

Um Novo Algoritmo RSA Ciente de Imperfeições de Camada Física para Redes Ópticas Elásticas

¹Departamento de Computação - UFPI

²Instituto Federal do Piauí

³Centro de Informática - UFPE

Alexandre Fontinele¹

Iallen Santos²

Juarez Nolêto Neto¹

Divanilson R. Campelo³

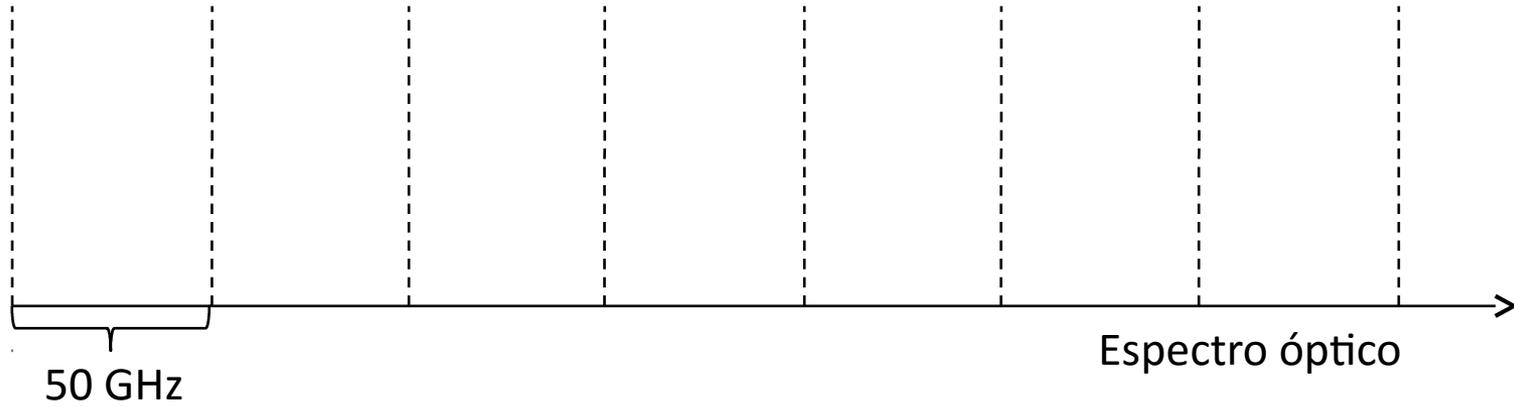
André Soares¹

Sumário

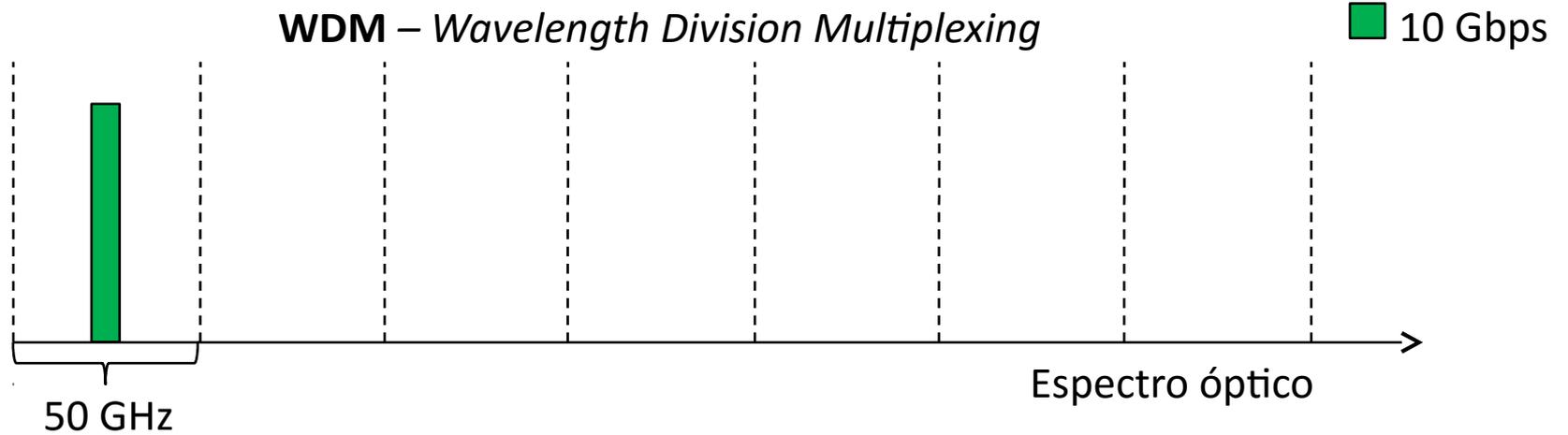
- Introdução a redes ópticas elásticas
 - RSA
 - Qualidade de transmissão
 - IA-RSA
- Algoritmo proposto
- Estudo de avaliação de desempenho
- Considerações finais e trabalhos futuros

Técnicas de Multiplexação

WDM – *Wavelength Division Multiplexing*

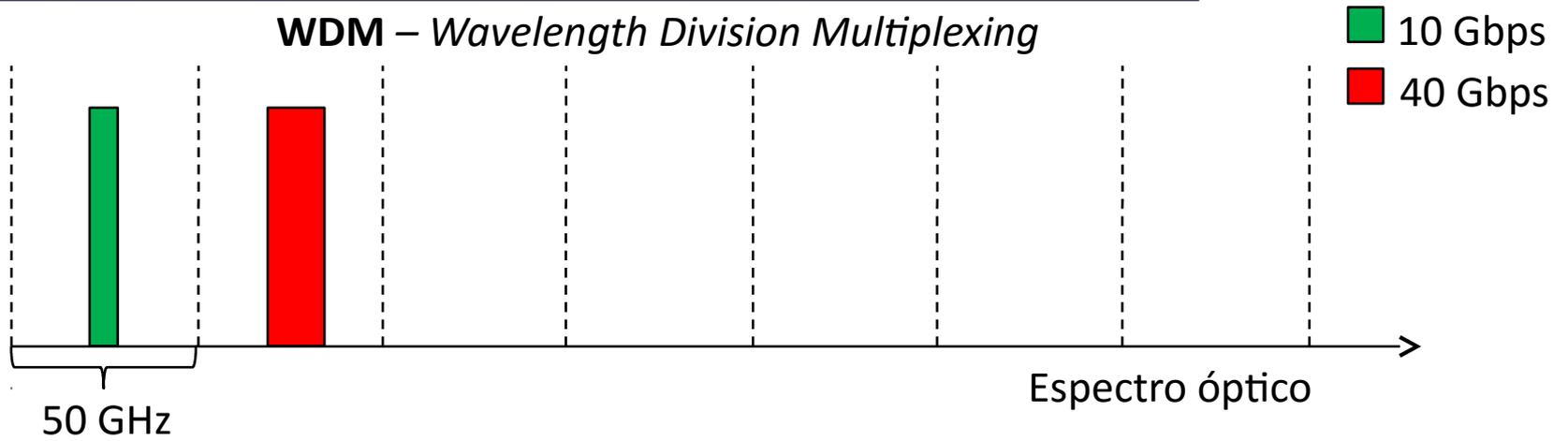


Técnicas de Multiplexação

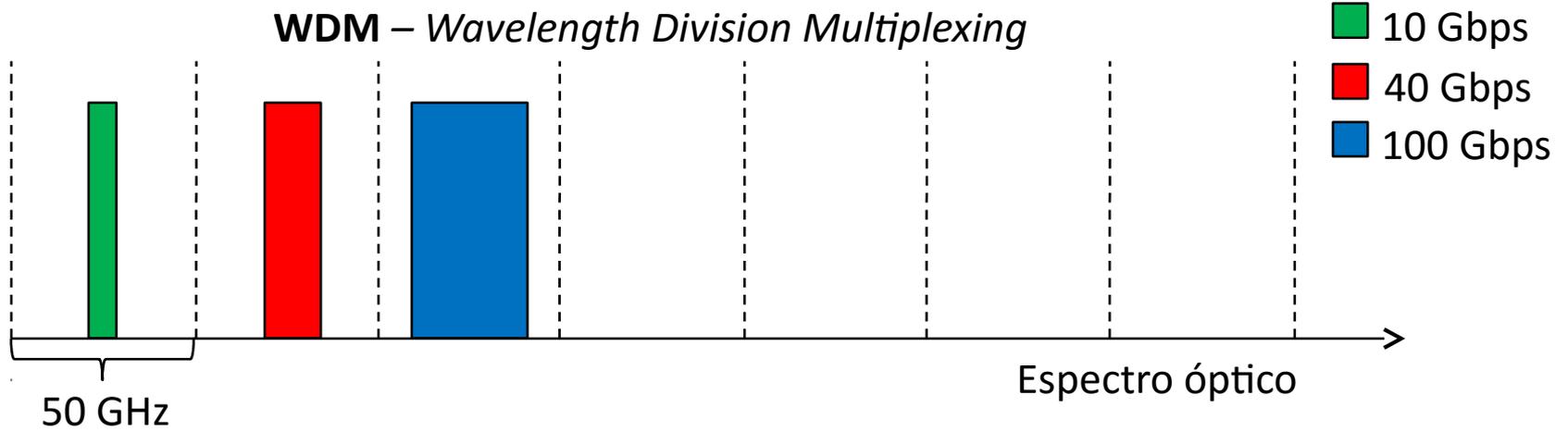


Técnicas de Multiplexação

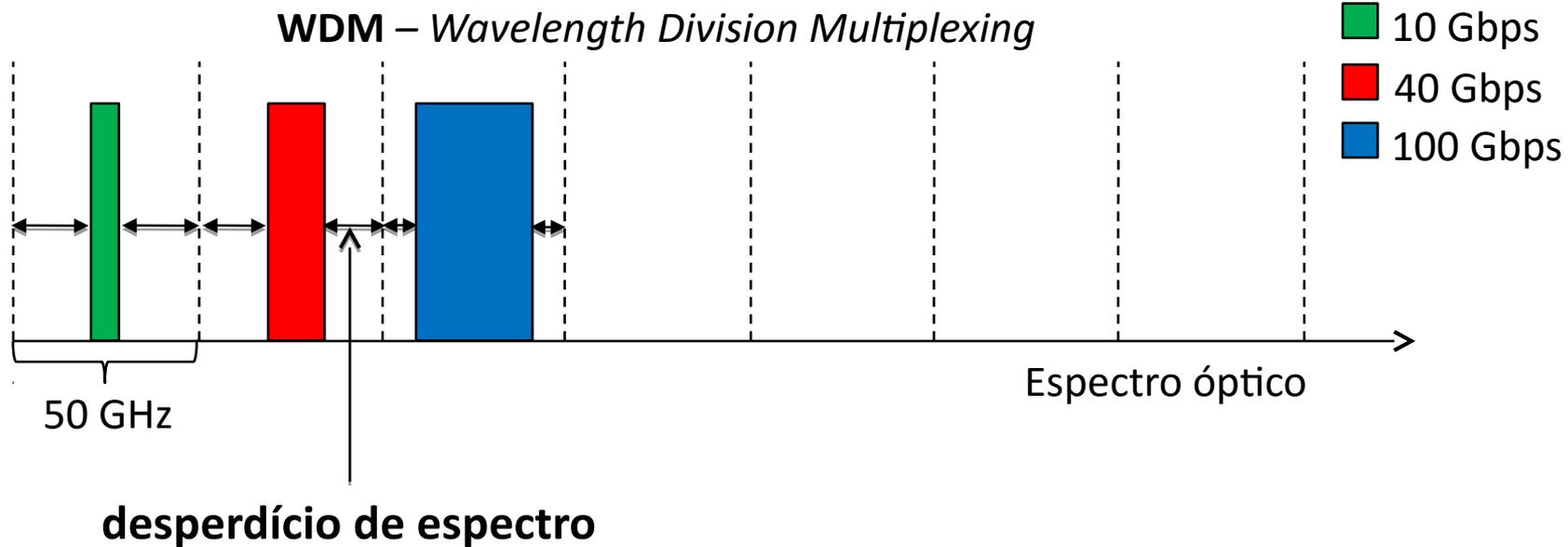
WDM – *Wavelength Division Multiplexing*



