



# Aquisição de Dados, Trigger e Controle

*Clara Gaspar, September 2019*



# Definições

## ■ Sistema de “Trigger”

- Selecciona em tempo-real os acontecimentos (eventos) “interessantes” entre todas as colisões  
Decide se o evento deve ser adquirido ou não

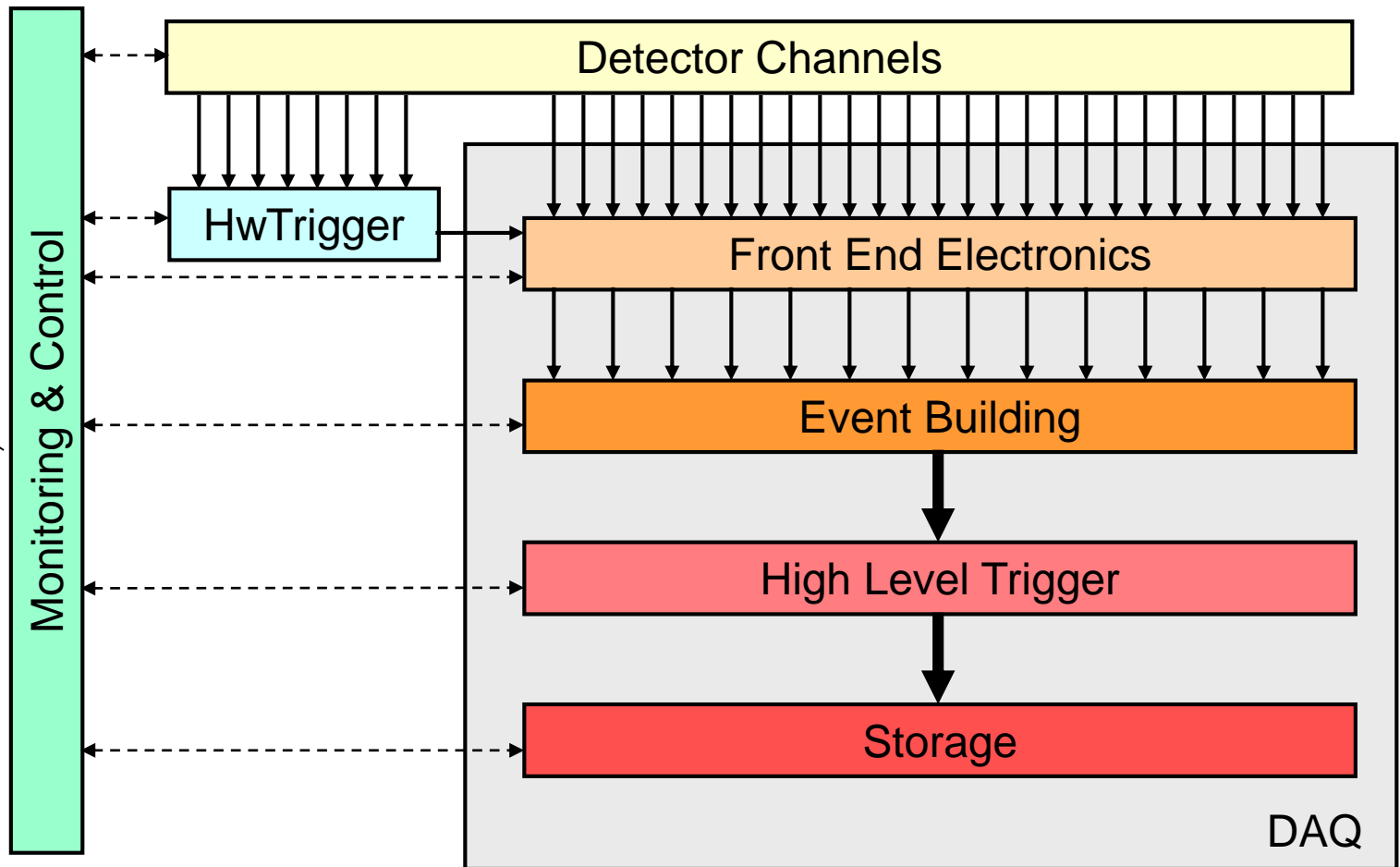
## ■ Sistema de Aquisição de Dados

- Colecta os dados produzidos pelo detector e armazena-os (quando a decisão do Trigger é positiva)

## ■ Sistema de Controle

- Encarrega-se da configuração, supervisão, e em geral do bom funcionamento do sistema

# Trigger, DAQ & Control





# LEP & LHC in Numbers

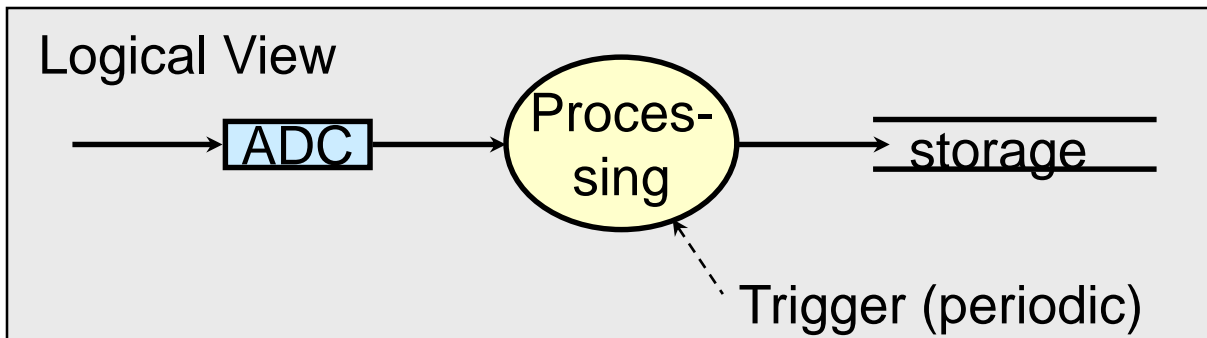
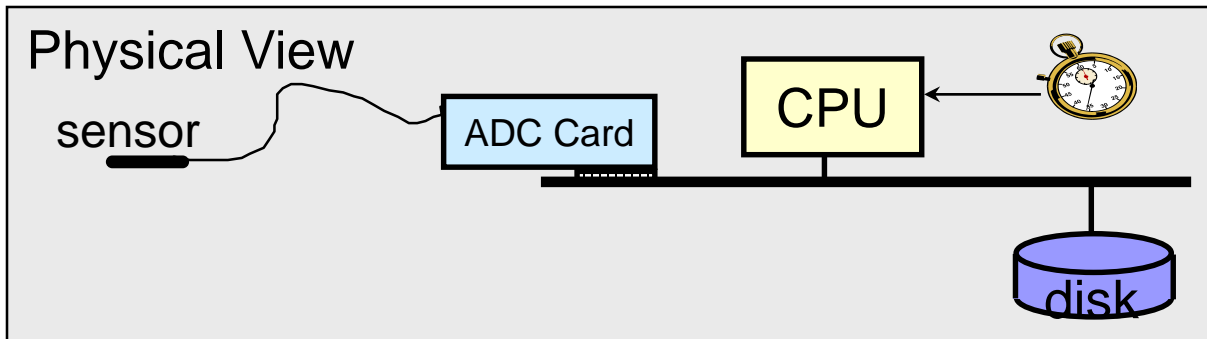
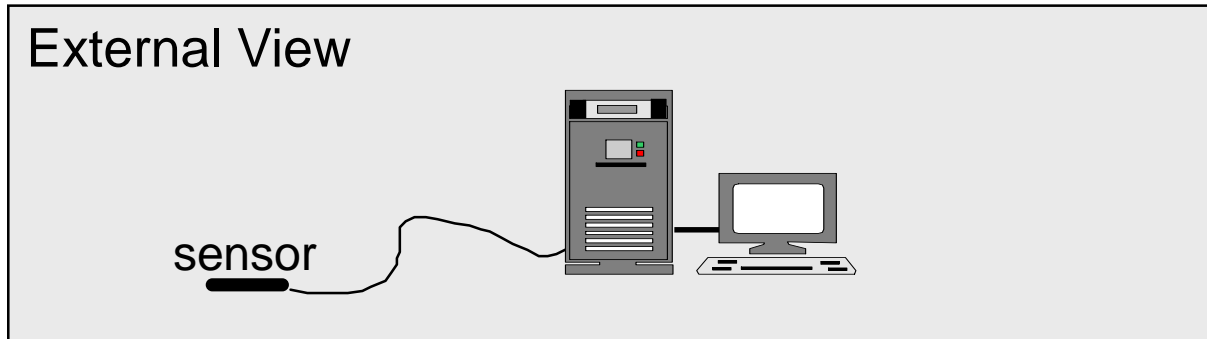
	LEP (1989/2000)	LHC (2009)	Factor
Bunch Crossing Rate	45 KHz	40 MHz	$\times 10^3$
Bunch Separation	22 $\mu$ s	25 ns	$\times 10^3$
Nr. Electronic Channels	$\approx 100\ 000$	$\approx 10\ 000\ 000$	$\times 10^2$
Raw data rate	$\approx 100\ \text{GB/s}$	$\approx 1\ 000\ \text{TB/s}$	$\times 10^4$
Data rate on Tape	$\approx 1\ \text{MB/s}$	$\approx 100\ \text{MB/s}$	$\times 10^2$
Event size	$\approx 100\ \text{KB}$	$\approx 1\ \text{MB}$	$\times 10$
Rate on Tape	10 Hz	100 Hz	$\times 10$
Analysis	0.1 Hz	$10^{-6}\ \text{Hz}$	$\times 10^5$
	( $Z_0, W$ )	(Higgs)	



