

# Plataforma de Monitoramento da Subestação Digital

Resultados e considerações



Vinicius Ferrari  
Engenharia de Aplicação

# Introdução

- Qual o objetivo do monitoramento?

# Confiabilidade

# O que é confiabilidade?

“Garantia de que a proteção funcionará corretamente.”

*J. Lewis Blackburn*

*Protective Relaying: Principles and Applications, 1987*

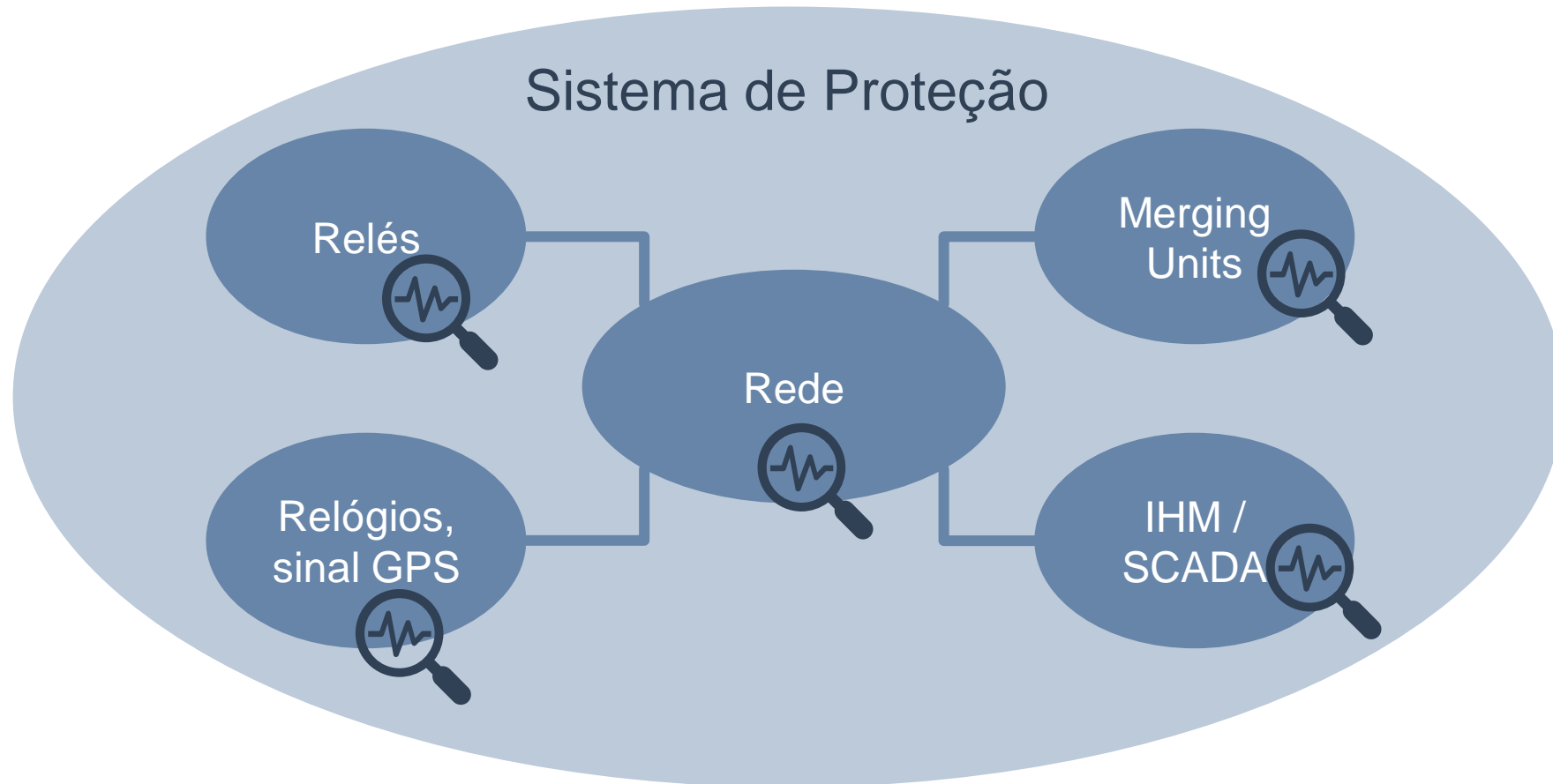
“Qualidade do que é **confiável**, do que é digno de **confiança**.  
Sinônimo de credibilidade, fiabilidade.”

*Dicionário Priberam*

# Proposta SEL

- ~~Sistema de monitoramento?~~
- Sistema de Proteção (digital ou não) projetado com foco em **confiabilidade** desde sua base.
  - Design dos IEDs (hardware e firmware), arquitetura de rede.
- **Monitoramento** faz parte do sistema de proteção.
  - Necessário para promover **confiabilidade**.
  - Baseado nos dispositivos finais.