Técnicas de Multiplexação

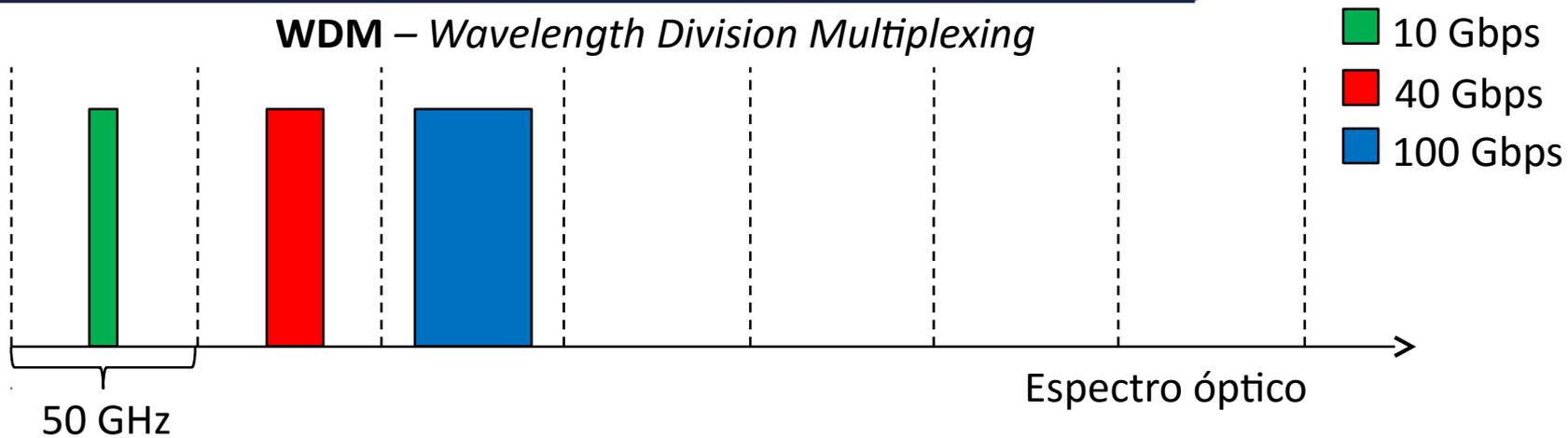


Técnicas de Multiplexação

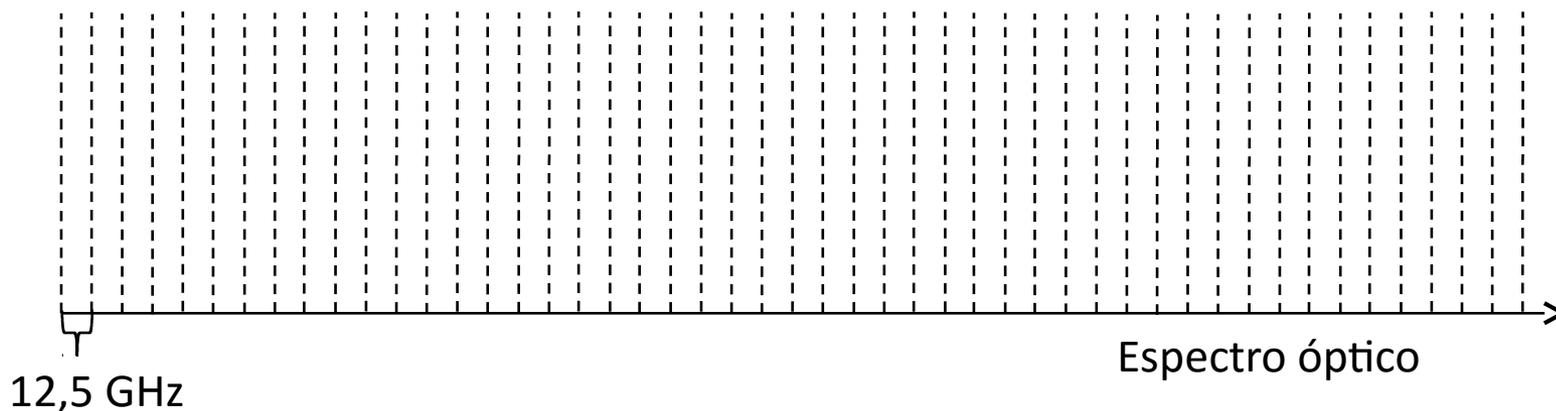


Técnicas de Multiplexação

WDM – Wavelength Division Multiplexing

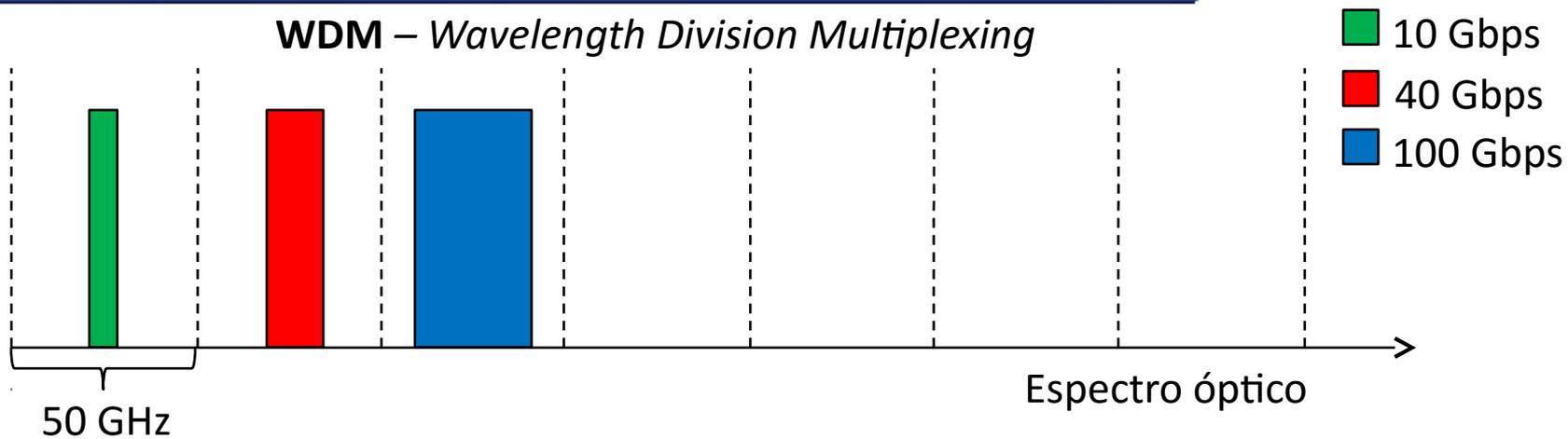


OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

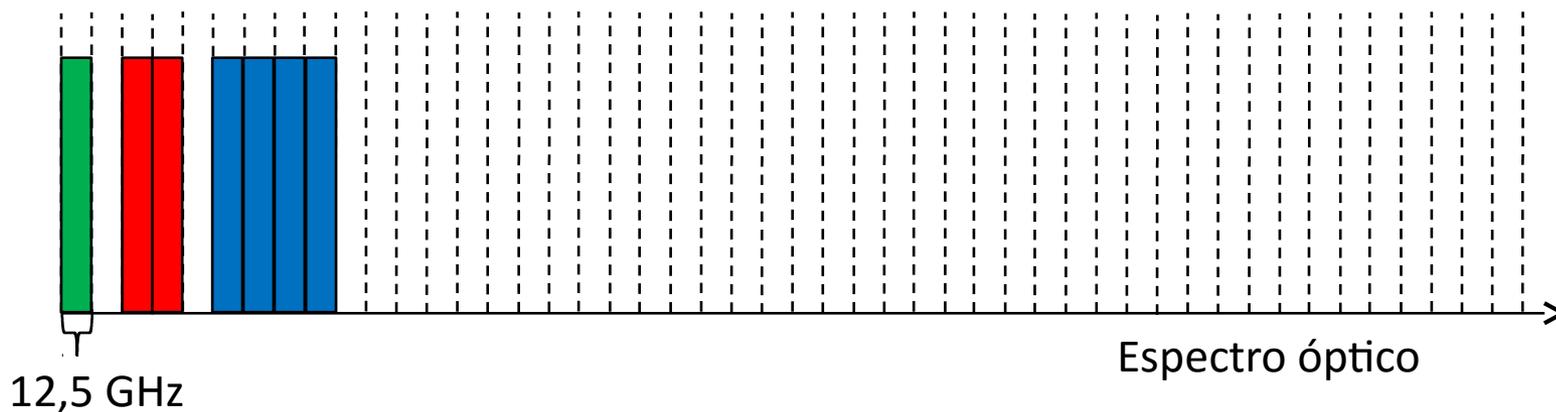


Técnicas de Multiplexação

WDM – Wavelength Division Multiplexing

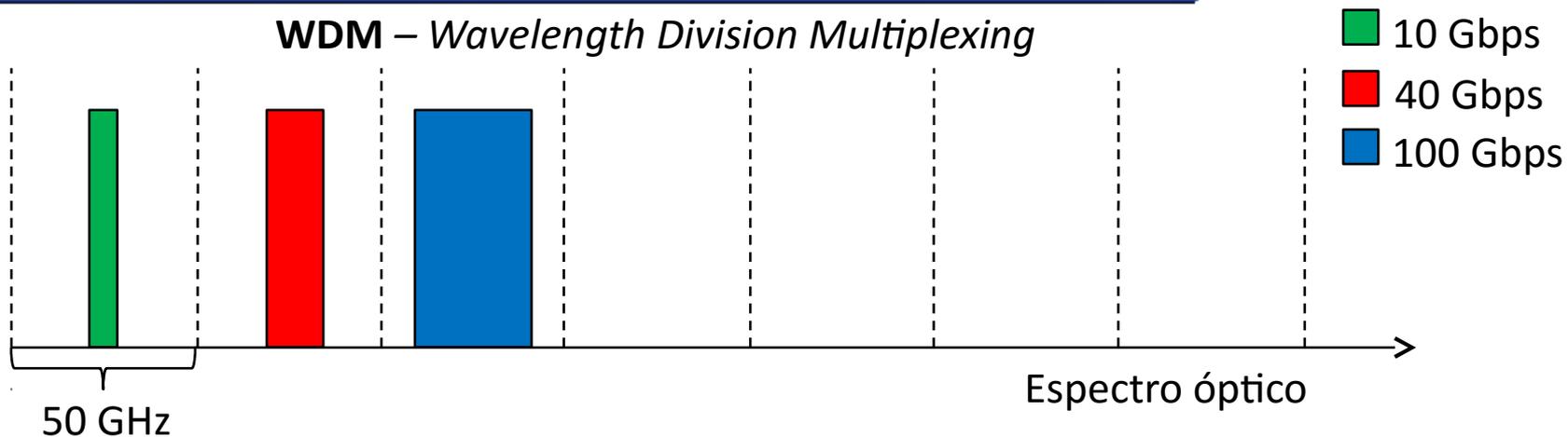


OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

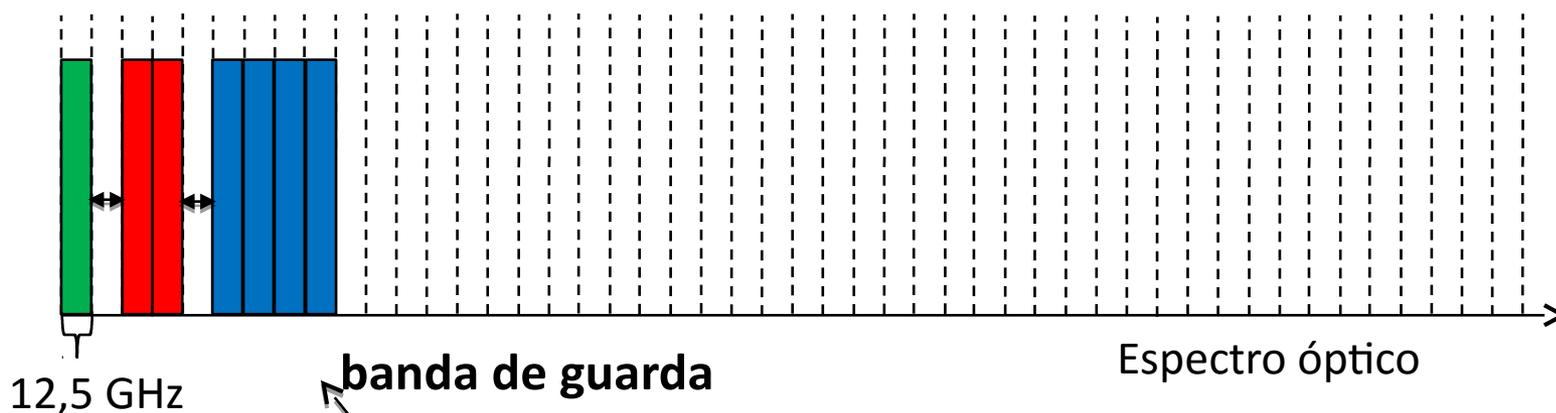


Técnicas de Multiplexação

WDM – Wavelength Division Multiplexing

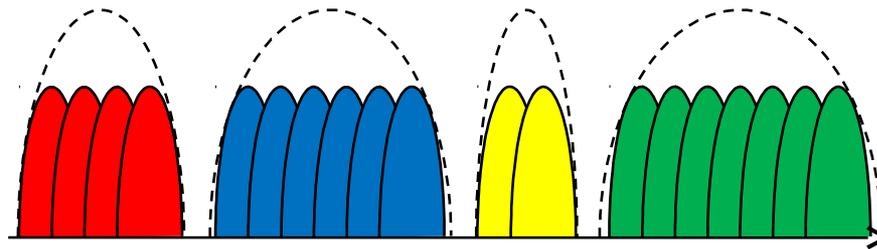


OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

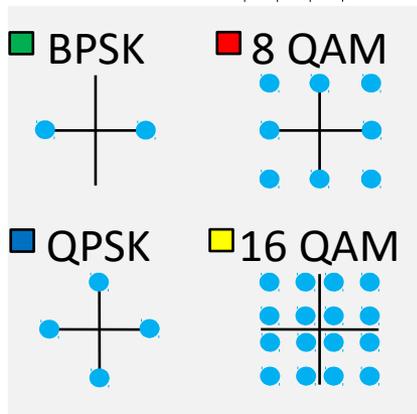


Rede Óptica OFDM

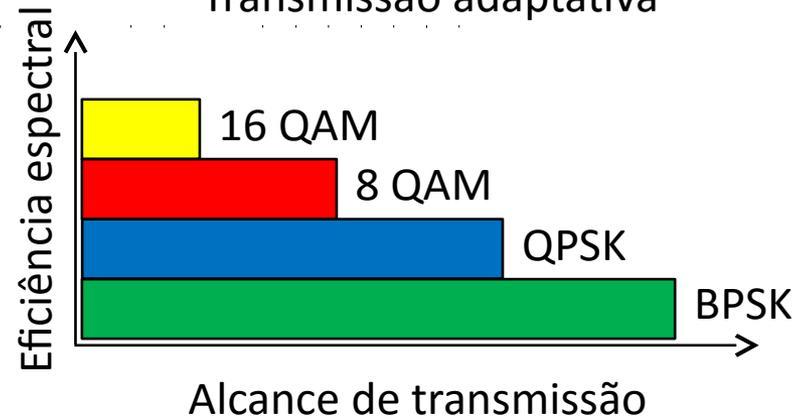
Alocação de largura de banda elástica



Modulação adaptativa

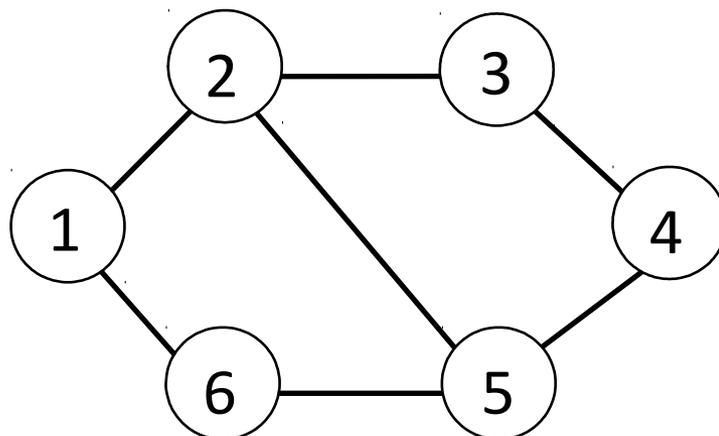


Transmissão adaptativa



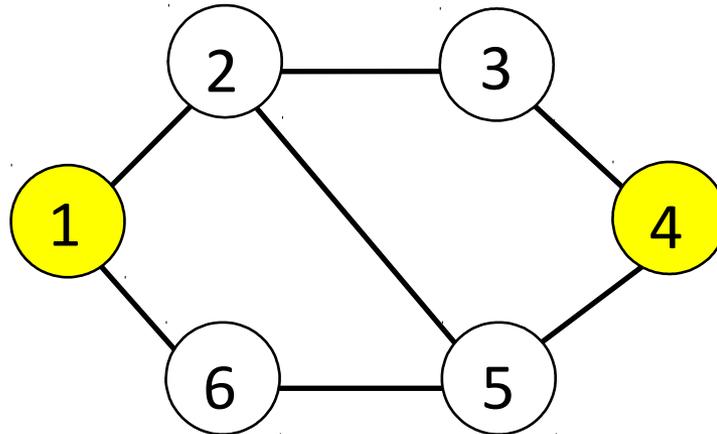
Alocação de Recursos para o Estabelecimento de Circuito

- **RSA** – *Routing and Spectrum Assignment*



Alocação de Recursos para o Estabelecimento de Circuito

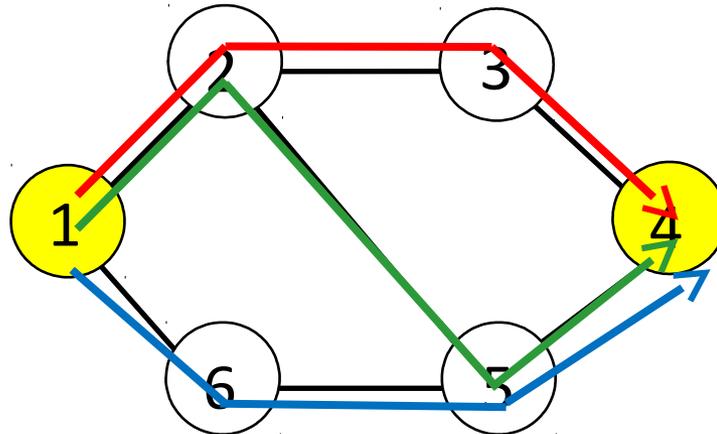
- **RSA** – *Routing and Spectrum Assignment*



Chegada de requisição de um circuito para o par (1, 4)

Alocação de Recursos para o Estabelecimento de Circuito

- **RSA** – *Routing and Spectrum Assignment*



Definição da rota para o par (1, 4)

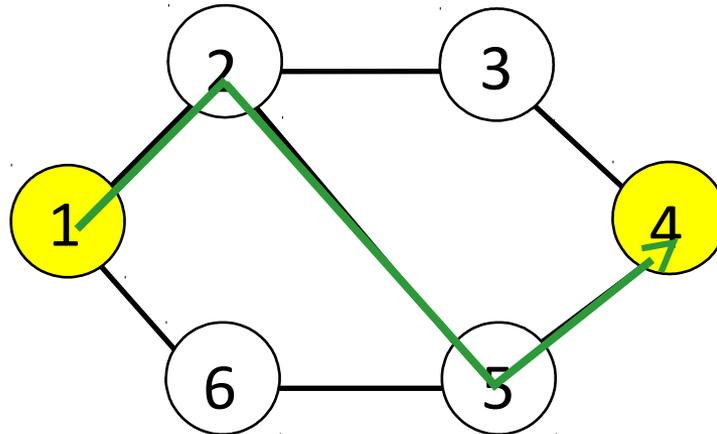
Rotas possíveis:

