	2.21 %	2.29 %		2.40 %	2.38 %	2.41 %
18			3.03 %	3.20 %	2.92 %			2.43 %	2.38 %	2.56 %	2.47 %
16		3.07 %		3.23 %	3.02 %		2.62 %		2.26 %	2.58 %	2.31 %
15	3.08 %			3.25 %	3.08 %	2.57 %			2.29 %	2.57 %	2.49 %
13			3.35 %	3.39 %	3.23 %			2.34 %	2.41 %	2.50 %	2.50 %
11	3.40 %	3.40 %		3.51 %	3.40 %	2.41 %	2.41 %		2.53 %	2.41 %	2.42 %
10			3.64 %	3.69 %	3.50 %			2.83 %	2.46 %	2.62 %	2.61 %
9	3.65 %	3.67 %		3.78 %	3.61 %	2.75 %	2.55 %		2.42 %	2.57 %	2.40 %
7	3.92 %	3.94 %	3.95 %	4.03 %	3.86 %	2.65 %	2.71 %	2.55 %	2.45 %	2.76 %	2.58 %
5	4.27 %	4.28 %	4.32 %	4.37 %	4.17 %	2.72 %	2.58 %	2.61 %	2.48 %	2.77 %	2.55 %
3	4.63 %	4.63 %	4.63 %	4.72 %	4.63 %	2.76 %	2.76 %	2.76 %	2.67 %	2.78 %	2.67 %
2	4.88 %	4.88 %	4.88 %	5.01 %	4.88 %	2.71 %	2.71 %	2.71 %	2.87 %	2.71 %	2.87 %
1	5.19 %	5.19 %	5.19 %	5.19 %	5.19 %	2.89 %	2.89 %	2.89 %	2.89 %	2.89 %	2.89 %
0 (CZ)	5.57 %					3.01 %					

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310470/CA

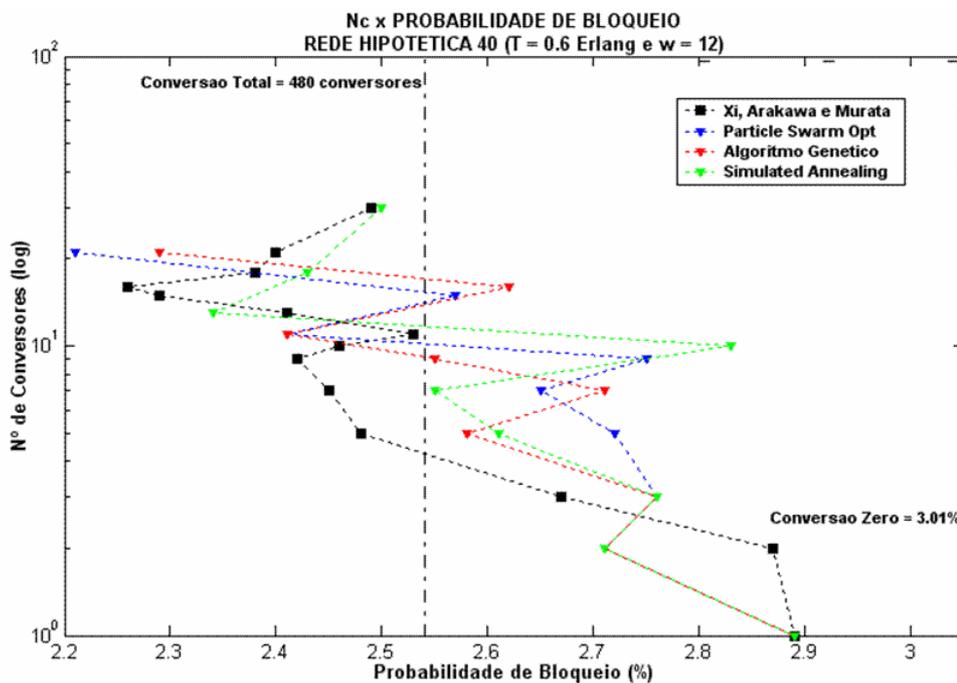


Figura 6.26 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (HIPOTÉTICA – 12 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)

