

ESTUDO DE NETWORKS ON CHIP (NOCS) EM FPGAS

Prof. Maurício Acconcia Dias
Prof. Marcílio F. de Oliveira Neto

Agenda

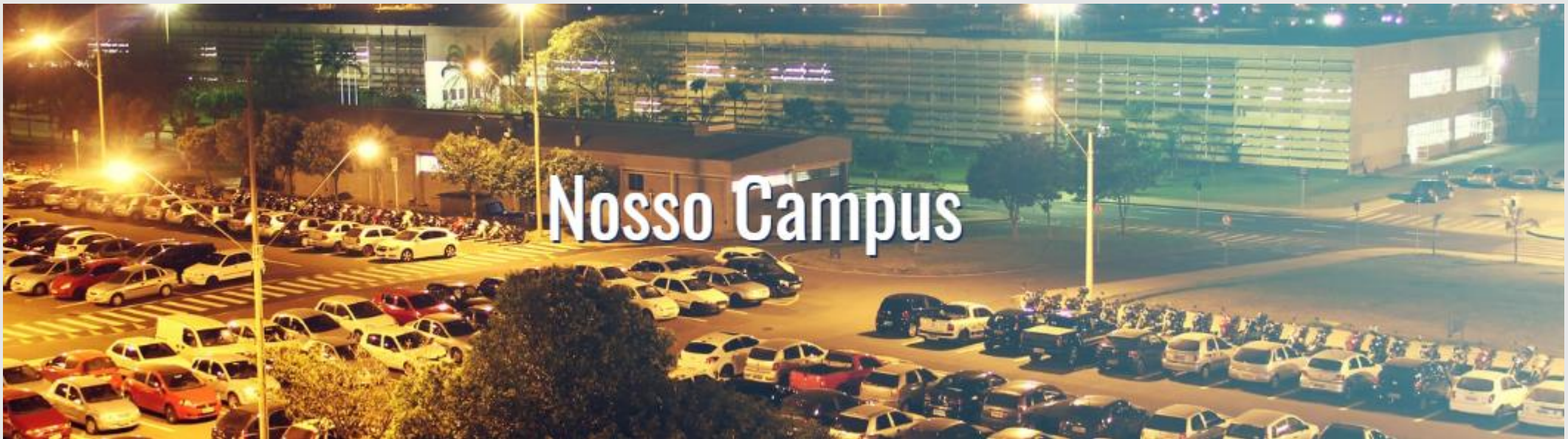
- Apresentação do palestrante
- Introdução aos FPGAs
- Considerações sobre o modelo OSI
- Definições sobre NoCs
- Características de cada camada
- NoCs em FPGAs

De onde viemos... (ou onde estamos)



FHO

- Centro Universitário da Fundação Hermínio Ometto



FHO

- Centro Universitário da Fundação Hermínio Ometto
 - Área Total: 392.508 m².
 - Área Total Construída: 50.063,61 m².
 - 11 blocos
 - 23 cursos, 6 engenharias
- Instituição de ensino sem fins lucrativos gerida pela fundação

FHO

- 6 engenharias, dentre elas computação e elétrica



Palestrantes

- Prof. Maurício Acconcia Dias
- Prof. Marcílio F de Oliveira Neto



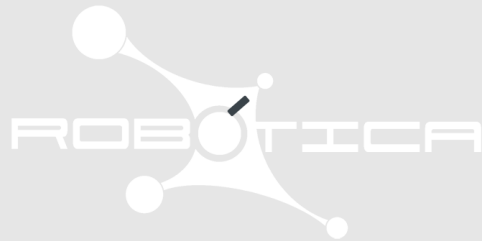
Grupos de Pesquisa

- As engenharias na FHO possuem um total de 27 projetos de pesquisa em andamento



Participações em Eventos Recentes

- LARC 2019
- SBGames 2019 – Trilha principal
- IPDPS 2019 – Reconfigurable Architectures Workshop (RAW)
- ERAD-SP 2019



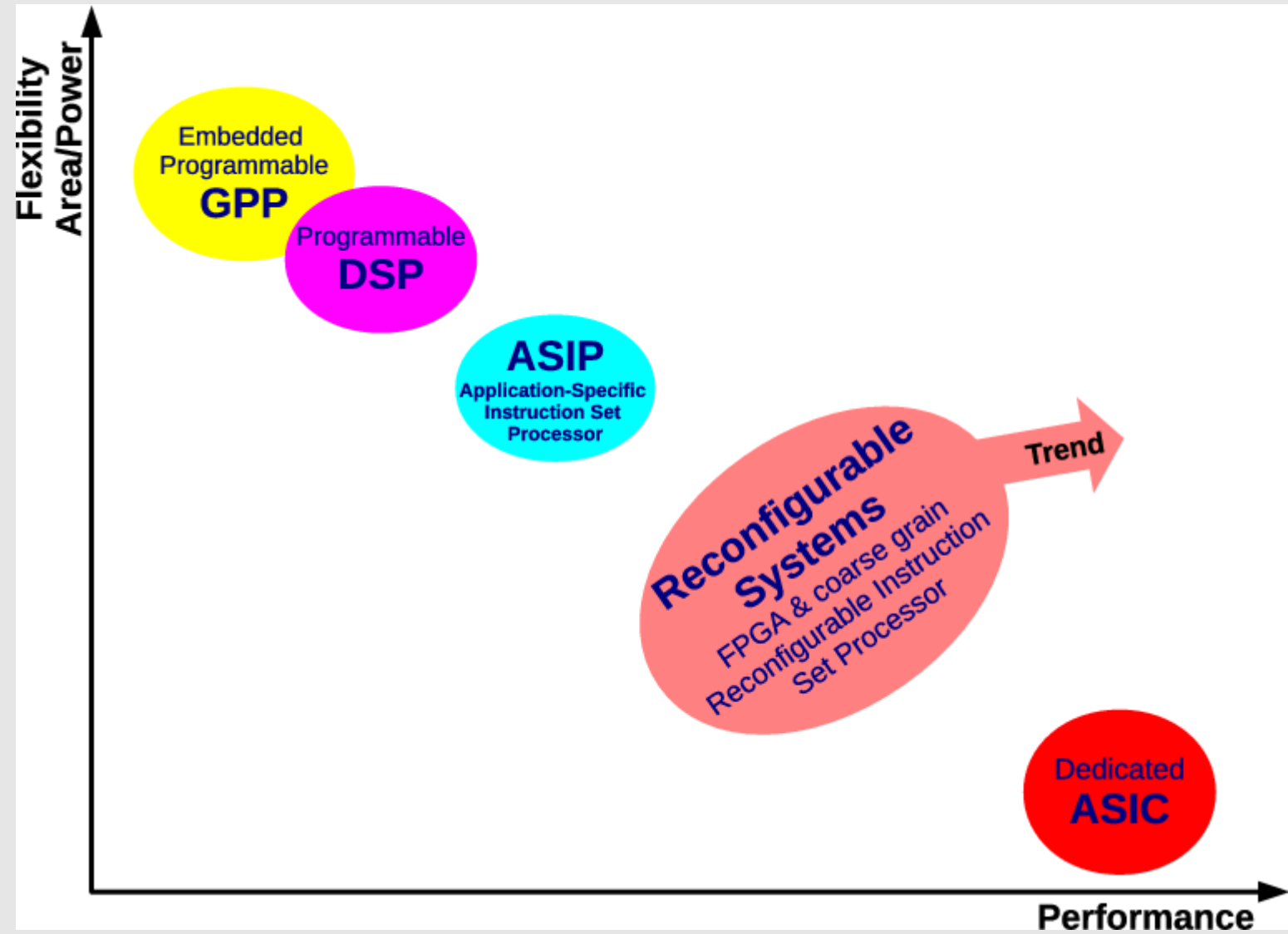
BARRA DA TIJUCA
RIO DE JANEIRO, BRASIL
28 A 31 DE OUTUBRO DE 2019



Agenda

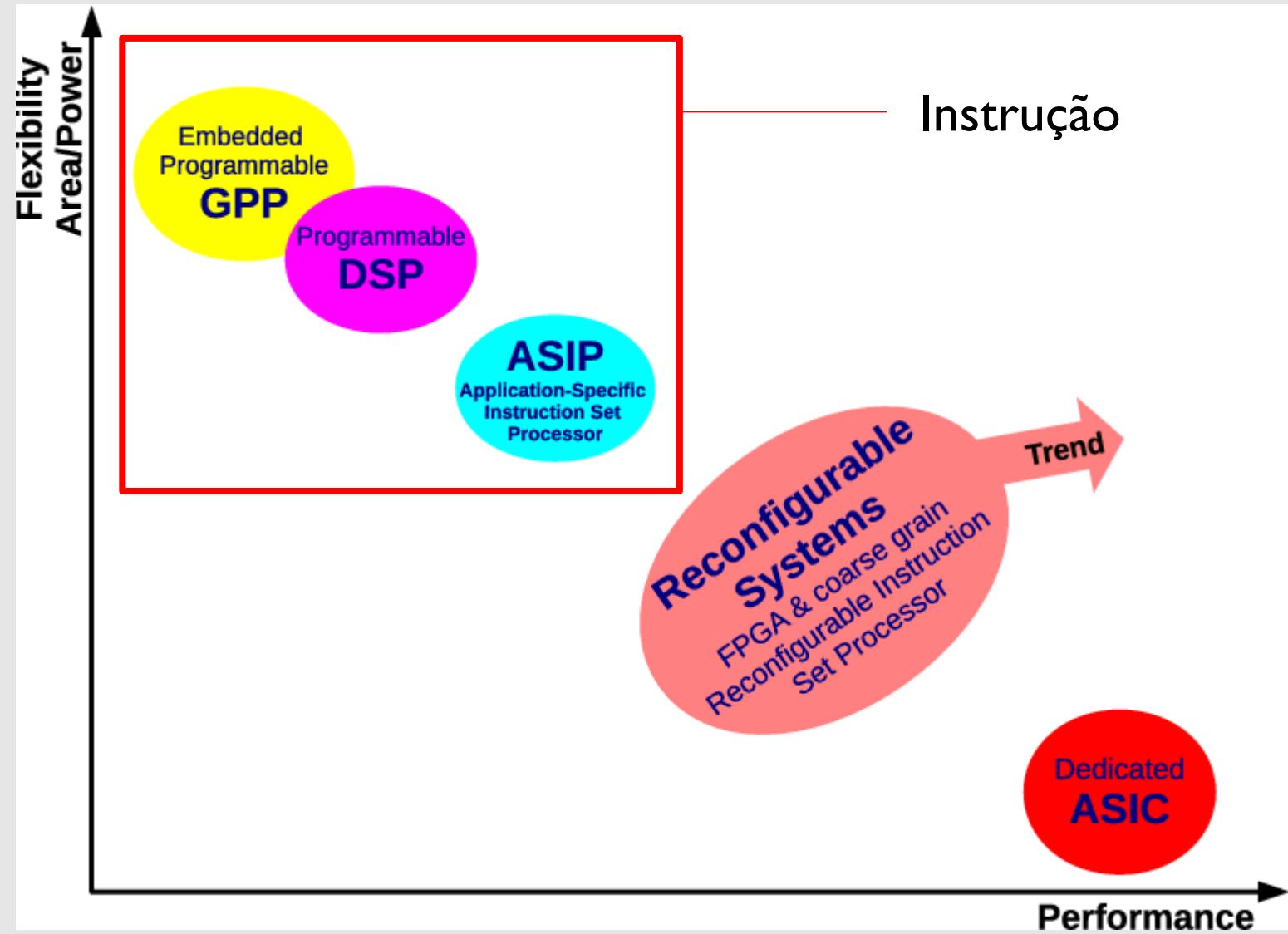
- ~~Apresentação do palestrante~~
- Introdução aos FPGAs
- Considerações sobre o modelo OSI
- Definições sobre NoCs
- Características de cada camada
- NoCs em FPGAs