- 1 – 2 – 3 – 4
- 1 – 2 – 5 – 4
- 1 – 6 – 5 – 4

← Algoritmo de roteamento: **Dijkstra**

Alocação de Recursos para o Estabelecimento de Circuito

- **RSA** – *Routing and Spectrum Assignment*



Escolha dos slots de frequência para o par (1, 4)

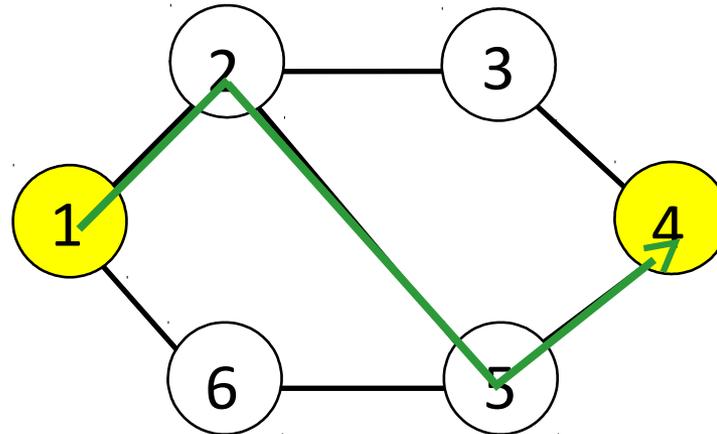
Escolhe o formato de modulação e define a quantidade de slots: **4 slots**

Slots de frequência livres: **1, 2, 3, 4, 5, 6, 20, 21, 22, 23 e 25**

Algoritmo de alocação de espectro: **First-Fit**

Alocação de Recursos para o Estabelecimento de Circuito

- **RSA** – *Routing and Spectrum Assignment*

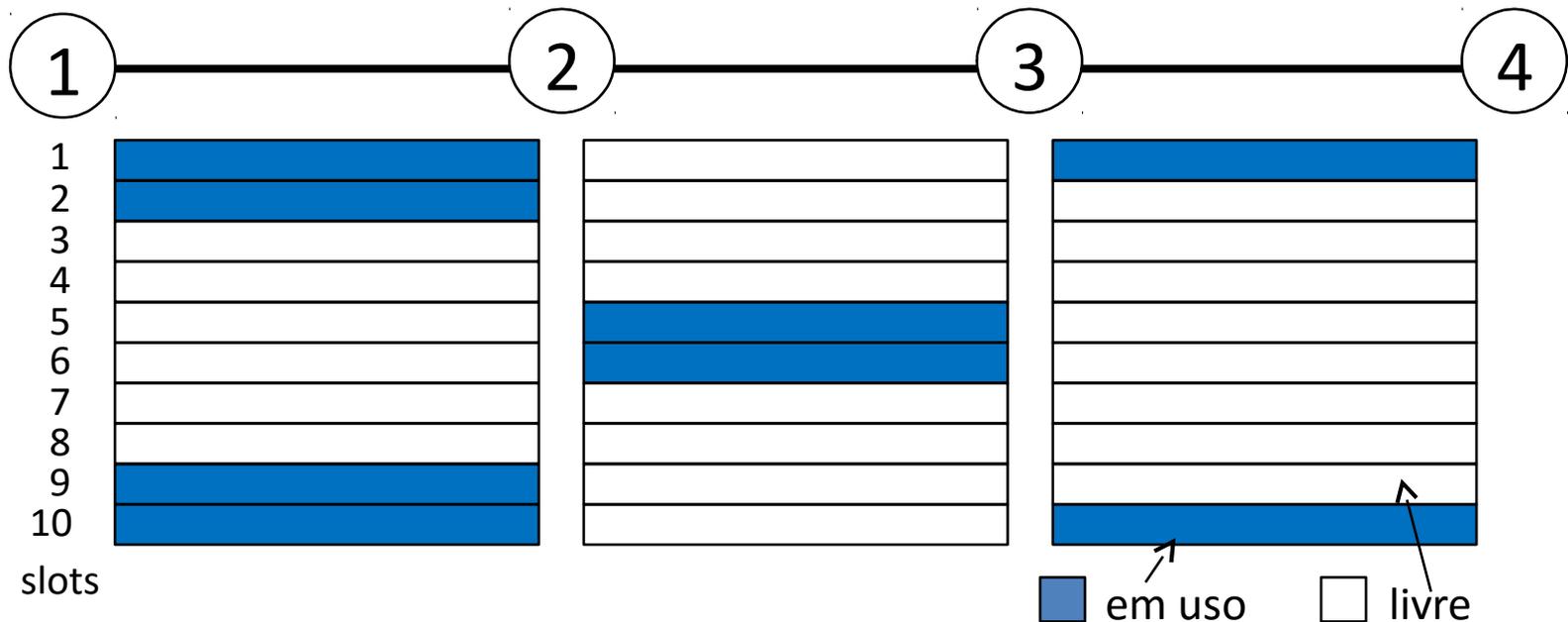


Circuito para o par (1, 4)

Par	Enlace 1-2	Enlace 2-5	Enlace 5-4
(1, 4)	Slots 1, 2, 3 e 4	Slots 1, 2, 3 e 4	Slots 1, 2, 3 e 4

Fragmentação de Espectro em Redes OFDM

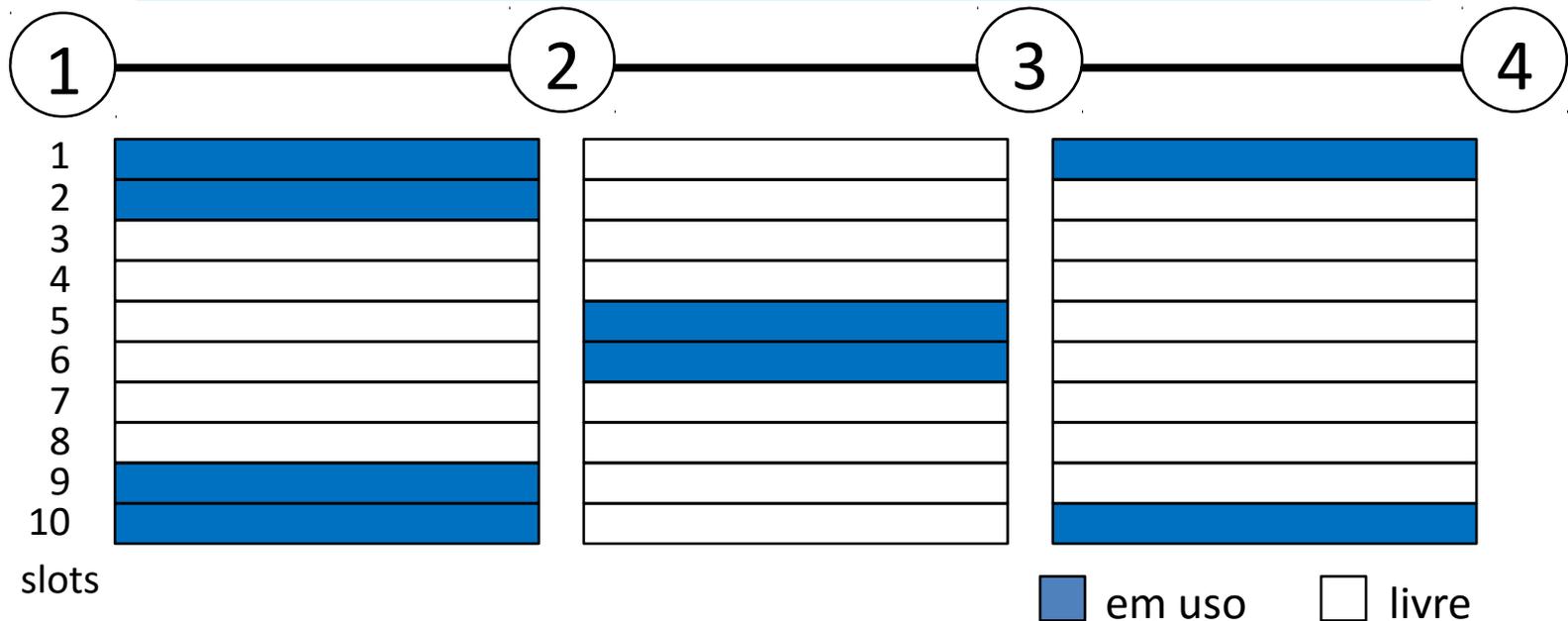
- Restrição de continuidade de espectro
- Restrição de contiguidade de espectro



Fragmentação de Espectro em Redes OFDM

- Restrição de continuidade de espectro
- Restrição de contiguidade de espectro

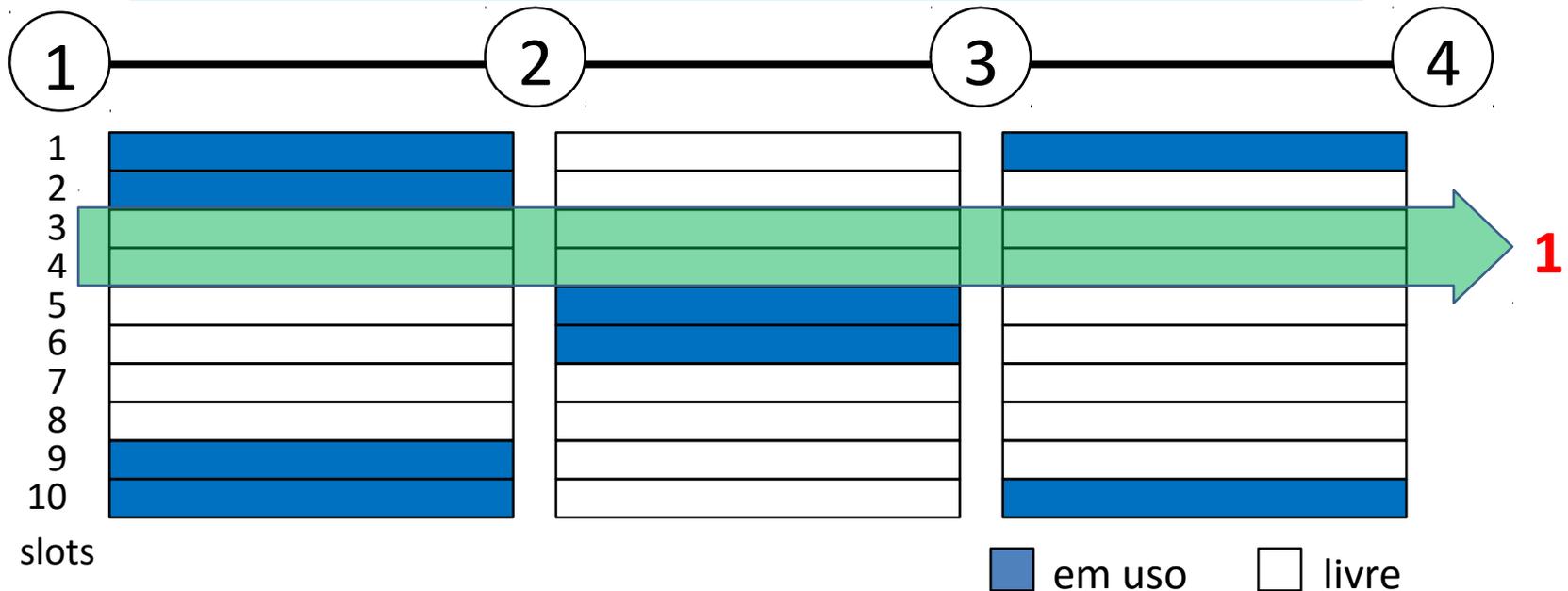
Chegada de uma requisição de circuito que necessita de **2** slots.
Quais slots devem ser utilizados?



Fragmentação de Espectro em Redes OFDM

- Restrição de continuidade de espectro
- Restrição de contiguidade de espectro

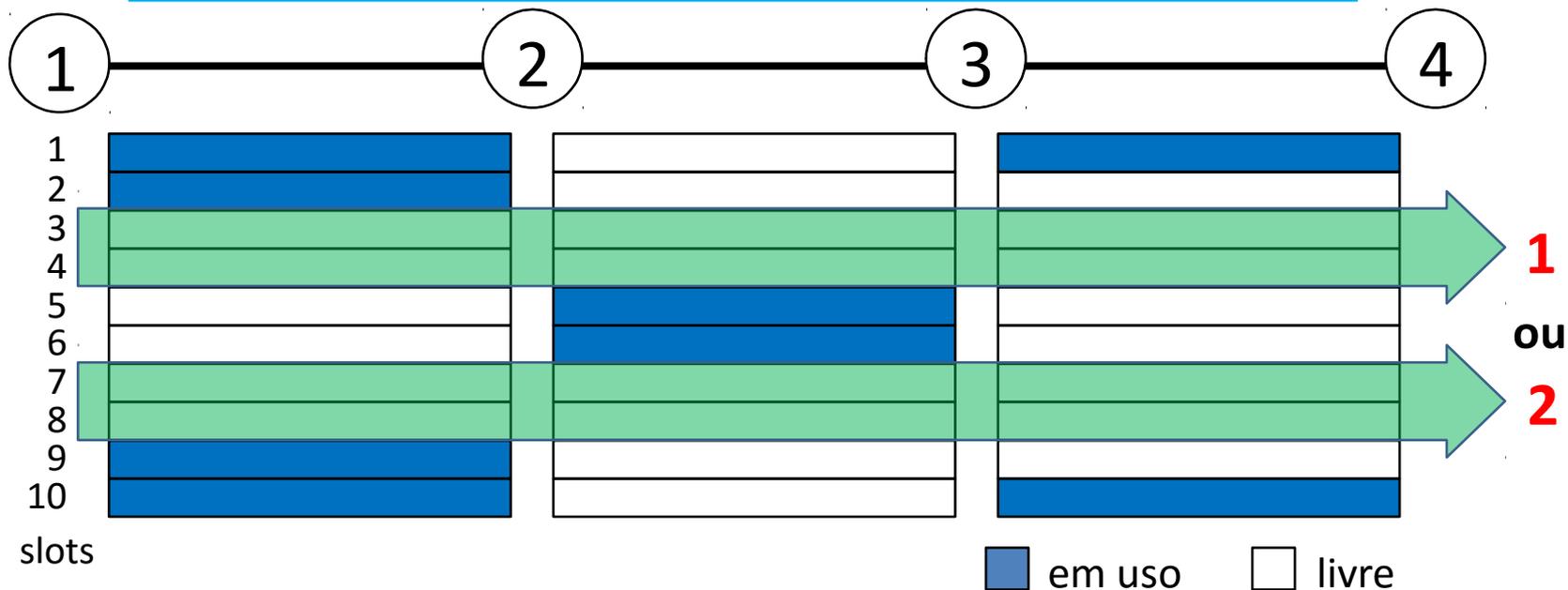
Chegada de uma requisição de circuito que necessita de 2 slots.
Quais slots devem ser utilizados?