# Monitoramento do sistema de proteção



# Processo de transmissão e recepção de dados

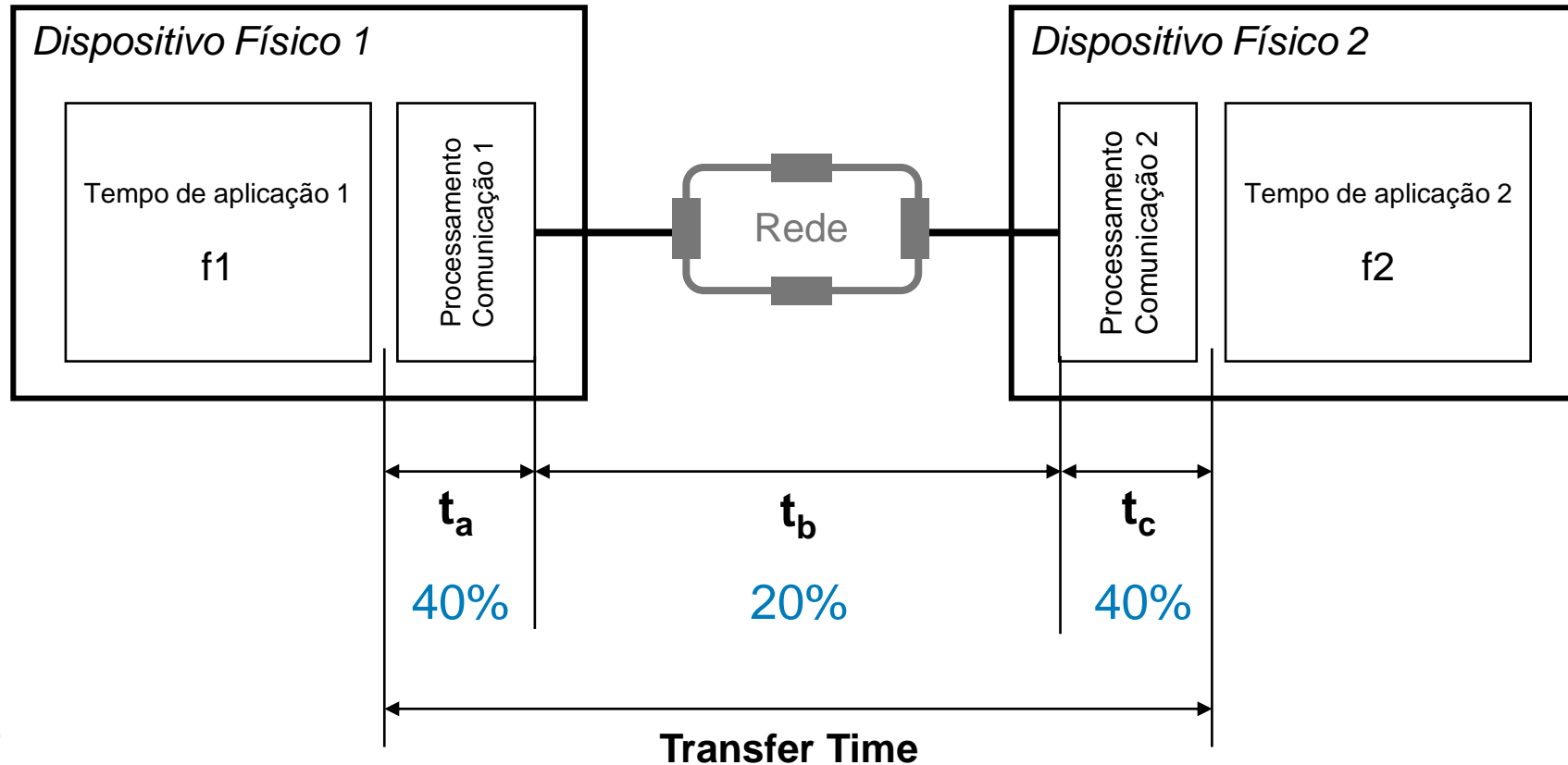
- IEC 61850-10 Ed.2 – Sessão 8.2.1

The value of 40 % on each end of the connection leaves over 20 % for network latencies. This maximum time applies mainly to the message types 1 (Fast messages) and 4 (Raw data messages); these messages make use of the priority mechanisms of the networks components defined in IEC 61850-8-1 and IEC 61850-9-2. Messages of type 2 may be assigned to a high priority.

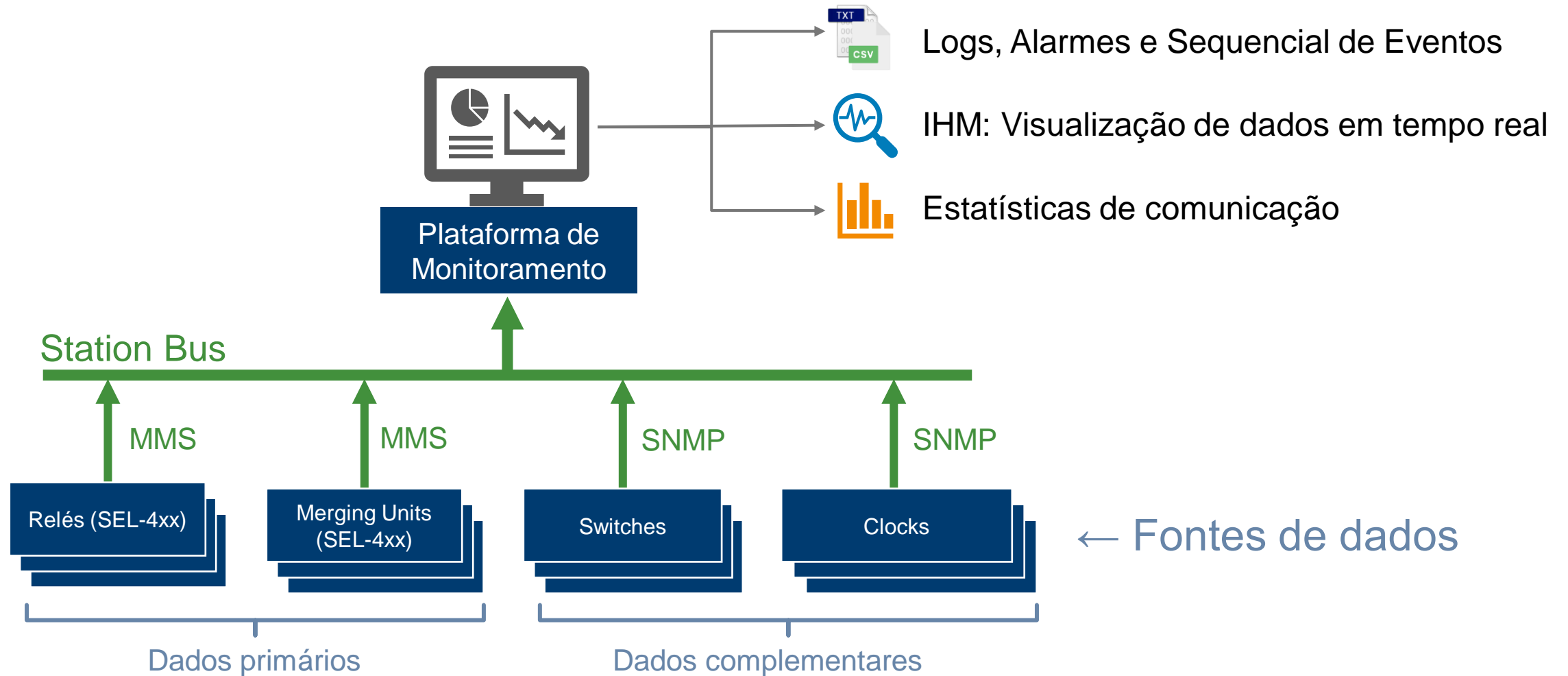
- IEC 61850-90-4 Ed.2 – Sessão 11.3.5

The total budget for a fast trip is 3 ms as per IEC 61850-5 Class TT6. Assuming a maximum processing time for each IED of 1,2 ms, and two IEDs concerned, this leaves the network with a maximum budget of  $3 \text{ ms} - (2 \times 1,2 \text{ ms}) = 0,6 \text{ ms}$  of latency. Hence, for a fast trip, the number of hops in the network between the concerned IEDs should be lower than or equal to 5 according to Table 43.

# 80% do processo de comunicação está nos dispositivos finais



# Conceito de monitoramento





# Conceito de monitoramento

- Monitoramento baseado em informações disponibilizadas pelos **dispositivos finais** da aplicação.
  - Nenhum hardware adicional é necessário.
  - Conceito simples, confiável e eficaz.
  - Pode ser implementado em hardware dedicado (RTAC) ou qualquer software SCADA com suporte a MMS.