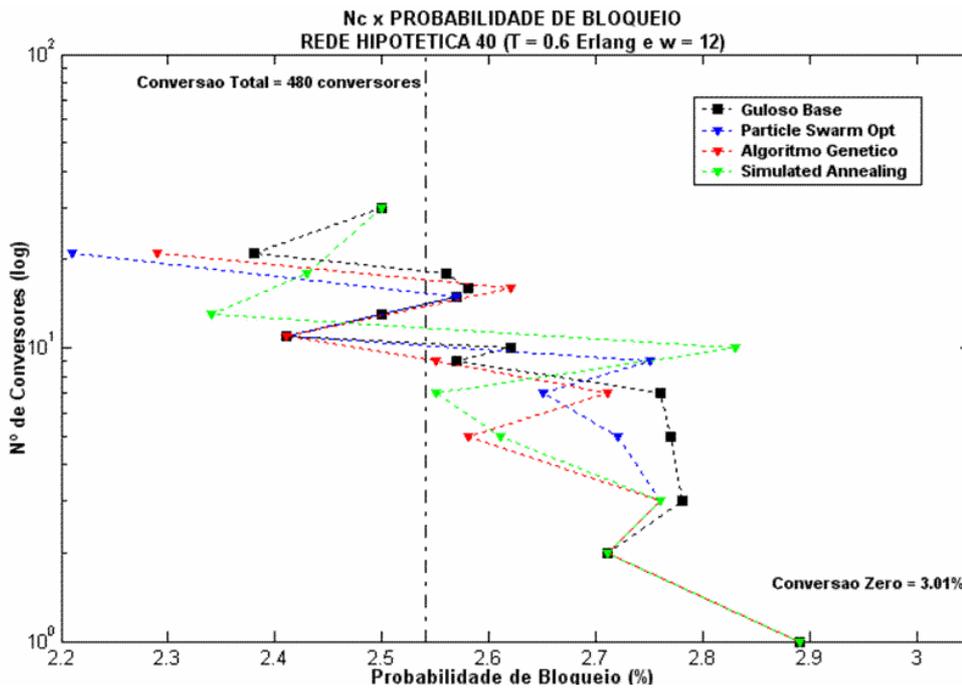


Figura 6.27 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (HIPOTÉTICA – 12 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)

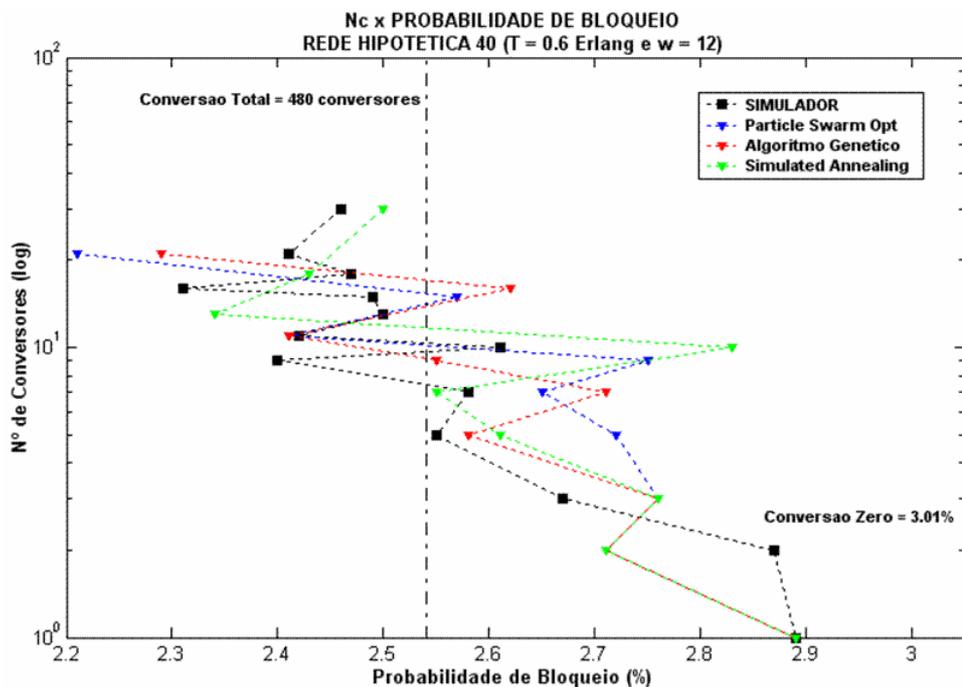
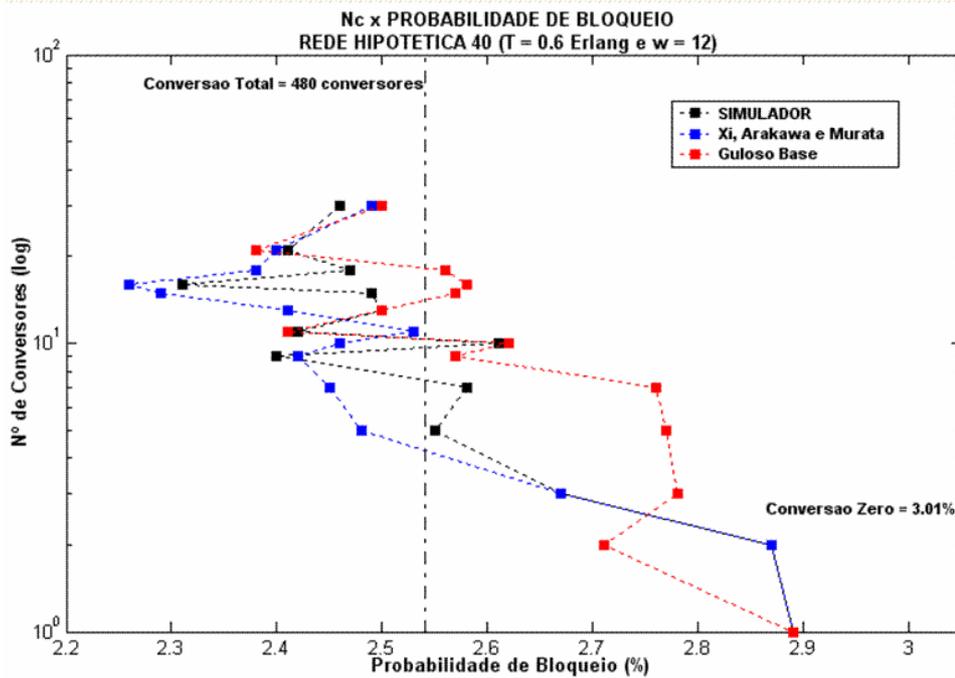


Figura 6.28 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (HIPOTÉTICA – 12 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)



**Figura 6.29 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico (HIPOTÉTICA – 12 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)**

Os resultados acima confirmam a imprecisão da função descrita na seção 3.1, principalmente na região de conversão zero. Observa-se também a ocorrência mais acentuada do efeito da distribuição não uniforme no ganho em desempenho pois com aproximadamente 2% (20) do total de conversores do caso CT, obtém-se um ganho de 0.35% do obtido com conversão total.