Fragmentação de Espectro em Redes OFDM

- Restrição de continuidade de espectro
- Restrição de contiguidade de espectro

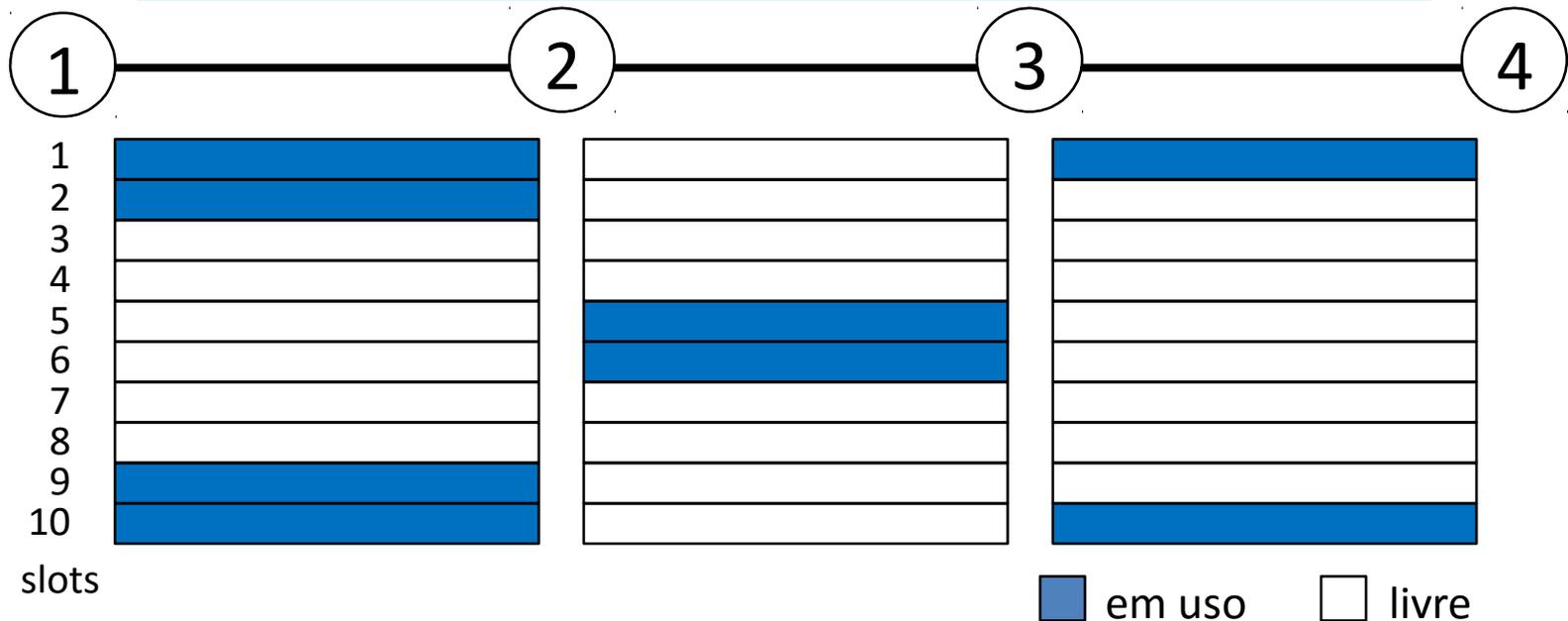
Chegada de uma requisição de circuito que necessita de 2 slots.
Quais slots devem ser utilizados?



Fragmentação de Espectro em Redes OFDM

- Restrição de continuidade de espectro
- Restrição de contiguidade de espectro

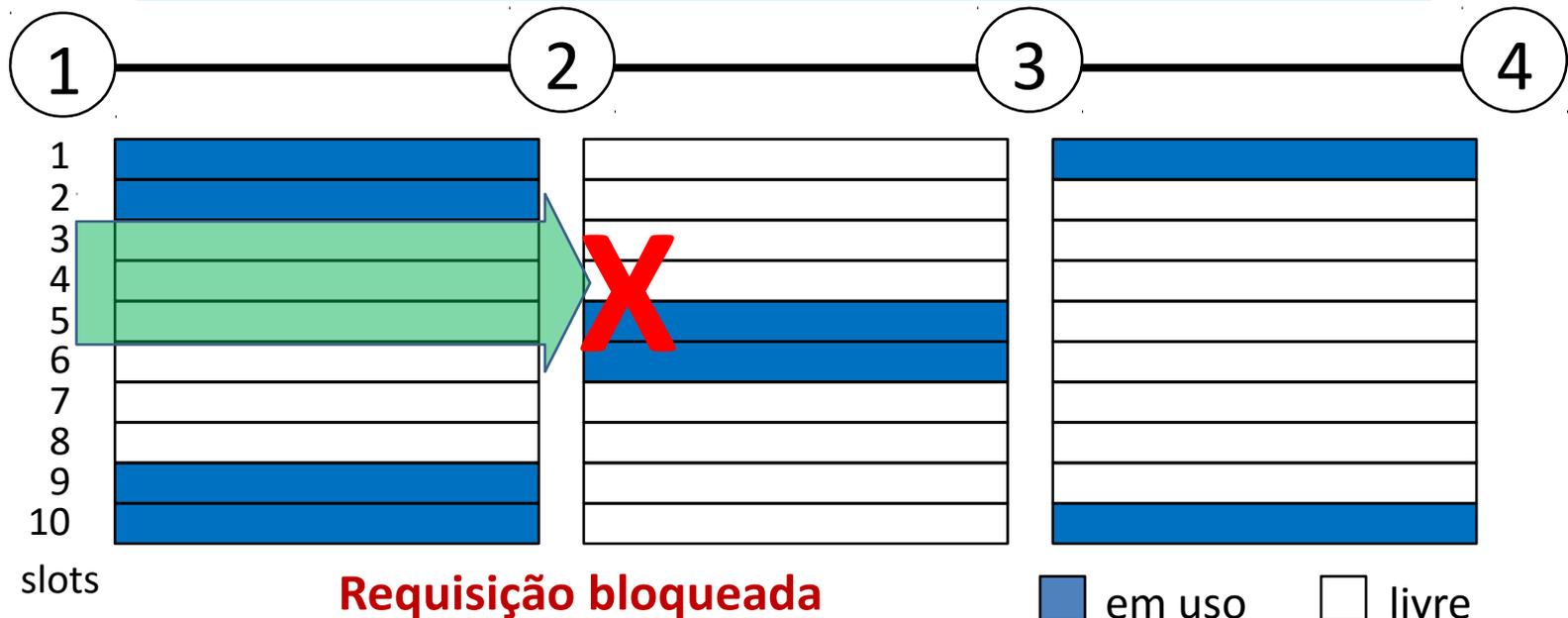
Chegada de uma requisição de circuito que necessita de **3** slots.
Quais slots devem ser utilizados?



Fragmentação de Espectro em Redes OFDM

- Restrição de continuidade de espectro
- Restrição de contiguidade de espectro

Chegada de uma requisição de circuito que necessita de **3** slots.
Quais slots devem ser utilizados?



Cálculo do QoT

- Qualidade de Transmissão (**QoT**- *Quality of Transmission*) é estimada através da relação sinal-ruído (**SNR** - *Signal to Noise Ratio*).
- O cálculo da **SNR** para um circuito é expressa por:



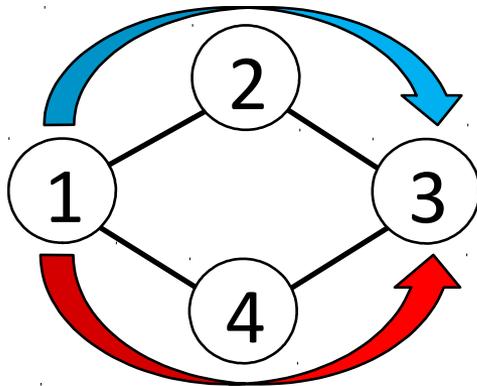
Tx é o transmissor e Rx é o receptor

$$SNR = \frac{I_S}{I_R}$$

I_S é a densidade espectral da potência de sinal
 I_R é a densidade espectral da potência de ruído

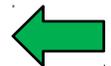
Alocação de Recursos Ciente de Efeitos de Camada Física

- **IA-RSA** – *Impairment Aware Routing and Spectrum Assignment*



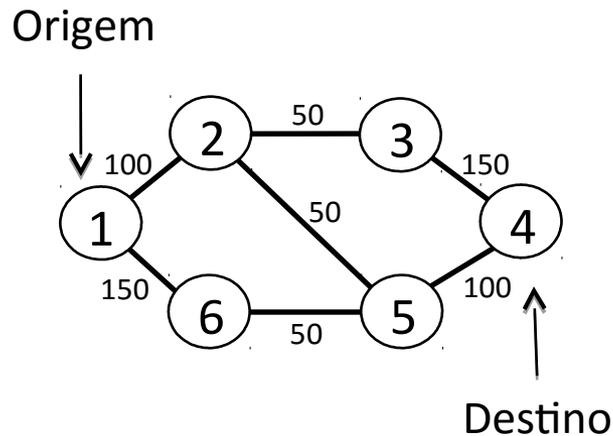
Qual a melhor rota para o par(1, 3)?

Rota	SNR
1,2,3	20 dB
1,4,3	15 dB



Alocação de Recursos Ciente de Efeitos de Camada Física

- *Modified Dijkstra Path Computation (MD-PC)*

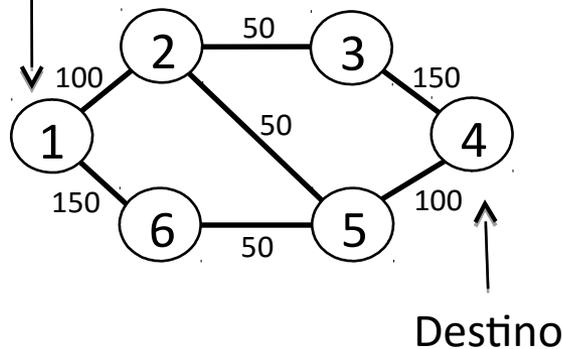


Nós	1	2	3	4	5	6
Distância	0	∞	∞	∞	∞	∞
Precedente	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset
Modulação	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset
Slots livres	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

Alocação de Recursos Ciente de Efeitos de Camada Física

- *Modified Dijkstra Path Computation (MD-PC)*

Origem



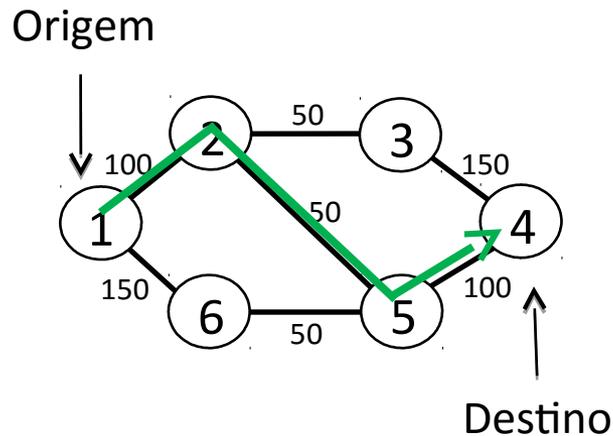
Nós	1	2	3	4	5	6
Distância	0	100	∞	∞	∞	150
Precedente	\emptyset	1	\emptyset	\emptyset	\emptyset	1
Modulação	\emptyset	A	\emptyset	\emptyset	\emptyset	B
Slots livres	\emptyset	1 ao 20	\emptyset	\emptyset	\emptyset	10 ao 20

Os nós vizinhos são visitados apenas se:

- Possuírem slots livres contínuos e contíguos;
- QoS aceitável.

Alocação de Recursos Ciente de Efeitos de Camada Física

- *Modified Dijkstra Path Computation (MD-PC)*



Nós	1	2	3	4	5	6
Distância	0	100	150	250	150	150
Precedente	\emptyset	1	2	5	2	1
Modulação	\emptyset	A	B	C	B	B
Slots livres	\emptyset	1 ao 20	5 ao 15	2 ao 10	1 ao 15	10 ao 20

Rota selecionada: 1-2-5-4

Alocação de Recursos Ciente de Efeitos de Camada Física

- *K-Shortest Path Computation (KS-PC)*

Rotas	SNR (dB)	Nível da modulação	Distância (km)	Nº slots livres
1	26	4	1500	100
2	26	4	2000	50
3	23	3	3000	150

Critérios para seleção de uma rota:

- Maior SNR;
- Maior nível da modulação;
- Menor distância;
- Maior quantidade de slots livres.

Alocação de Recursos Ciente de Efeitos de Camada Física

- *K-Shortest Path Computation (KS-PC)*

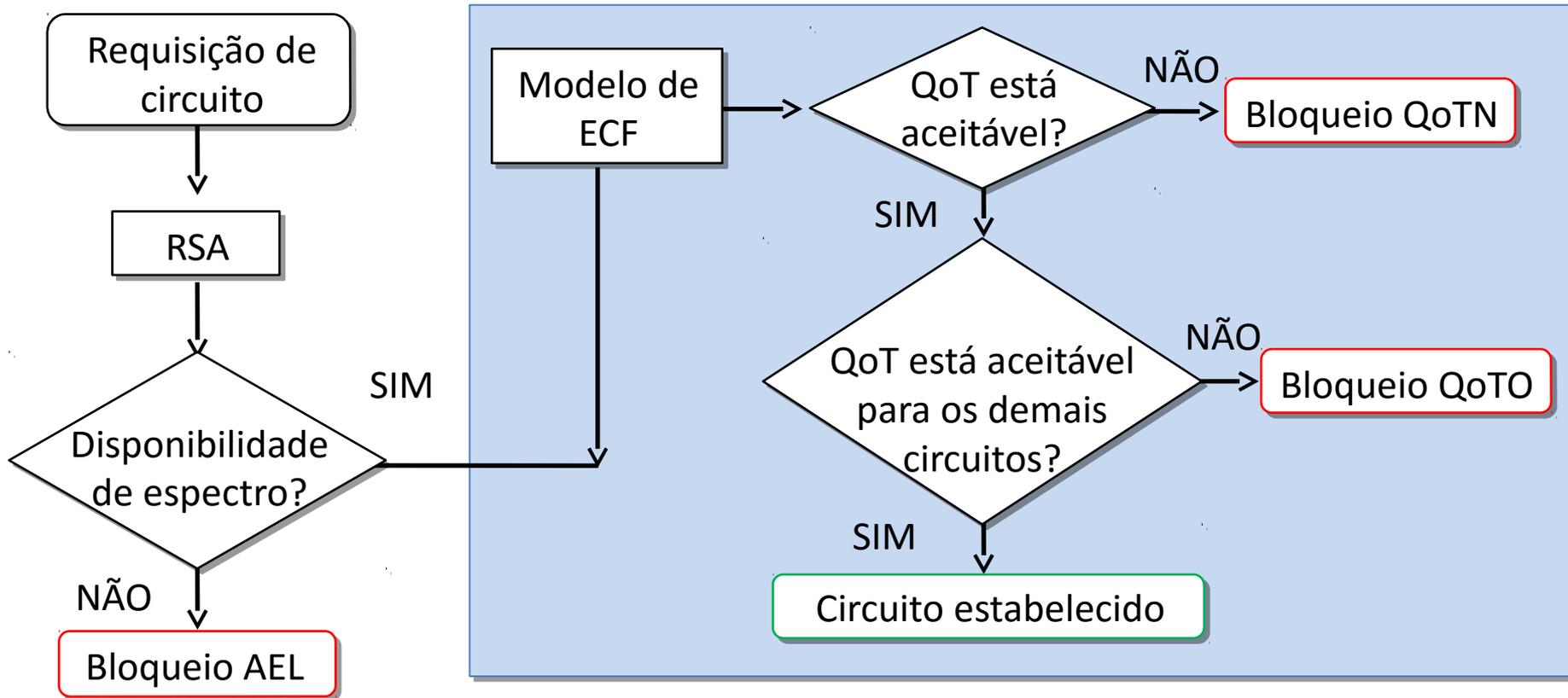
Rotas	SNR (dB)	Nível da modulação	Distância (km)	Nº slots livres
1	26	4	1500	100
2	26	4	2000	50
3	23	3	3000	150

Critérios para seleção de uma rota:

- Maior SNR;
- Maior nível da modulação;
- Menor distância;
- Maior quantidade de slots livres.

Rota selecionada: 1

Processo de Estabelecimento de Circuito Óptico



AEL – Ausência de Espectro Livre
ECF – Efeitos de camada física

QoT – *Quality of Transmission*

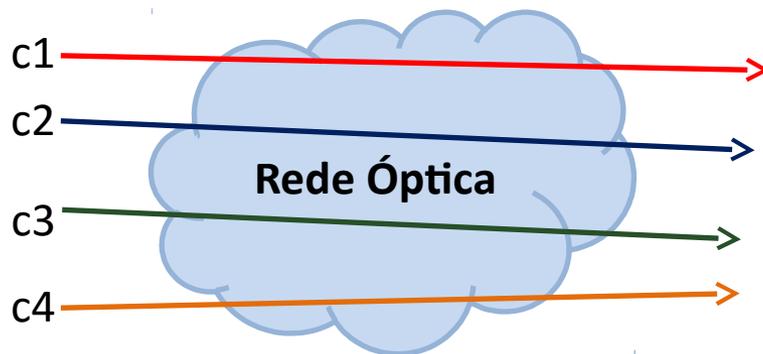
QoTN – QoT inaceitável para o Novo circuito

QoTO – QoT inaceitável para os outros circuitos já ativos

Bloqueio por QoT Inaceitável para os Outros Circuitos Ópticos já Ativos (QoTO)

Requisição de um novo circuito óptico (c5)

O estabelecimento de c5 afeta os circuitos já estabelecidos?