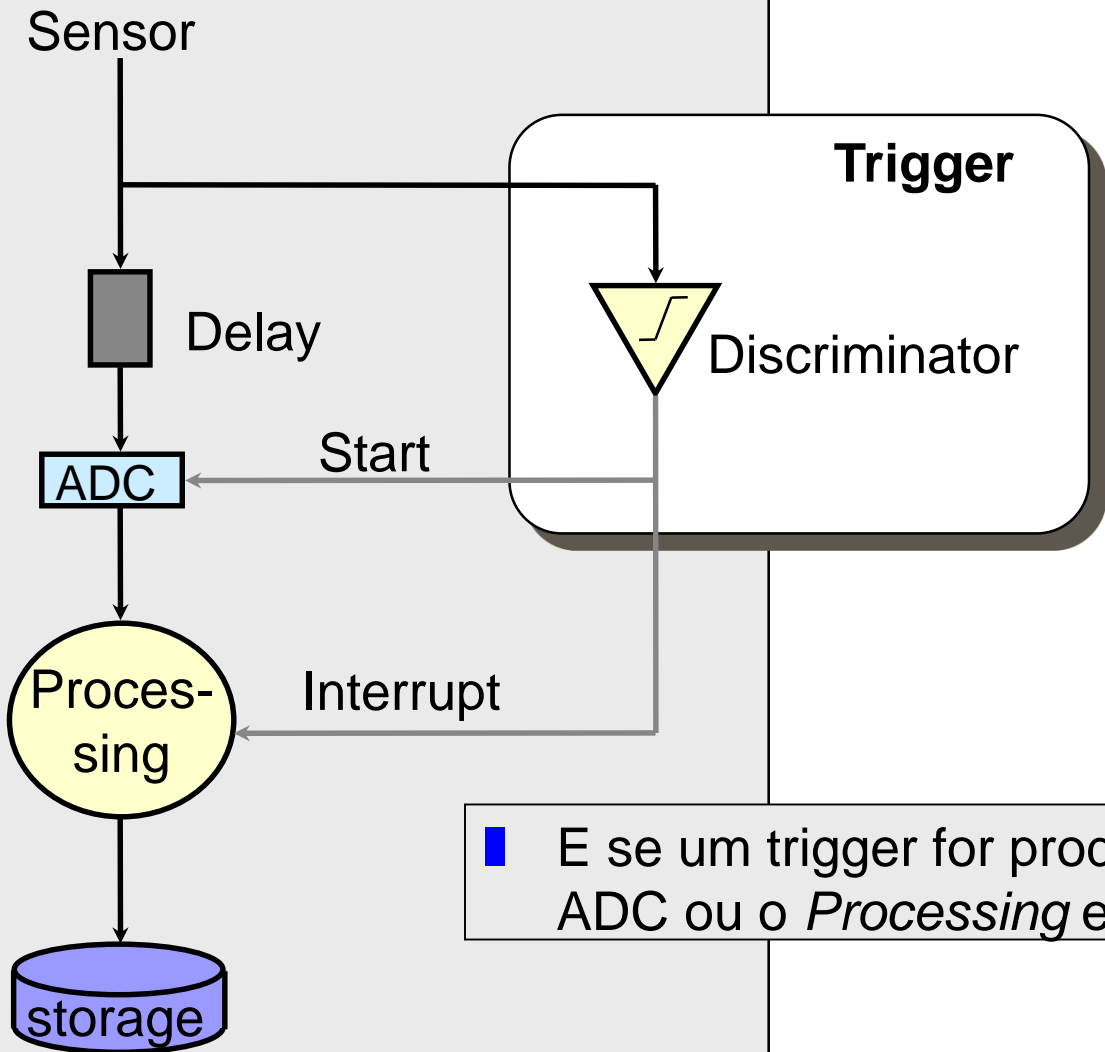
# Conceitos Básicos

*Clara Gaspar, September 2019*

# DAQ Trivial

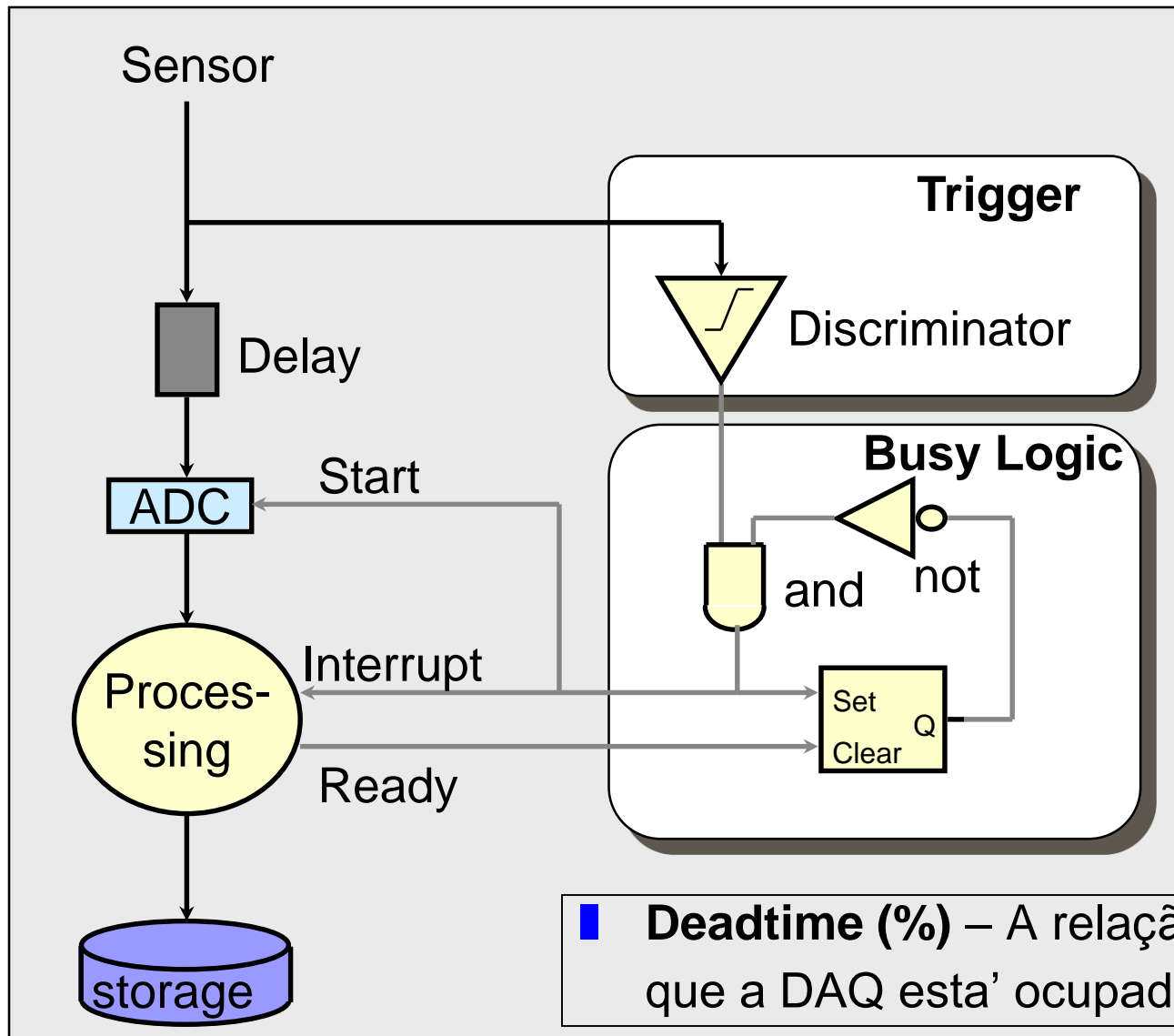


# DAQ Trivial com Trigger



■ E se um trigger for produzido quando a ADC ou o *Processing* esta' ocupado?

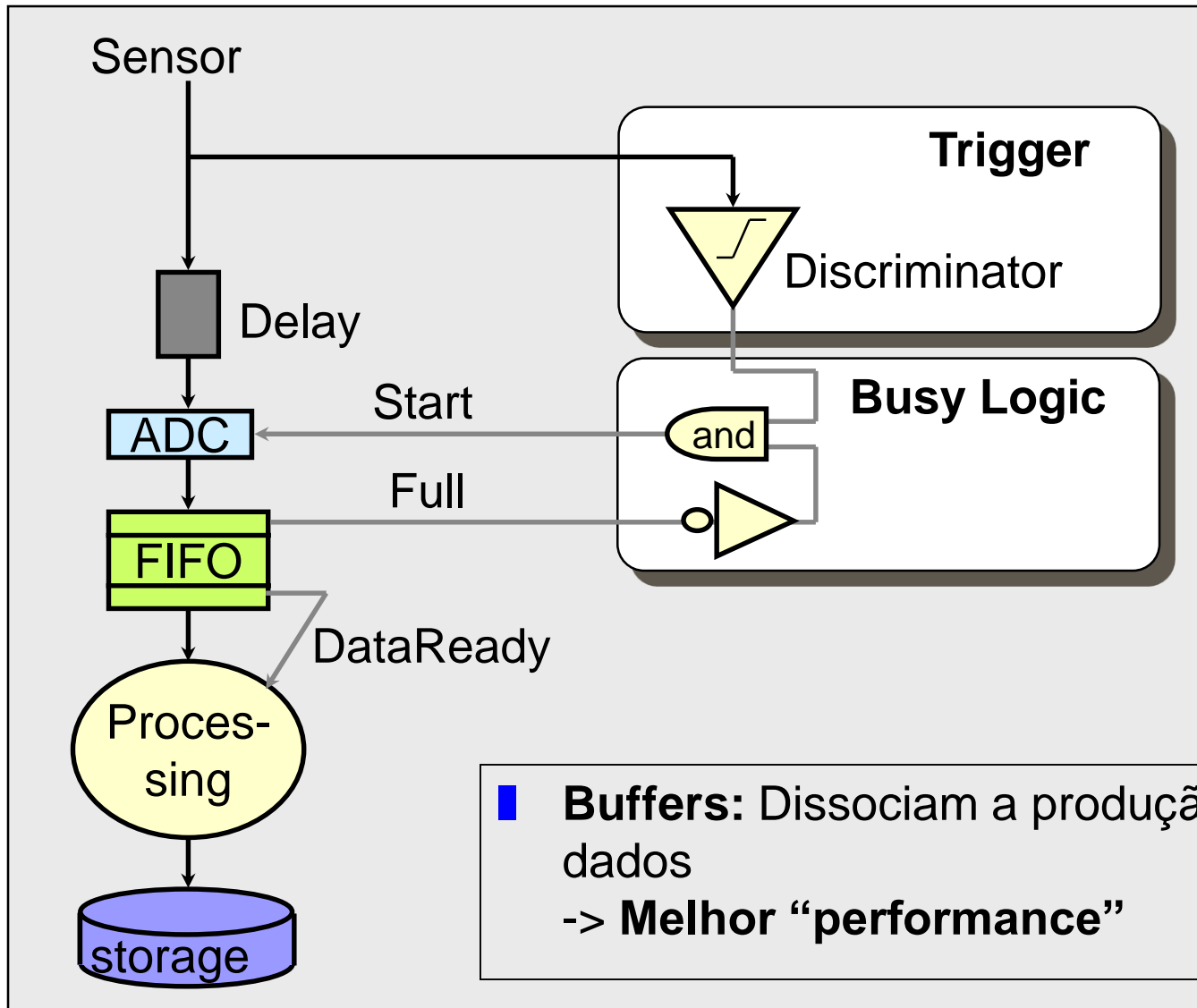
# DAQ Trivial com Trigger (2)



■ **Deadtime (%)** – A relação entre o tempo em que a DAQ está ocupada e o tempo total.

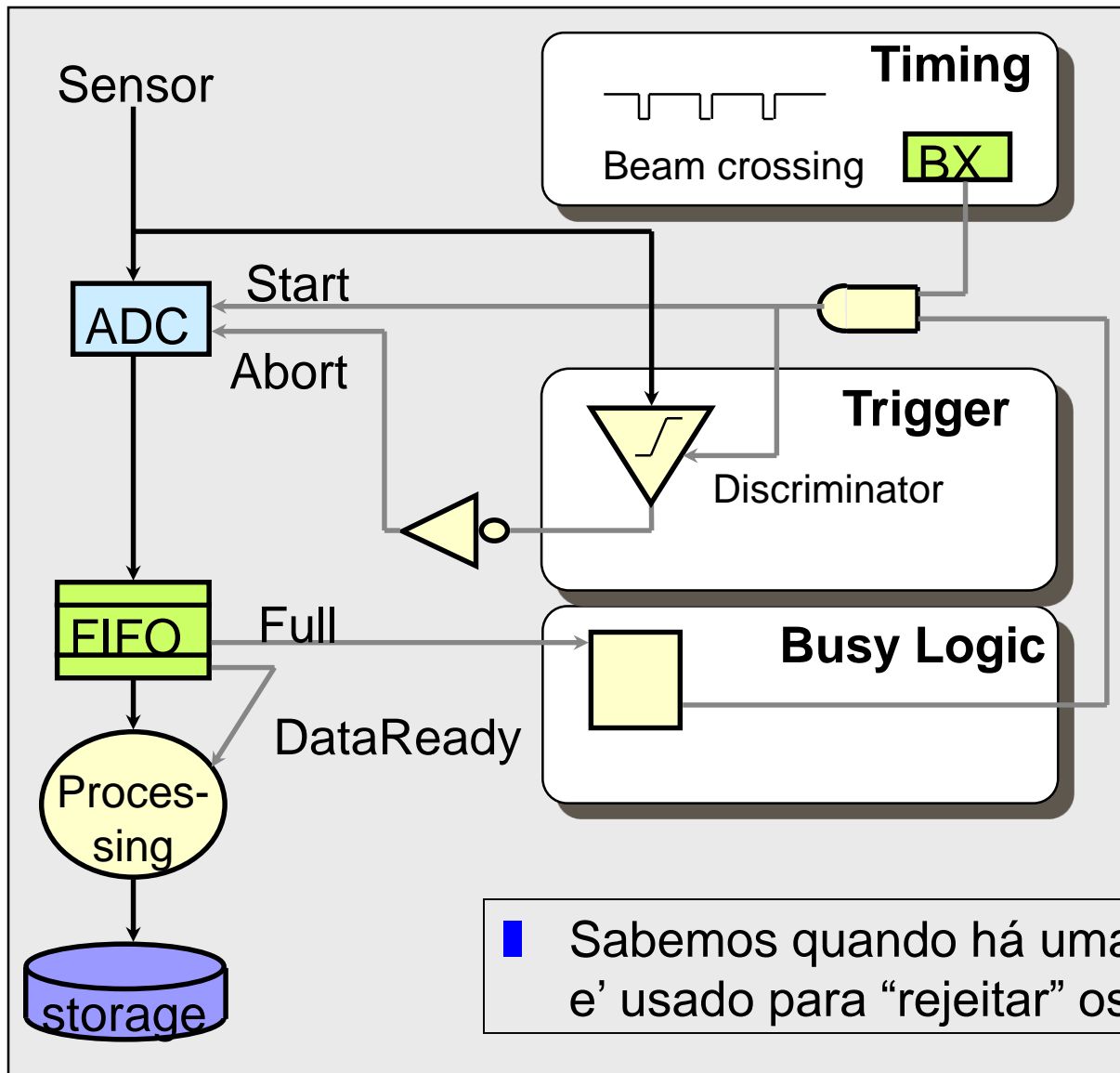


# DAQ Trivial com Trigger (3)



- **Buffers:** Dissociam a produção e o consumo dos dados  
-> **Melhor “performance”**

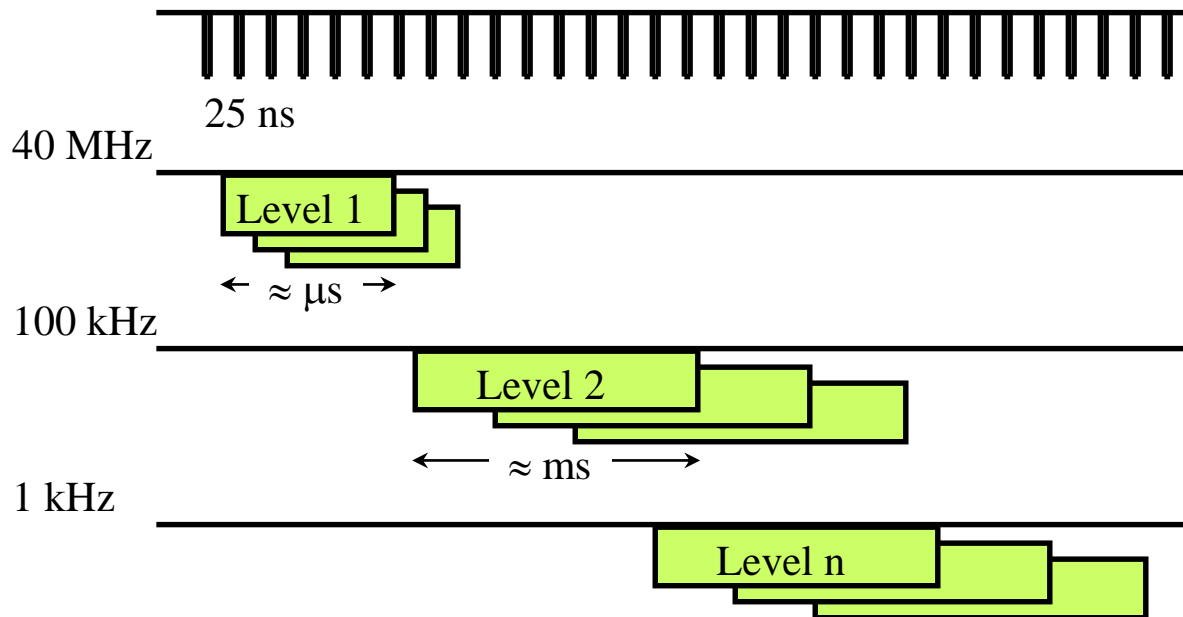
# DAQ Trivial num Acelerador



■ Sabemos quando há uma colisão -> o Trigger e' usado para "rejeitar" os dados.