# Roteiro de testes

- Monitoramento deve ser capaz de monitorar, detectar e sinalizar anomalias:
  - Ausência de mensagens previstas;
  - Presença de mensagens não previstas;
  - Perda de pacotes, mensagens corrompidas;
  - Erros de configuração;
  - Medição de performance;
  - Degradação de sinal óptico;
  - Ausência de sinais de sincronismo de tempo.

# Ausência de mensagens, perda de pacotes e pacotes corrompidos

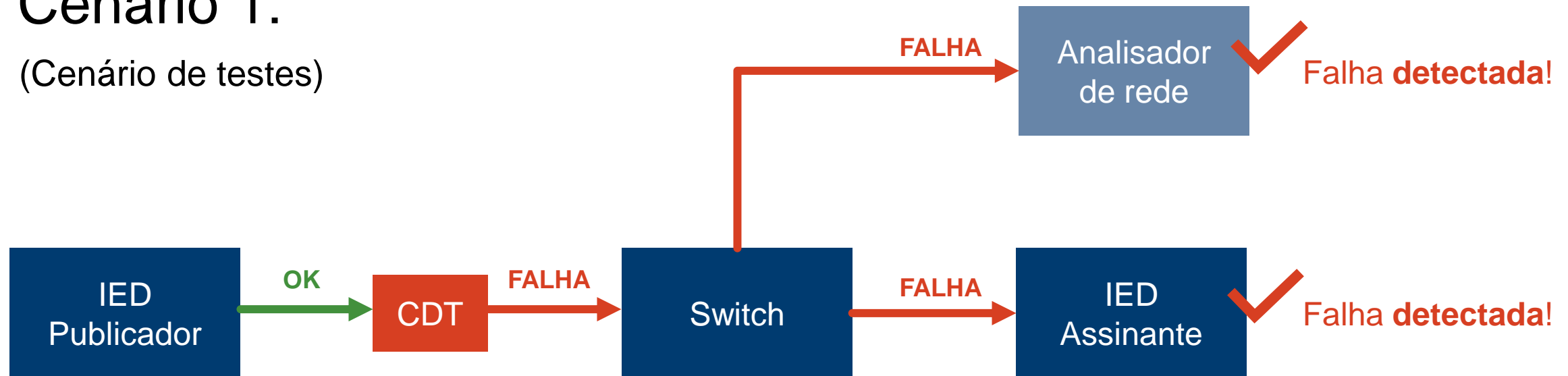
- Cenário normal



- **CDT**: Communication Device Tester, usado para provocar falhas na comunicação

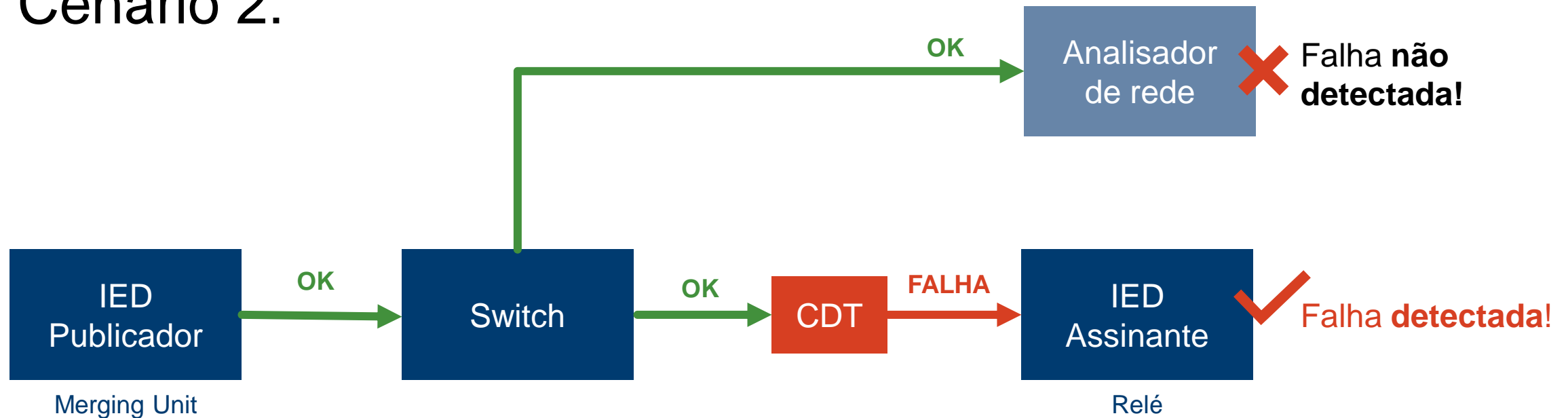
# Ausência de mensagens, perda de pacotes e pacotes corrompidos

- Cenário 1:  
(Cenário de testes)



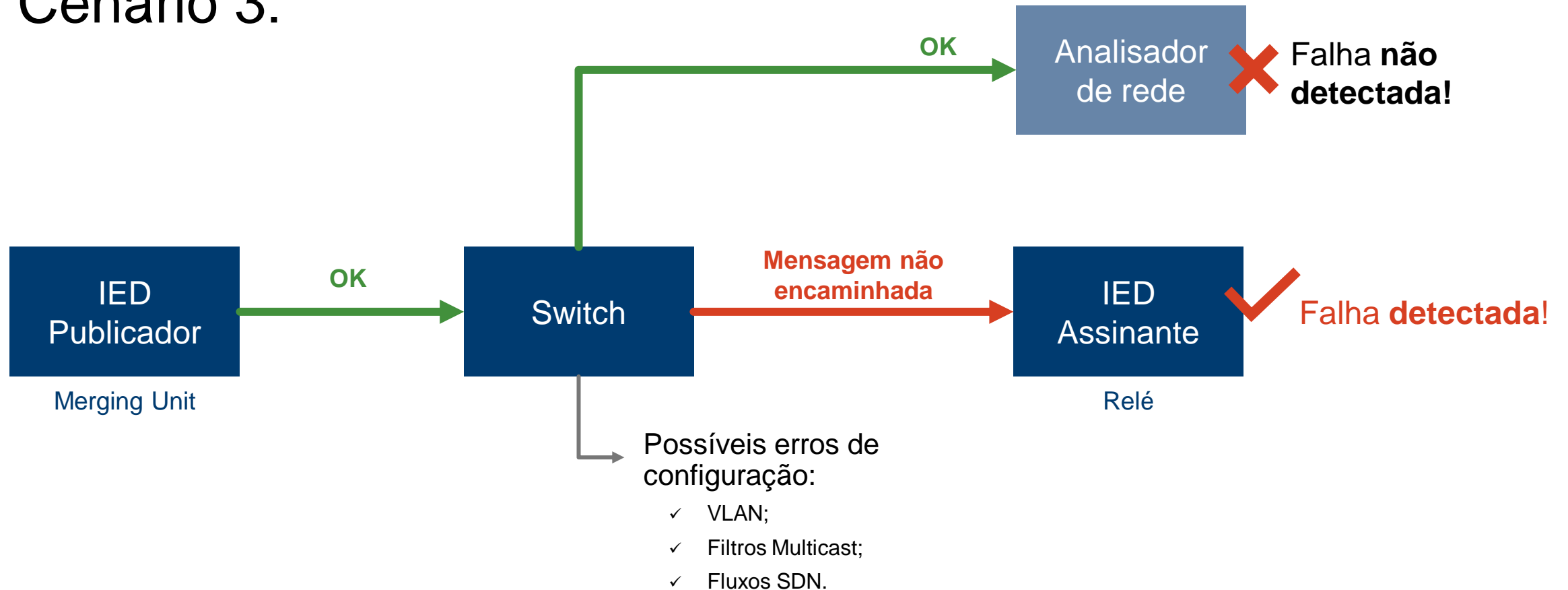
# Ausência de mensagens, perda de pacotes e pacotes corrompidos