SNR(dB) dos circuitos ativos

	Atual	Com c5 estabelecido
c1	24	22
c2	26	25
c3	25	24
c4	25	25

Limiar de SNR exigido pela rede = 23 dB

O circuito c5 sofre bloqueio do tipo QoTO

Algoritmo proposto

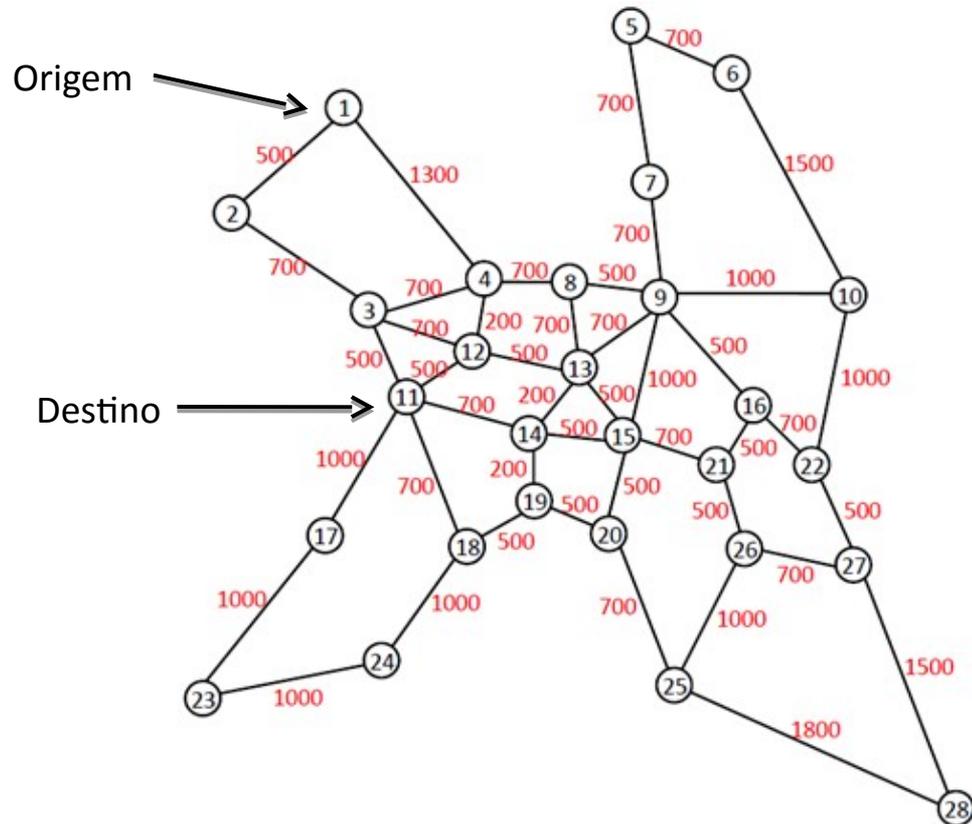
- *K-Shortest Path with Reduction of QoTO* (KSP-RQoTO)
- O objetivo do algoritmo KSP-RQoTO é reduzir os bloqueios do tipo QoTO
- Possui dois passos:
 - 1) Seleciona um formato de modulação para cada rota candidata buscando estabelecer circuitos mais resistentes a interferências de novos circuitos;
 - 2) Seleciona uma rota entre as rotas candidatas evitando alocar rotas que acarretem em uma degradação maior em termos de SNR nos circuitos ópticos já ativos na rede.

Algoritmo proposto

- Topologia de rede EON

Rotas para o par (1, 11):

- **1-2-3-11**
- **1-4-12-11**
- **1-2-3-12-11**



Seleção do formato de modulação

- Considerando a rota 1-2-3-11 para o par (1, 11)

Modulação	Limiar de SNR (dB)	Slots necessários	SNR (dB) do circuito	Δ SNR (dB)
A	15	5	19	4
B	18	3	21	3
C	21	1	23	2

Δ SNR = SNR do circuito – limiar de SNR.

Seleciona a modulação com Δ SNR $\geq \sigma$ e com a maior eficiência espectral (EE).
 σ é o valor mínimo exigido para o Δ SNR.

Para $\sigma = 3$, a modulação B seria escolhida .

Se não for possível respeitar o valor do sigma, escolha a modulação com a maior EE.

Seleção da rota

- Selecionando uma rota para o par (1, 11)

1) Rota 1-2-3-11

Slots: 4,5 e 6

2) Rota 1-4-12-11

Slots: 12, 13 e 14

3) Rota 1-2-3-12-11

Slots: 8, 9 e 10

Δ SNR dos circuitos ativos que possuem rotas com enlaces em comum com a rota candidata.

Circuito	Δ SNR (dB)
C1	3
C2	5
C3	5
C4	7

Circuito	Δ SNR (dB)
C5	5
C6	7
C7	4
C8	9

Circuito	Δ SNR (dB)
C1	3
C2	5
C9	6
C10	4

Seleção da rota

- Selecionando uma rota para o par (1, 11)

1) Rota 1-2-3-11

Slots: 4,5 e 6

Δ SNR (dB): 3

2) Rota 1-4-12-11

Slots: 12, 13 e 14

Δ SNR (dB): 4

3) Rota 1-2-3-12-11

Slots: 8, 9 e 10

Δ SNR (dB): 3

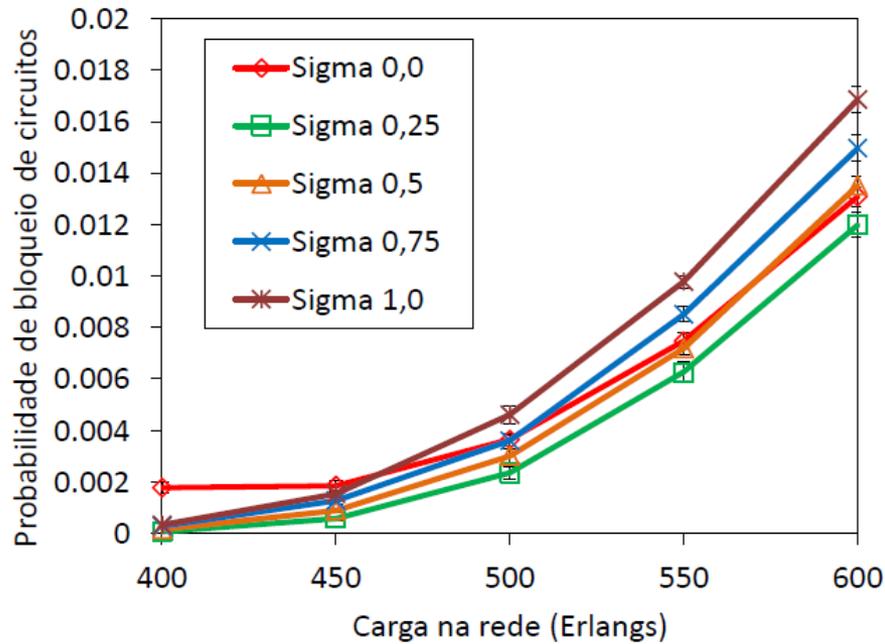
Critérios para seleção da rota:

- **Menor índice de slot de frequência;**
- **Maior valor de Δ SNR.**

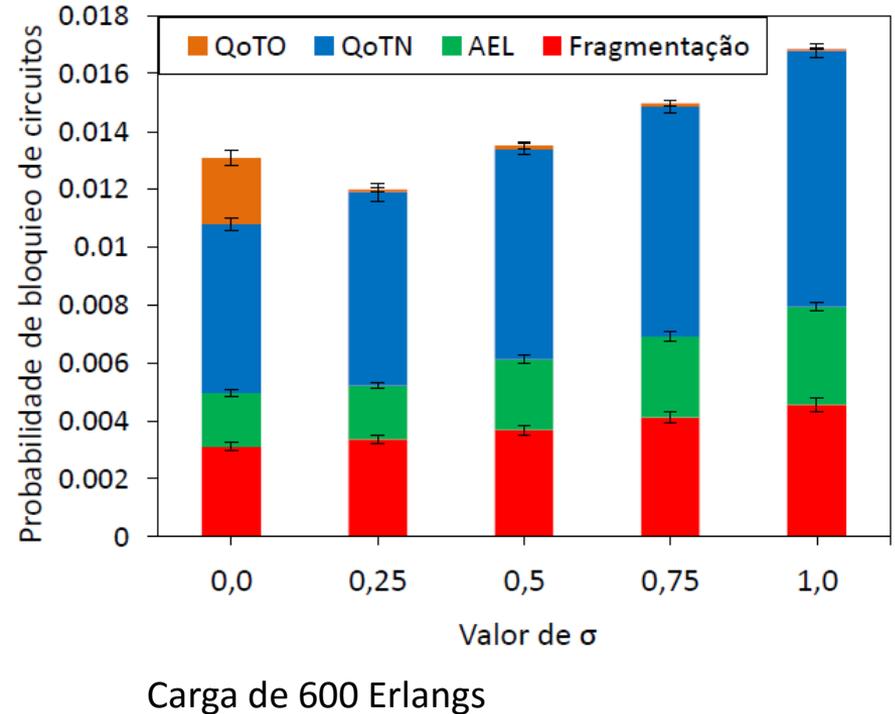
A rota selecionada será a rota 1-2-3-11.

Escolha para o valor do σ

a) Probabilidade de bloqueio geral



b) Componentes da probabilidade de bloqueio



Estudo de avaliação de desempenho

- Algoritmos comparados:
 - KS-PC;
 - MD-PC;
 - **KSP-RQoTO.**
- Métricas utilizadas:
 - Probabilidade de bloqueio de circuitos;
 - Probabilidade de bloqueio de banda;

Estudo de avaliação de desempenho

- Algoritmo de alocação de espectro: *First Fit*
- Larguras de bandas:
 - 10 Gbps, 40 Gbps, 80 Gbps, 100 Gbps, 160 Gbps, 200 Gbps e 400 Gbps;

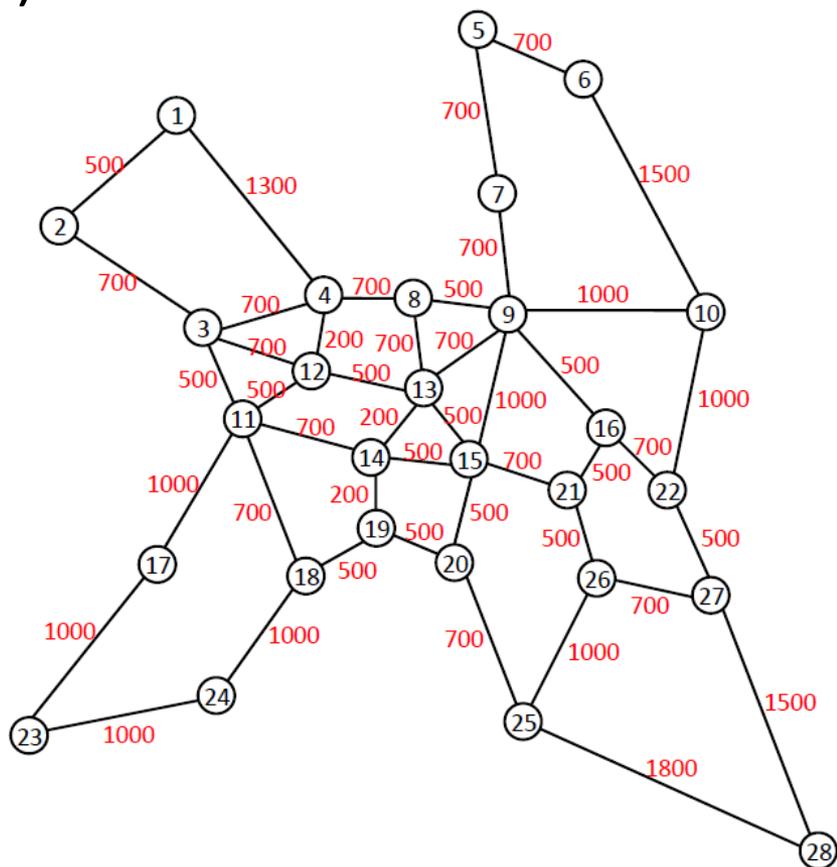
	Formatos de Modulação					
	BPSK	QPSK	8QAM	16QAM	32QAM	64QAM
Limiar de SNR (dB)	6	9	12	15	18	21

Estudo de avaliação de desempenho

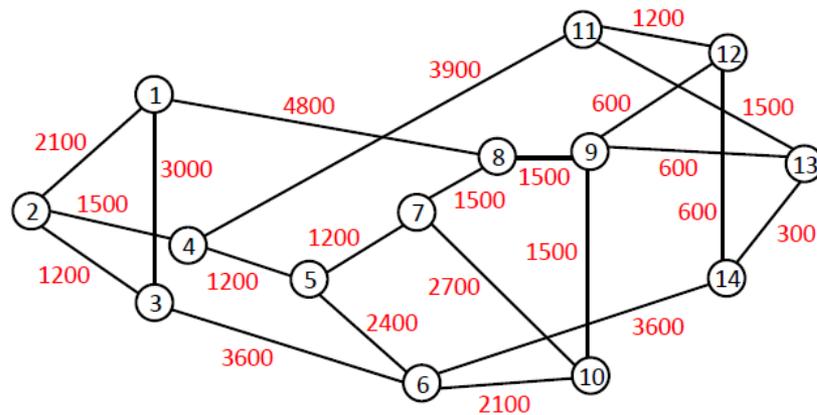
- Quantidade de slots:
 - 400
- Frequência por slot:
 - 12,5 GHz
- Frequência por banda de guarda:
 - 6,25 GHz
- Quantidade de requisições:
 - 100000
- Quantidade de replicações:
 - 10
- Ferramenta utilizada:
 - Simulador SNetS

Estudo de avaliação de desempenho

a) EON



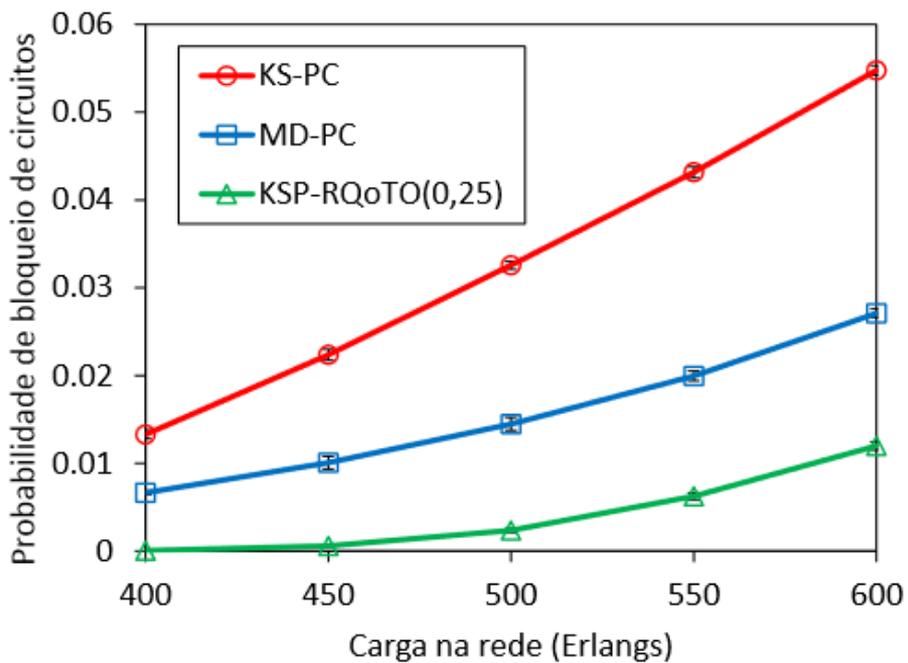
b) NSFNet



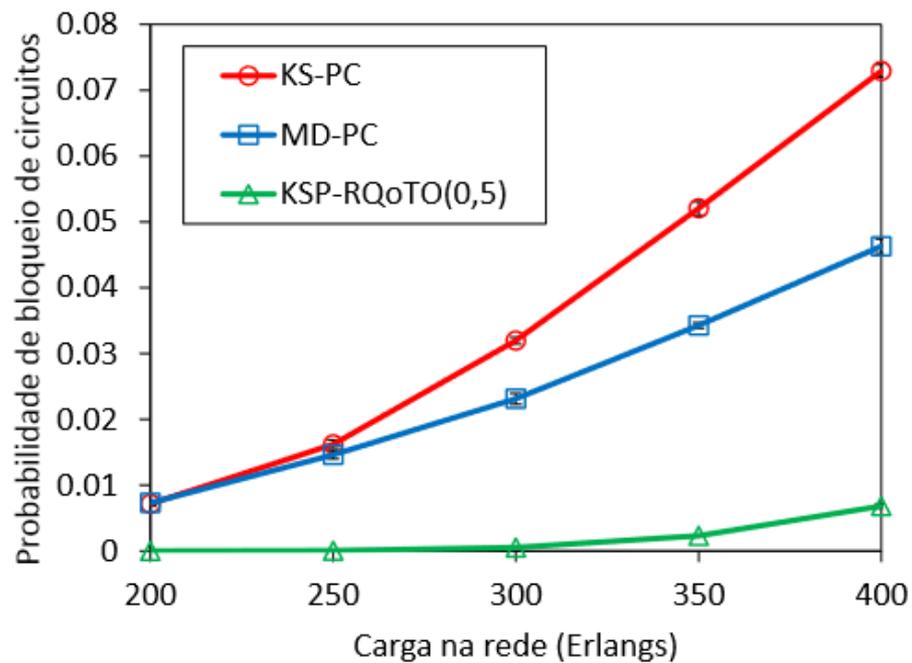
Probabilidade de bloqueio de circuito

a) EON

b) NSFNet



(a) EON.