Adotando-se uma nova estratégia das anteriores, ao invés de reduzir a carga de tráfego das conexões, adicionar-se-á um comprimento de onda em cada enlace bidirecional, perfazendo um total de 13 comprimentos de onda.

## 6.2.7

## Resultados HIPOTÉTICA (13 comprimentos de onda)

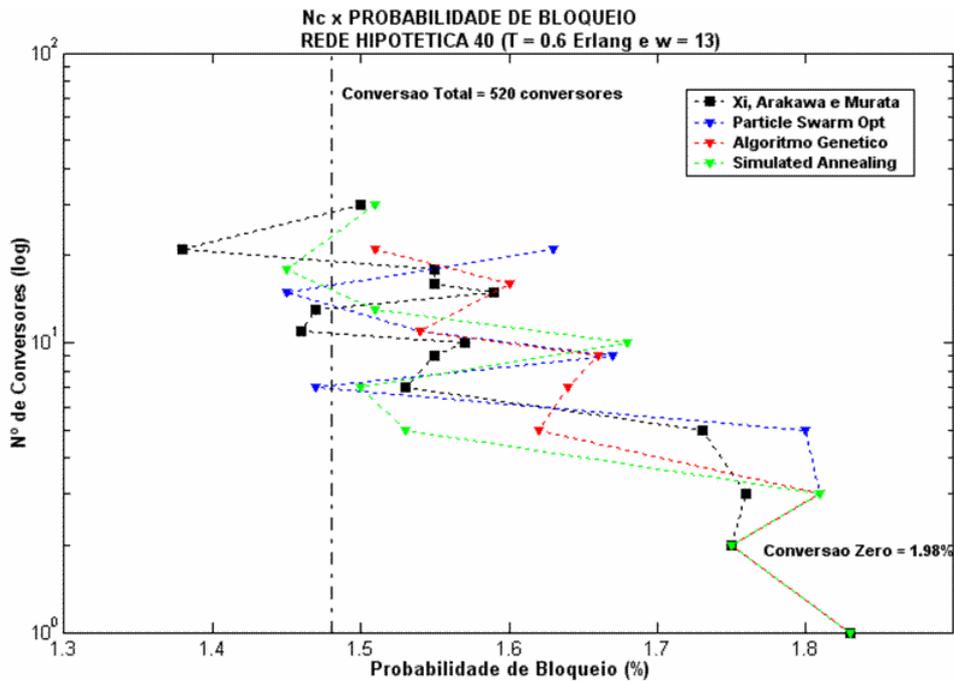


Figura 6.30 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (HIPOTÉTICA – 13 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)

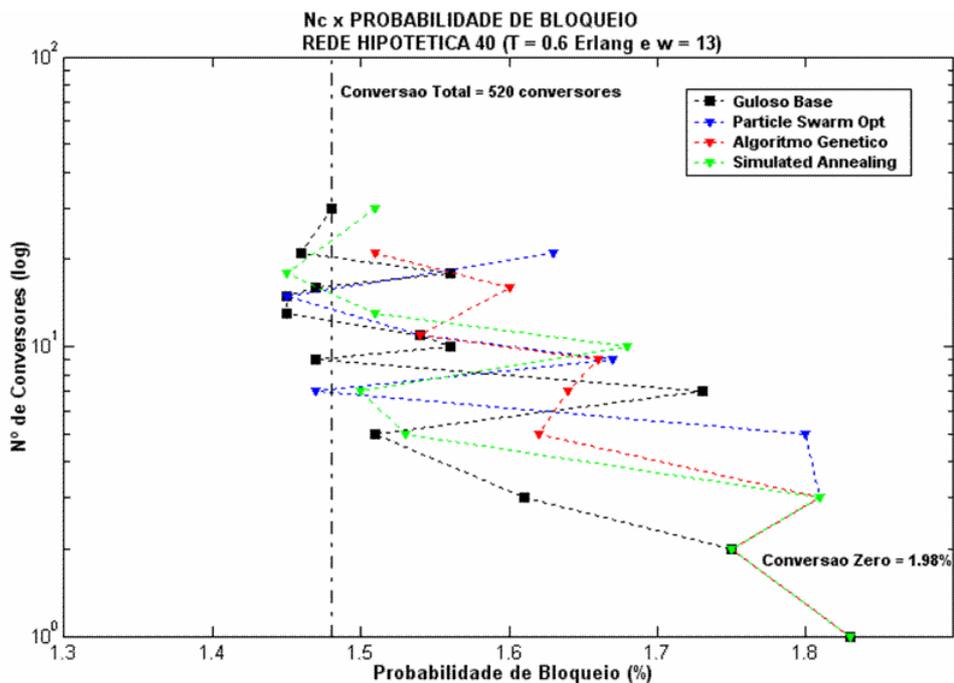


Figura 6.31 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (HIPOTÉTICA – 13 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)