- Cenário 2:



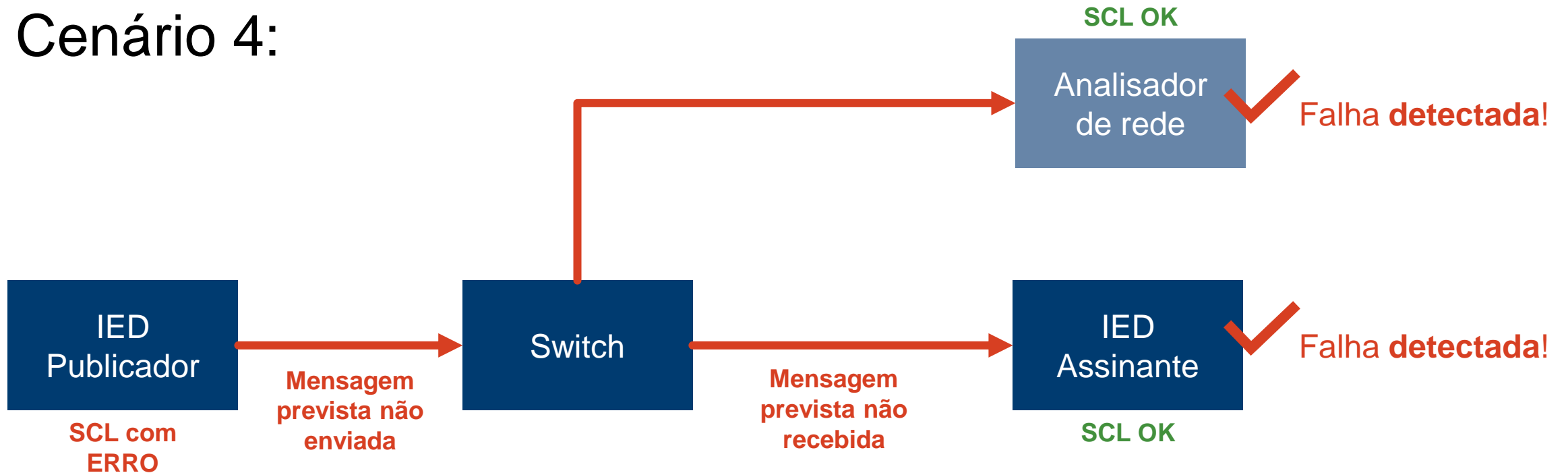
# Erros de configuração na rede

## ■ Cenário 3:



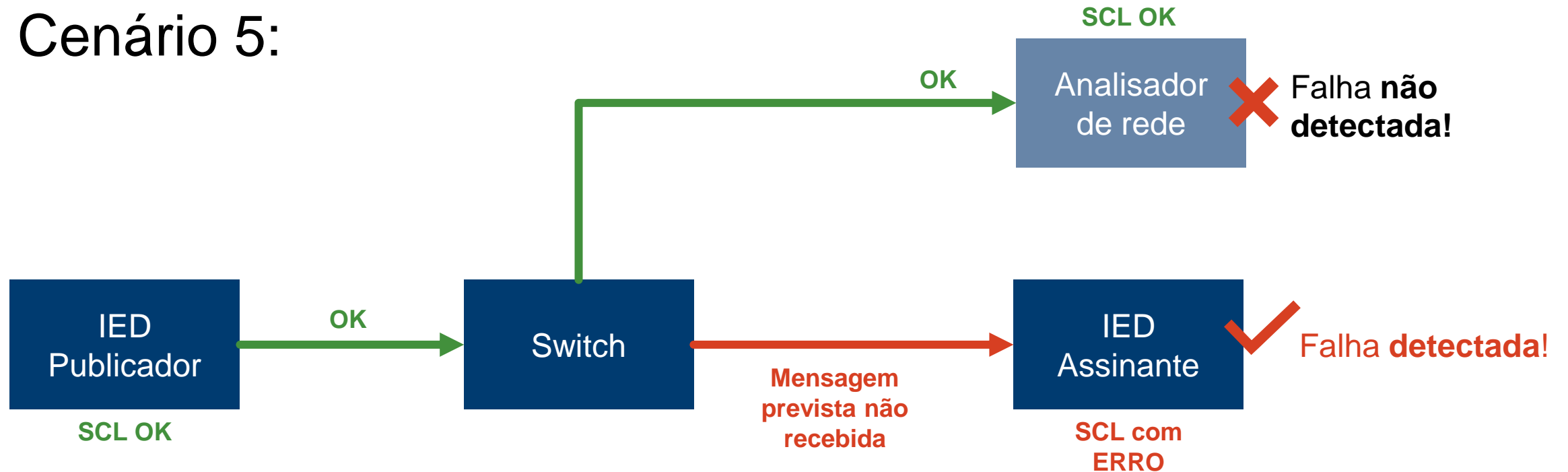
# Erros de configuração dos IEDs (SCL)

- Cenário 4:



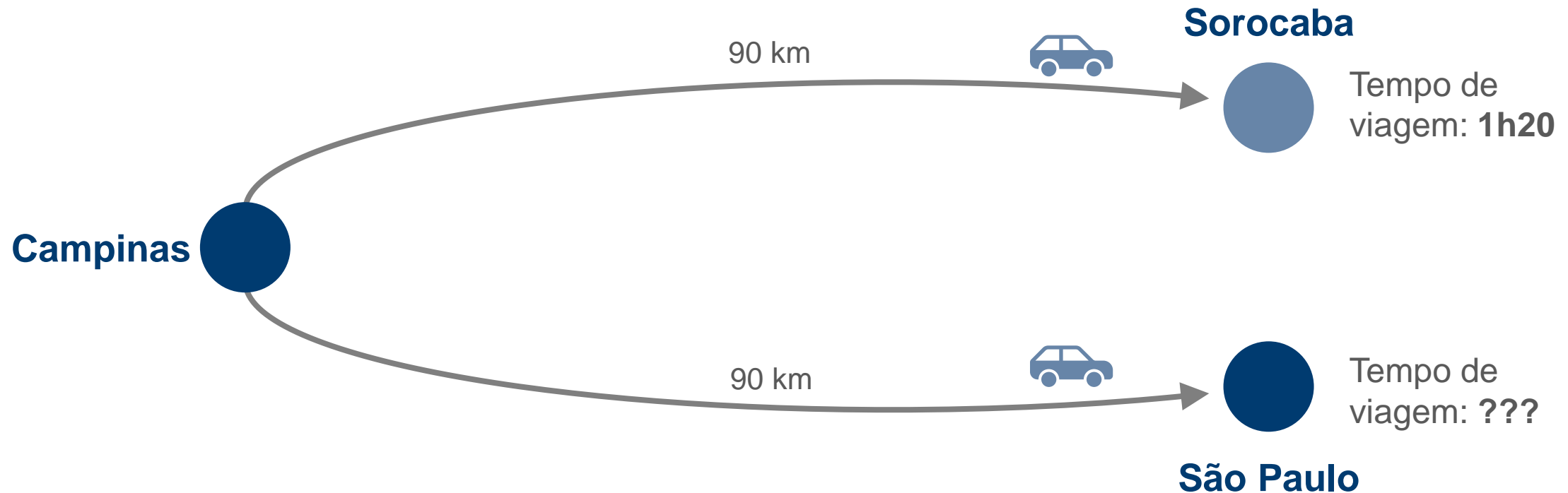
# Erros de configuração dos IEDs (SCL)

- Cenário 5:



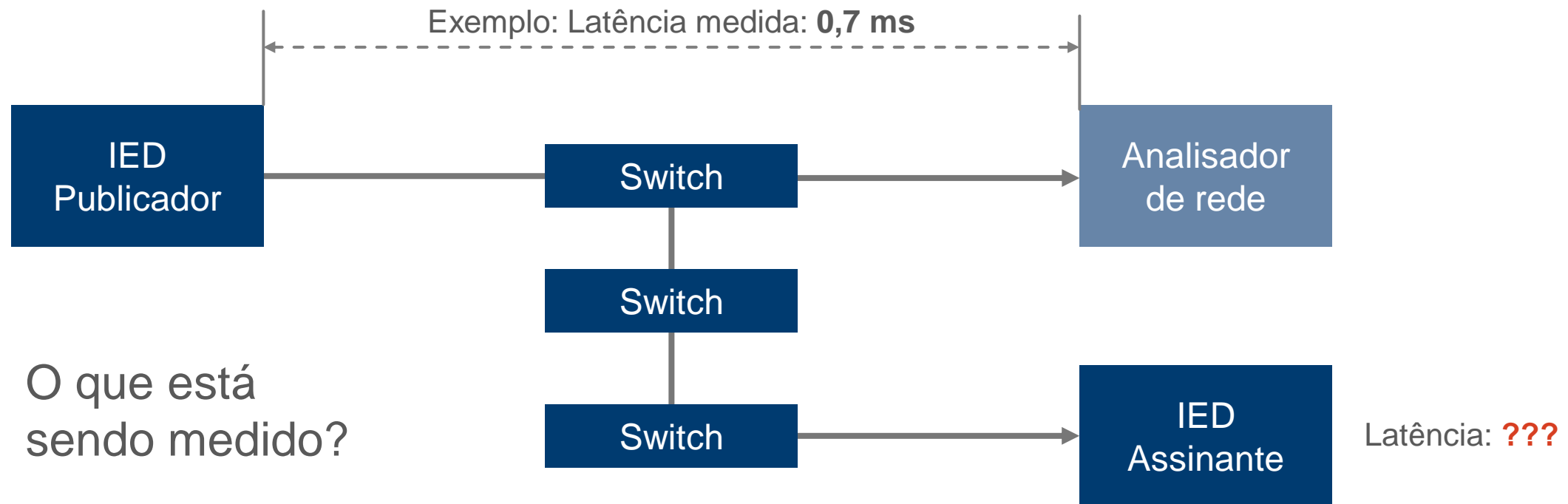


# Testes de performance: Analogia



Tempo de viagem **Campinas > São Paulo** é o mesmo?

# Testes de performance: Medição de latência



Latência **Publicador > Assinante** é a mesma?

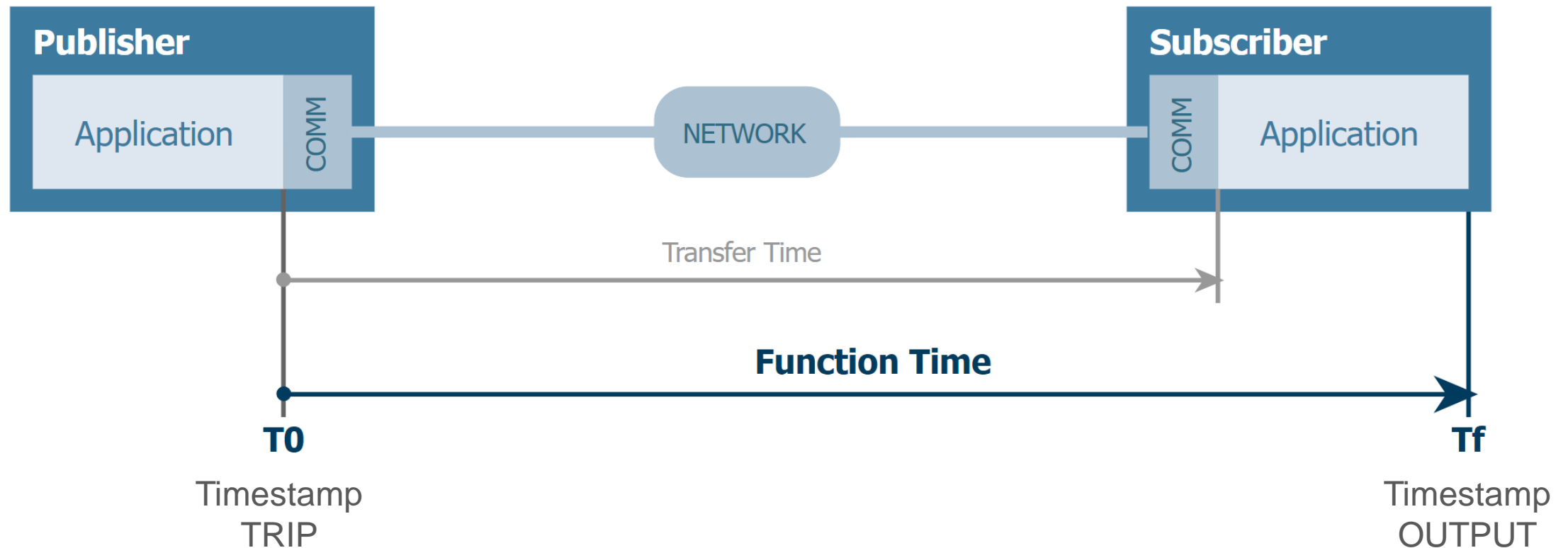
# Testes de performance: Analogia

- O que está sendo medido?