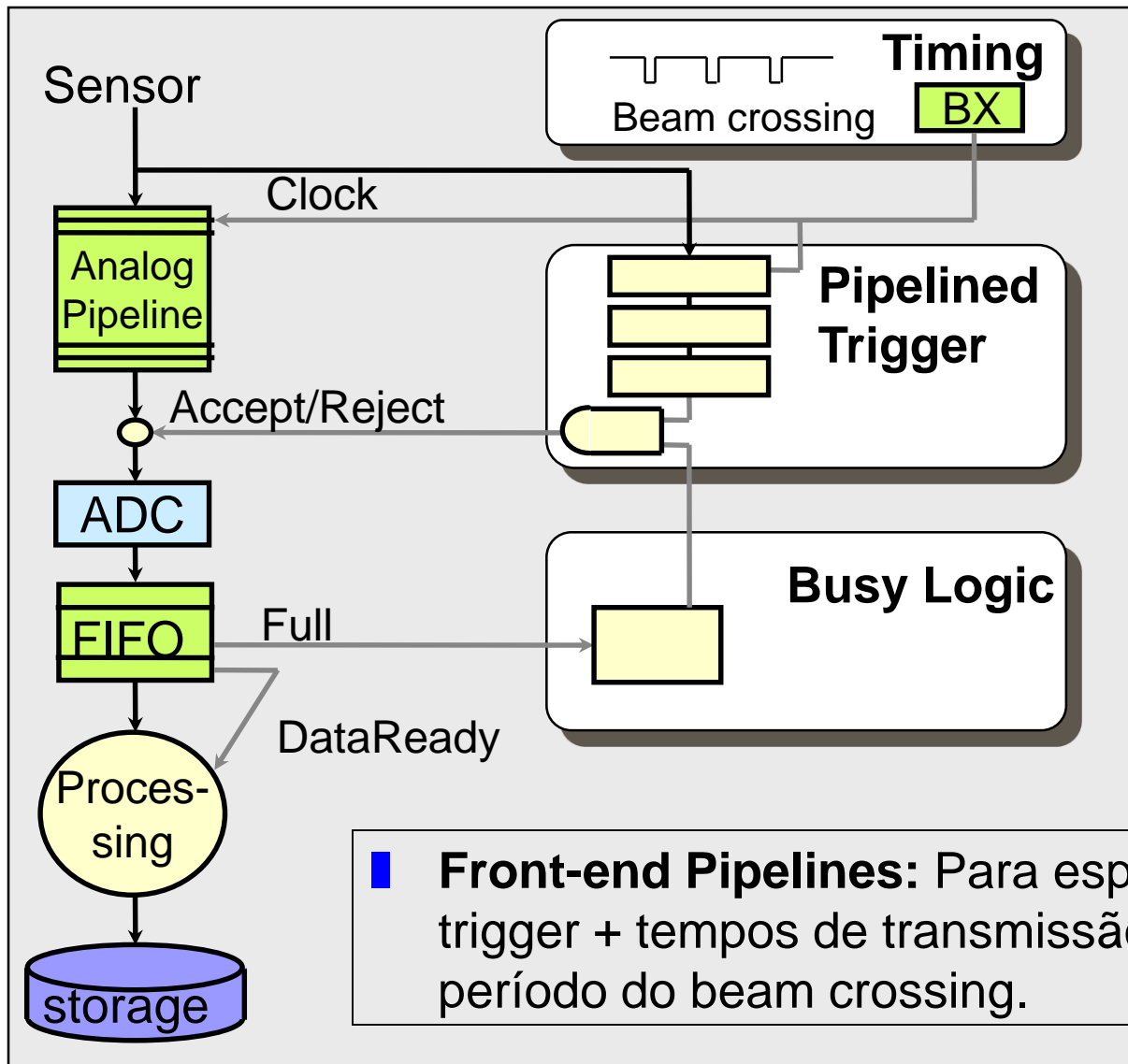
# Desafios do LHC

p p crossing rate 40 MHz ( $L=10^{33}-4\cdot 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )



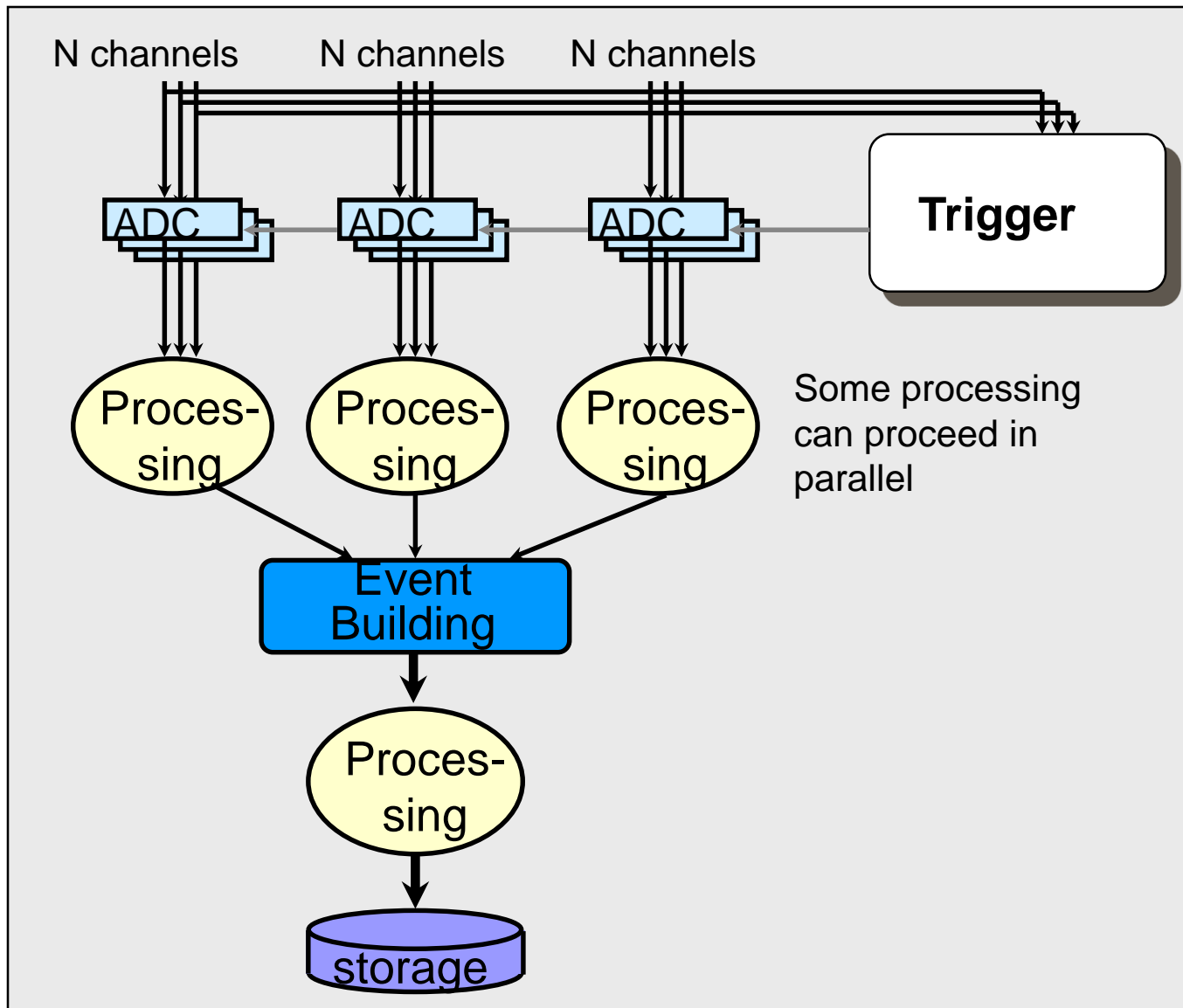
- Timing: Tempo do 1<sup>o</sup> nível de trigger excede o “bunch interval”
- Sobreposição de eventos e de sinal de várias colisões (“signal pileup”) porque a memória das células do detector é maior que 25 ns
- Muito alto numero de canais

# DAQ Trivial no LHC

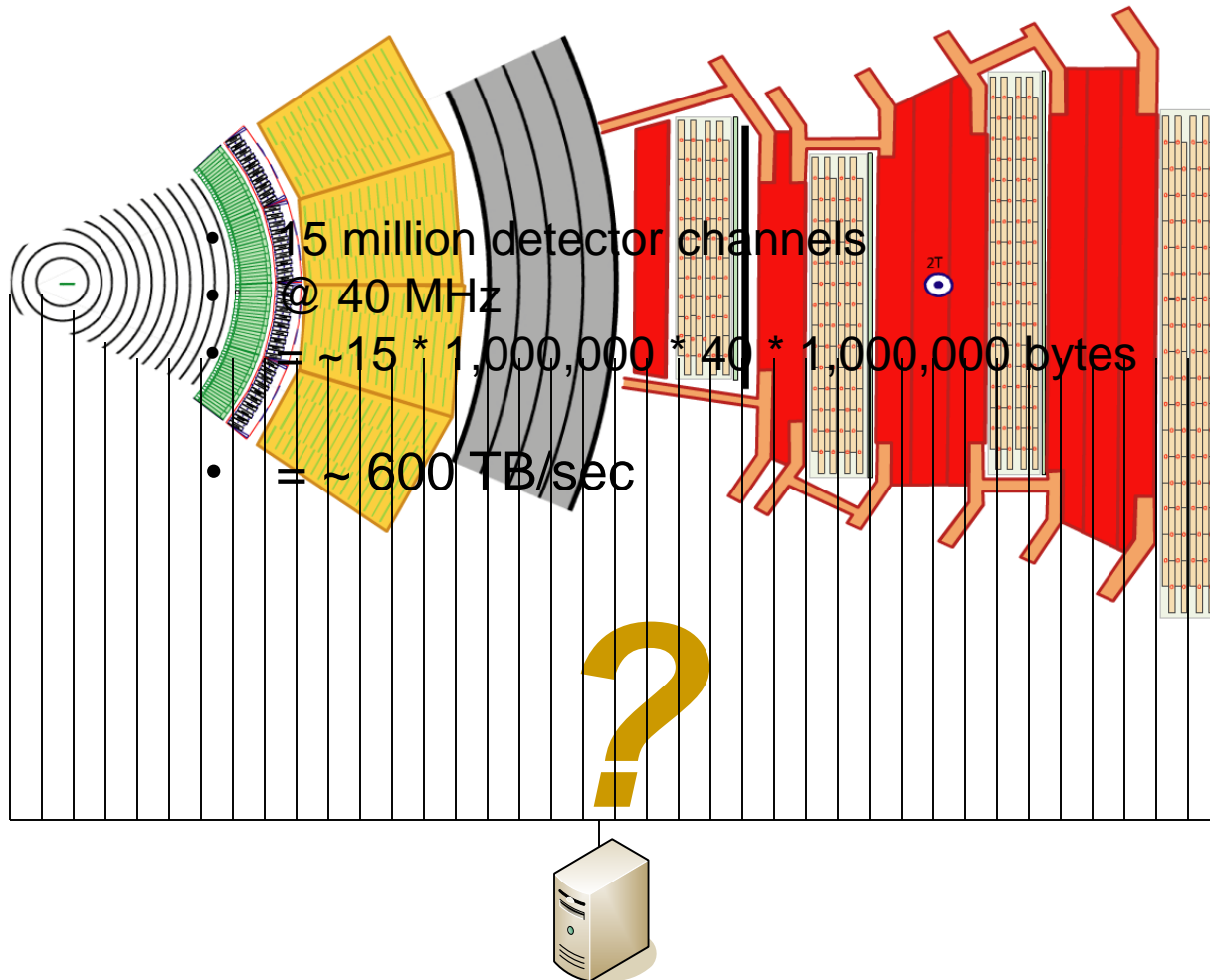


- **Front-end Pipelines:** Para esperar pela decisão do trigger + tempos de transmissão são maiores que o período do beam crossing.