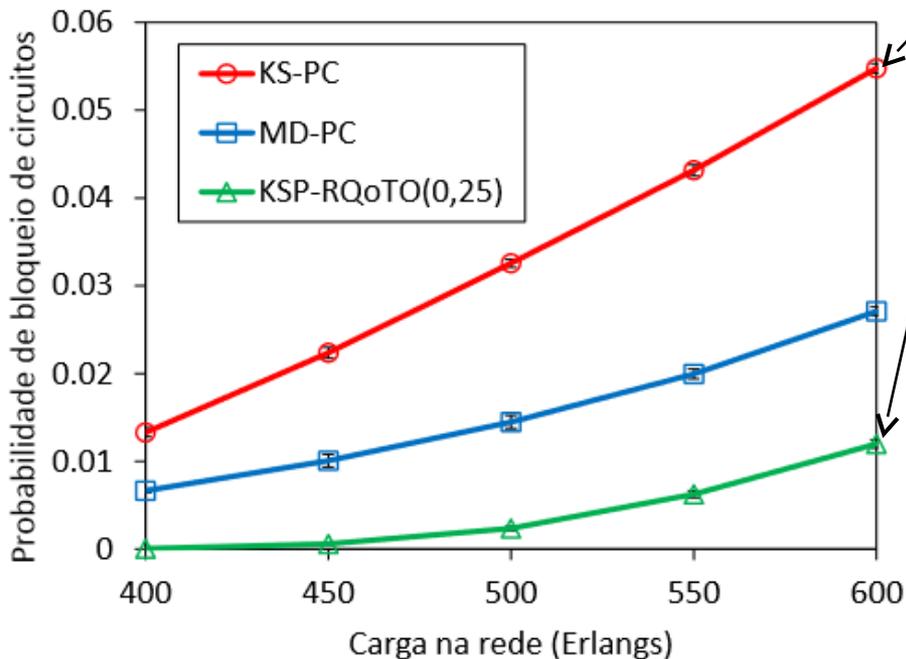
(b) NSFNet.

Probabilidade de bloqueio de circuito

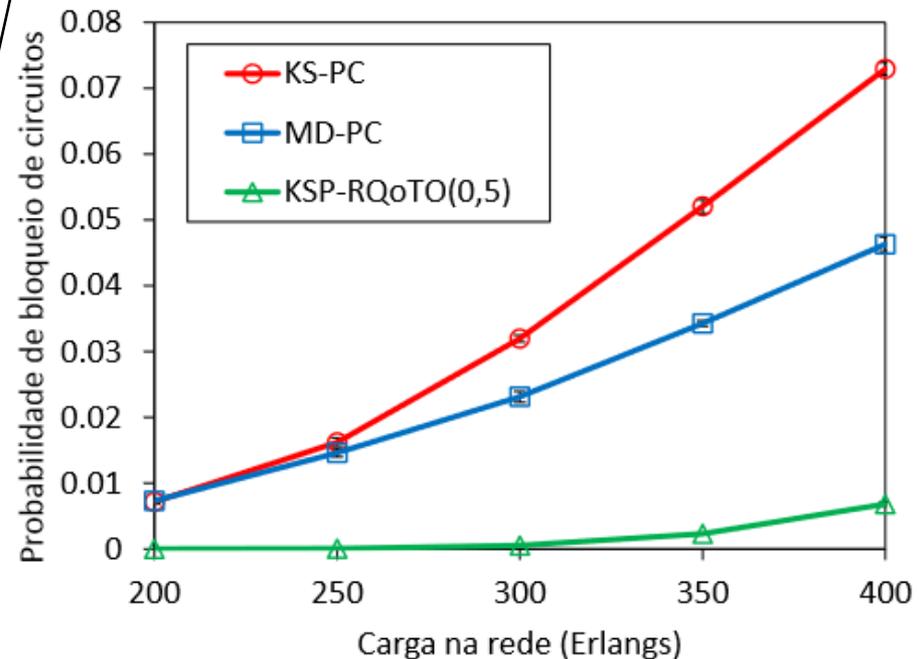
a) EON

b) NSFNet

Ganho de pelo menos 78,10%



(a) EON.



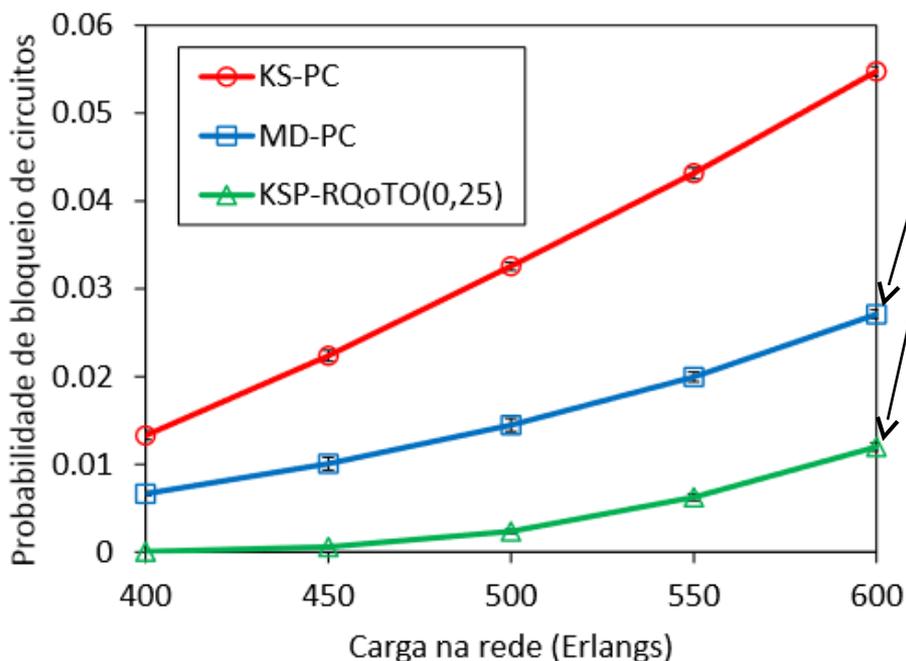
(b) NSFNet.

Probabilidade de bloqueio de circuito

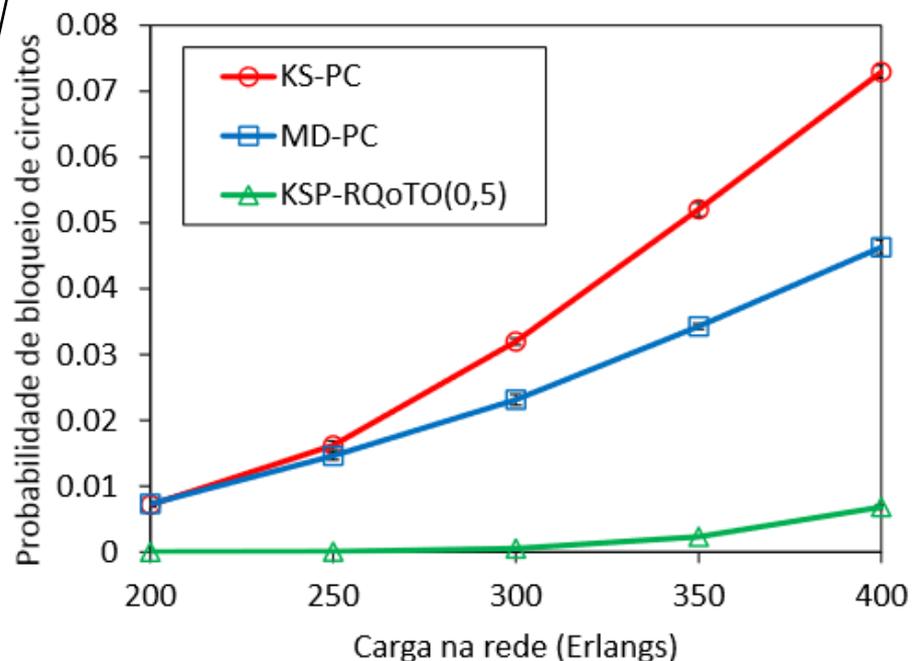
a) EON

b) NSFNet

Ganho de pelo menos 55,75%



(a) EON.



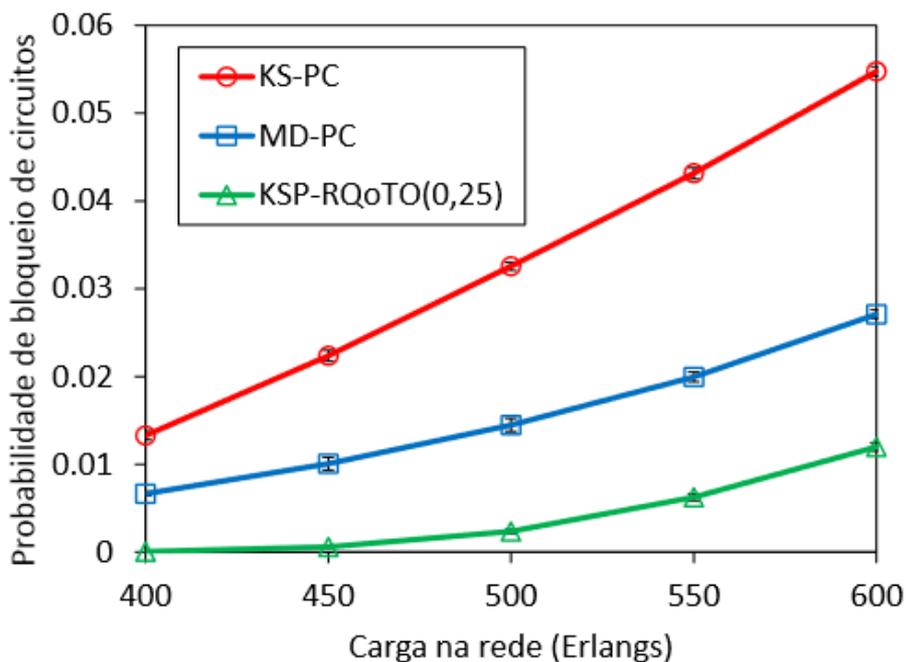
(b) NSFNet.

Probabilidade de bloqueio de circuito

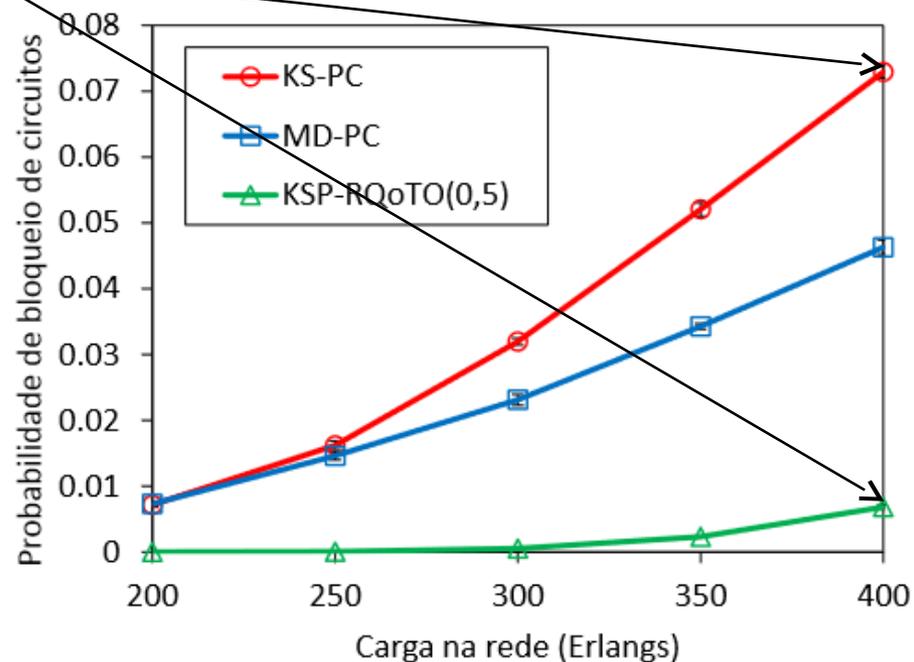
a) EON

b) NSFNet

Ganho de pelo menos 90,59 %



(a) EON.



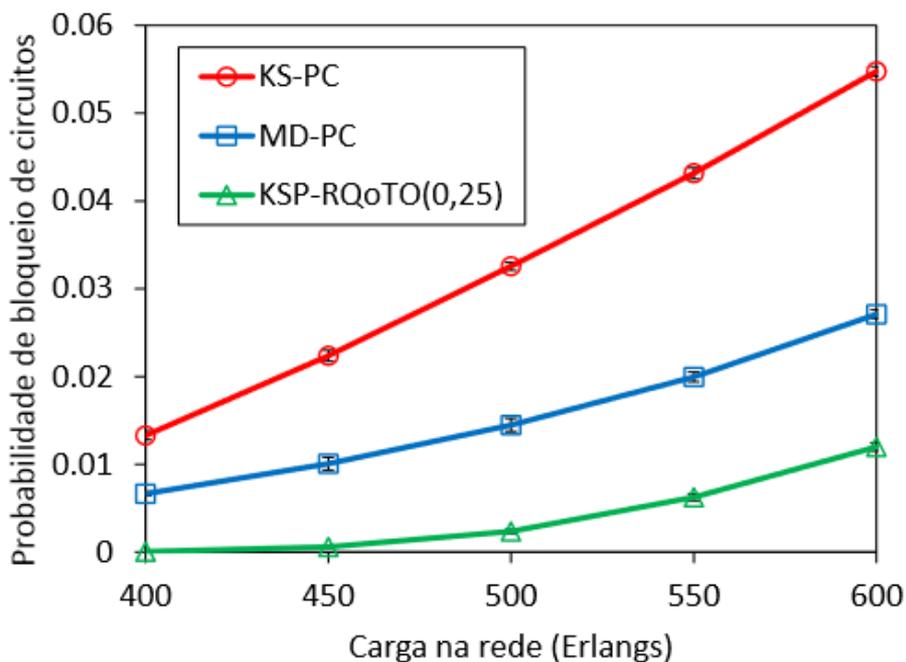
(b) NSFNet.