# Avaliação de desempenho GOOSE

- Aferição de medidas que correspondam ao tempo total para **transmissão**, **recepção** e **processamento** efetivo dos dados.

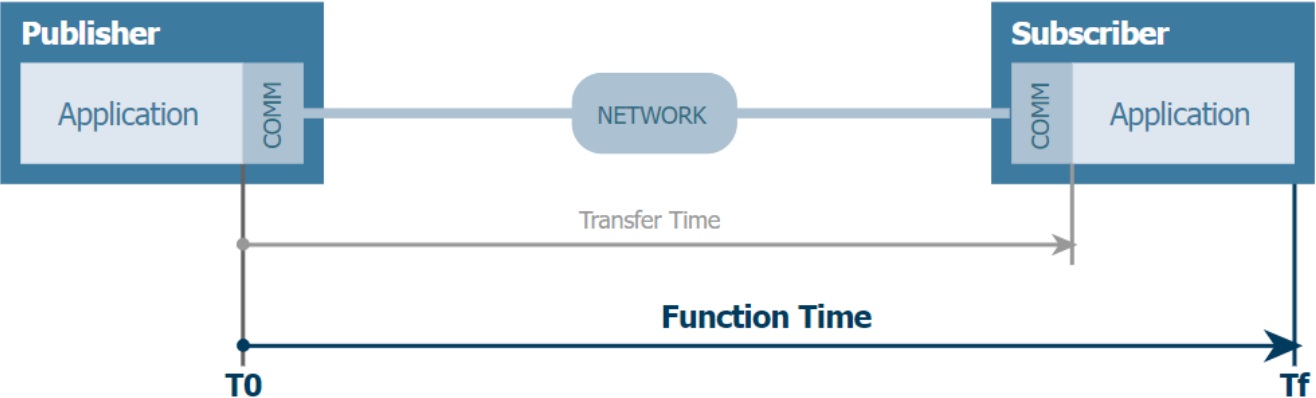


# Avaliação de desempenho GOOSE



## GOOSE Performance | Trip Function Time

### Function Time calculation



Publisher		Subscriber	Trip Function Time statistics					Function Time Test Set	
			Average $\bar{x}$	Minimum ▼	Maximum ▲	Last	Measurements		
RL1	TRIP	MU2	3797 $\mu$ s	3700 $\mu$ s	4200 $\mu$ s	3700 $\mu$ s	46	RESET	TEST SET >
RL1	TRIP	MU1	3143 $\mu$ s	2100 $\mu$ s	4100 $\mu$ s	3600 $\mu$ s	46	RESET	TEST SET >

# Latência de tráfego SV

- Medido e disponibilizado pelos assinantes SV no Logical Node LSVS:

St.stVal (ST)	TRUE	Reception status
ErrSt.stVal (ST)	No Errors	Reception error code
SmpSynch.stVal	2: Sincronizado por clock GLOBAL	Synchronization state for SV stream
NetwDly.instMag.f	0.6 ms	Network delay (ms)
ConfRevNum.stVal (ST)	1	Expected ConfRef
RxConfRevNum.stVal (ST)	1	Received ConfRef
NdsCom.stVal (ST)	FALSE	Needs commissioning
SimSt.stVal (ST)	FALSE	Processed simulation message

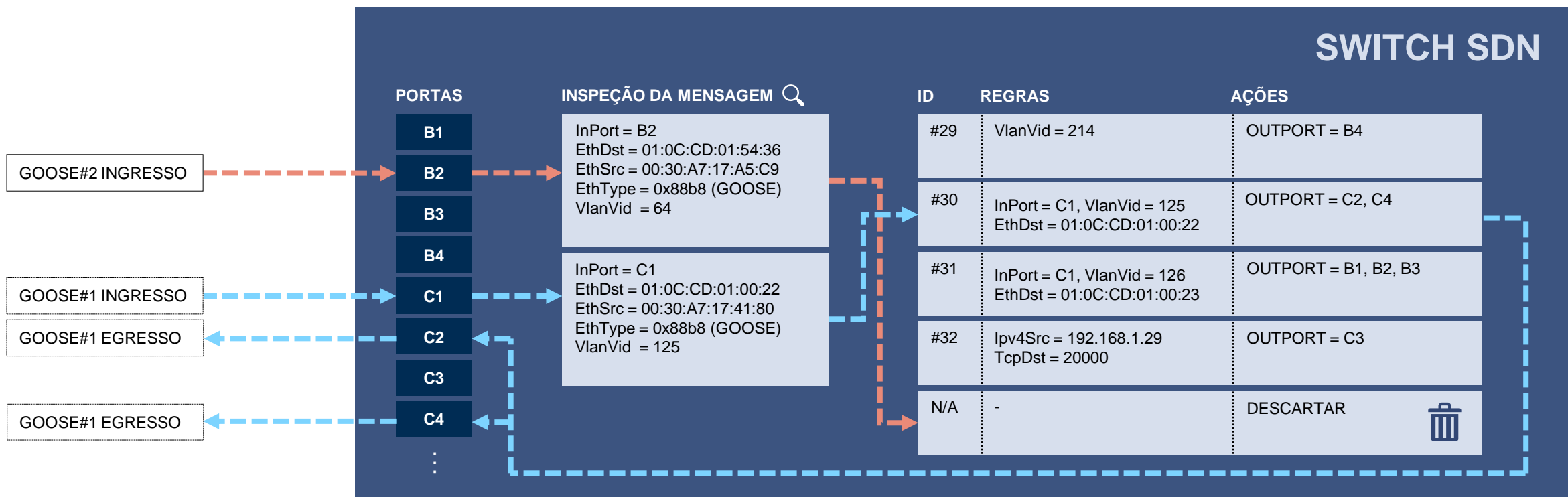
Condição normal

St.stVal (ST)	TRUE	Reception status
ErrSt.stVal (ST)	Delay Exceeded	Reception error code
SmpSynch.stVal	2: Sincronizado por clock GLOBAL	Synchronization state for SV stream
NetwDly.instMag.f	1.4 ms	Network delay (ms)
ConfRevNum.stVal (ST)	1	Expected ConfRef
RxConfRevNum.stVal (ST)	1	Received ConfRef
NdsCom.stVal (ST)	FALSE	Needs commissioning
SimSt.stVal (ST)	FALSE	Processed simulation message