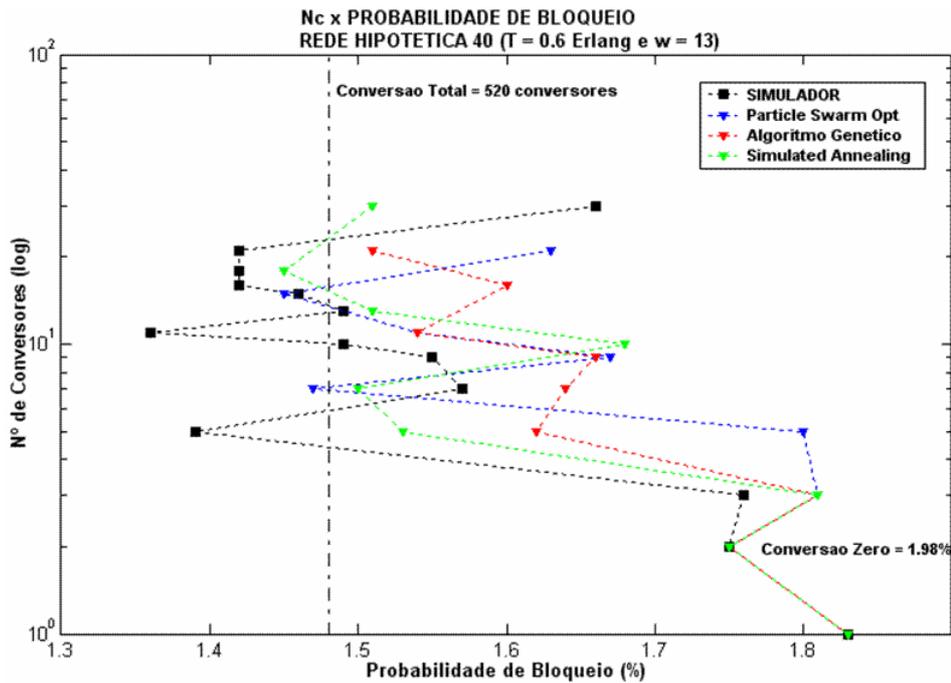


Figura 6.32 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (HIPOTÉTICA – 13 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)

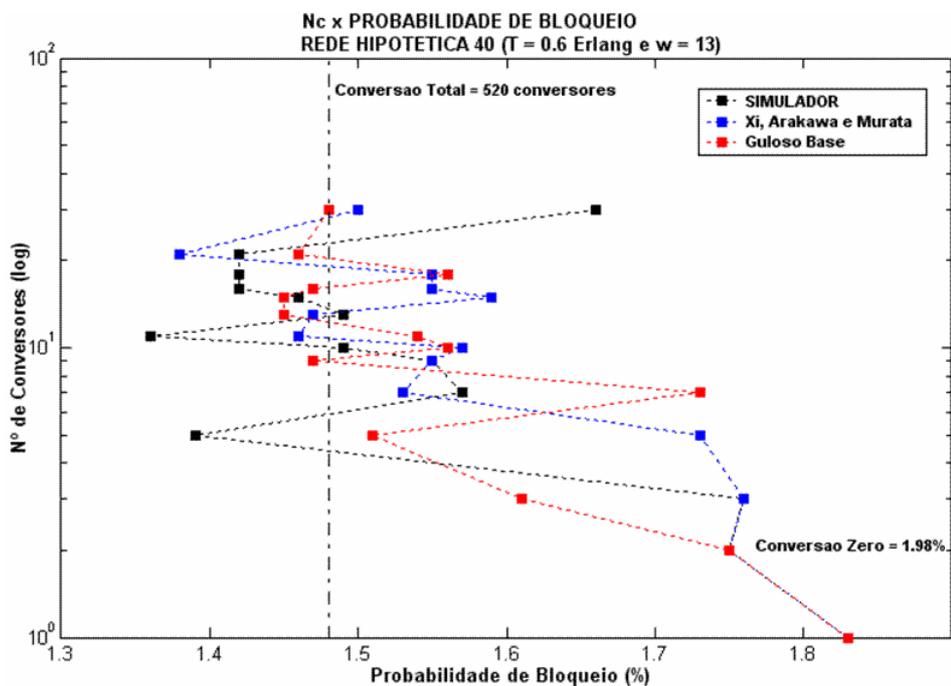


Figura 6.33 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico (HIPOTÉTICA – 13 comprimentos de onda e 0.6ERLANG por conexão)

Um resultado interessante é que, sob esta condição, apesar do efeito da não uniformidade, uma redução brusca de conversores praticamente não impacta o desempenho do sistema.

## 6.2.8

### Resultados Topologia 4 (BACKBONE BELLCORE)

Analisando o número total de conexões que atravessa cada nó da rede, observa-se que os nós ditos mais congestionados são os nós 4, 6, 7, 8 e 12 enquanto nenhum fluxo atravessa os nós 3, 5, 9 e 11. Comparando com os resultados apresentados por cada um dos 6 métodos discutidos, observa-se uma concentração de conversores nestes mesmos nós.