Probabilidade de bloqueio de circuito

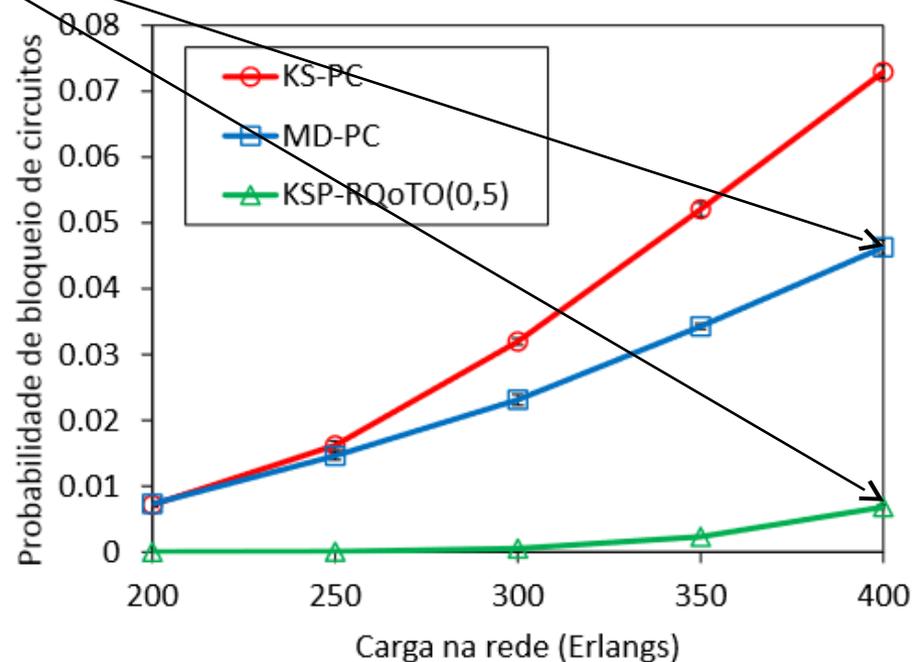
a) EON

b) NSFNet

Ganho de pelo menos 85,18 %



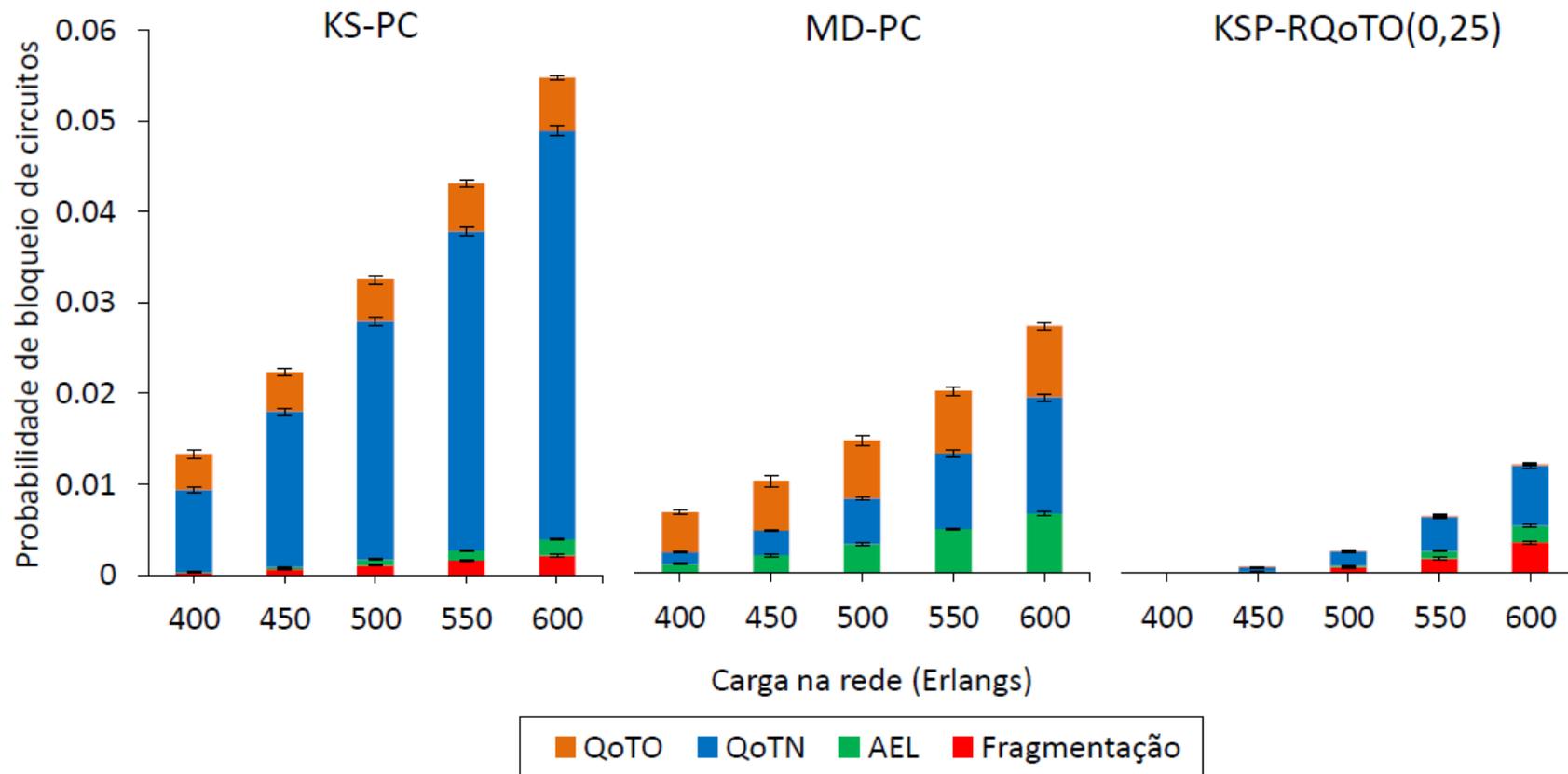
(a) EON.



(b) NSFNet.

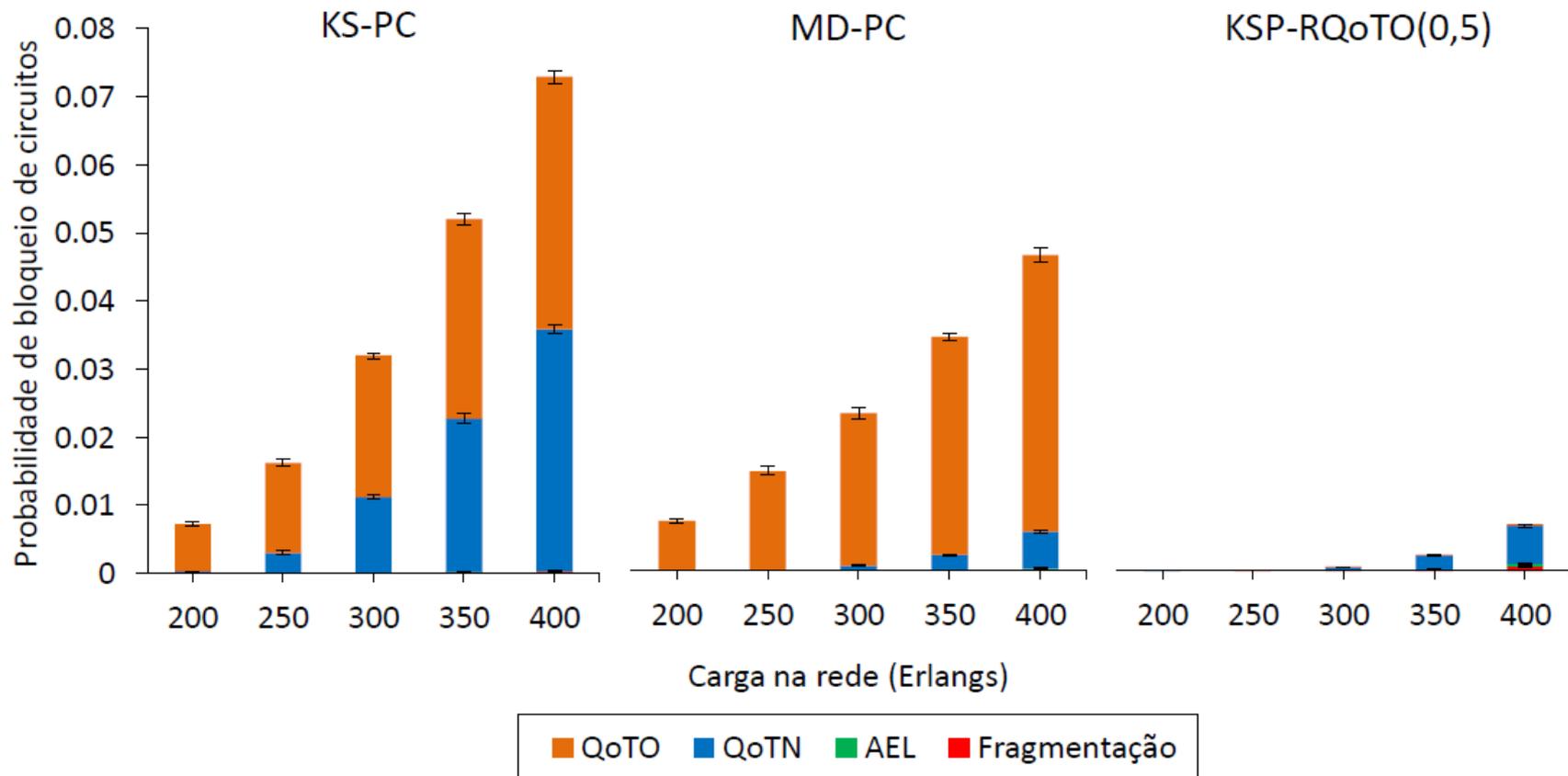
Componentes das probabilidades de bloqueio de circuito

EON



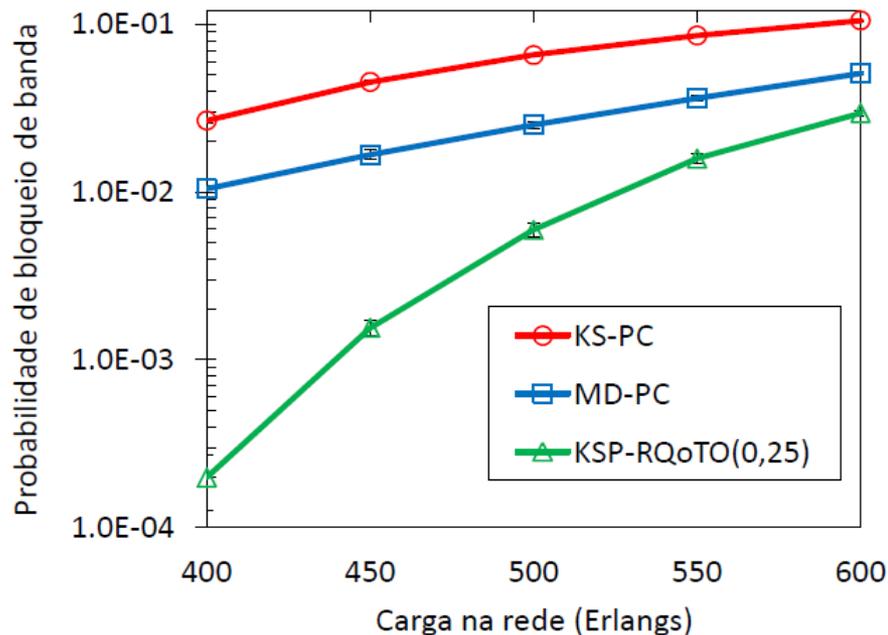
Componentes das probabilidades de bloqueio de circuito