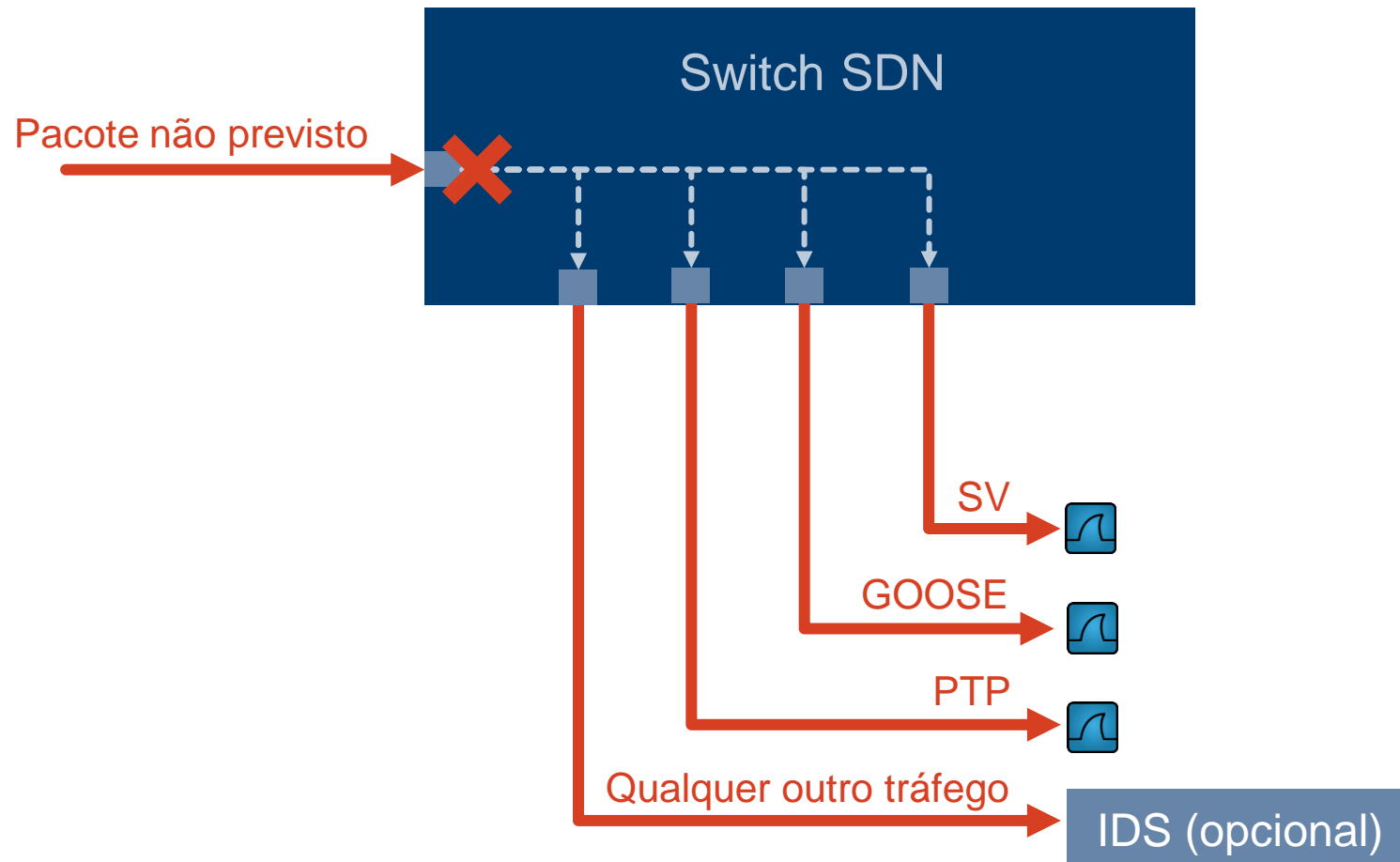
Testes com delay intencional

# Detecção de tráfego não previsto

- Mecanismo baseado nos switches SDN (Software Defined Network)
  - Exemplo de operação:



# Detecção de tráfego não previsto



✗ Tráfego não previsto  
**não circula** na rede.

➔ Encaminhamento para  
portas específicas.

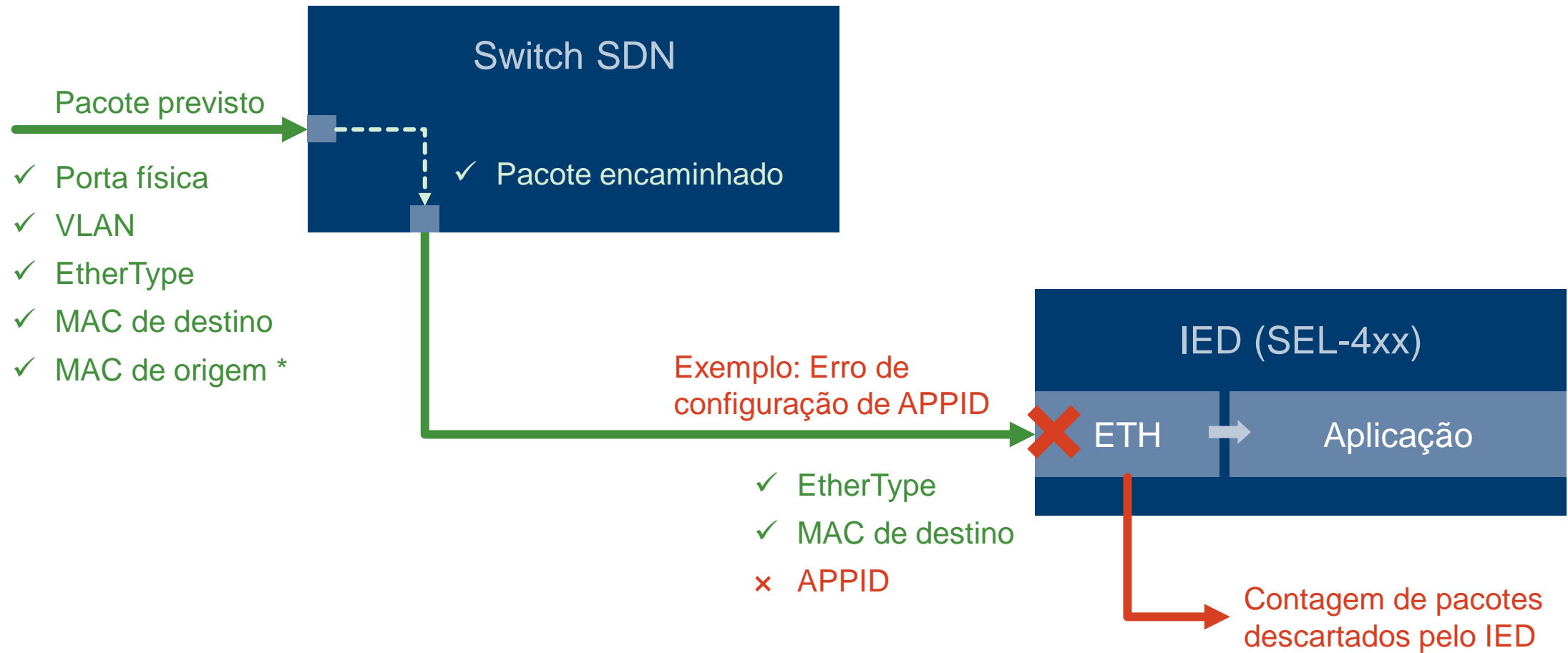
🔔 Alarme de detecção de  
tráfego não previsto.