**Tabela 6.12 – Nº de Conversores x Probabilidade de Bloqueio \_ Métodos Propostos (BELLCORE – 15 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)**

PB SUGERIDA	Nº de Conversores através do seguintes Métodos			PB REAL (SIMULAÇÃO)		
	PSO	GA	SA	PSO	GA	SA
2.8 %	41	40	41	2.22 %	2.34 %	2.17 %
3.2 %	29	29	30	2.14 %	2.35 %	2.31 %
3.6 %	23	23	23	2.29 %	2.21 %	2.29 %
4 %	17	17	21	2.17 %	2.29 %	2.39 %
4.5 %	12	13	14	2.53 %	2.41 %	2.63 %
4.9 %	9	9	10	2.49 %	2.48 %	2.65 %
5.3 %	6	6	6	2.76 %	2.70 %	2.81 %
5.75 %	4	4	4	2.68 %	2.93 %	2.89 %
6.15 %	2	2	2	2.94 %	2.93 %	2.94 %

Tabela 6.13 – Resultados das Probabilidades de Bloqueio das soluções obtidas a partir dos Métodos Propostos e dos Métodos Convencionais, computados através da função e do cálculo real (BELLCORE – 15 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)

Nº Conversores	PB FUNÇÃO					PB REAL (SIMULAÇÃO)					
	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	PSO	GA	SA	XI/ MURATA	BASE	SIM
735 (CT)	2.36 %					2.12 %					
41	2.79 %		2.79 %	2.97 %	2.74 %	2.22 %		2.17 %	2.26 %	2.34 %	2.42 %
40		2.76 %		3.02 %	2.76 %		2.34 %		2.18 %	2.22 %	2.26 %
30			3.20 %	3.32 %	3.10 %			2.31 %	2.29 %	2.06 %	2.45 %
29	3.19 %	3.16 %		3.33 %	3.15 %	2.14 %	2.35 %		2.36 %	2.06 %	2.16 %
23	3.59 %	3.59 %	3.60 %	3.66 %	3.50 %	2.29 %	2.21 %	2.29 %	2.18 %	2.29 %	2.26 %
21			3.99 %	3.82 %	3.63 %			2.39 %	2.45 %	2.18 %	2.29 %
17	3.97 %	3.99 %		4.12 %	3.96 %	2.17 %	2.29 %		2.27 %	2.39 %	2.17 %
14			4.44 %	4.38 %	4.23 %			2.63 %	2.22 %	2.39 %	2.38 %
13		4.46 %		4.49 %	4.34 %		2.41 %		2.26 %	2.49 %	2.36 %
12	4.49 %			4.61 %	4.44 %	2.53 %			2.51 %	2.42 %	2.49 %
10			4.84 %	4.74 %	4.68 %			2.65 %	2.66 %	2.78 %	2.54 %
9	4.86 %	4.87 %		4.88 %	4.81 %	2.49 %	2.48 %		2.66 %	2.69 %	2.55 %
6	5.26 %	5.28 %	5.30 %	5.35 %	5.26 %	2.76 %	2.70 %	2.81 %	2.70 %	2.76 %	2.70 %
4	5.72 %	5.71 %	5.62 %	5.67 %	5.61 %	2.68 %	2.93 %	2.89 %	2.79 %	3.03 %	3.07 %
2	6.09 %	6.03 %	6.11 %	6.33 %	6.03 %	2.94 %	2.93 %	2.94 %	2.89 %	2.93 %	3.00 %
0 (CZ)	6.57 %					3.33 %					

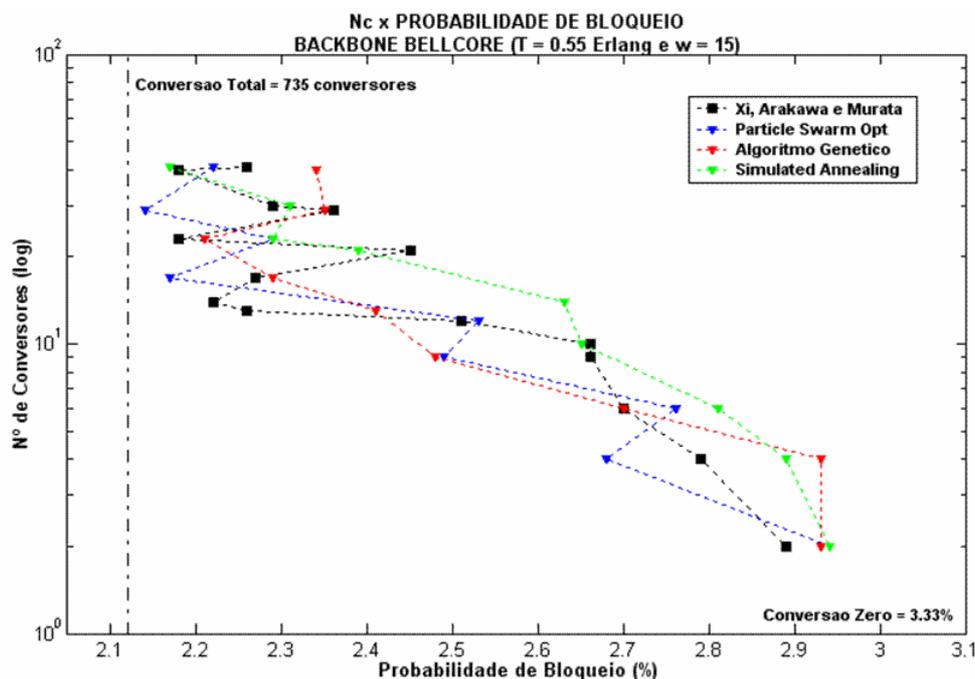


Figura 6.34 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (BELLCORE – 15 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)