# DAQ Menos Trivial



# A Realidade





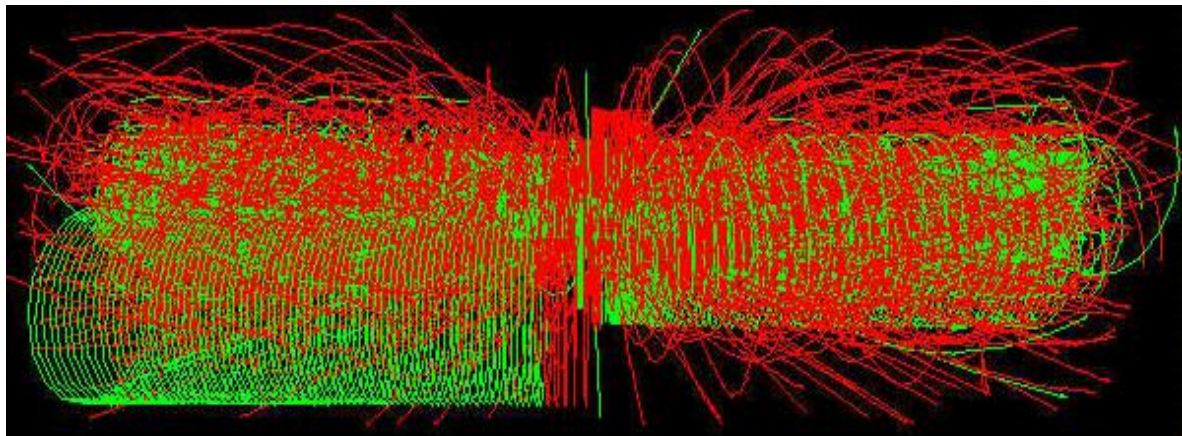
# Trigger

*Clara Gaspar, September 2019*

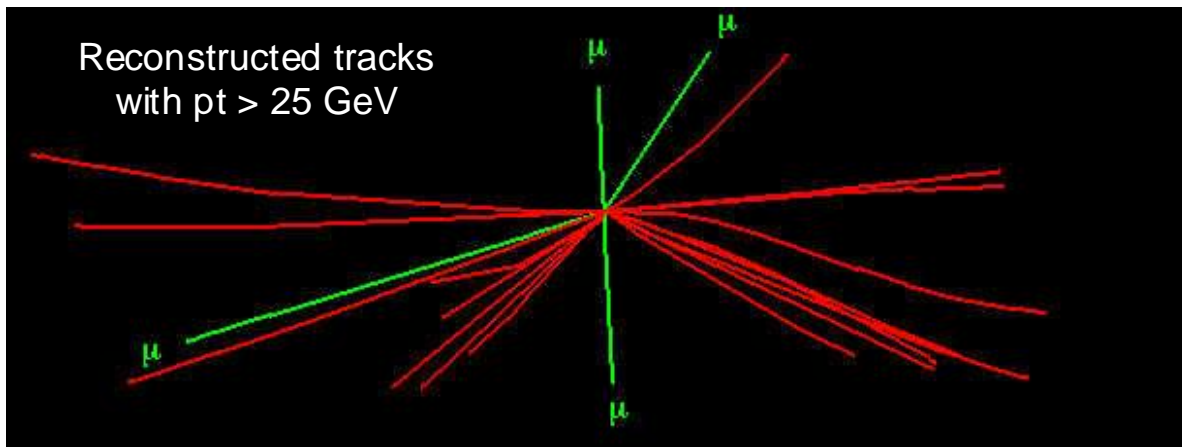
# Sistema de Trigger

- O sistema de Trigger decide se um evento e' interessante ou não

- Evento típico em ATLAS e CMS\*
- >20 colisões podem sobrepor-se
- E isto repete-se todos os 25 ns



- Um evento Higgs



\*Em LHCb não e' muito melhor e em Alice (PbPb) pode ate' ser pior



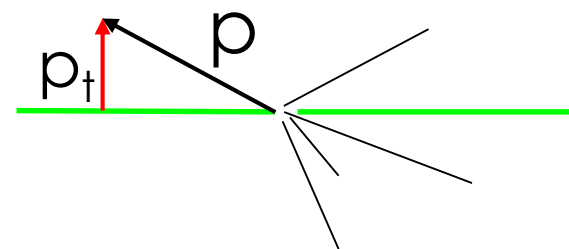


# Niveis de Trigger

- Como os dados não estão todos imediatamente disponíveis e a função do trigger é muito complexa, é normalmente avaliada por aproximações sucessivas:
  - Trigger(s) em Hardware:
    - | *Rápido*, usa dados só de alguns, poucos, detectores
    - | Tem um orçamento de tempo limitado
    - ➔ 1 Nível ou, por vezes, 2
  - Trigger(s) em Software:
    - | Refina as decisões dos triggers hardware usando dados de mais detectores e algoritmos mais complexos.
    - | Normalmente implementado usando programas que correm em processadores.
    - ➔ High Level Triggers (HLT) -> Trigger de Alto Nível

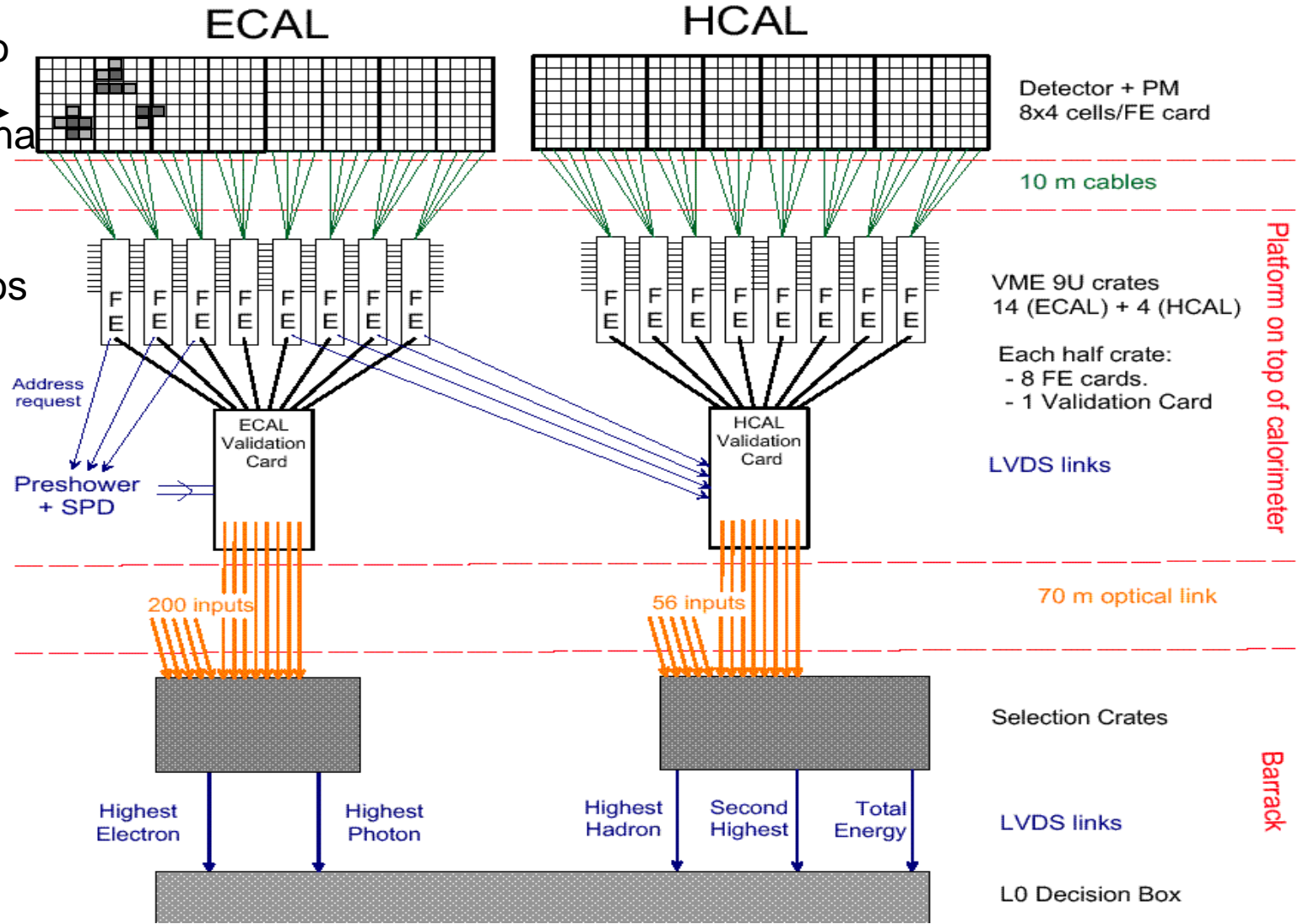
# Trigger Hardware

- Felizmente as colisões pp produzem principalmente partículas com momento transverso " $p_t$ "  $\sim 1$  GeV
- A Física interessante (conhecida ou nova) tem partículas com elevado  $p_t$
- **Conclusão: o primeiro nível de trigger tem que detectar partículas com momento transverso elevado**

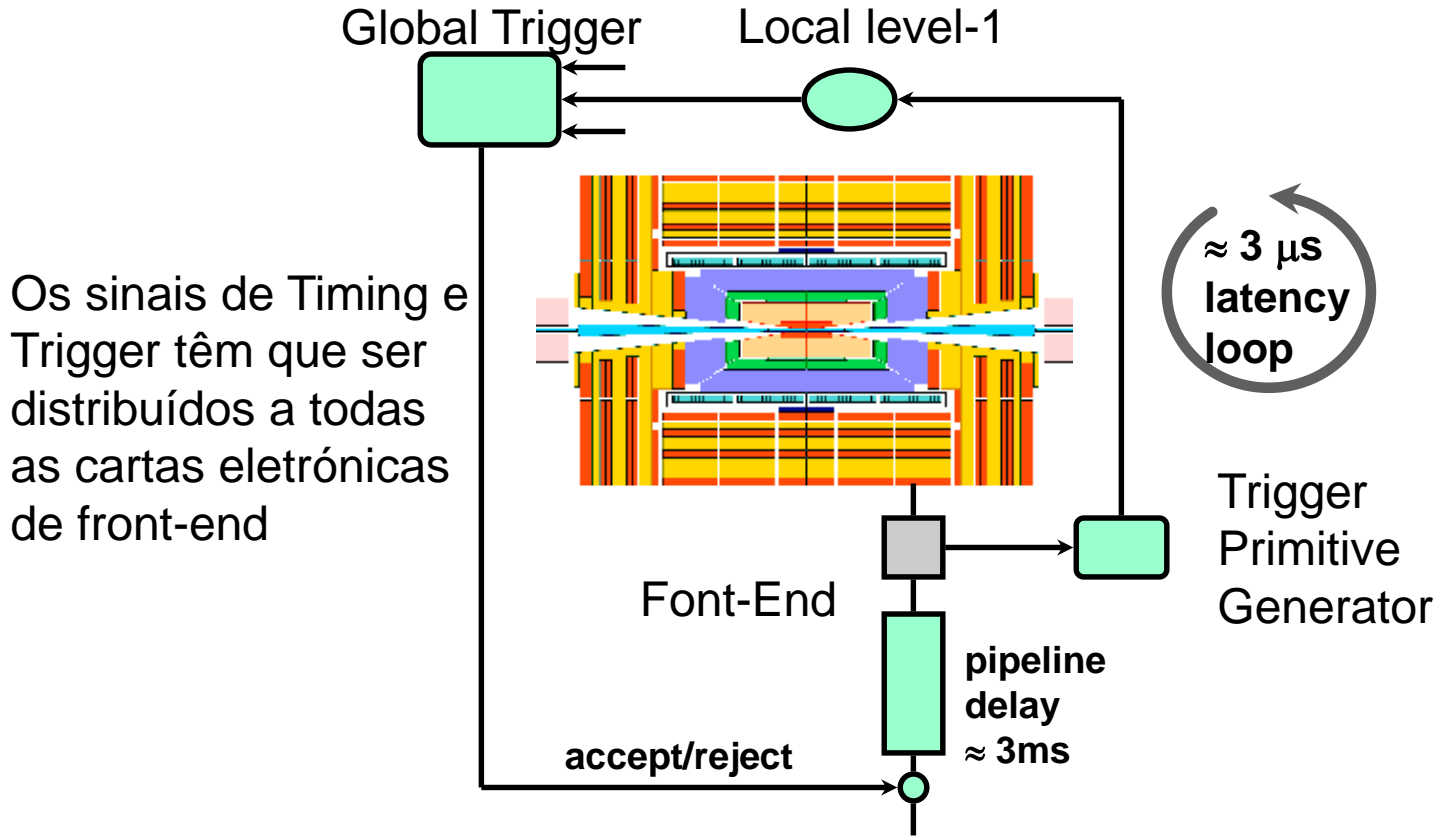


# Exemplo: Trigger do Calorimetro LHCb

- Detectar alta concentração de energia numa pequena superfície
- Somar com os "vizinhos"
- Agregar a informação
- Avaliar a(s) decisões

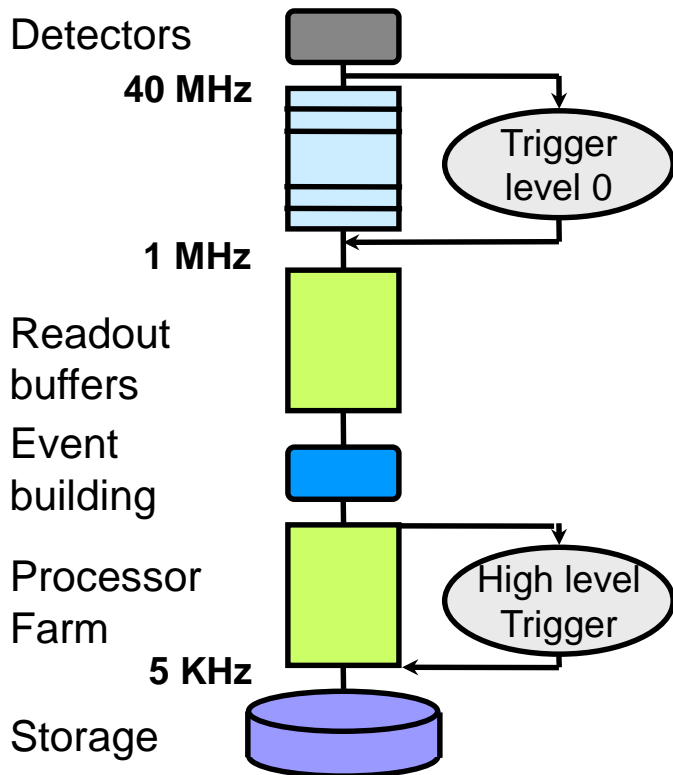


# LHC: Transmissão do Trigger



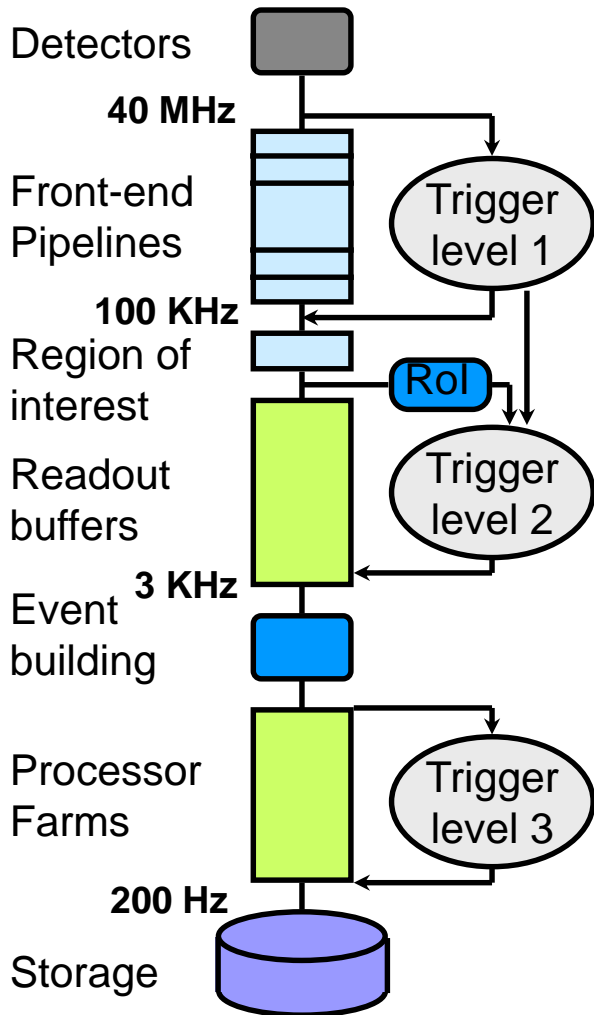
- Sistema digital síncrono a 40 MHz
- A sincronização a saída do pipeline não é trivial ⇒  
“Timing calibration”

# Níveis de Trigger: LHCb



- Level-0 (4  $\mu$ s) (processadores especiais)
  - Alto  $p_T$  em eletrões, muões, hádrões
  - Pile-up veto.
- HLT ( $\approx$ ms) (processadores comerciais)
  - Refinamento do Level-0. Rejeição de “background”
  - Reconstrução do evento. Seleção de “canais” de física.
  - Precisa de todos os dados do evento

# Níveis de Trigger: ATLAS



- **Level-1 (3  $\mu$ s) (processadores especiais)**
  - Clusters de energia nos calorímetros
  - Trigger de Muões: Matriz de coincidência de tracking.
  