FPGAS



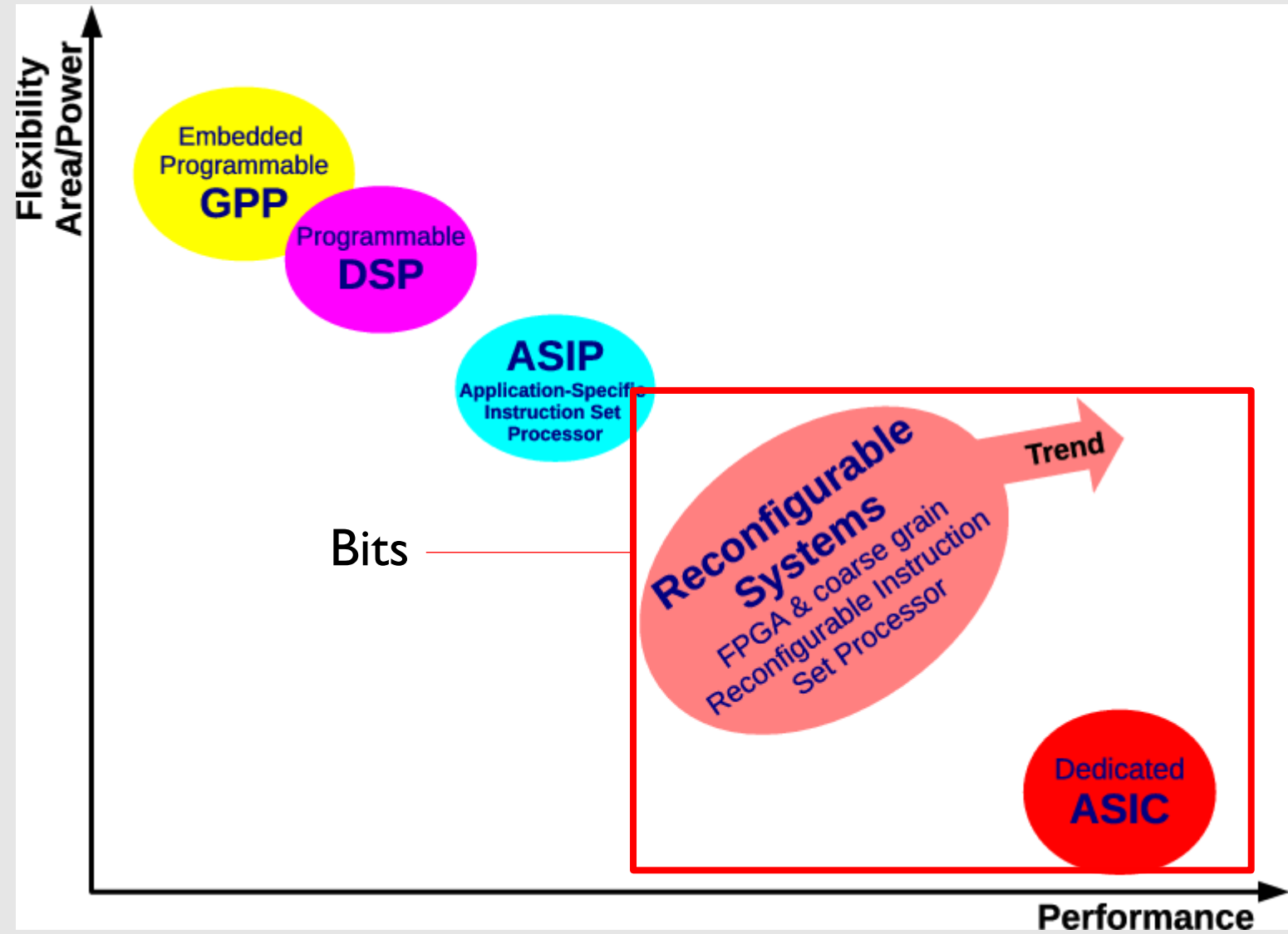
Fonte: Wassi-Leupi, Guy. "Online scheduling for real-time multitasking on reconfigurable hardware devices." (2011).

FPGAS



Fonte: Wassi-Leupi, Guy. "Online scheduling for real-time multitasking on reconfigurable hardware devices." (2011).

FPGAS

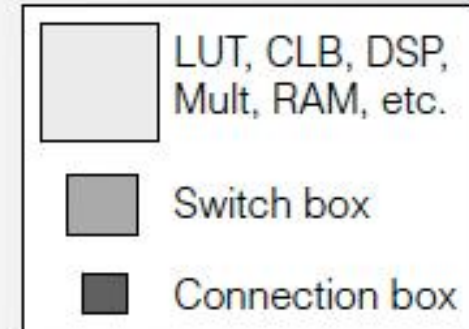
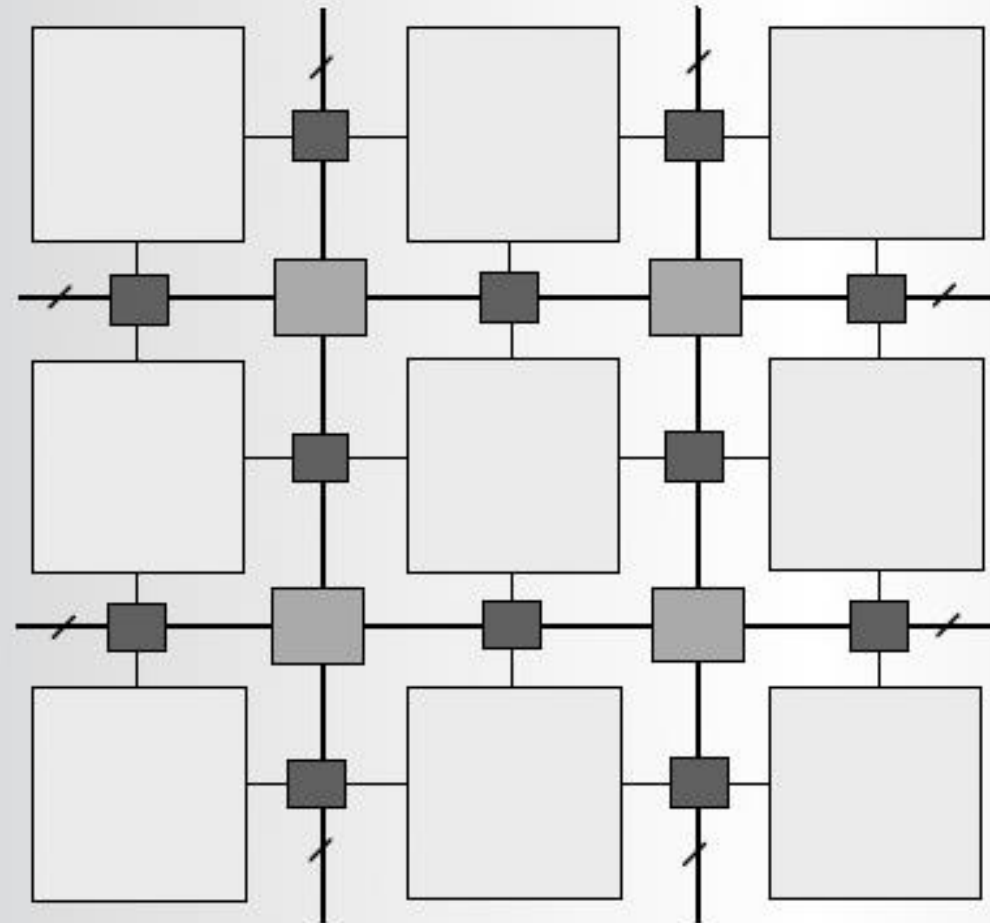


Fonte: Wassi-Leupi, Guy. "Online scheduling for real-time multitasking on reconfigurable hardware devices." (2011).

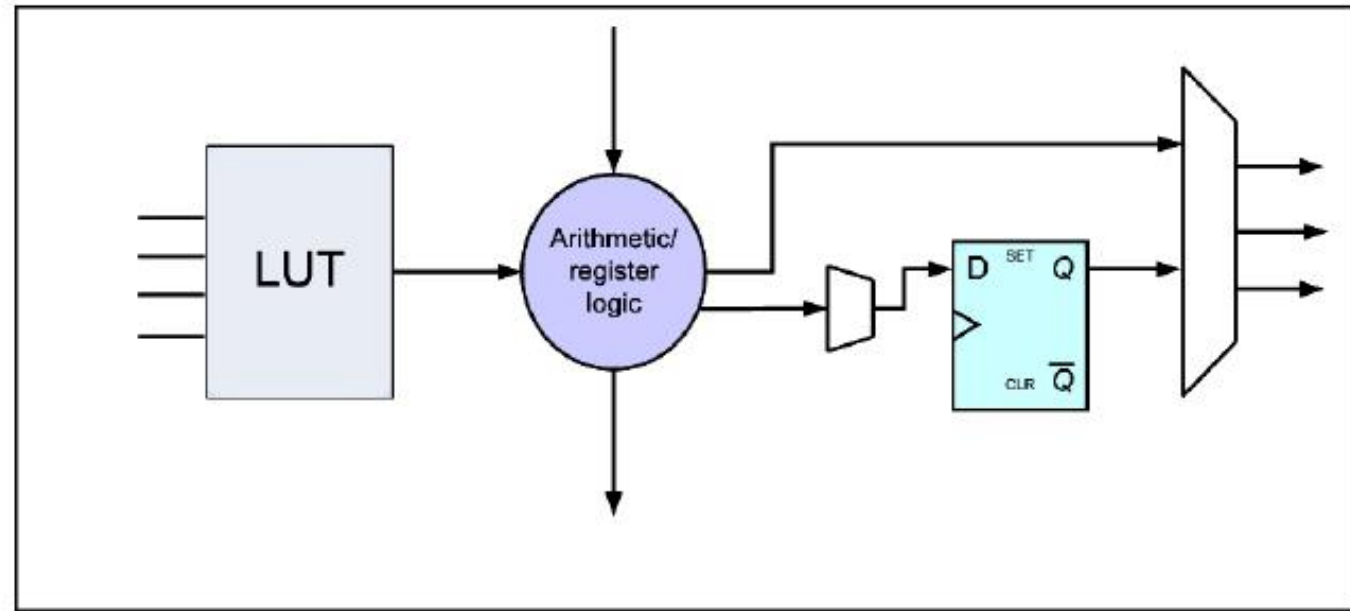
FPGA x GPU

- Comparação comum porém questionável
- Normalmente feita com relação ao hardware
- Dispositivos com escopos de aplicação diferente
 - FPGA – Bit-oriented
 - GPU – Instructions
- Problemas
 - FPGA – tempo e complexidade do desenvolvimento
 - GPU – consumo de energia e transmissão de informações