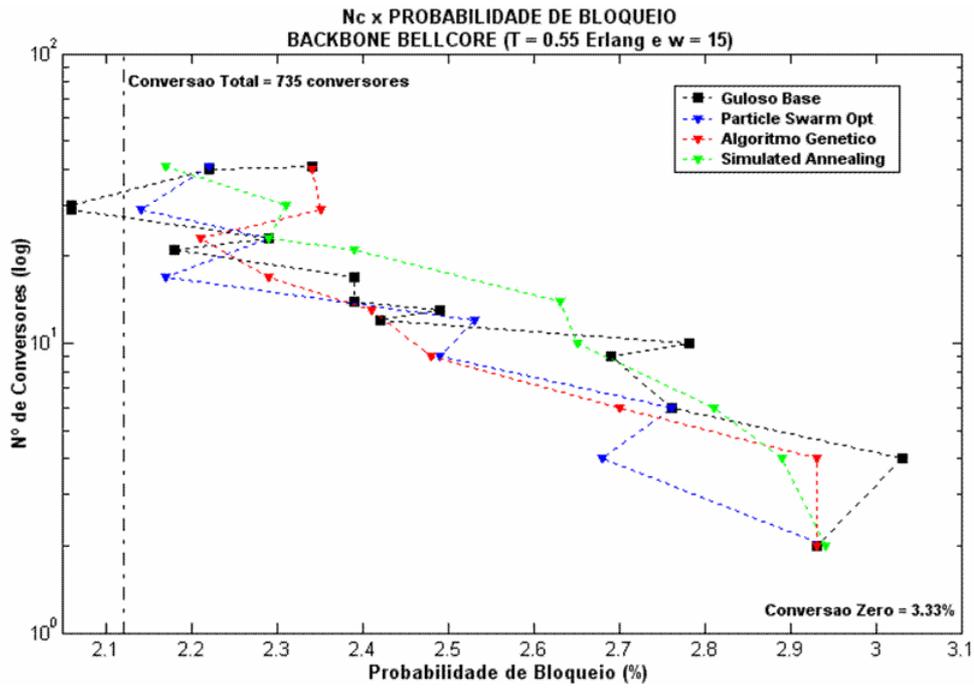


Figura 6.35 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (BELLCORE – 15 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)

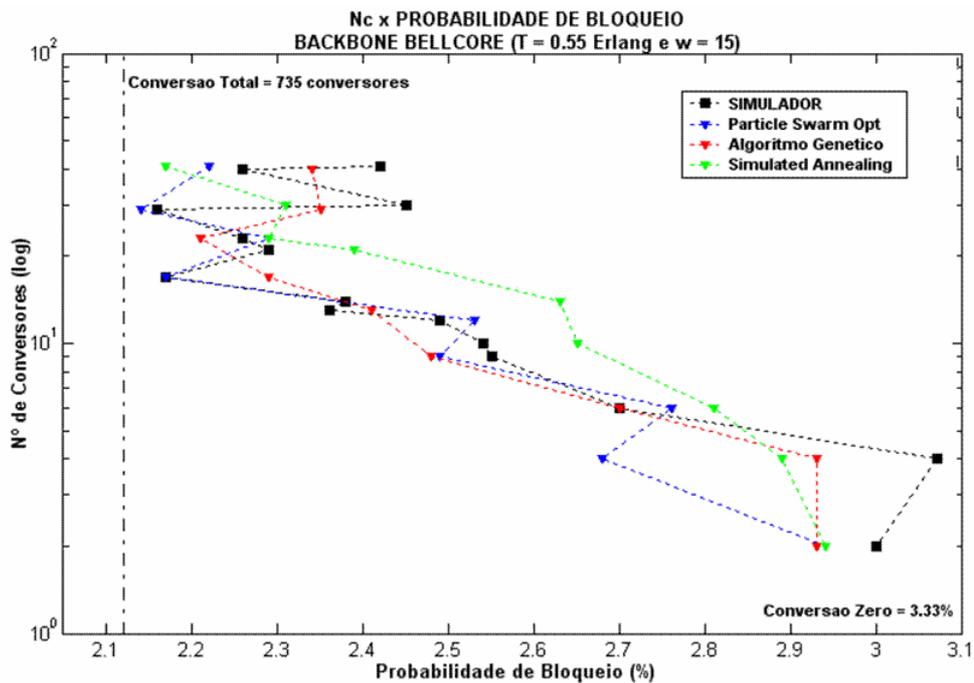


Figura 6.36 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (BELLCORE – 15 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)