- **Level-2 ( $\approx$ ms) ( $\sim$ processadores comerciais)**
  - “Regioes de Interesse” (ROI) relevantes para a decisão do trigger.
  - Agregação da informação seleccionada (ROI) via routers e switches.
  - Algoritmos sofisticados com dados detalhados mas apenas das regiões seleccionadas.
  
- **Level-3 ( $\approx$ s) (processadores comerciais)**
  - Reconstrução do evento usando todos os dados. Seleção de “canais” de física



# Aquisição de Dados

*Clara Gaspar, September 2019*



# Data Acquisition System

- **Coleção e agregação dos dados produzidos pelo detector (para decisões positivas do trigger)**
  - **Eletrónica de Front-End:**
    - | Recebem os sinais do detector, de trigger e de timing e produzem informação digital.
  - **Readout Network**
    - | Leitura dos dados dos front-end e formação de eventos completos
      - Event building
- **Processamento & Armazenamento**
  - | Processamento e filtragem
  - | Armazenamento dos dados





# Front-Ends

## ■ Específico ao Detector (Home made)

### ■ No Detector

- | Pre-amplificação, “Discrimination”, “Shaping” amplificação e “multiplexing” de grupos de canais
- | Problemas: Níveis de radiação, consumo de energia

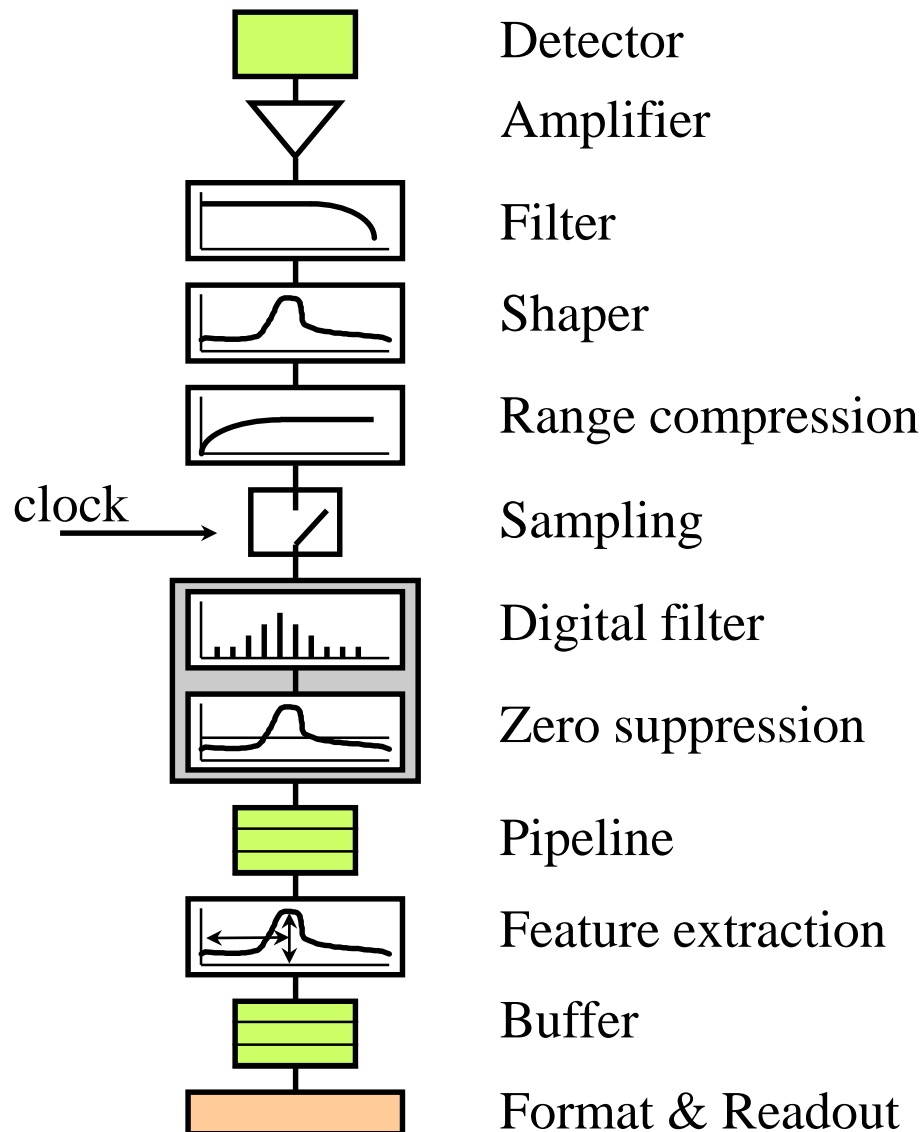
### ■ Transmissão

- | Cabos longos (50-100 m), elétricos ou fibra óptica

### ■ Nas “Salas de Contagem”

- | Centenas de crates de FE:  
Recepção, Conversão A/D e Buffering

# Estrutura de um Front-end





# DAQ “Readout”

- Os dados estão agora digitizados, pre-processados e marcados com um identificador (nr. da colisão)
- Mas distribuídos por muitas cartas de “read-out” (“sources”)
- Para a próxima etapa de selecção ou para a escrita em disco temos que coleccionar os vários fragmentos:  
“Event Building”



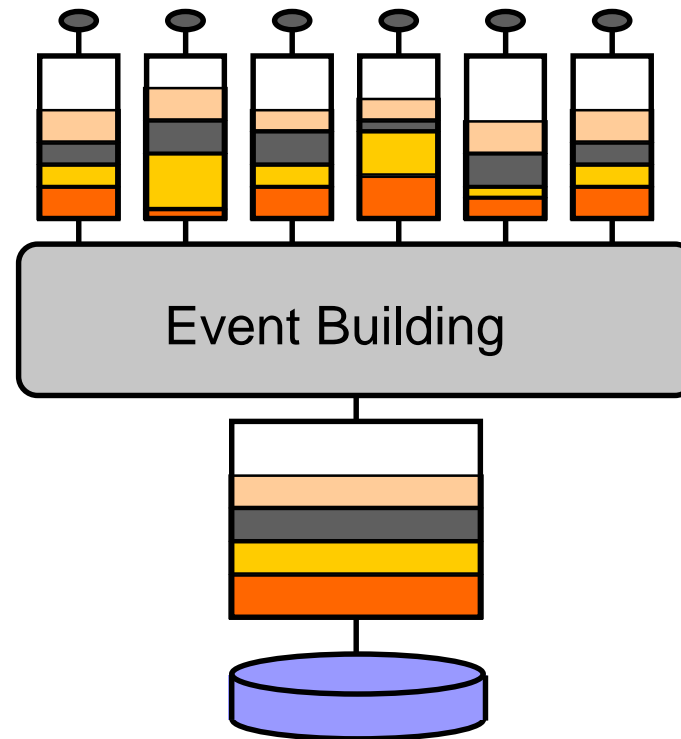
# Event Building

Data sources

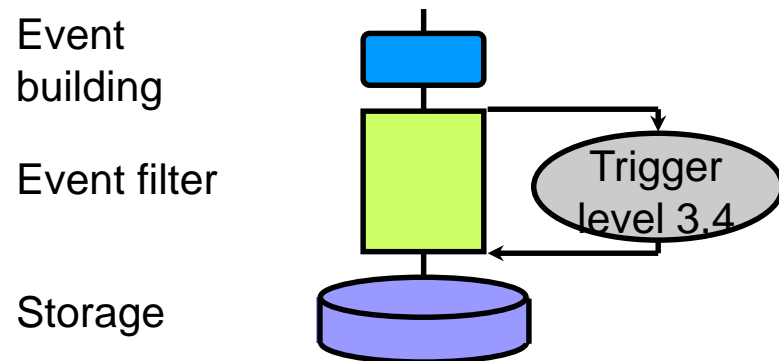
Event Fragments

Full Events

Data storage



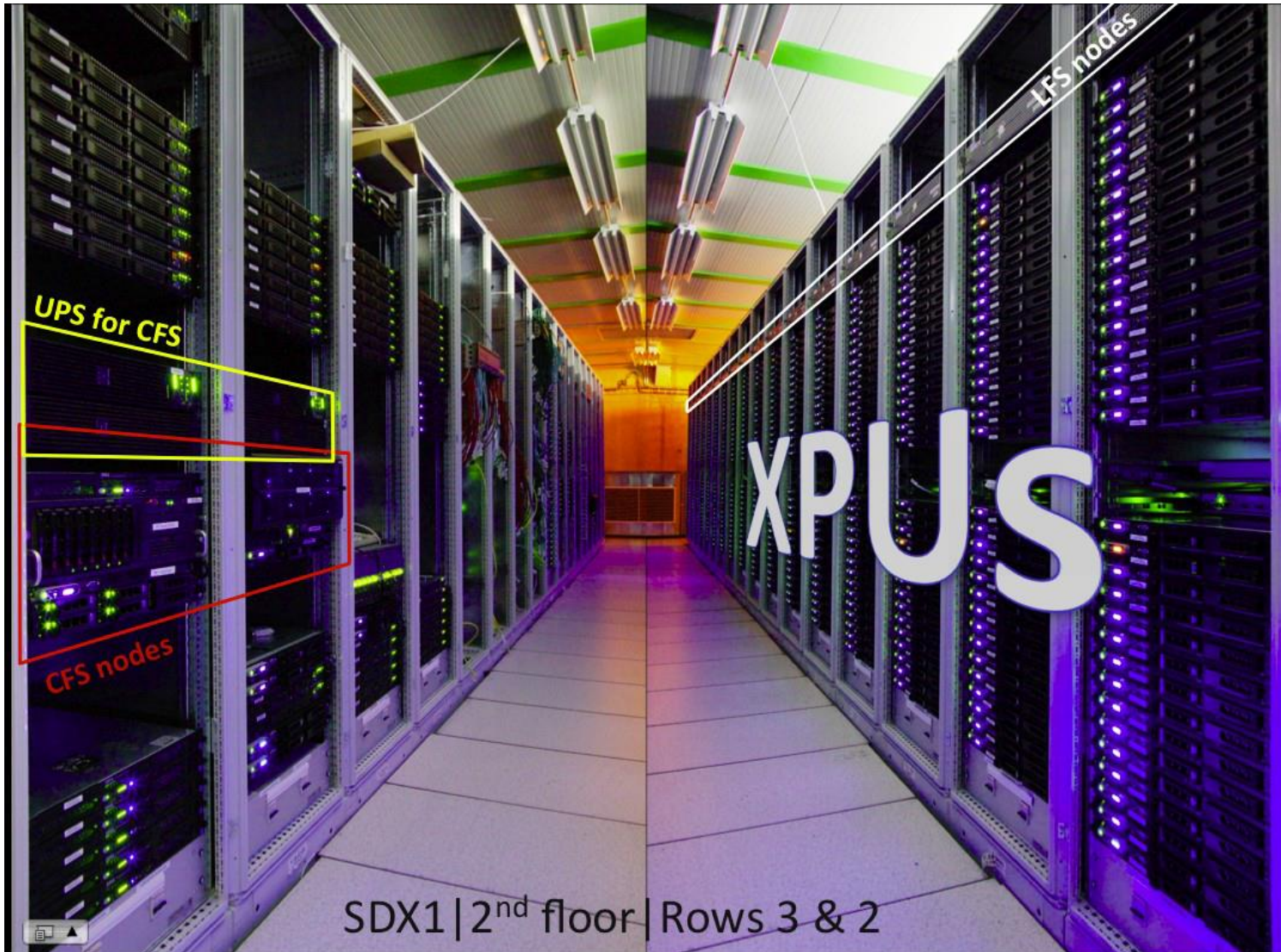
## ■ Higher level triggers (3, 4, ...)



- As experiências LHC não podem guardar todos os dados adquiridos -> Só eventos “uteis” devem ser armazenados.
- A função de filtragem seleciona os eventos que serão usados nas análises de física.
- Usa processadores disponíveis no comércio (PCs comuns) Mas precisa de milhares deles em paralelo.