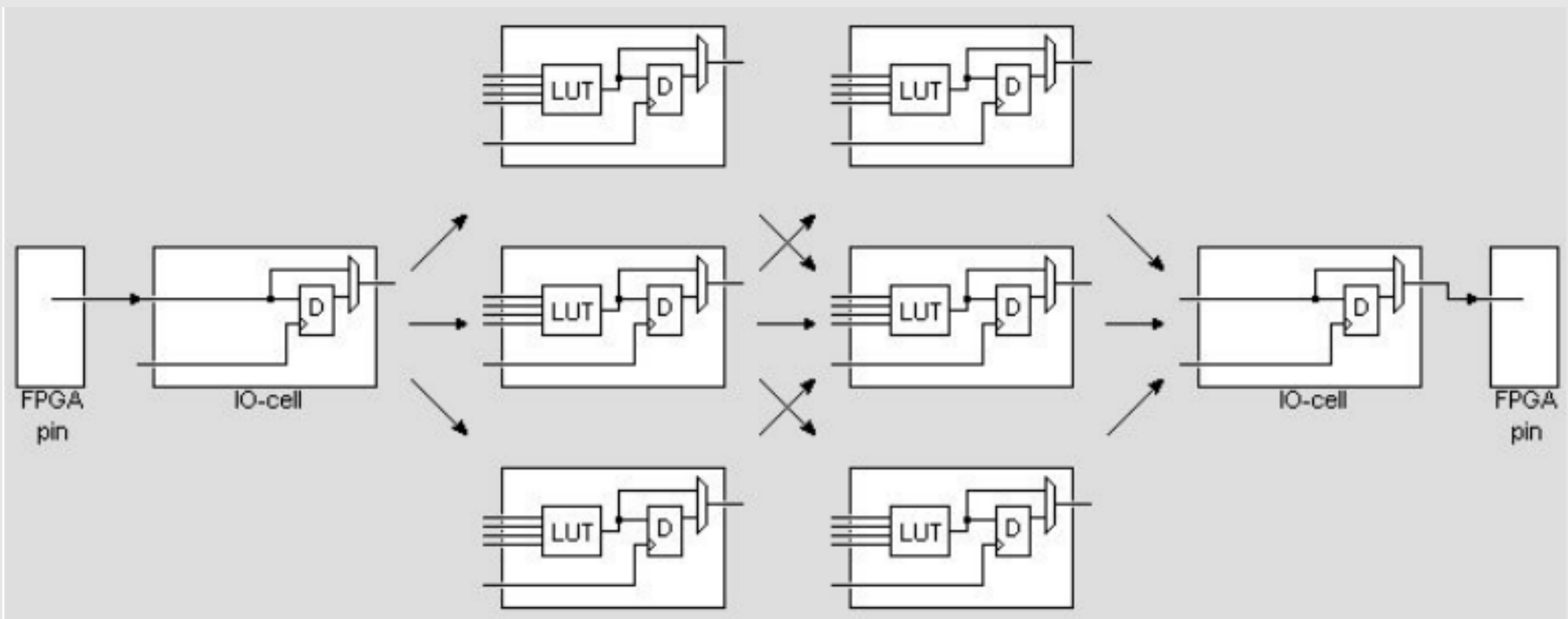
FPGA



FPGA

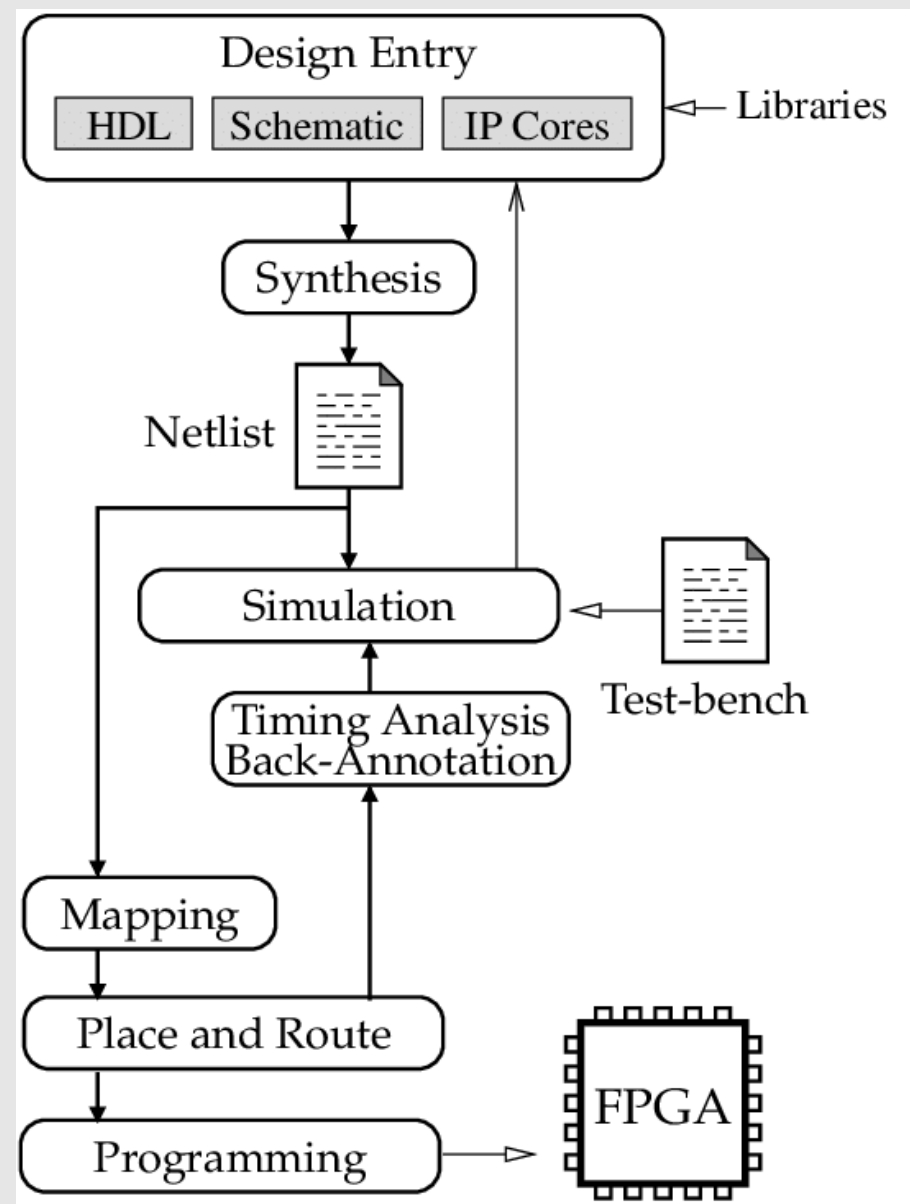


FPGA



FPGA

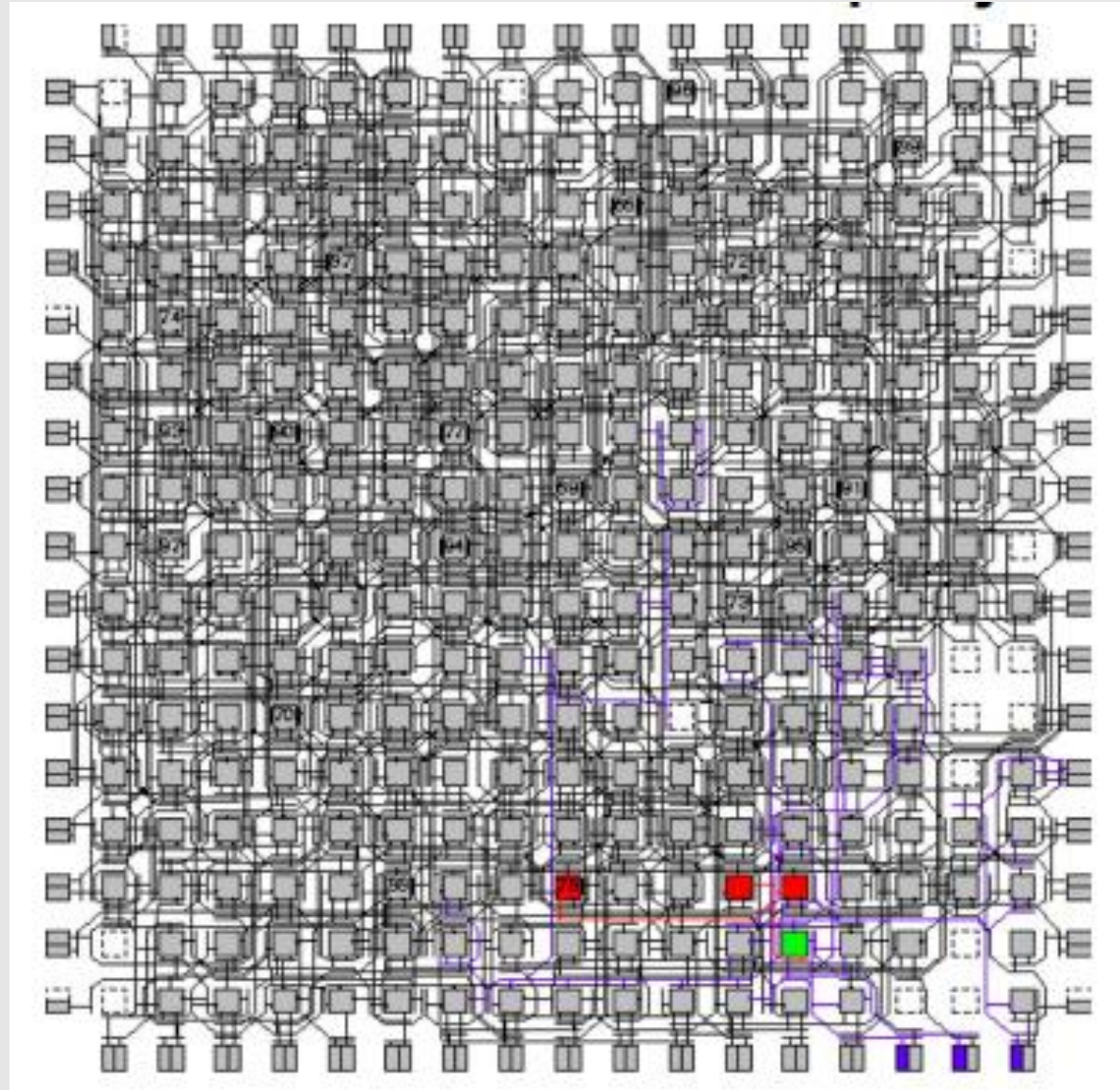
- Fluxo de projeto em FPGAs



Fonte: Pasca, Bogdan. (2011). High-performance floating-point computing on reconfigurable circuits.

FPGA

- Place and Route
 - Complexo
 - Multiobjetivo
 - Np-Completo
 - Algoritmos de IA



FPGA



- Hardware que simula o hardware
 - Vantagem – custo para prototipação
 - Desvantagem – não é o hardware real -> desempenho geralmente pior
- Cuidado com resultados de simulação de FPGAs
 - Simulação é uma etapa importante do processo de desenvolvimento
 - Porém não é resultado final

Agenda

- ~~Apresentação do palestrante~~
- ~~Introdução aos FPGAs~~
- Considerações sobre o modelo OSI
- Definições sobre NoCs
- Características de cada camada
- NoCs em FPGAs

Modelo OSI

- *Open Systems Interconnection*
- Modelo para internet desenvolvido no final dos anos 70
- Internet crescia e necessitava de um modelo de referência
 - Busca por interoperabilidade
 - Apresenta camadas de abstração

Layer		Protocol data unit (PDU)	
Host layers	7	Application	Data
	6	Presentation	
	5	Session	
	4	Transport	Segment, Datagram
Media layers	3	Network	Packet
	2	Data link	Frame
	1	Physical	Symbol

Modelo OSI

- *Open Systems Interconnection*
- Modelo para internet desenvolvido no final dos anos 70
- Internet crescia e necessitava de um modelo de referência
 - Busca por interoperabilidade
 - Apresenta camadas de abstração

Layer		Protocol data unit (PDU)	
Host layers	7	Application	Data
	6	Presentation	
	5	Session	
	4	Transport	Segment, Datagram
Media layers	3	Network	Packet
	2	Data link	Frame
	1	Physical	Symbol

Modelo OSI

- *Open Systems Interconnection*
- Modelo para internet desenvolvido no final dos anos 70
- Internet crescia e necessitava de um modelo de referência
 - Busca por interoperabilidade
 - Apresenta camadas de abstração

		Layer	Protocol data unit (PDU)
Host layers	7	Application	Data
	6	Presentation	
	5	Session	
	4	Transport	Segment, Datagram
Media layers	3	Network	Packet
	2	Data link	Frame
	1	Physical	Symbol

Modelo OSI

- *Open Systems Interconnection*
- Modelo para internet desenvolvido no final dos anos 70
- Internet crescia e necessitava de um modelo de referência
 - Busca por interoperabilidade
 - Apresenta camadas de abstração

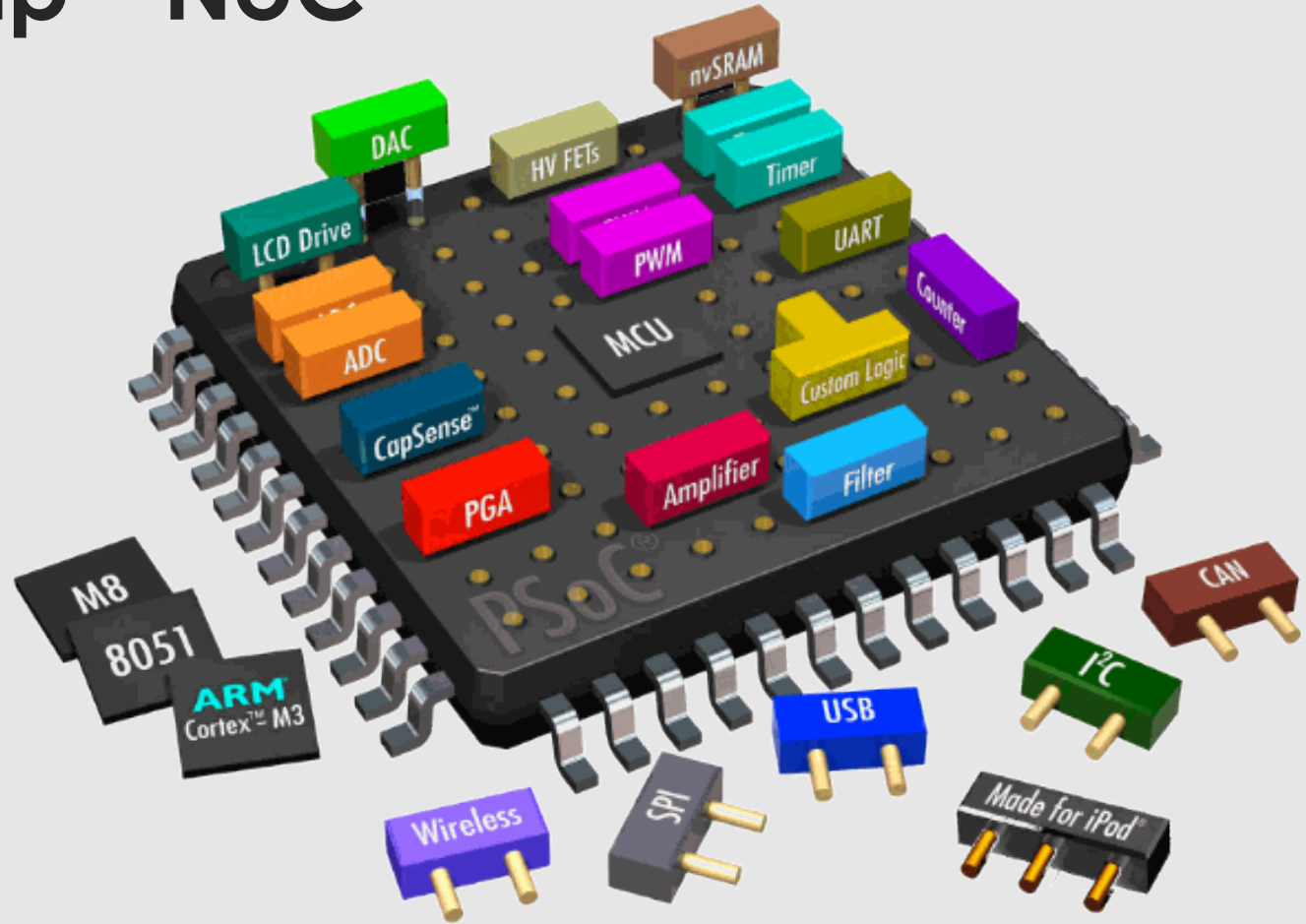
	Layer	Protocol data unit (PDU)
Host layers	7 Application	Data
	6 Presentation	
	5 Session	
	4 Transport	Segment, Datagram
Media layers	3 Network	Packet
	2 Data link	Frame
	1 Physical	Symbol