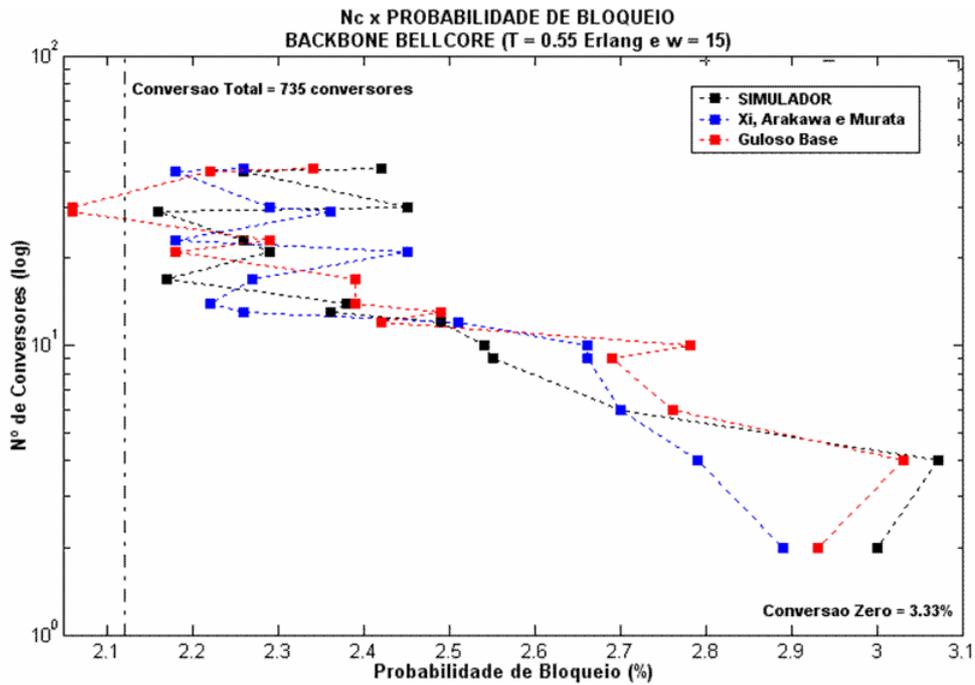


Figura 6.37 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estatístico (BELLCORE – 15 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)

## 6.2.9

### Resultados BACKBONE BELLCORE (16 comprimentos de onda)

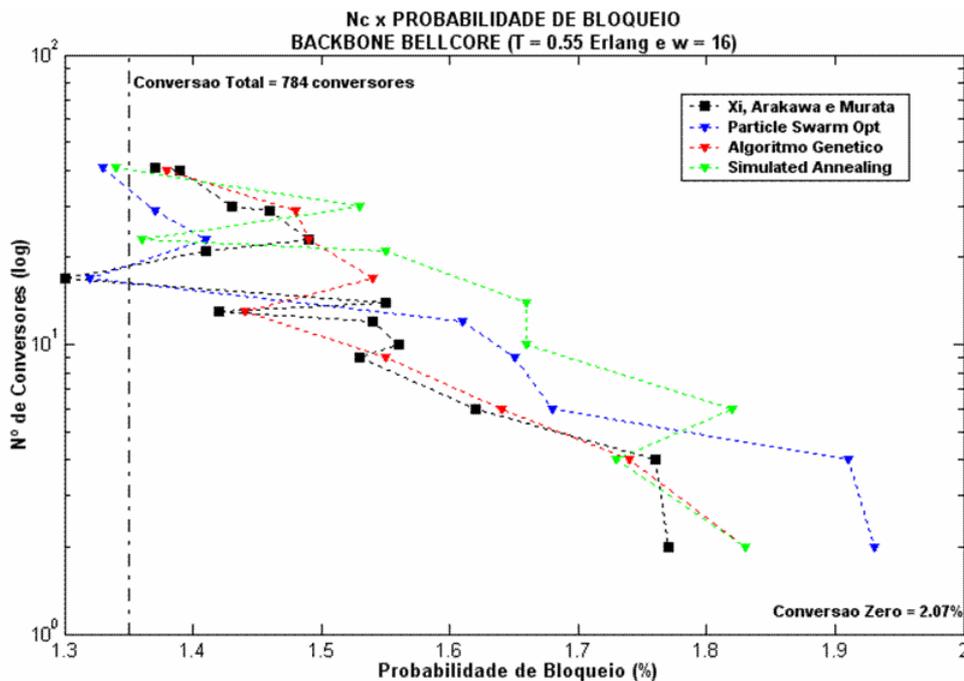


Figura 6.38 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Xi, Arakawa e Murata (BELLCORE – 16 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)

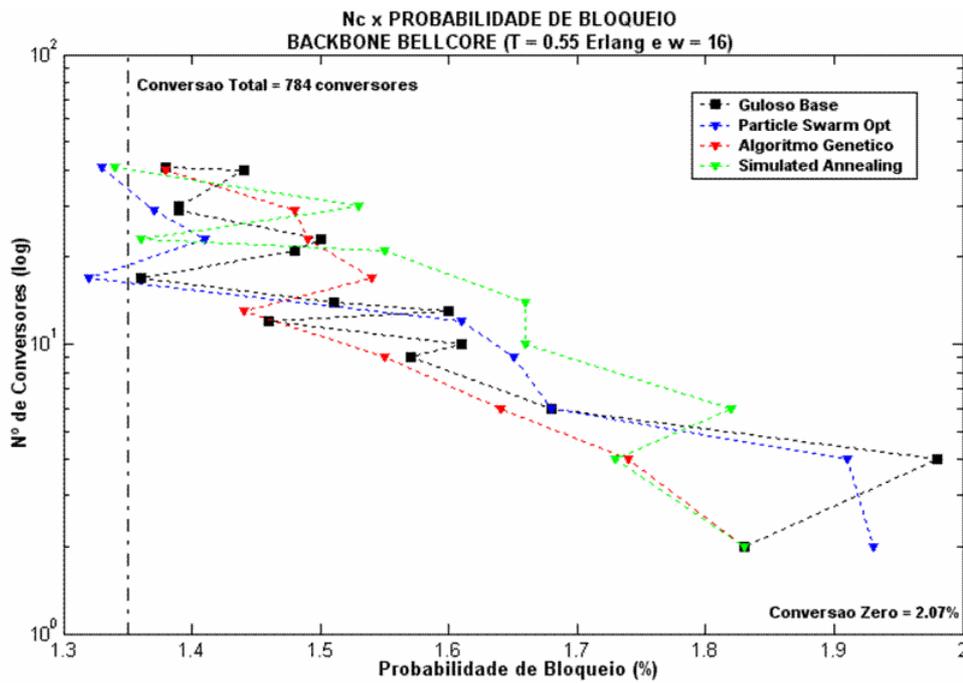


Figura 6.39 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Guloso\_Base (BELLCORE – 16 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)