# Farm HLT de ATLAS





# Event Building para uma farm

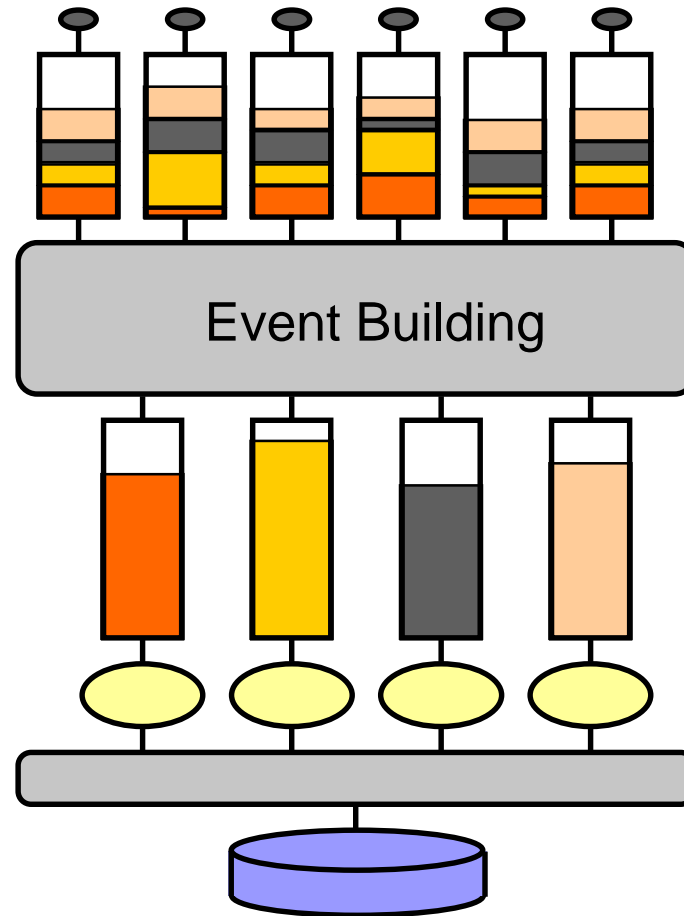
Data sources

Event Fragments

Full Events

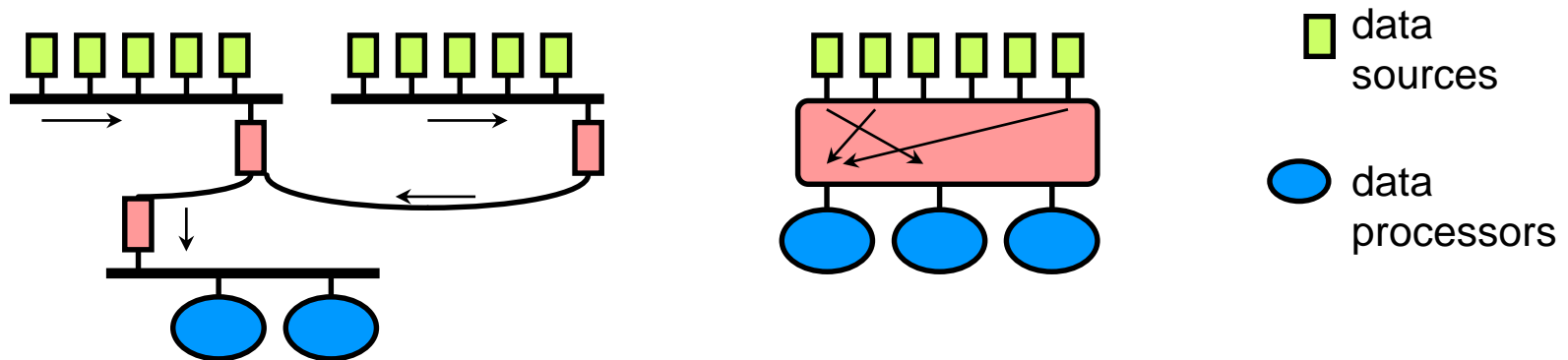
Event filter CPUs

Data storage



# Readout Networks

## ■ Podemos construir redes usando “buses” ou “switches”



### ■ Switches vs. Buses

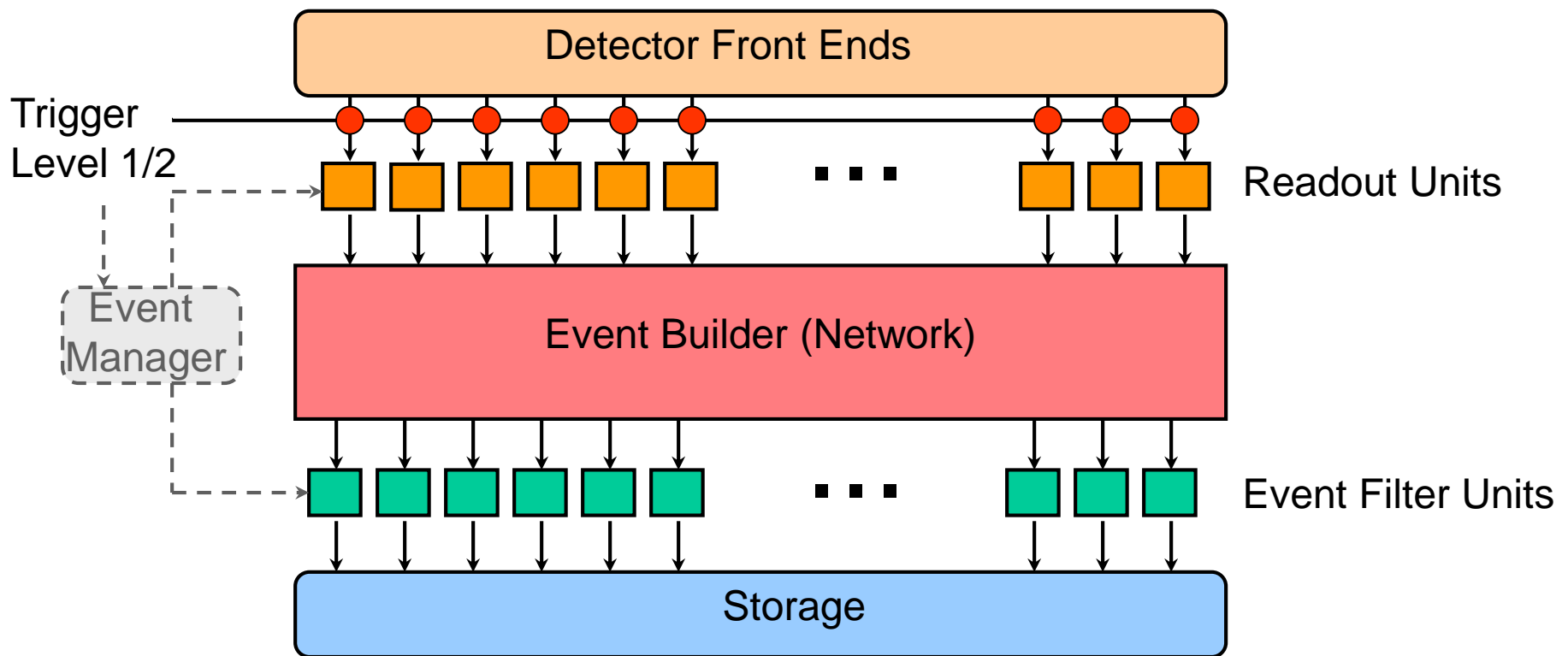
- A banda passante de um “bus” é partilhada por todos os processadores. Adicionar processadores degrada a “performance” dos outros. **Buses, em geral são pouco “escaláveis”**.
- Usando switches, N transferências simultâneas podem coexistir. Adicionar processadores é “fácil” -> um switch maior. **Switches são “escaláveis”**.





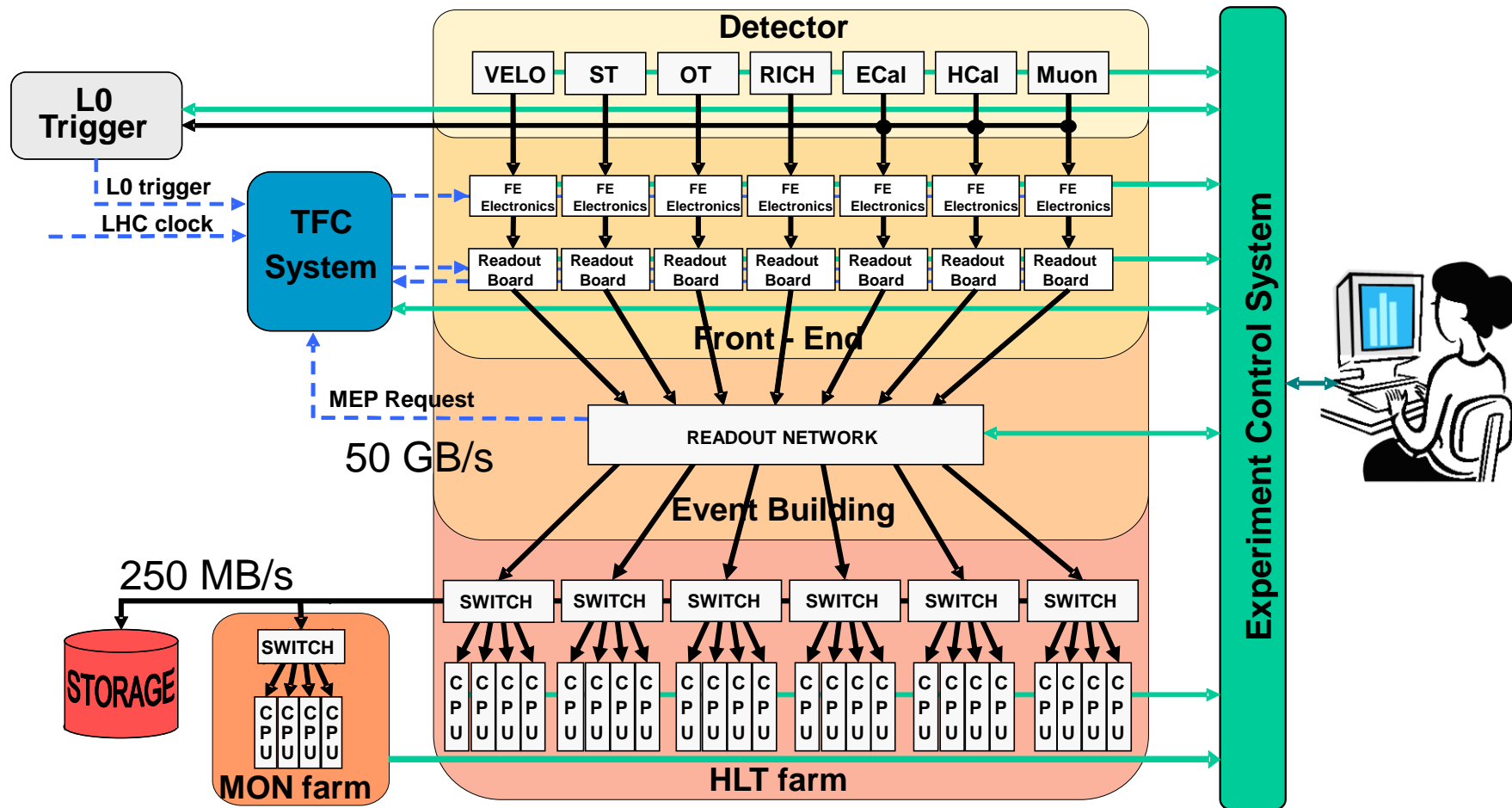
# Arquitectura de Readout

## ■ Numa experiencia LHC





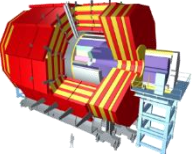
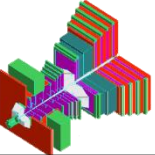
# Exemplo: LHCb



- Event data
- - - Timing and Fast Control Signals
- Control and Monitoring data

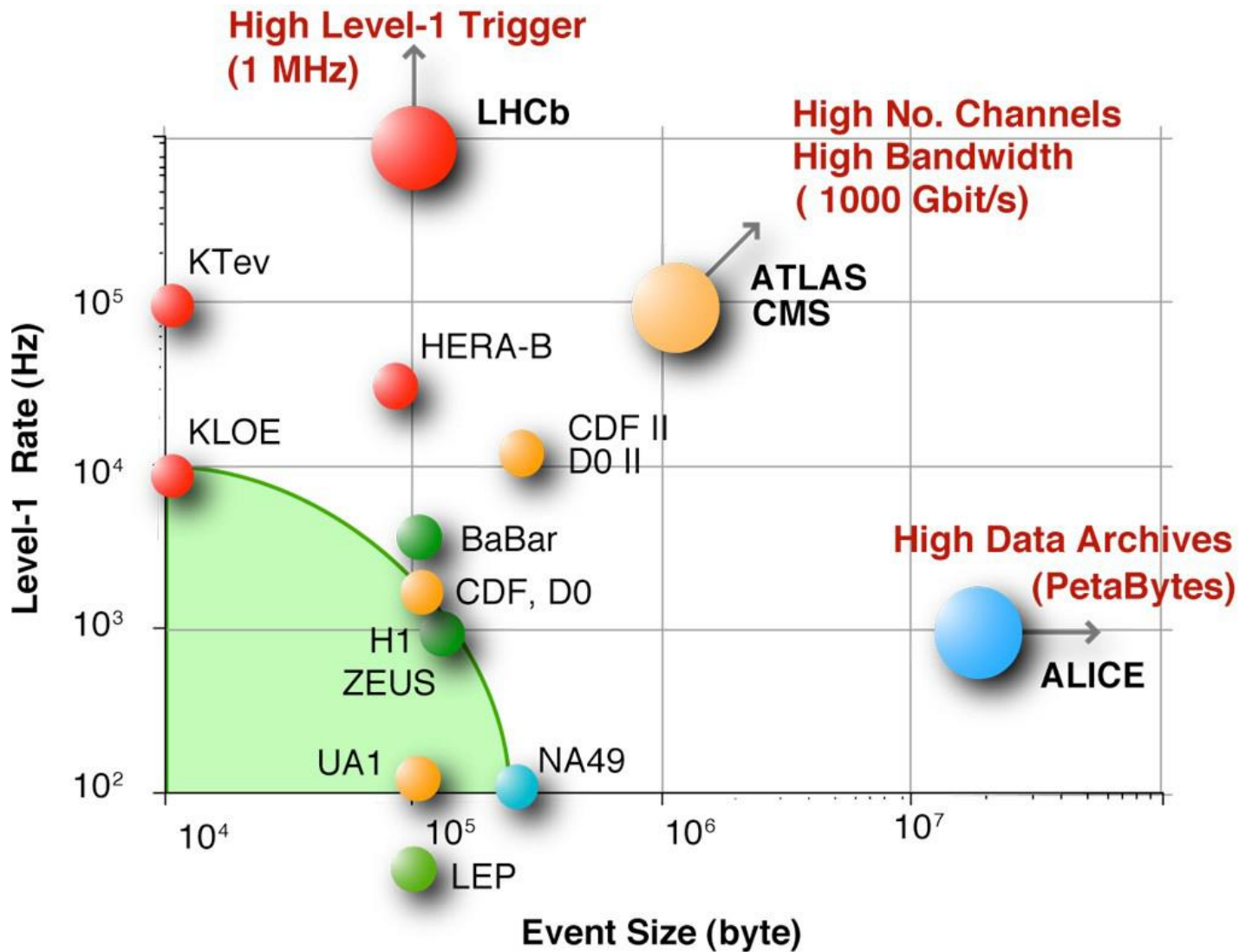
Average event size 50 kB  
 Average rate into farm 1 MHz  
 Average rate to tape 5 kHz