# Exemplo de alarme de tráfego não previsto

Alarms Viewer						
<div><div><div>✓</div><div>✓</div><div>✕</div><div>▼ Data is Filtered ✕</div></div><div>Page 1 / 1 Showing 2 of 2</div><div><div>↺ Reload</div><div>⚙</div><div>⬇</div><div>▼</div><div>☰</div></div></div>						
	Timestamp	Tag Name	Ack Time	Priority	Category	Message
	2023-08-07 19:48:17.475	Unplanned_Traffic.SV	2023-08-08 08:50:24.835	GENERAL	NETWORK	Unplanned SV traffic detected: 248012.8 Bytes/s
	2023-08-07 18:41:32.375	Unplanned_Traffic.PTP	2023-08-08 08:50:24.835	GENERAL	NETWORK	Unplanned PTP traffic detected: 162.944 Bytes/s

# Filtragem de tráfego e detecção de pacotes descartados no IED




# Filtragem de tráfego e detecção de pacotes descartados no IED

Interface port 5A statistics	ETHGGIO.Ind01.stVal (ST)	TRUE	Port 5A ready
	ETHGGIO.Ind02.stVal (ST)	TRUE	Link status of port 5A connection
	ETHGGIO2.CntVal01.actVal (ST)	3099 Packets	Total number of packets transmitted on port 5A
	ETHGGIO2.CntVal06.actVal (ST)	11027705 Packets	Total number of packets received on port 5A
	ETHGGIO2.CntVal11.actVal (ST)	454468 Packets	Total number of packets discarded on port 5A
	ETHGGIO2.CntVal16.actVal (ST)	19 Packets	Total number of erroneous packets received on port 5A
	ETHGGIO2.AnIn01.instMag.f (MX)	-19.6 dBm	SFP transceiver receive power info (dBm) on port 5A
	ETHGGIO2.AnIn06.instMag.f (MX)	-17.0 dBm	SFP transceiver transmit power info (dBm) on port 5A
	ETHGGIO2.AnIn11.instMag.f (MX)	44.0 °C	SFP transceiver temperature info (°C) on port 5A
	ETHGGIO2.SPCSO01.Oper.ctVal (CO)	RESET >	Reset Ethernet card statistics
Interface port 5B statistics	ETHGGIO.Ind03.stVal (ST)	TRUE	Port 5B ready
	ETHGGIO.Ind04.stVal (ST)	TRUE	Link status of port 5B connection
	ETHGGIO2.CntVal02.actVal (ST)	3088 Packets	Total number of packets transmitted on port 5B
	ETHGGIO2.CntVal07.actVal (ST)	10898693 Packets	Total number of packets received on port 5B
	ETHGGIO2.CntVal12.actVal (ST)	454466 Packets	Total number of packets discarded on port 5B
	ETHGGIO2.CntVal17.actVal (ST)	0 Packets	Total number of erroneous packets received on port 5B
	ETHGGIO2.AnIn02.instMag.f (MX)	-18.9 dBm	SFP transceiver receive power info (dBm) on port 5B
	ETHGGIO2.AnIn07.instMag.f (MX)	-17.1 dBm	SFP transceiver transmit power info (dBm) on port 5B
	ETHGGIO2.AnIn12.instMag.f (MX)	46.6 °C	SFP transceiver temperature info (°C) on port 5B

Alarms Viewer						
Data is Filtered						
Page 1 / 1 Showing 3 of 3						
Reload						
Timestamp	Tag Name	Ack Time	Priority	Category		
2023-08-01 20:41:00.197	RL1_TAGS.PktDiscart_5B	(unacknowledged)	PROCESS BUS	RL1	Packets discarded on port 5B ↑ TRUE	27
2023-08-01 20:41:00.197	RL1_TAGS.PktDiscart_5A	(unacknowledged)	PROCESS BUS	RL1	Packets discarded on port 5A ↑ TRUE	
2023-08-01 20:40:52.901	RL1_TAGS.LSVS4_St_	2023-08-01 20:41:03.461	LSVS4	RL1	Reception status - FALSE - SmpSynch Mismatch	

# Monitoramento de sincronismo

- Tráfego da rede pode ser usado para **monitorar o relógio**:
  - Informações disponíveis no pacote;
  - Clock Class (relógio sincronizado por GPS ou em holdover);
  - Acurácia do relógio;
  - Inexatidão do tempo (PTP Power Profile);
- Não assegura **sincronismo dos IEDs**:
  - Pacotes estão chegando nos IEDs?
  - Possibilidade de erros de configuração do PTP nos IEDs; 
  - PTP em redes PRP: BMCA pode estar nos IEDs;
  - Possibilidade de dispositivos sem suporte ao PTP no caminho.

# Conclusões

- Nada substitui uma boa engenharia;
- IEDs são as fontes mais confiáveis de informação;
- Projeto com foco em **confiabilidade** desde a base:
  - Design dos IEDs, hardware e firmware;
  - Recursos de monitoramento disponíveis nos IEDs;
  - Arquitetura do sistema;
- Monitoramento é uma consequência de um sistema **confiável**;
- Monitoramento baseado nos IEDs é necessário para atender os requisitos;
- Ferramenta externa pode ser usada como recurso complementar;

Obrigado

[vinicius\\_ferrari@selinc.com](mailto:vinicius_ferrari@selinc.com)

**Connect with us**

[info@selinc.com](mailto:info@selinc.com)



**SCHWEITZER  
ENGINEERING  
LABORATORIES**