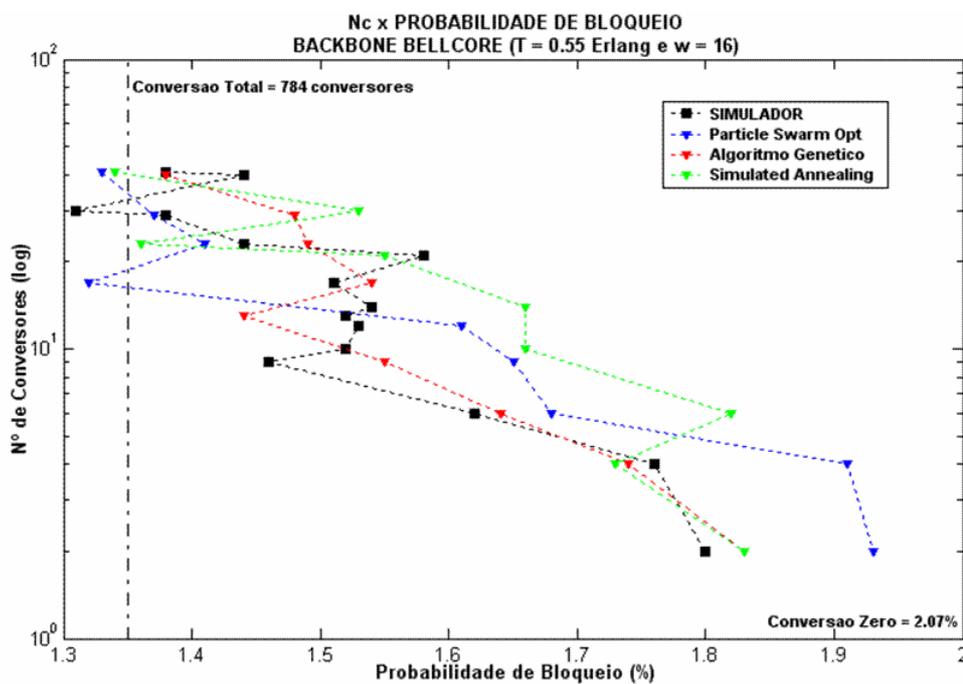
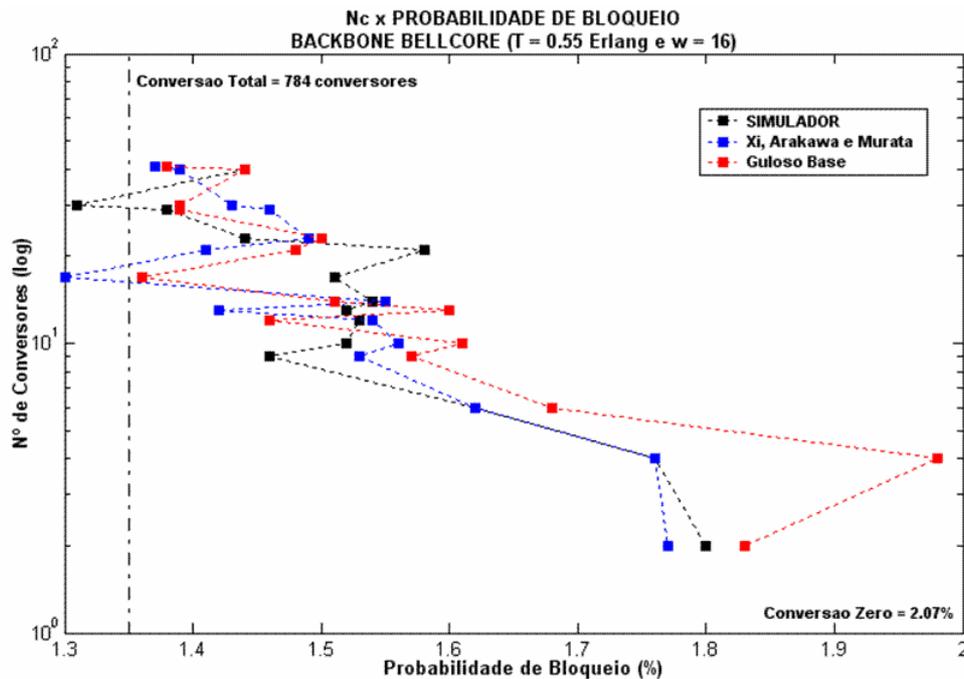


Figura 6.40 – Comparação entre os Métodos Propostos e o Método Estatístico (BELLCORE – 16 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)



**Figura 6.41 – Comparação entre os Métodos Xi, Arakawa e Murata, Guloso\_Base e Estático (BELLCORE – 16 comprimentos de onda e 0.55ERLANG por conexão)**

Observa-se nos dois casos do Backbone Bellcore, um ganho mais uniforme com a introdução de conversores na rede, apesar de em algumas soluções apontar para o efeito de não uniformidade.

Com relação ao desempenho das heurísticas, podemos notar que na grande maioria das simulações, ambas apresentaram comportamentos similares no que tange a solução sub-ótima encontrada. Para valores de probabilidade de bloqueio pequenos, o SA apresentou um desempenho um pouco inferior aos demais.

Com relação ao tempo de execução, os algoritmos PSO e SA apresentaram tempos reduzidos se comparados com o GA. Isto era esperado visto que, com a implementação da operação de *crossover* linear, há um acréscimo na quantidade de soluções tentativas, resultando em um tempo maior de execução do algoritmo.