# Volume de dados

	Event Size (MByte)	L1 Rate (KHz)	Bandwidth (GByte/s)	Storage Rate (KHz)	Storage (GBytes/s)
<b>ALICE</b> 	25	1	25	0.050	1.250
<b>ATLAS</b> 	1	100	100	0.200	0.200
<b>CMS</b> 	1	100	100	0.200	0.200
<b>LHCb</b> 	0.05	1000	50	5	0.250

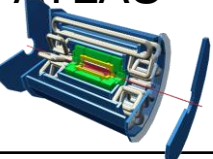
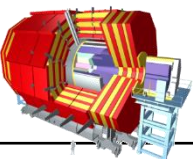
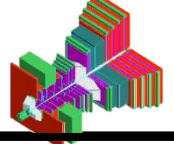


# "Phase-space"

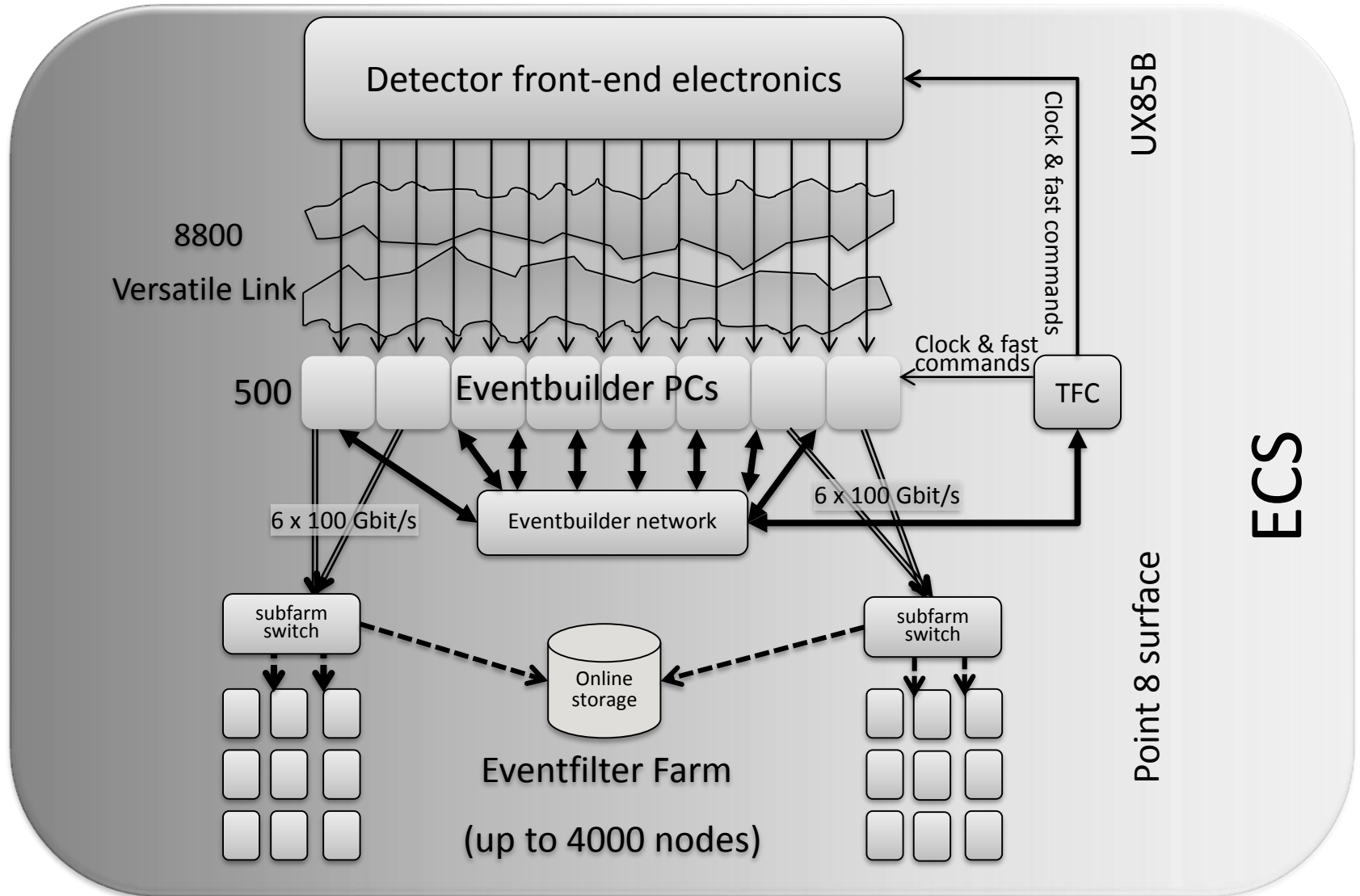




# “Upgrades”

	Now			Upgrade (2019-2022)		
	L1 Rate (KHz)	Event Size (MByte)	Bandwidth (GByte/s)	L1 Rate (KHz)	Event Size (MByte)	Bandwidth (GByte/s)
<b>ALICE</b> 	1	25	25	50	20	1000
<b>ATLAS</b> 	100	1	100	200	4	800
<b>CMS</b> 	100	1	100	1000	4	4000
<b>LHCb</b> 	1000	0.05	50	40000	0.1	4000

# LHCb Upgrade DAQ

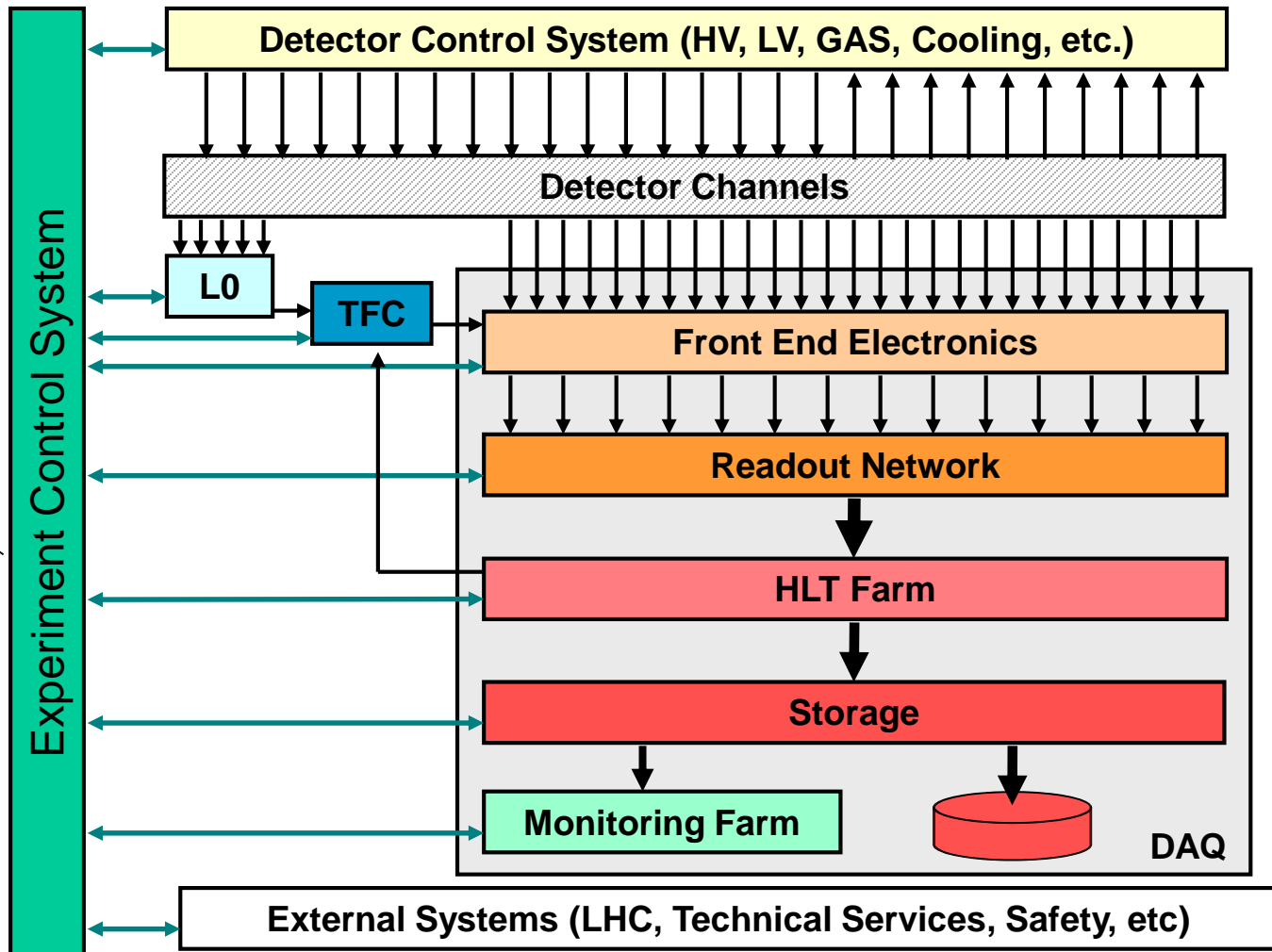




# Configuração, Controle e Monitoragem

*Clara Gaspar, September 2019*

# Supervisão





# Sistema de Controle

## ■ Tarefas

### ■ Configuração

- | Carregamento de parâmetros (em função do tipo de RUN)
- | Activação/desactivação de partes da experiencia

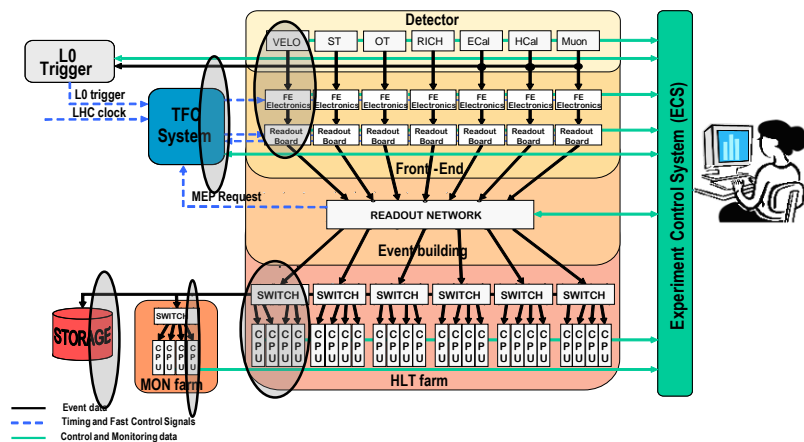
### ■ “Partitioning”

- | Possibilidade de utilizar partes da experiencia concorrentemente e simultaneamente.

### ■ Monitoragem e tratamento de erros

- | Detectar e recuperar problemas o mais rapidamente possível

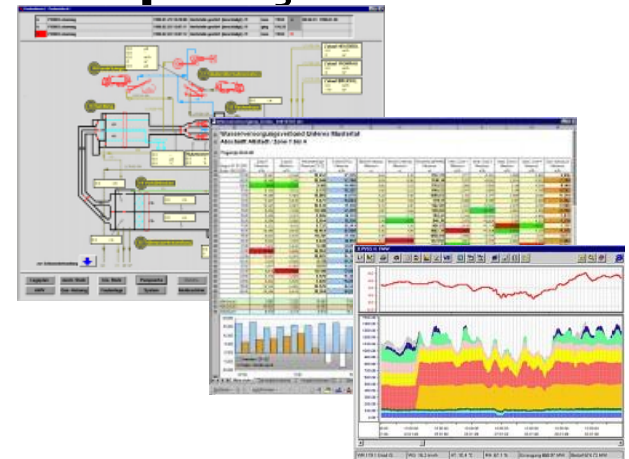
### ■ Interface Utilizador



## ■ Baseado em sistemas comerciais SCADA (Sistemas de Supervisão e aquisição de dados)

### ■ Geralmente utilizados em:

- | Automação Industrial
- | Centrais elétricas
- | Transportes, etc.