Agenda

- ~~Apresentação do palestrante~~
- ~~Introdução aos FPGAs~~
- ~~Considerações sobre o modelo OSI~~
- Definições sobre NoCs
- Características de cada camada
- NoCs em FPGAs

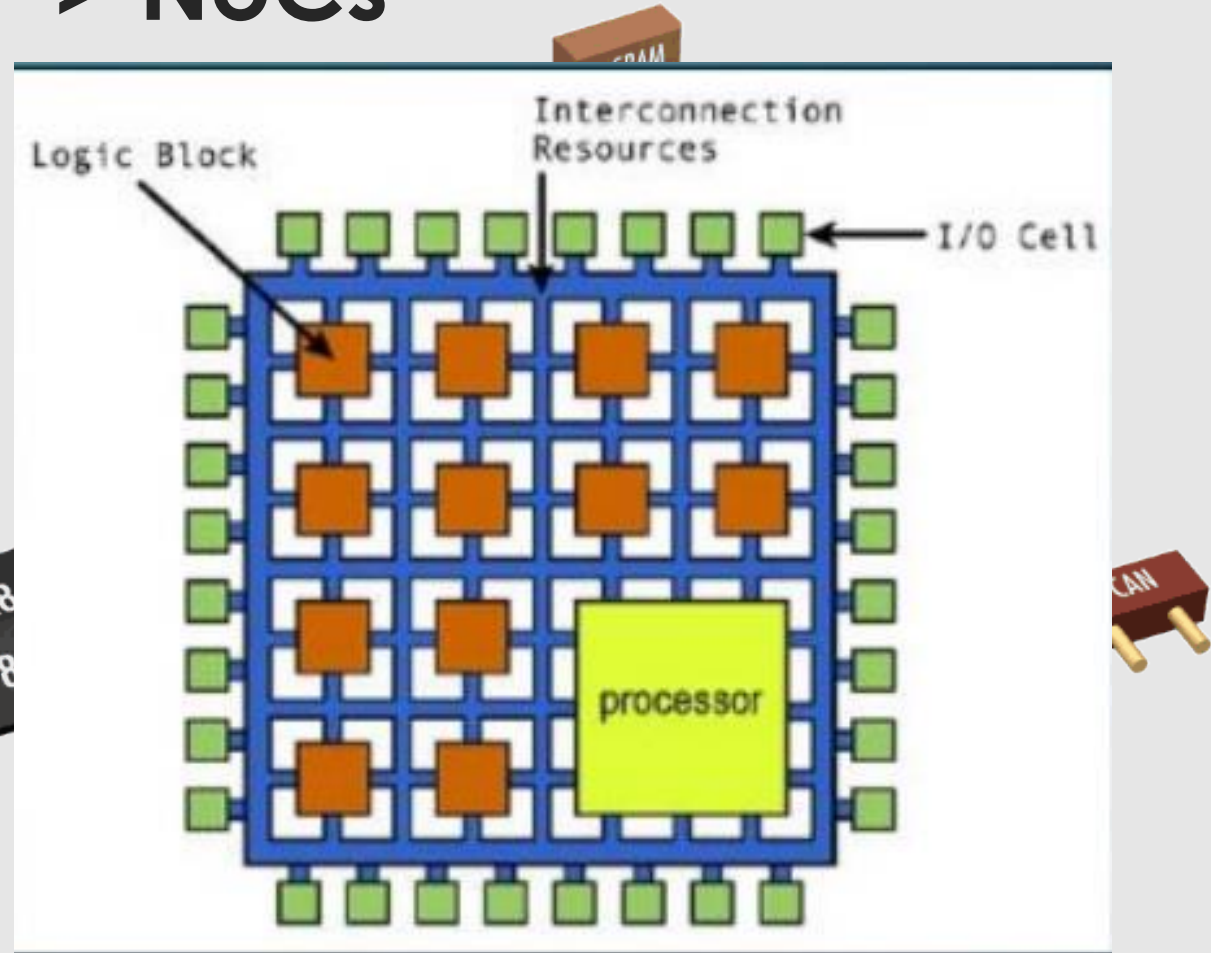
Networks on Chip - NoC

- A complexidade do hardware gerou uma demanda interessante



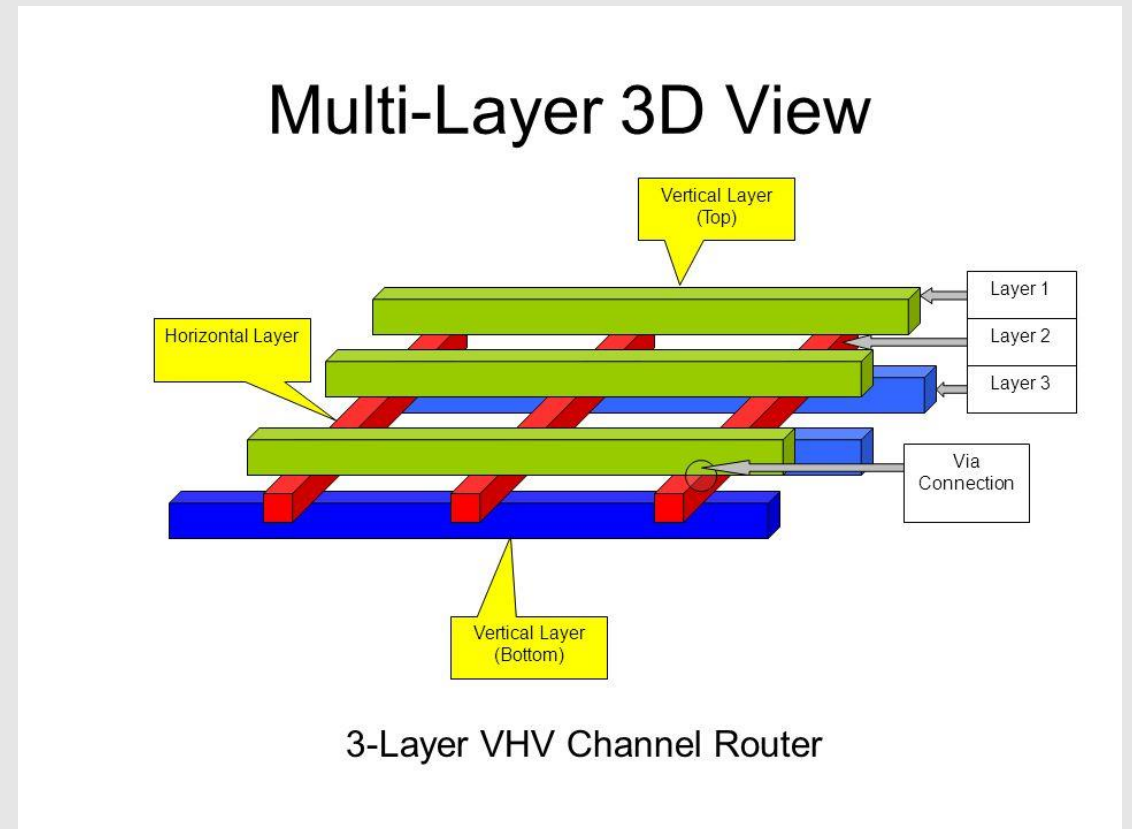
Networks-on-Chip -> NoCs

- A complexidade do hardware gerou uma demanda interessante



NoCs

- Blocos de hardware estão muito complexos
- O processamento de dados aumentou muito
 - Tanto em fluxo quanto em complexidade
- Os barramentos não estavam mais sendo suficientes para tratar essa comunicação com eficiência
- Então o que fazer?



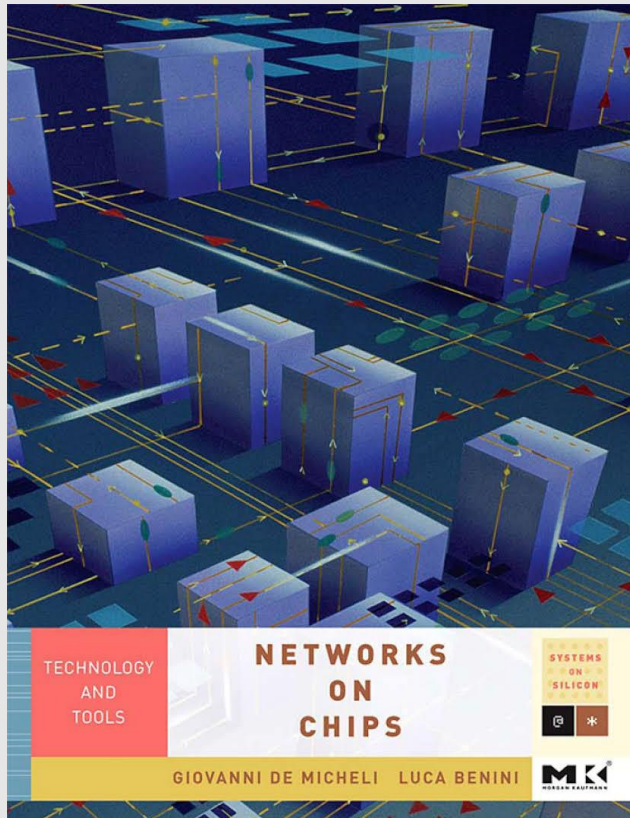
NoCs

- Criação do conceito de rede interna no chip
- Aplicação de todo o conhecimento de redes no desenvolvimento da comunicação entre os blocos
- Vamos analisar as vantagens e desvantagens de se fazer isso...