NSFNet

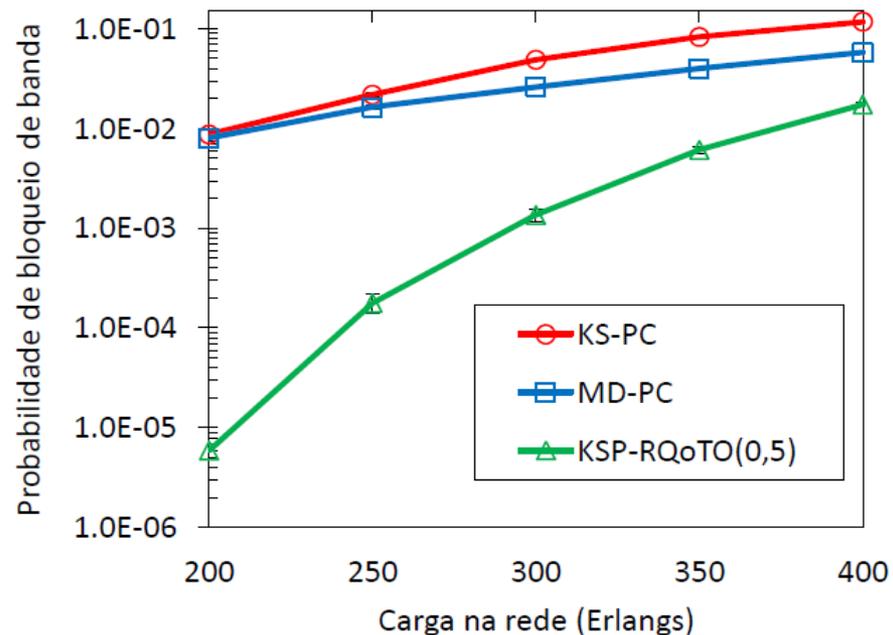


Probabilidade de bloqueio de banda

a) EON

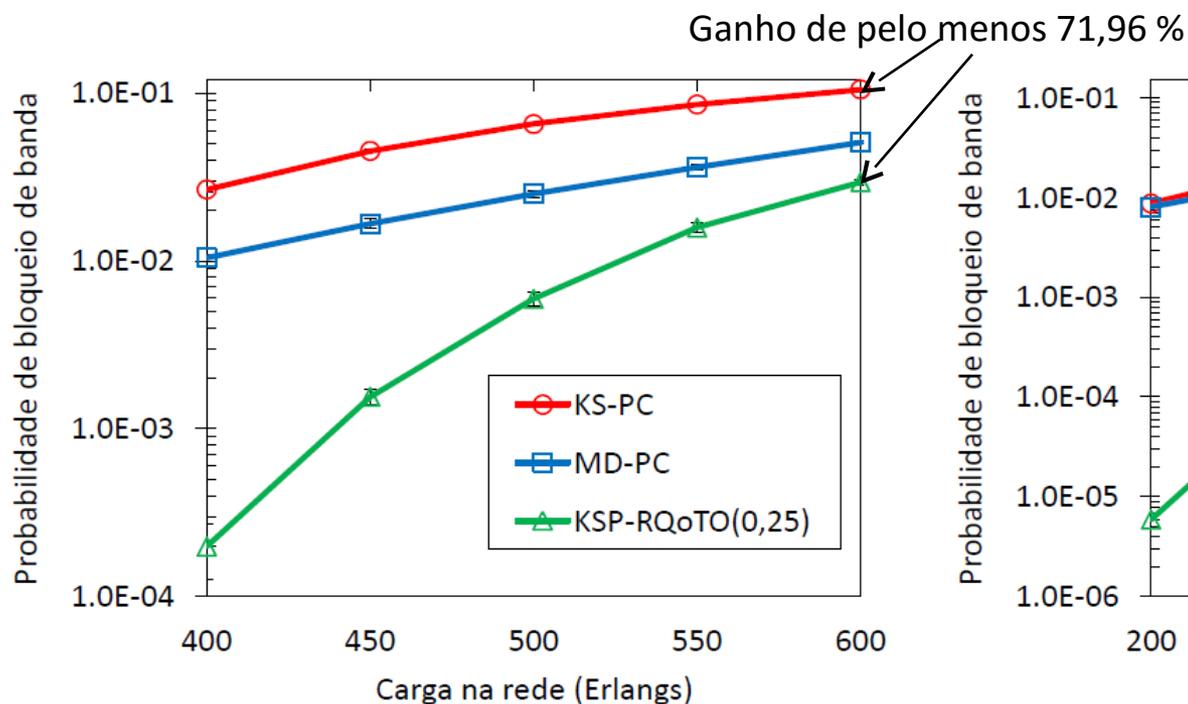


b) NSFNet

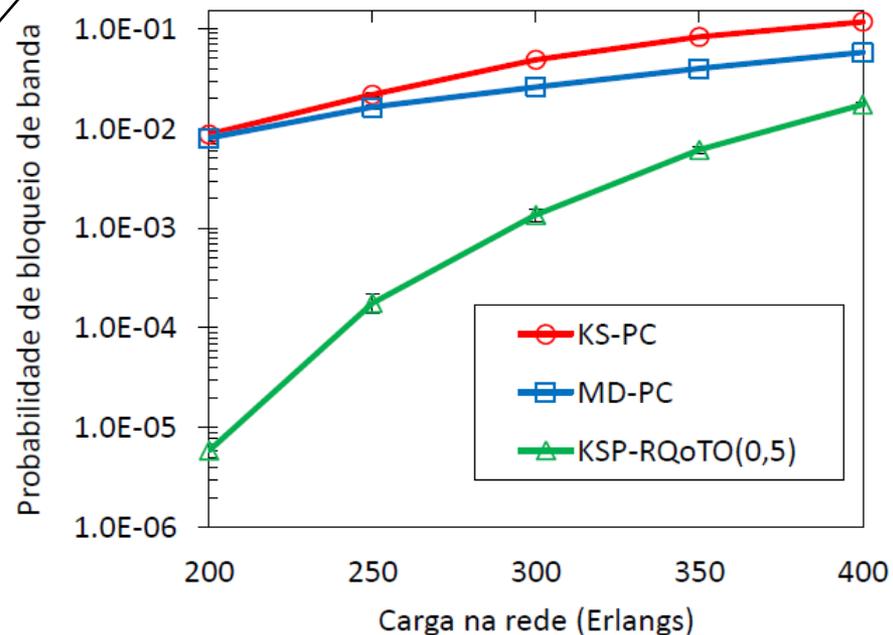


Probabilidade de bloqueio de banda

a) EON

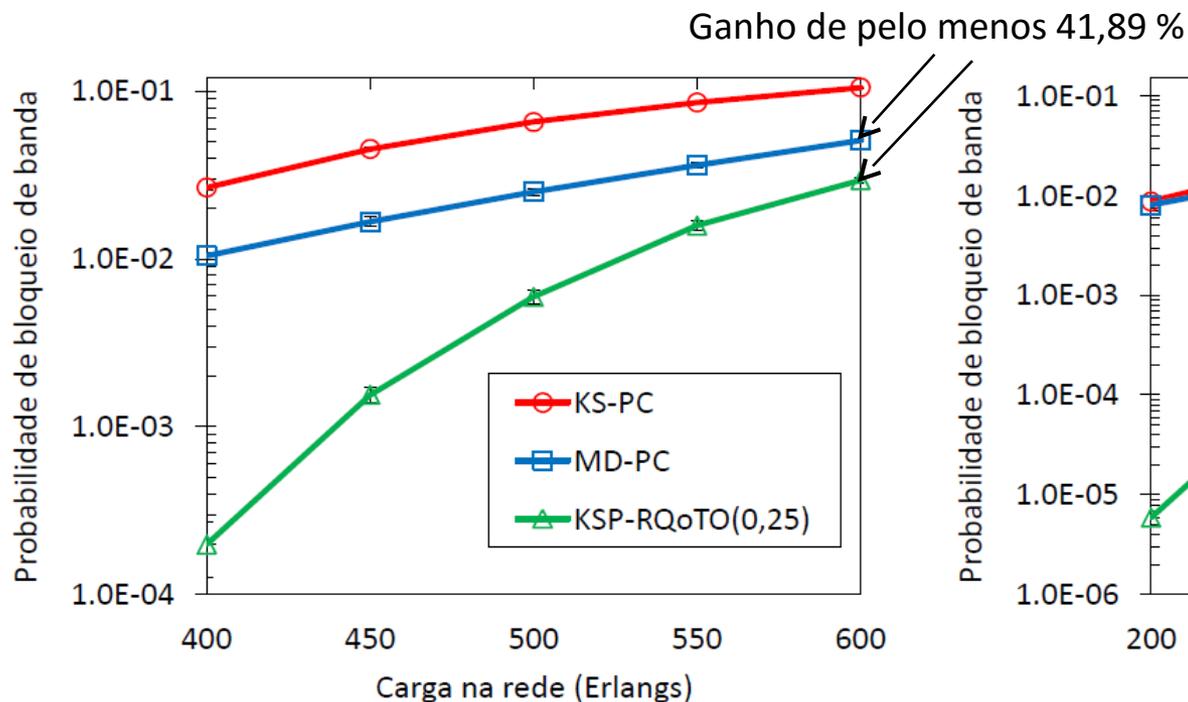


b) NSFNet

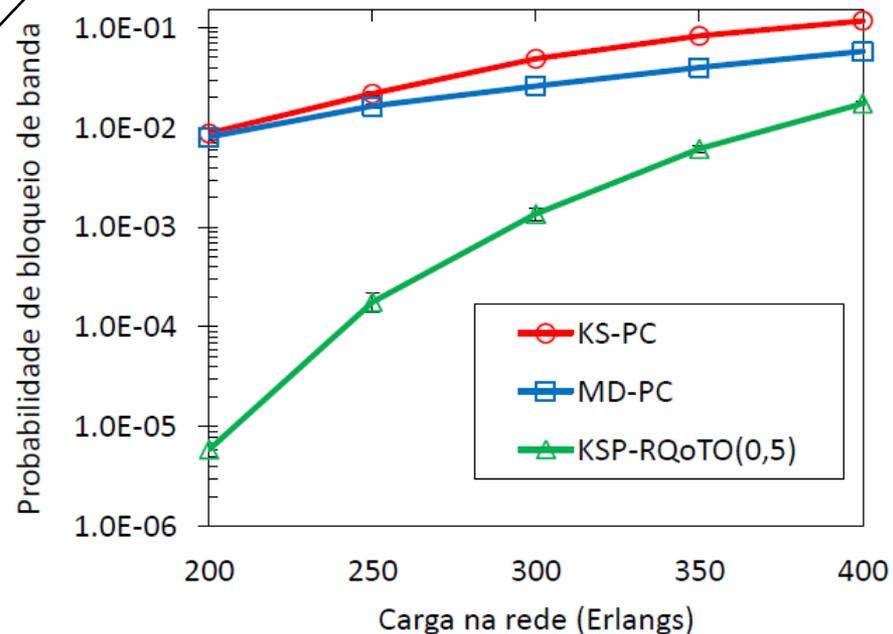


Probabilidade de bloqueio de banda

a) EON

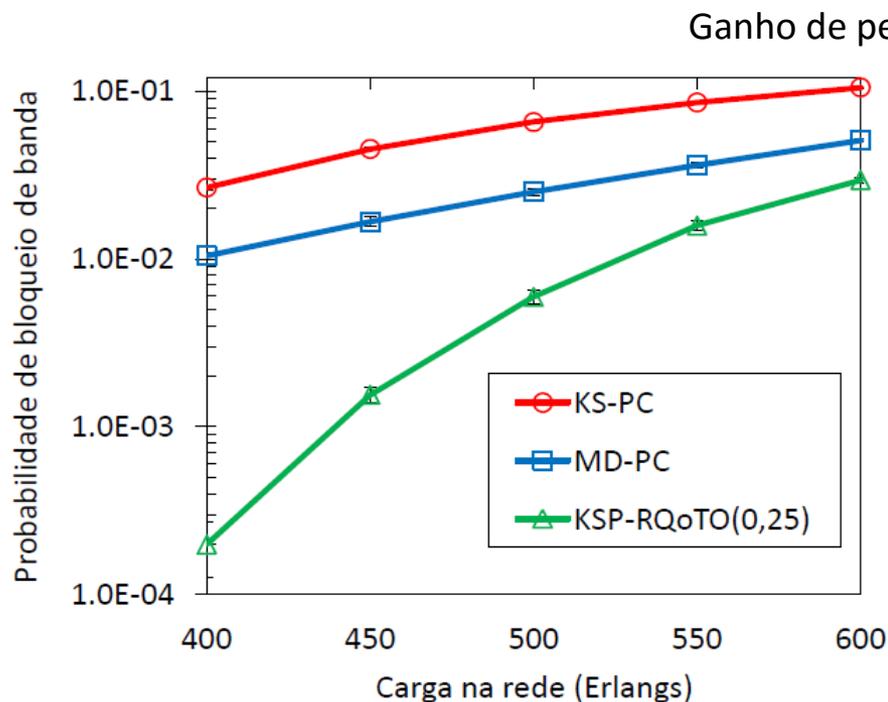


b) NSFNet

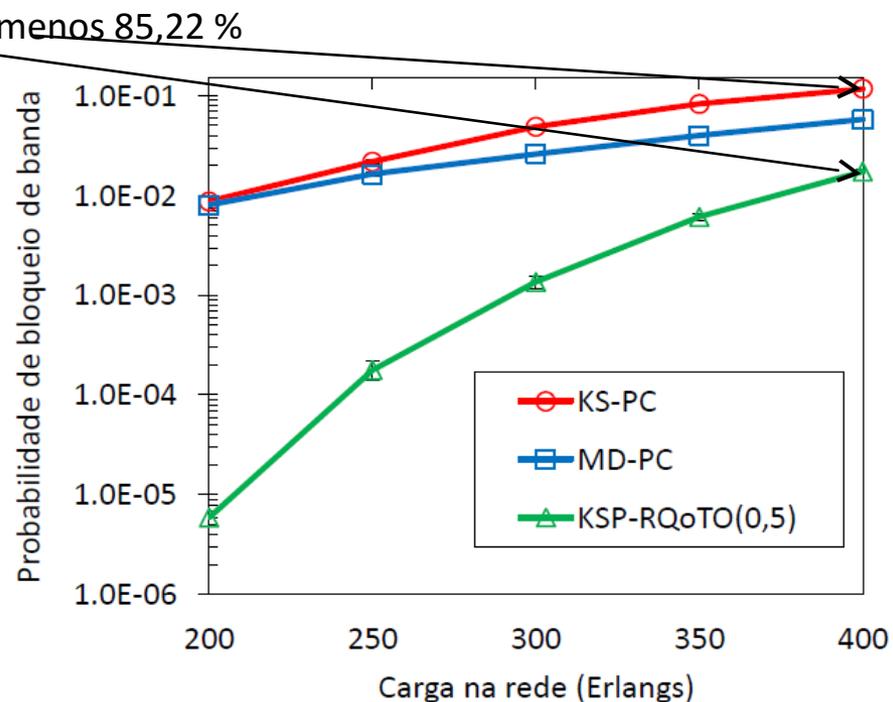


Probabilidade de bloqueio de banda

a) EON

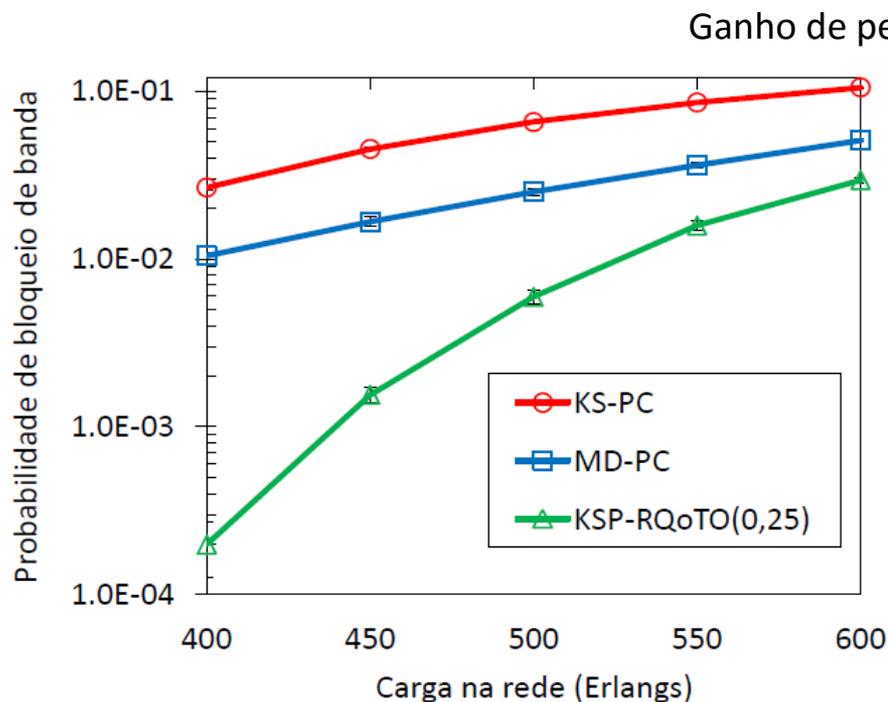


b) NSFNet

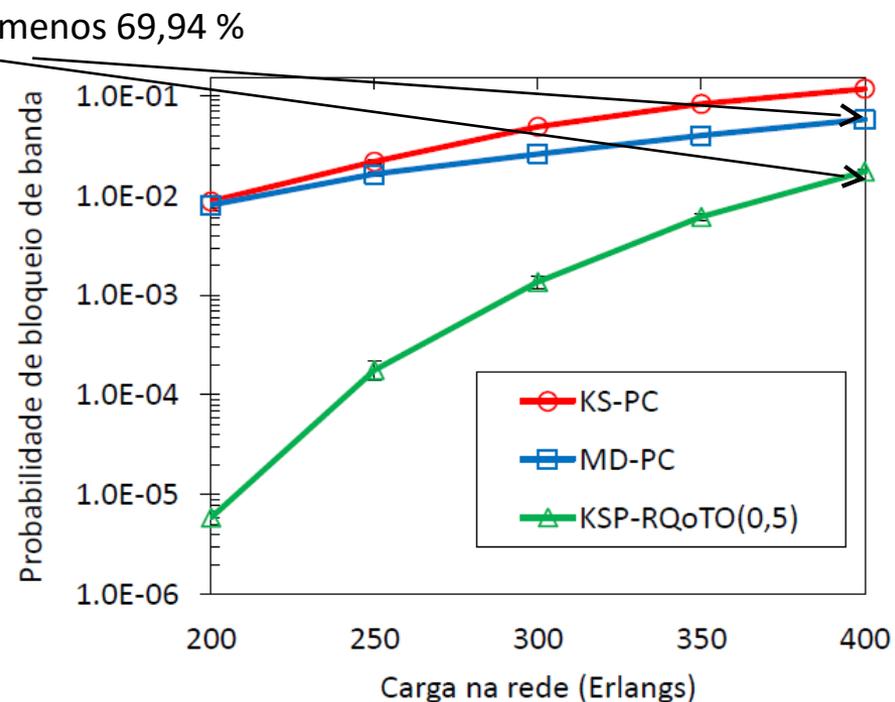


Probabilidade de bloqueio de banda

a) EON



b) NSFNet



Considerações finais

- Foi proposto um algoritmo IA-RSA para redes ópticas elásticas chamado de KSP-RQoTO;
- Realizou-se um estudo de avaliação de desempenho comparando o algoritmo KSP-RQoTO com os algoritmos KS-PC e MD-PC.

Considerações finais

- Probabilidade de bloqueio de circuitos:
 - Topologia EON:
 - Ganho mínimo de 78,10% em relação ao KS-PC;
 - Ganho mínimo de 55,75% em relação ao MD-PC.
 - Topologia NSFNet:
 - Ganho mínimo de 90,59% em relação ao KS-PC;
 - Ganho mínimo de 85,18% em relação ao MD-PC.

Considerações finais

- Probabilidade de bloqueio de banda:
 - Topologia EON:
 - Ganho mínimo de 71,96% em relação ao KS-PC;
 - Ganho mínimo de 41,89% em relação ao MD-PC.
 - Topologia NSFNet:
 - Ganho mínimo de 85,22% em relação ao KS-PC;
 - Ganho mínimo de 69,94% em relação ao MD-PC.

Trabalhos futuros

- Utilizar outra estratégia para a alocação de espectro:
 - Verificar o impacto nos outros circuitos já ativos na rede no momento da seleção dos slots de frequência.
- Investigar o desempenho do algoritmo proposto em uma rede óptica elástica translúcida.

Um Novo Algoritmo RSA Ciente de Imperfeições de Camada Física para Redes Ópticas Elásticas

¹Departamento de Computação - UFPI

²Instituto Federal do Piauí

³Centro de Informática - UFPE

Alexandre Fontinele¹

Iallen Santos²

Juarez Nolêto Neto¹

Divanilson R. Campelo³

André Soares¹