### ■ Fornecem:

- | Bases de dados e ferramentas de configuração
- | Arquivamento de dados incluindo ferramentas de visualização de dados históricos.
- | Definição e visualização de alarmes
- | Ferramentas de design de interfaces utilizador



# Operação & Automatização

- **As Experiencias funcionam 24/24 7/7**
- **2 operadores (non-experts)**
- **Automatização:**
  - **Evita erros humanos e efectua mais rapidamente os procedimentos repetitivos.**
  - **O que pode ser automatizado:**
    - | Operações standard (Start of fill, End of fill)
    - | Detecção e recuperação de situações problemáticas (conhecidas)
  - **Como:**
    - | Maquinas de Estados
    - | Ferramentas de tipo “Expert system”



# Monitoragem

## ■ De dois tipos:

- Verificar o “comportamento” da experiencia
  - | Tentar automatizar quanto possível
  - | Uma boa Interface Utilizador (homogénea e intuitiva)
- Verificar a qualidade dos dados adquiridos
  - | Produção e análise automática de histogramas (machine learning)
  - | Ferramentas intuitivas de visualização
  - | Event displays (raw data)



# LHCb “Run Control”

- Acesso homogêneo a todas as partes da experiencia
- Operações simultâneas (partitioning)
- Automatização (Auto Pilot)

The screenshot displays the LHCb Run Control interface. At the top, the system is labeled 'LHCb' and is in a 'RUNNING' state. The 'Auto Pilot' is set to 'ON'. The date and time are 'Thu 07-Feb-2013 09:52:49' and the user is 'root'.

**Sub-System State:**

Sub-System	State
DCS	READY
DAI	READY
DAQ	RUNNING
RunInfo	RUNNING
TFC	RUNNING
HLT	RUNNING
Storage	RUNNING
Monitoring	RUNNING
Reconstruction	RUNNING
Calibration	RUNNING
HV	READY

**Run Info:**

- Run Number: 136863
- Run Start Time: 07-Feb-2013 09:37:45
- Run Duration: 000:15:03
- Nr. Events: 15502054
- Step Nr: 0 To Go: 0
- L0 Rate: 17192.04 Hz
- HLT Rate: 5584.61 Hz
- Dead Time: 0.78 %
- Overflow: 0.00 %

**Deferred HLT Info:**

- LHCb\_Deferred: HOT\_ALLOCATED
- Runs/Files: 0 / 0
- Processing: 0% (0% to 100% scale)
- Disk Usage: 29%

**Sub-Detectors:**

Detector	State
TDET	NOT_READY
VELOA	RUNNING
VELOC	RUNNING
TT	RUNNING
IT	RUNNING
OTA	RUNNING
OTC	RUNNING
RICH1	RUNNING
RICH2	RUNNING
PRS	RUNNING
ECAL	RUNNING
HCAL	RUNNING
MUON A	RUNNING
MUON C	RUNNING
LODU	RUNNING
TCALO	RUNNING
TMUA	RUNNING
TMUC	RUNNING
TPU	RUNNING

**Trigger Components:**

Component	State
ECAL	RUNNING
HCAL	RUNNING
MUON A	RUNNING
MUON C	RUNNING
LODU	RUNNING
TCALO	RUNNING
TMUA	RUNNING
TMUC	RUNNING
TPU	RUNNING

**Messages:**

- 07-Feb-2013 09:03:41 - LHCb executing action START\_RUN
- 07-Feb-2013 09:03:42 - LHCb in state ACTIVE
- 07-Feb-2013 09:03:42 - LHCb in state RUNNING
- 07-Feb-2013 09:28:21 - \*\*\* INFO - VELO Closed, Changing RUN...
- 07-Feb-2013 09:28:21 - LHCb executing action CHANGE\_RUN



# LHCb “Big Brother”

Controle geral e completo baseado no estado do LHC

The screenshot displays the LHCb 'Big Brother' control interface. At the top, the system state is 'READY'. A large green box in the center contains the word 'PHYSICS'. Below this, there are several panels: 'Sub-System' showing LHC, BCM, Magnet, and LHCb Clock all in 'READY' or 'EXTERNAL' states; 'Handshakes' for LHC and LHCb; 'Voltages' for the LHCb\_LHC\_HV&LV system, which is 'OK' and 'REQUESTED' for 'PHYSICS'. A detailed table lists sub-detector HV and LV states, with most at 100.00% OK. The 'VELO Closing Manager' shows the motion is 'CLOSED'. A 'Status' log at the bottom shows messages from 06-Feb-2013 06:08:50 to 06:10:31, including 'Confirm Prepare PHYSICS' and 'Action Confirmed'. A 'Safety' panel shows various sub-detector safety states, with most being 'READY' and one ('OT\_Safety') being 'DEAD'. The interface includes a 'Messages' window at the bottom and a 'Close' button.

Sub-System	State
LHC	PHYSICS
BCM	READY
Magnet	READY
LHCb Clock	EXTERNAL

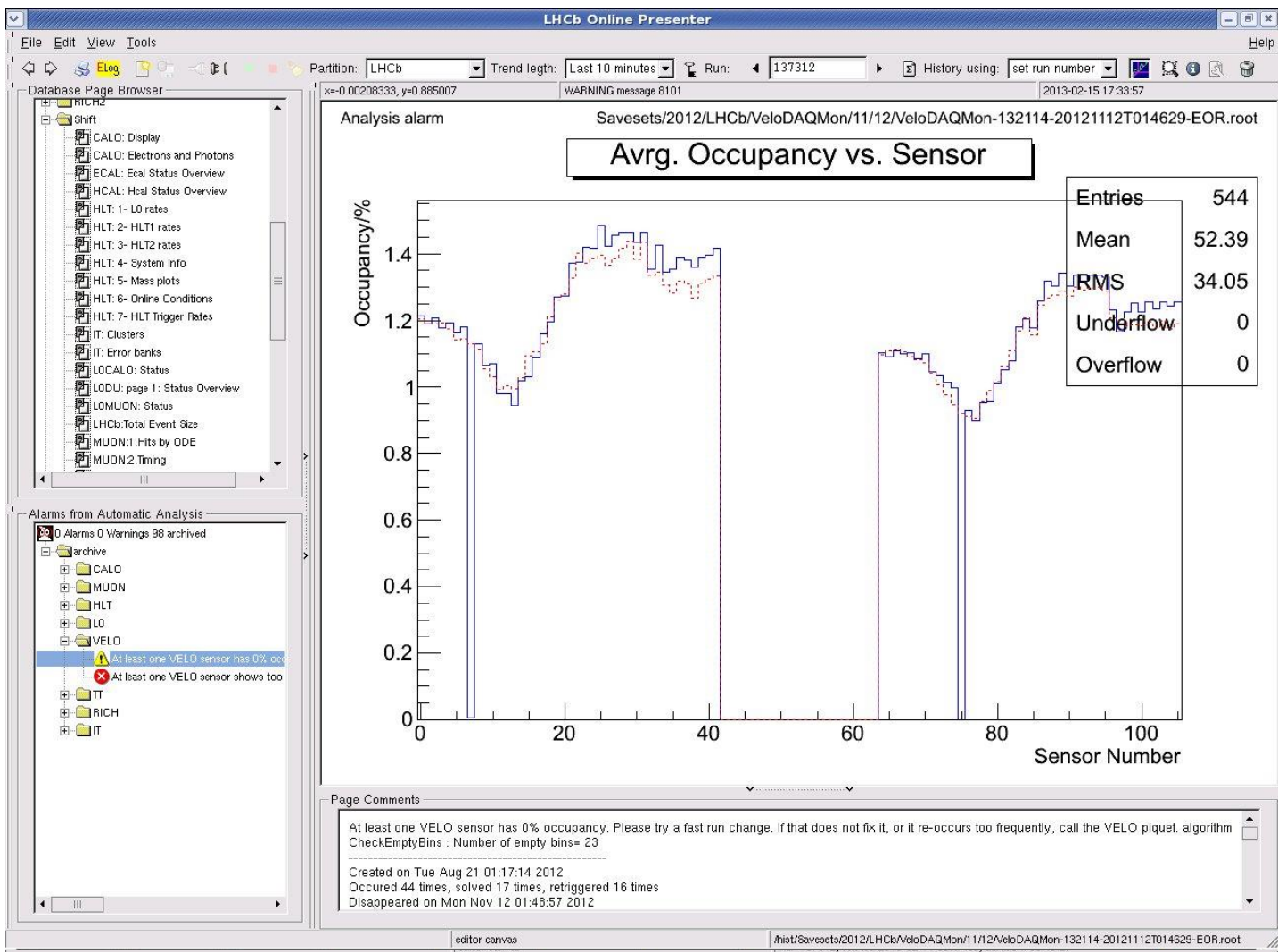
System	State	Requested	Settings
LHCb_LHC_HV&LV	OK	PHYSICS	PHYSICS

Sub-Detector	State	Req. HV	%Ok	HV State (A/C)	Settings
VELO_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	READY
TT_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
IT_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
OT_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	READY
RICH1_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
RICH2_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
PRS_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
ECAL_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
HCAL_LHC_HV	OK	READY	100.00	READY	
MUON_LHC_HV	OK	READY	99.94	READY	READY

Sub-Detector	State	Requested LV	LV State (A/C)	Settings
VELO_LHC_LV	OK	READY	READY	READY
TT_LHC_LV	OK	READY	READY	
IT_LHC_LV	OK	READY	READY	
RICH1_LHC_LV	OK	READY	READY	
RICH2_LHC_LV	OK	READY	READY	

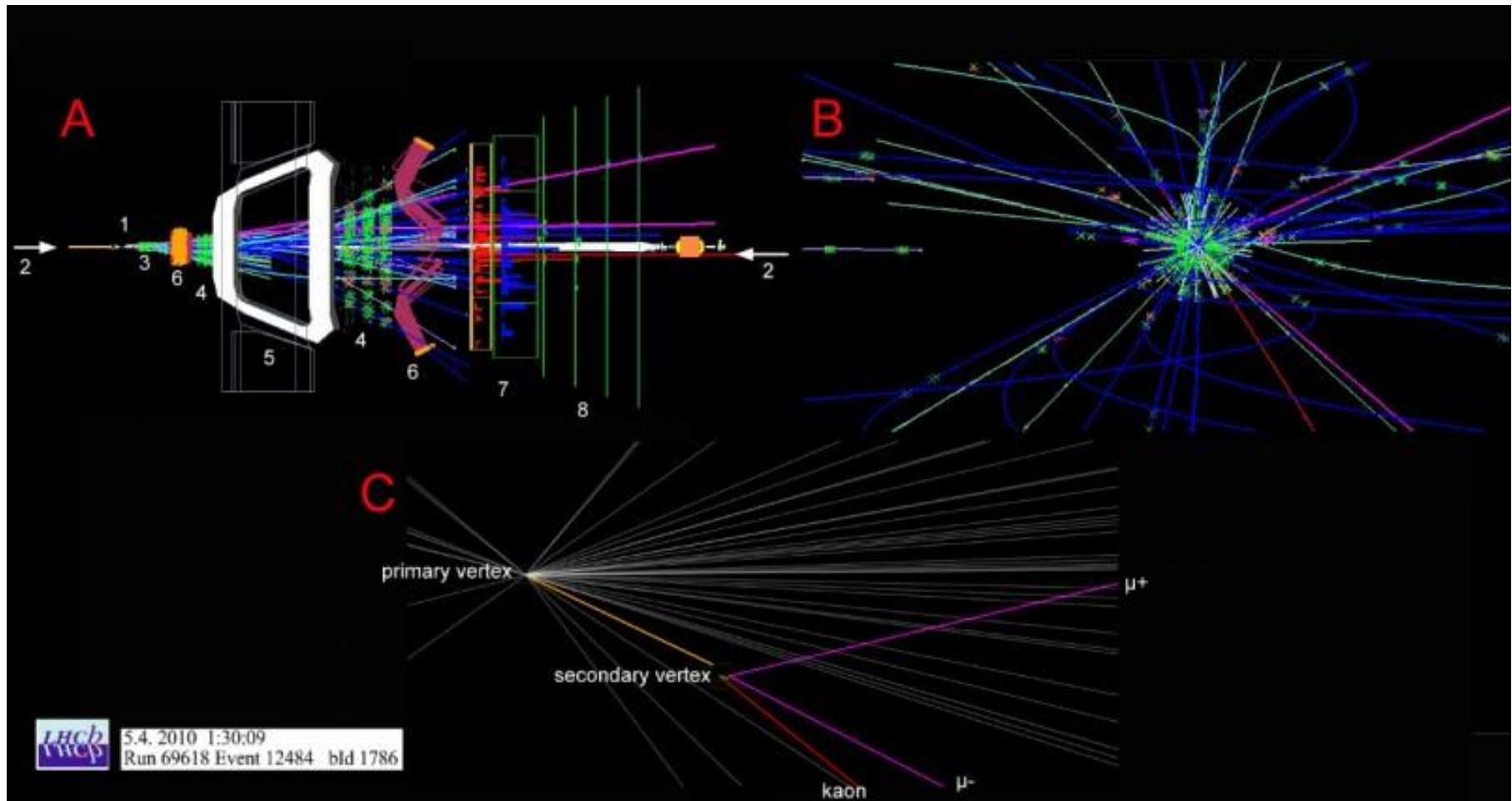
Sub-Detector	State
TT_Safety	READY
IT_Safety	READY
OT_Safety	DEAD
RICH_Safety	READY
MUON_Safety	READY

# LHCb “Histogram Presenter”



- Verificar a qualidade dos dados
- Comparar com referencia
- Analise automatica

# LHCb Online Event Display







# Conclusões

- Os sistemas de Trigger e de Aquisição de dados são cada vez mais complexos.
- Felizmente as exigências da indústria (telecomunicações, computadores, etc.) também evoluem e contribuem ao desenvolvimento de novas tecnologias:
  - Hardware: Fast ADCs, Field-Programmable Gate Arrays, Analog memories, multi-core PCs, Networks, Helical scan recording, Data compression, Image processing (GPUs), ...
  - Software: Distributed computing, Software development environments, Supervisory systems, Data Analytics and Machine Learning techniques, ...
- Uma grande parte dos nossos sistemas podem agora ser desenvolvidos usando componentes do comércio (os front-ends terão de continuar a ser personalizados)
- É essencial acompanharmos os progressos feitos pela indústria.