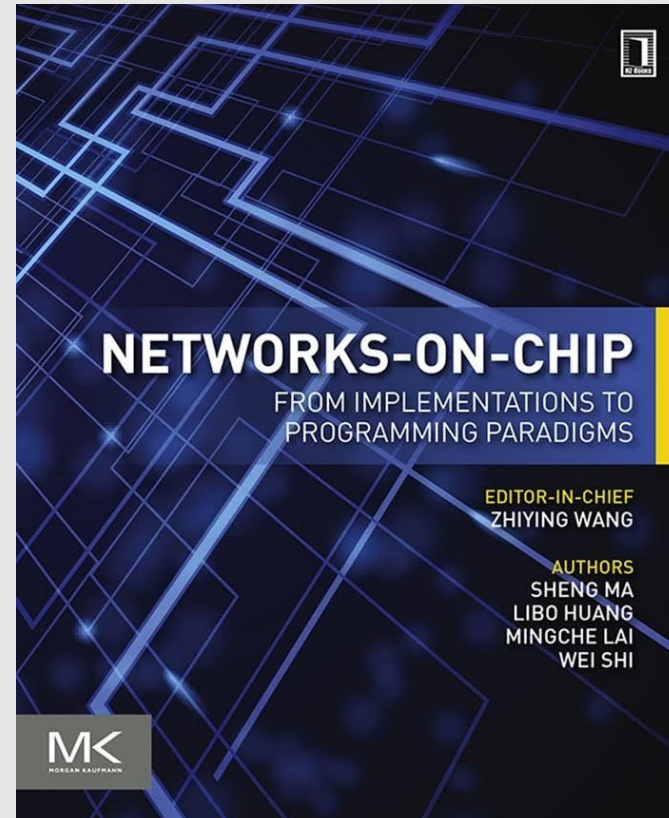
NoCs

- Principais referências da área

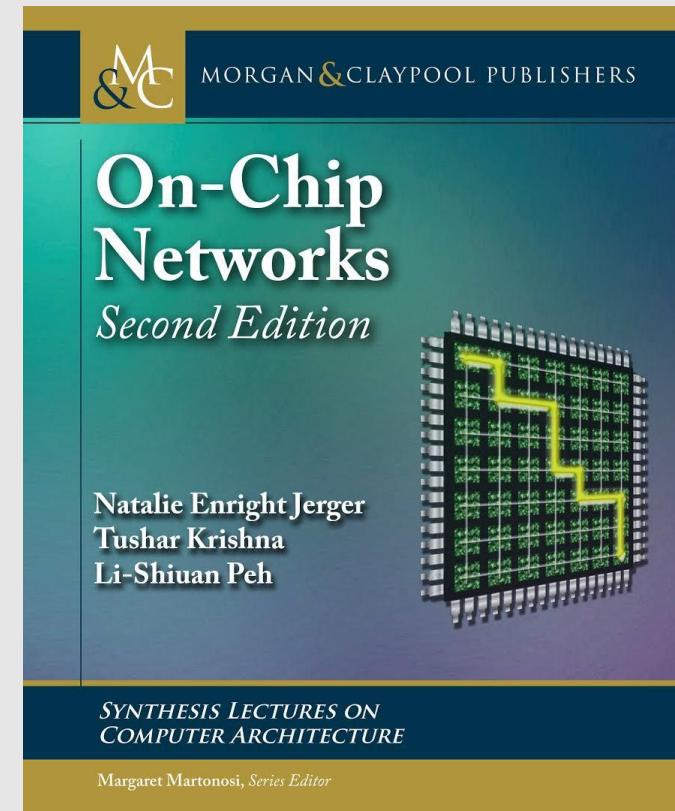
2006



2014



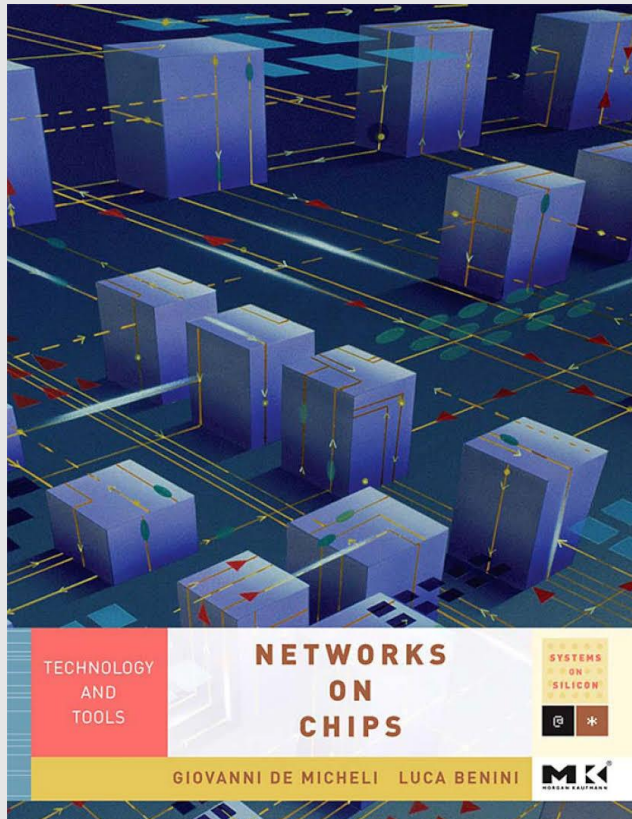
2017



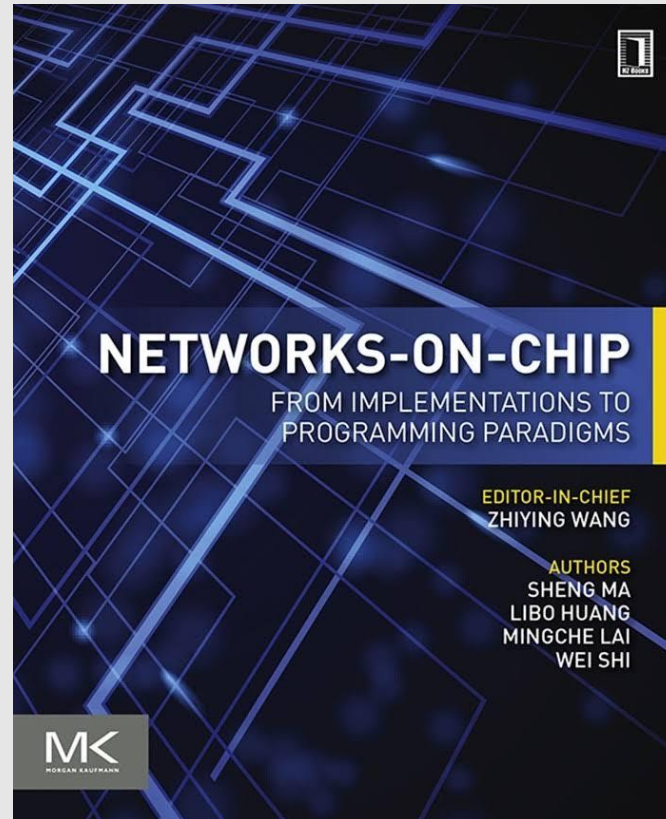
NoCs

- Principais referências da área

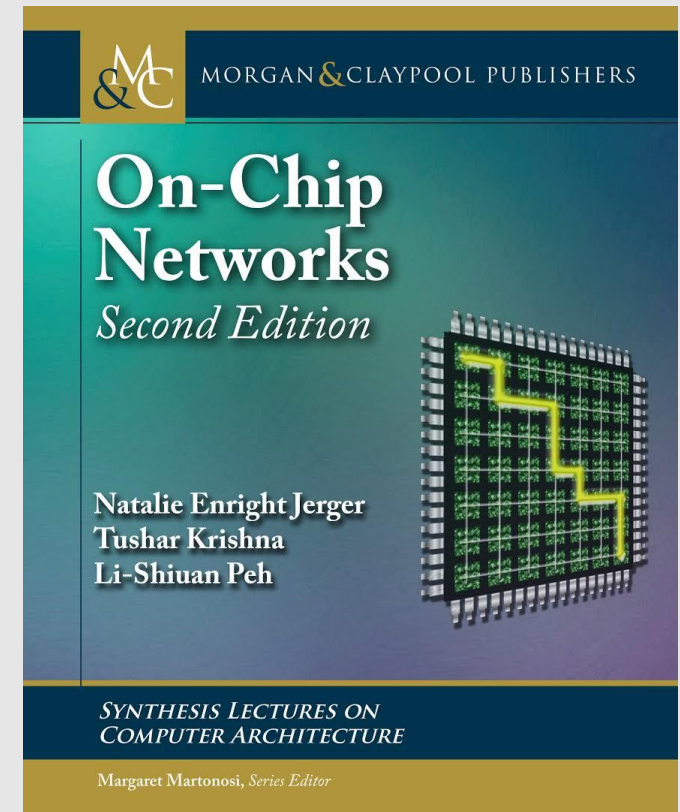
2006



2014

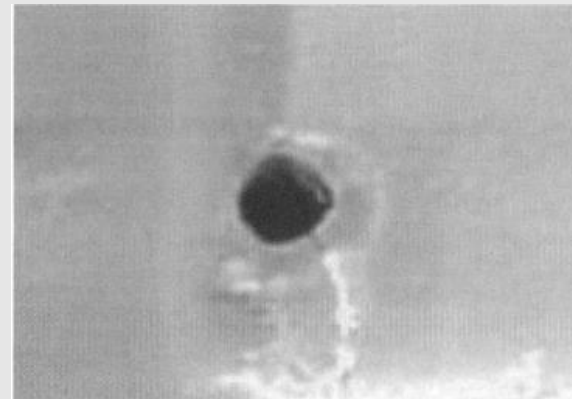
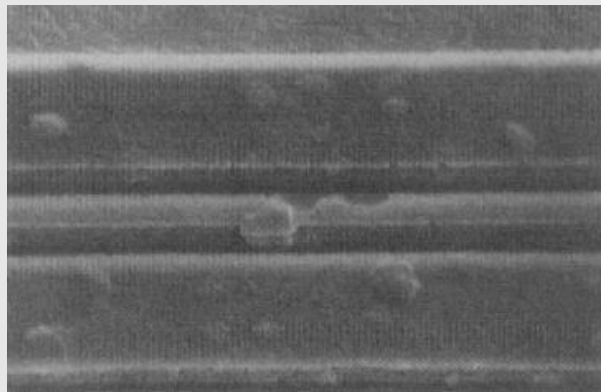


2017



NoCs

- A busca é por:
 - Integridade do sinal transmitido (livre de erros de transmissão e sincronização)
 - Confiabilidade (o sistema irá operar corretamente)
 - Falhas em dois níveis – Hard e Soft



NoCs

- A busca é por:
 - Integridade do sinal transmitido (livre de erros de transmissão e sincronização)
 - Confiabilidade (o sistema irá operar corretamente)
- Solução para um comportamento não-determinístico
 - Alta complexidade de modelagem

NoCs

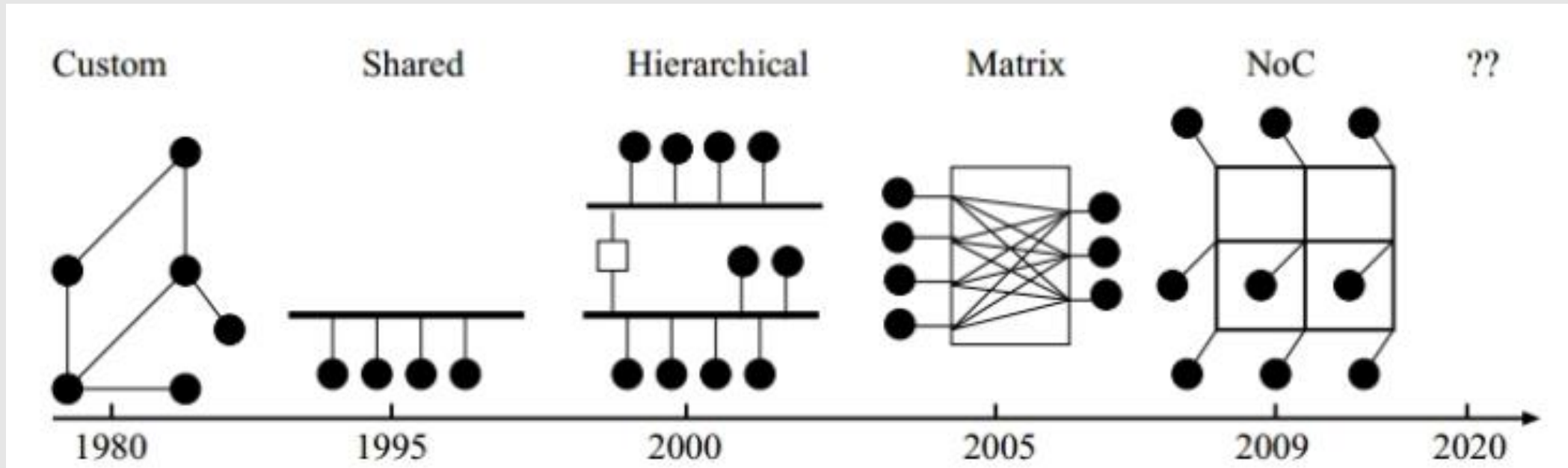
- Em comparação com LANs e WANs é preciso considerar algumas características como
 - Proximidade
 - Baixa latência de comunicação
 - Requisitos de consumo de energia
 - O projeto possui especificidades
 - Conexão de IPs
 - Separar barramentos de dados e controle
 - Lidar com características específicas de barramento

Agenda

- ~~Apresentação do palestrante~~
- ~~Introdução aos FPGAs~~
- ~~Considerações sobre o modelo OSI~~
- ~~Definições sobre NoCs~~
- Características de cada camada
- NoCs em FPGAs

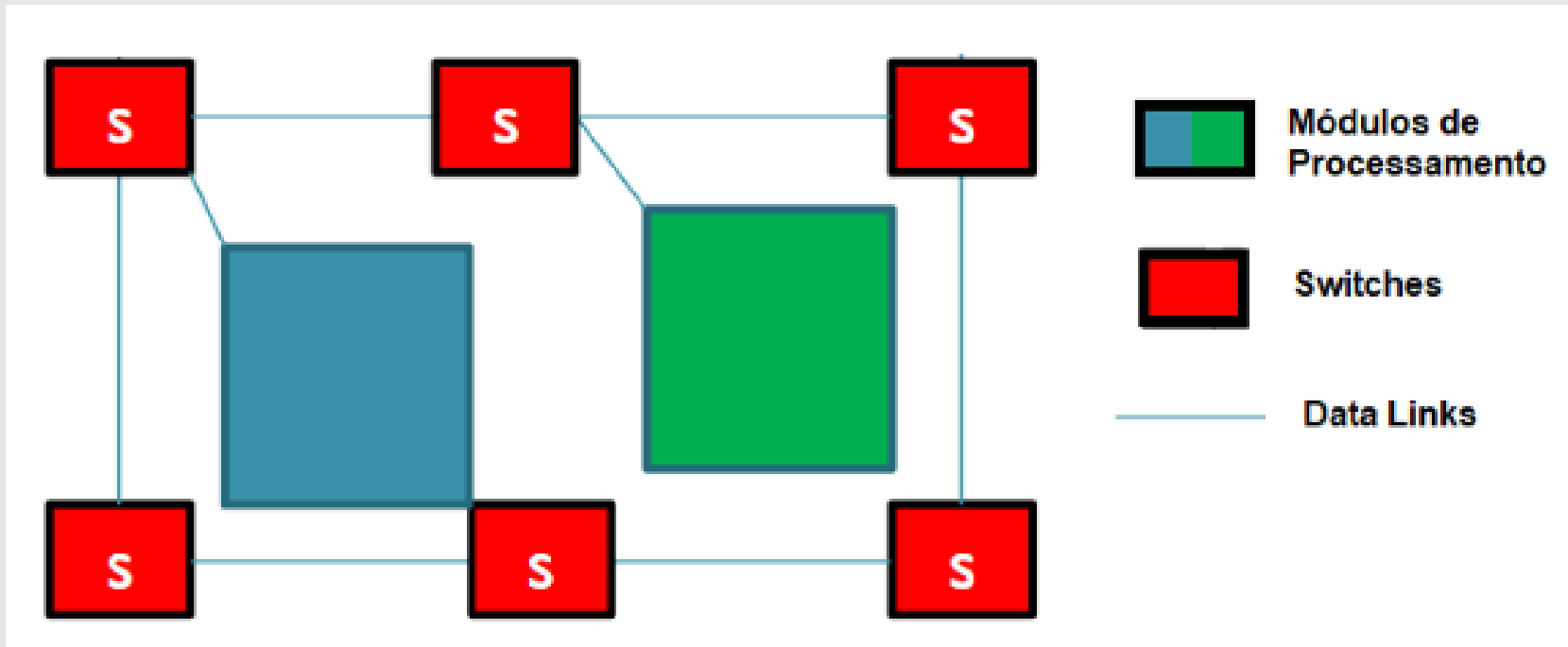
NoCs

- Camada física



NoCs

- Camada física



NoCs

- Camada de enlace
 - Responsável por prover um meio confiável de transferência de dados
 - Regular o acesso a recursos compartilhados

NoCs

- Camada de enlace em NoCs
- Disputa por recursos é alta e rápida
 - Circuitos chamados árbitros vão impedir a colisão de pacotes
 - Indicam de quem é o barramento
 - Para eliminar o árbitro é necessário utilizar roteamento sem contenção
 - Passa o problema para o escalonador
 - Erros corrigidos por redundância na rede

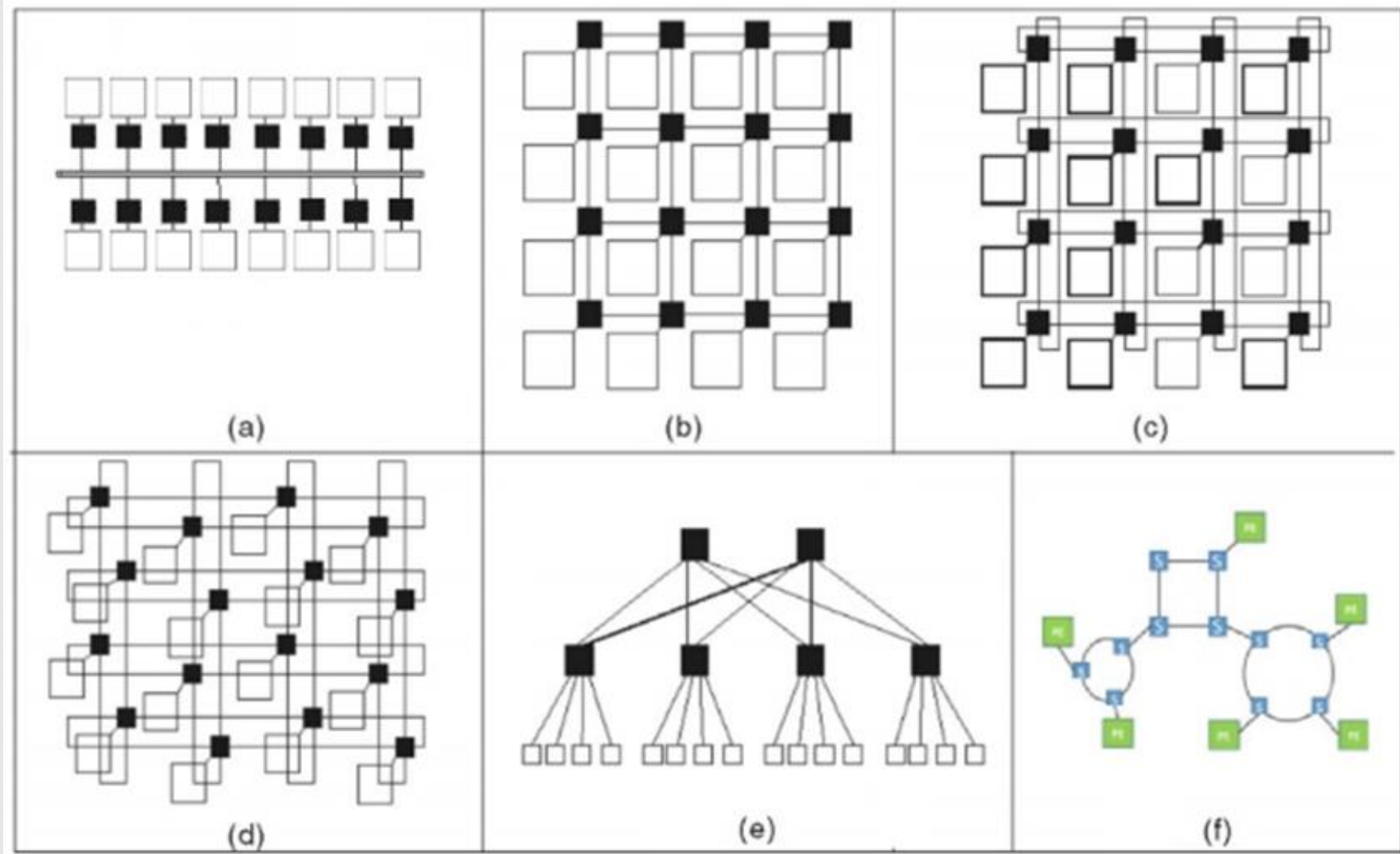
NoCs

- Camada de Rede e Transporte em NoCs
 - Alto impacto no resultado do projeto
 - Escolha do principio de *switching*
 - Escolha da topologia da rede
 - Escolha do esquema de endereçamento e roteamento
 - Escolha do dispositivo-alvo

NoCs

- Critérios utilizados para as escolhas
 - Data Rate
 - Latência máxima
 - Variação de latência aceitável (*jitter*)
 - Requisitos de QoS
- A topologia também envolve
 - Área final do chip
 - Desempenho
 - Consumo de energia

NoCs

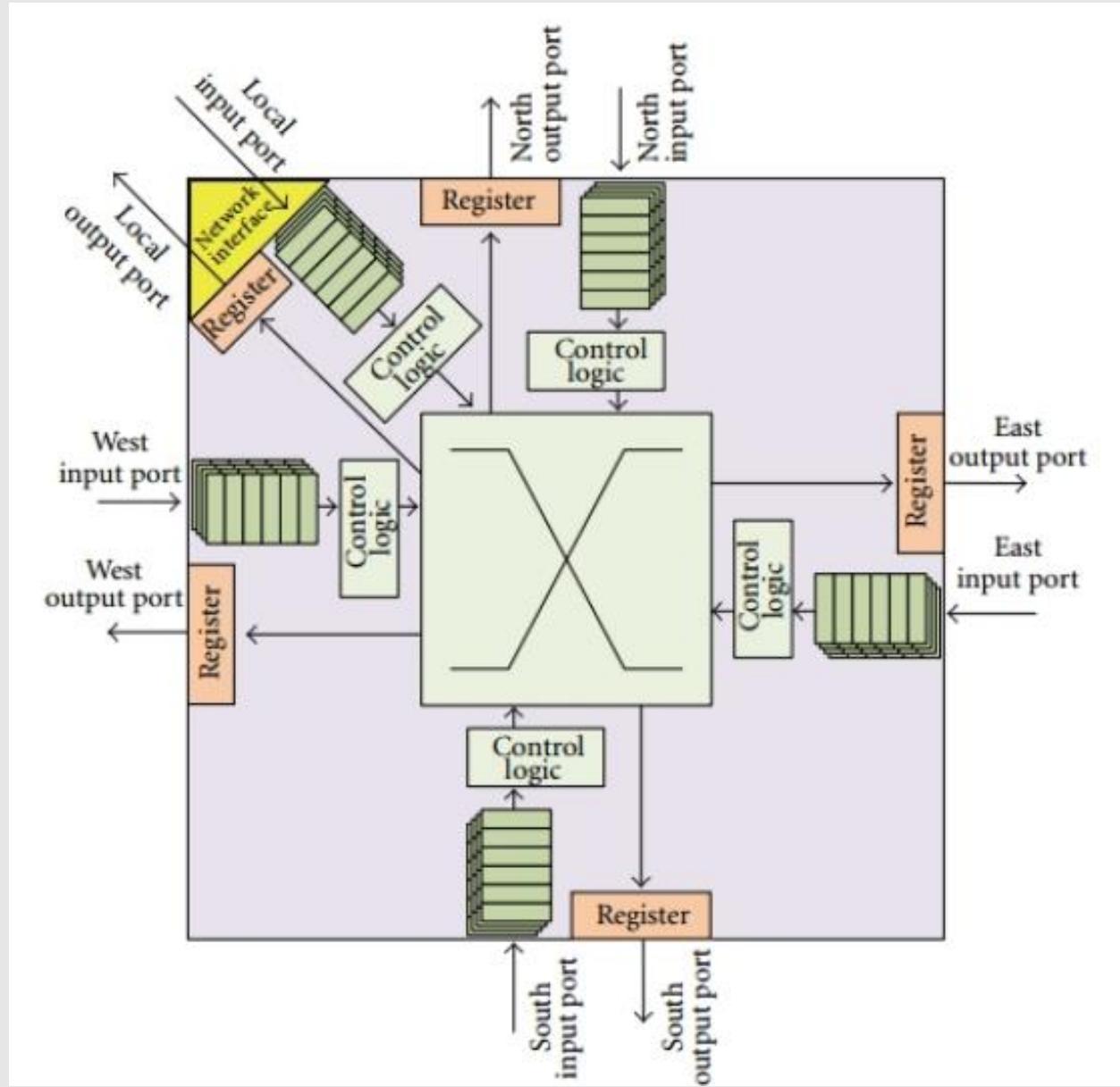


NoCs

- Algoritmos de roteamento para NoCs podem ser classificados por
 - Quanto ao número de destinos – Unicast ou Multicast
 - Pode levar em conta também o número de caminhos
 - Forma de implementação – tabela ou máquina de estados
 - Quanto à localidade – Origem ou Distribuído
 - Adaptativo ou Determinístico
 - Minimais ou Não-Minimais

NoCs

- Roteador



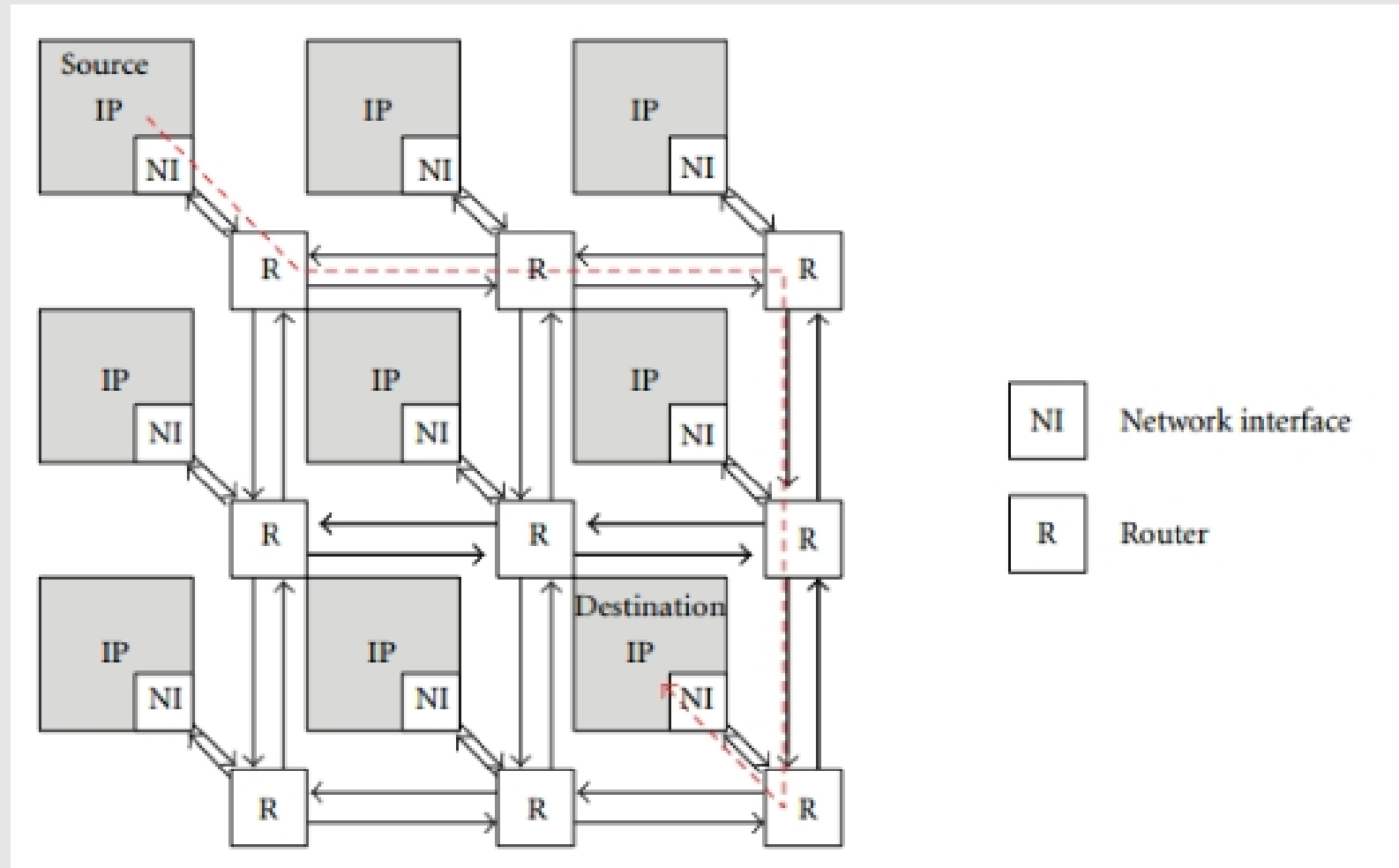
NoCs

- A camada de aplicação trata basicamente da organização da memória nas redes e como gerenciá-las
 - Modelos de memória compartilhada e distribuída entre os blocos
 - Necessidade de controle de acesso e consistência
- Todas estas discussões irão resultar em um modelo padrão apresentado a seguir

NoCs

- A camada de aplicação trata basicamente da organização da memória nas redes e como gerenciá-las
 - Modelos de memória compartilhada e distribuída entre os blocos
 - Necessidade de controle de acesso e consistência
- Todas estas discussões irão resultar em um modelo padrão apresentado a seguir

NoCs



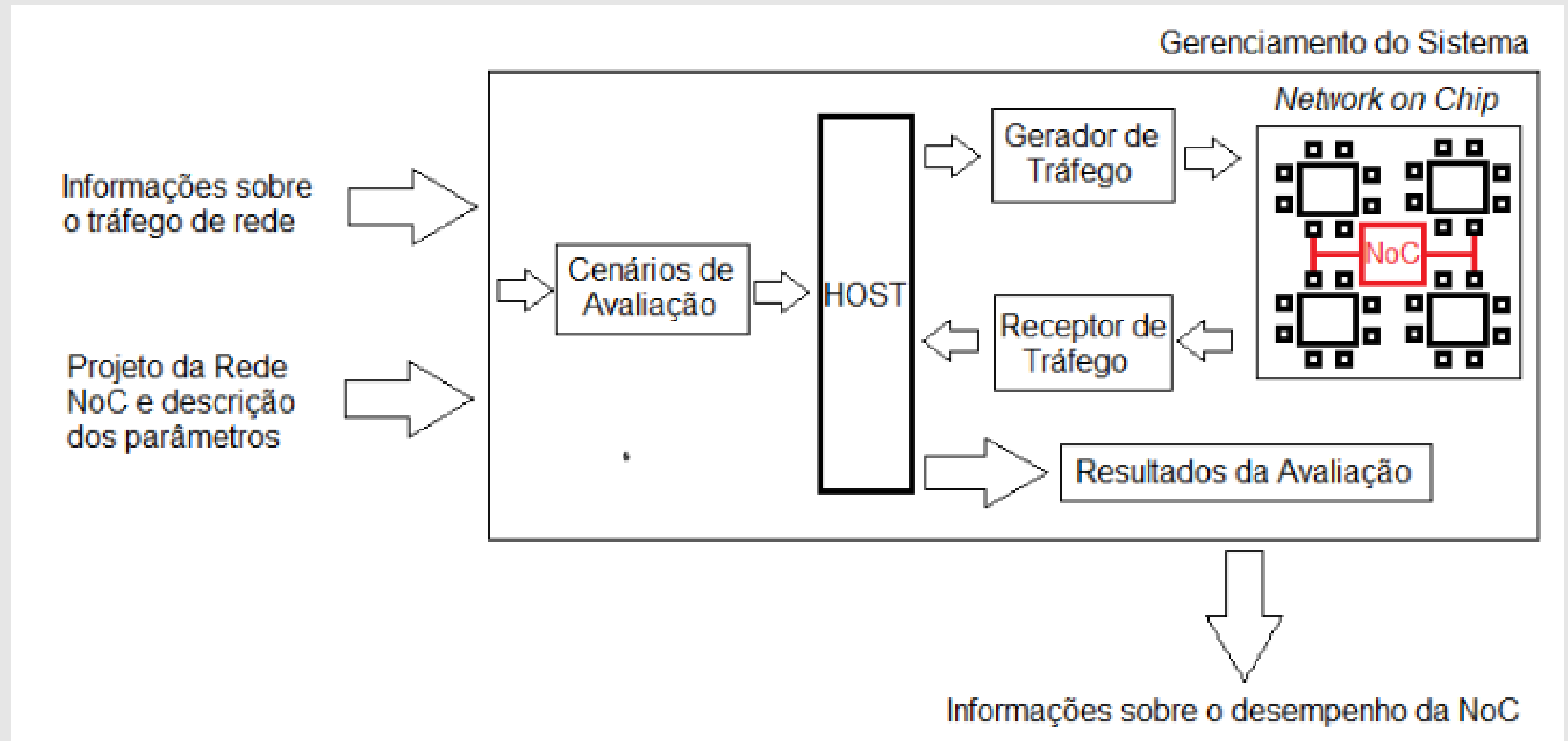
Agenda

- ~~Apresentação do palestrante~~
- ~~Introdução aos FPGAs~~
- ~~Considerações sobre o modelo OSI~~
- ~~Definições sobre NoCs~~
- ~~Características de cada camada~~
- NoCs em FPGAs

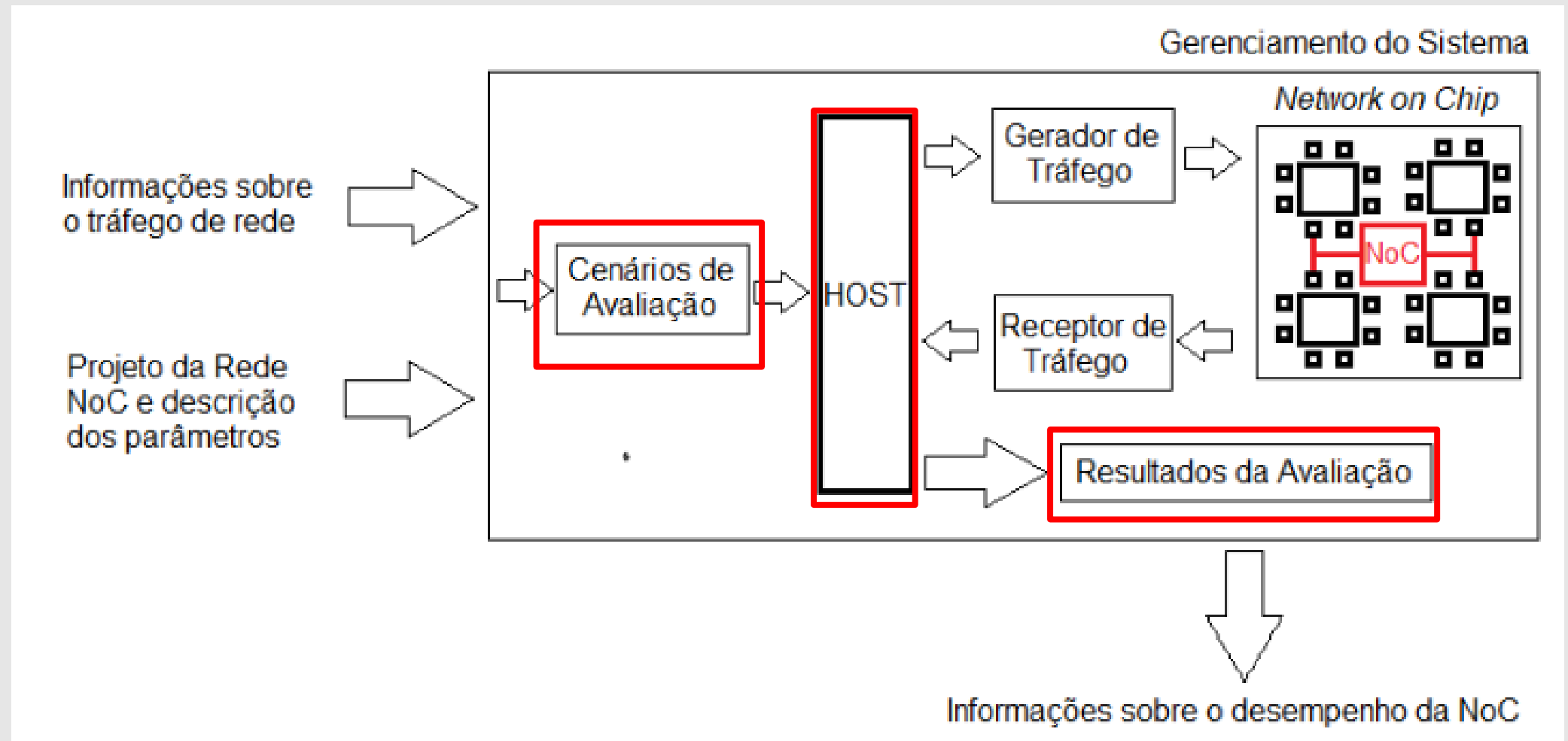
NoCs em FPGAs

- Em FPGAs há todo um histórico de desenvolvimento com características próprias
- Pode ser considerada de duas formas
 - Redes internas ao FPGA
 - Redes implementadas em um FPGA
- Nosso foco é na utilização de FPGAs como ferramenta para criação, verificação, teste e utilização de NoCs.
- Neste caso o sistema possui os seguintes componentes:

NoCs em FPGAs



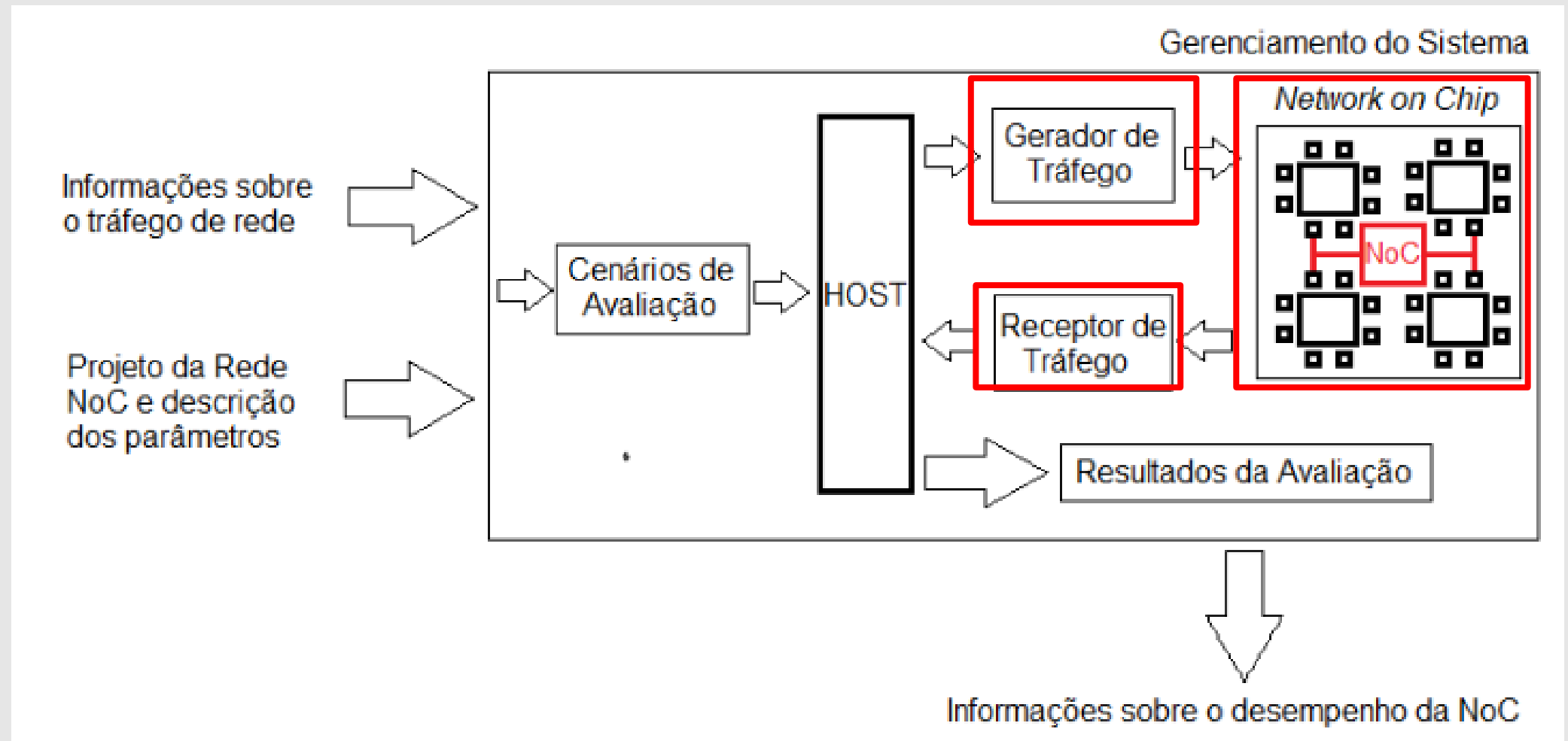
NoCs em FPGAs



NoCs em FPGAs

- **Host** - parte do sistema responsável por receber os cenários de avaliação e enviar os resultados da avaliação.
- **Cenários de Avaliação** - são as configurações da NoC que está sendo implementada para avaliação. Deve considerar os parâmetros da NoC a serem avaliados e configurar o sistema.
- **Resultados da Avaliação** - a rede irá receber uma carga de trabalho, direcionar os dados e fazer o envio dos dados solicitados. A partir do comportamento da rede o host avalia todas as métricas desejadas. O relatório final com toda a avaliação deve ficar disponível no host para consulta.

NoCs em FPGAs



NoCs em FPGAs

- **Geradores de Tráfego** - esta parte é responsável por gerar o fluxo de dados que será tratado pela NoC em determinado cenário.
- **Receptores de Tráfego** - irão receber da NoC os dados após seu processamento e verificar todas as informações necessárias para o cálculo das métricas.
- **NoC** - a rede propriamente dita com os roteadores conectados e toda a estrutura necessária para seu funcionamento configurada pelos parâmetros descritos pelos Cenários de Avaliação.

NoCs em FPGAs

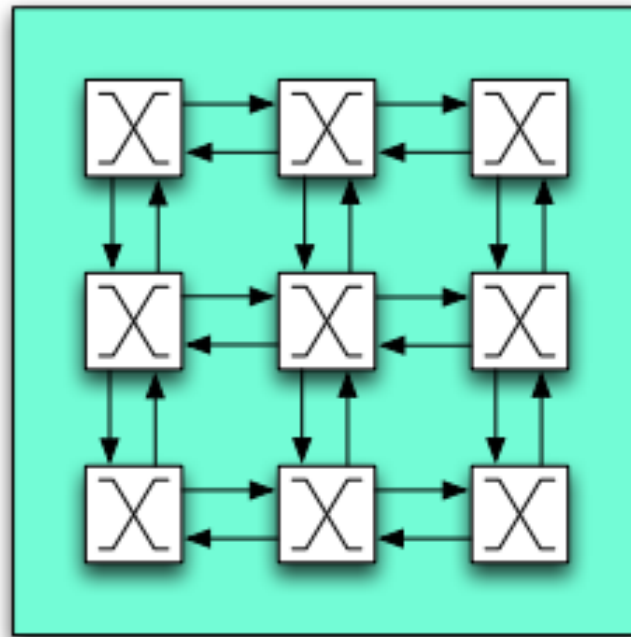
- No caso da geração de tráfego para a rede é possível uma análise de três formas
 - **Trace-based** – a aplicação é executada inicialmente e, em seguida, casos de teste são criados com base nos rastros da aplicação
 - **Stochastic** – a aplicação é executada várias vezes e os resultados são analisados estatisticamente para se criar os casos de teste
 - **Application cores** – os blocos da aplicação são executados separadamente e o fluxo real é utilizado para criação dos casos

NoCs em FPGAs

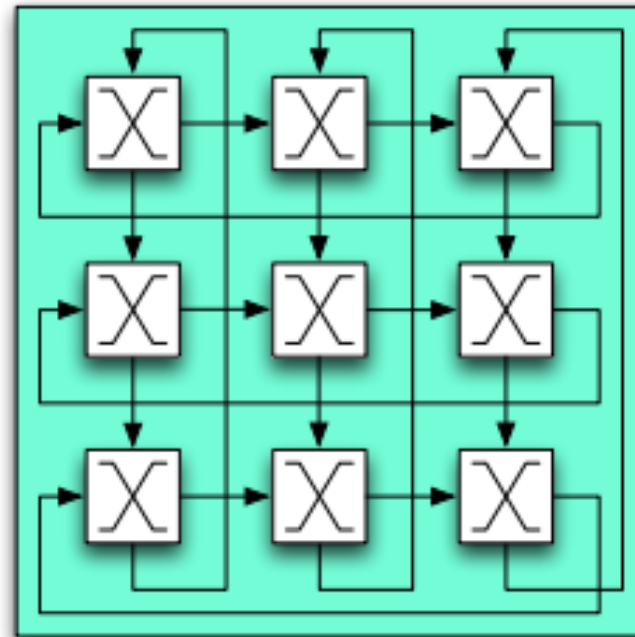
- Principal implementação - Kapre, N.; Gray, J. Hoplite: Building austere overlay nocs for fpgas. In: 2015 25th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL).
- Apresenta a rede HOPLITE que utiliza uma topologia *deflection Torus*
 - Topologia que dentre todos os testes executados apresentou melhor relação

Área Consumida x *Throughput*

NoCs em FPGAs

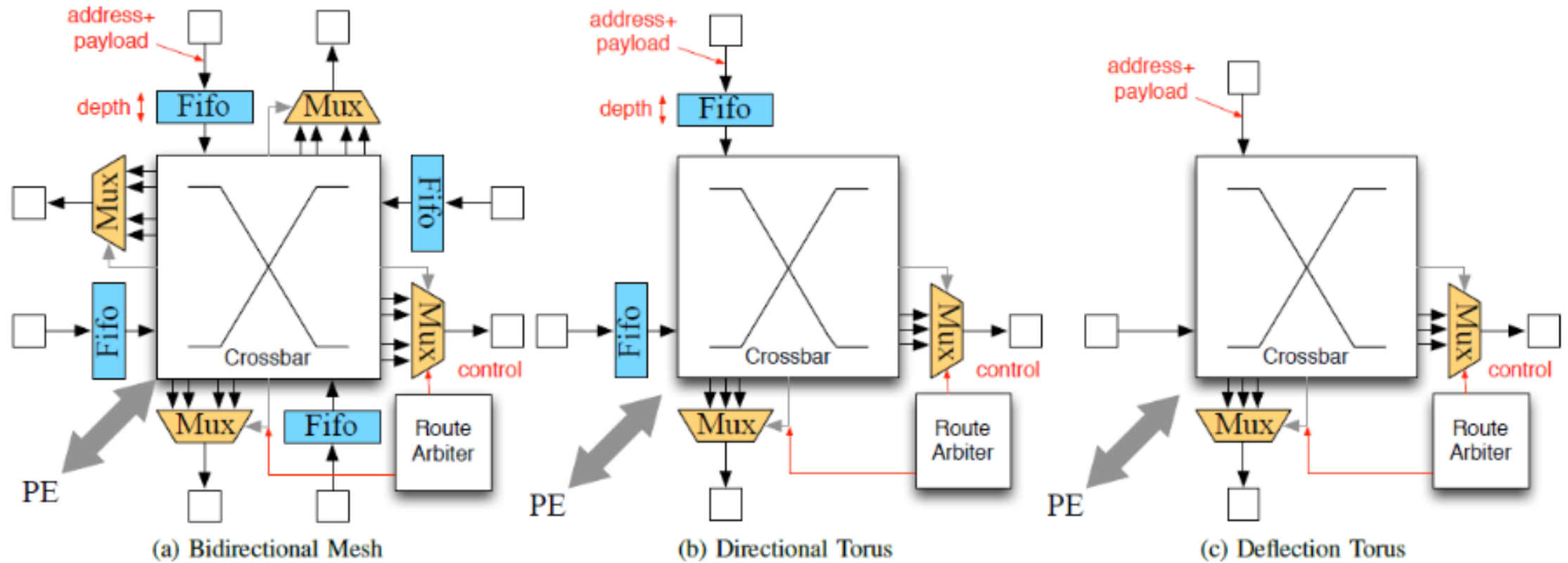


(a) 2D Bidirectional Mesh



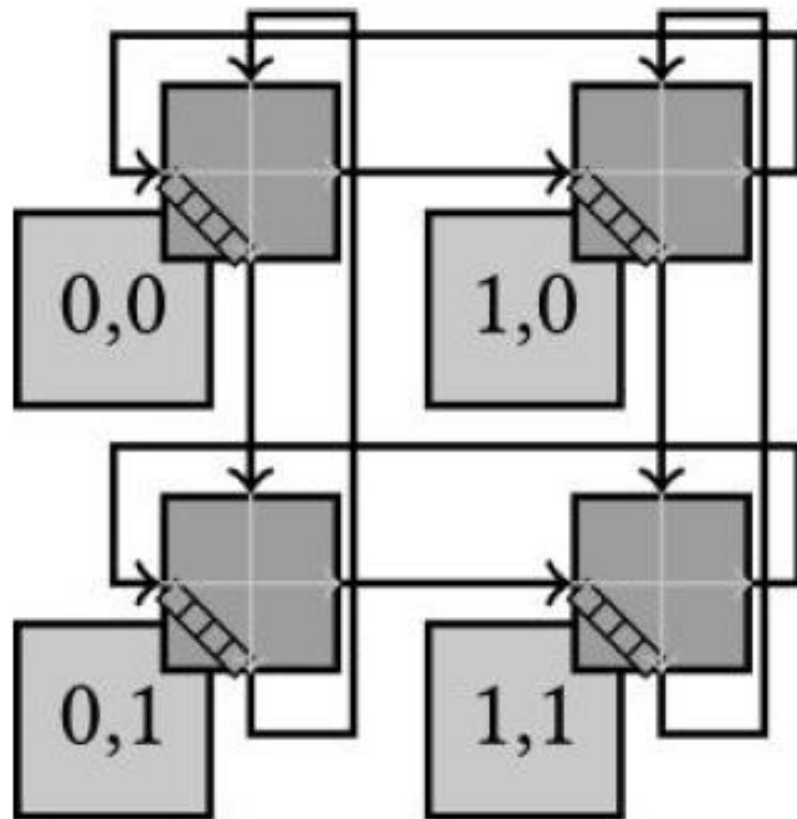
(b) 2D Directional Torus

NoCs em FPGAs

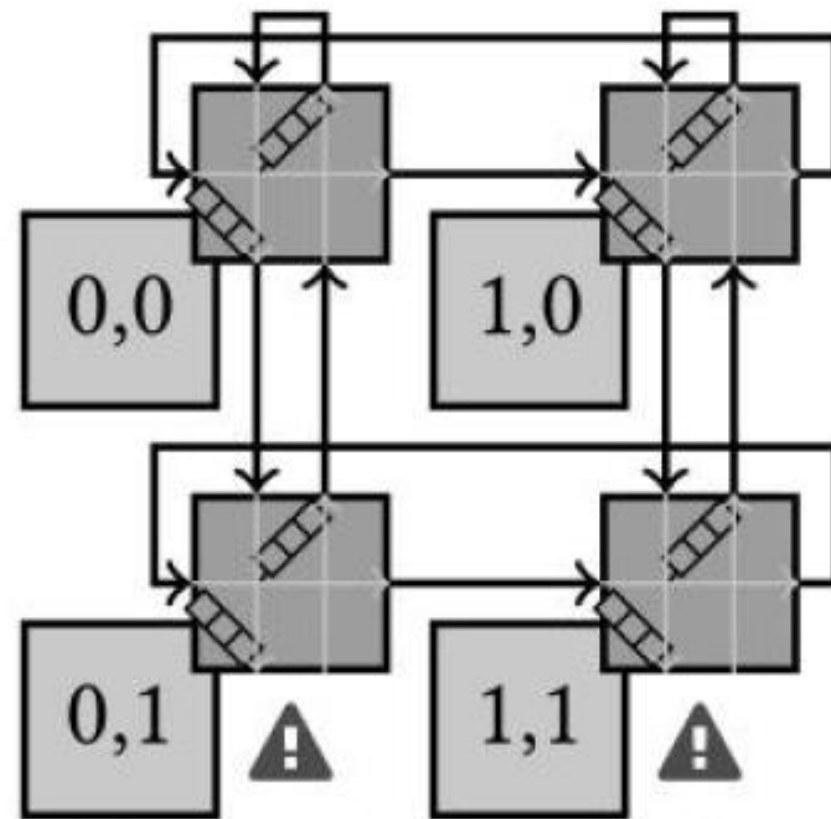


NoCs em FPGAs – Estado da Arte

HopliteBuf: Network Calculus-Based Design of FPGA NoCs with Provably Stall-Free FIFOs



(a) $W \rightarrow S$ Corner-Turn Buffer



(b) $W \rightarrow S + N$ Corner-Turn Buffer

NoCs em FPGAs

- O desenvolvimento da rede Hoplite, que guiou o desenvolvimento até o momento de NoCs em FPGAs está praticamente esgotado no artigo de 2020
- Trabalhos futuros devem priorizar outras arquiteturas/topologias para que seja possível avançar o estado da arte e comparar os resultados com os apresentados no artigo

NoCs em FPGAs

- A evolução desta área será permitida não só por novas arquiteturas, mas também por novas tecnologias de SoC-Based FPGAs

Referências

- Fontes dos slides
- Artigo da conferência para uma lista completa - <https://sol.sbc.org.br/livros2/livros/index.php/sbc/catalog/view/44/193/380-1>

Visitem!

- <https://sites.google.com/view/fho-siva/home>
- <http://fho.edu.br/home.php>
- <http://araras.sp.gov.br/home/>



OBRIGADO!

Prof. Maurício Acconcia Dias
Prof. Marcílio F. de Oliveira Neto

FHO – CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO HERMÍNIO OMETTO