

# O Experimento ATLAS no LHC/CERN

<https://atlas.cern/>

Marco Leite\*

Para a colaboração ATLAS/Brasil

*\*Universidade de São Paulo - USP*

*leite@usp.br*

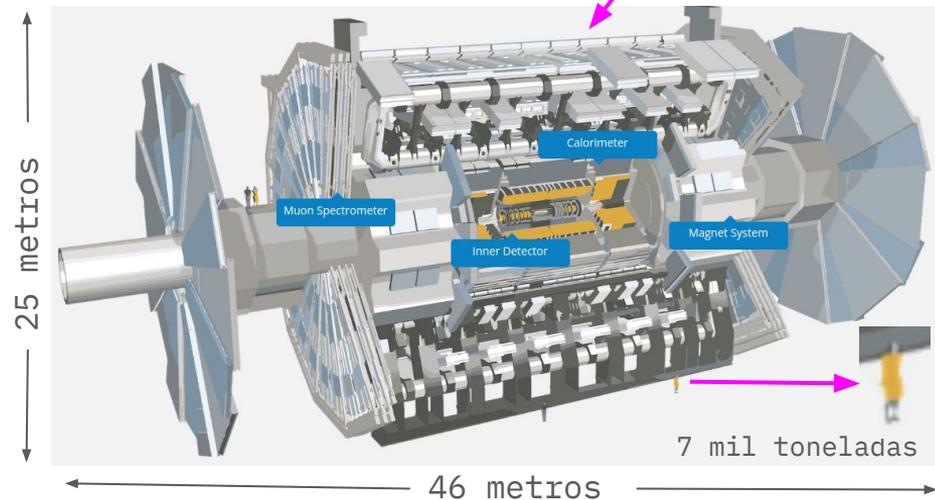
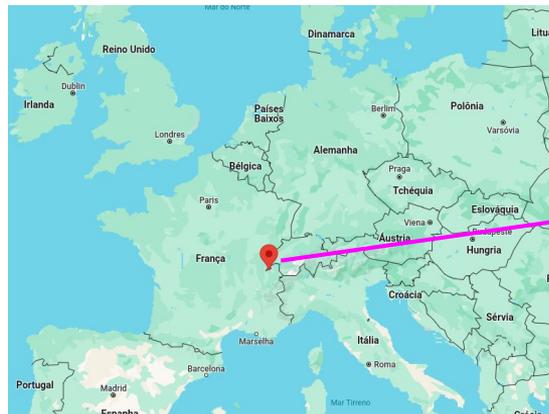
5ª Conferência Nacional de CTI

15 de Abril 2024



# O que (quem) é o ATLAS ?

- Um dos 4 grandes experimentos do LHC no CERN (Suíça)
- 5500 membros
  - 3000 autores
  - 1200 estudantes de Doutorado
- 182 Institutos de Pesquisa
- 42 países



# A Colaboração ATLAS no Brasil

- 5 Instituições : USP, UFRJ, UERJ, UFJF and UFBA
- 85 membros
  - 15 pesquisadores (M&O A)
  - 23 estudantes de Doutorado
- 29 Teses de Doutorado defendidas
- Suporte : CNPq, FAPESP e FAPERJ, FINEP e MCTI

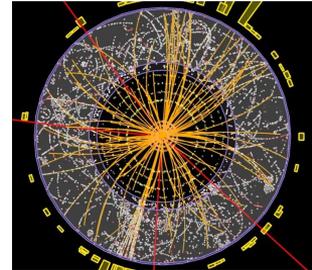


USP



# Participação brasileira no ATLAS

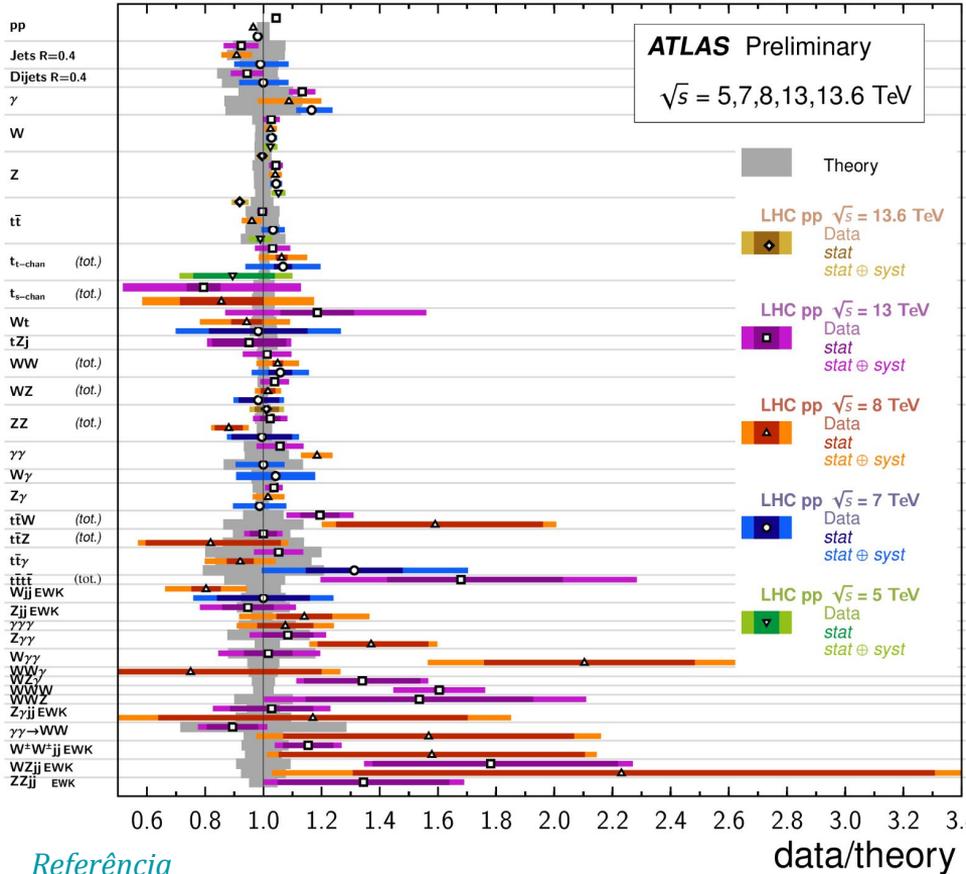
- Análises das colisões próton-próton
- Desenvolvimento de códigos e algoritmos computacionais
- Processamento dos dados (ATLAS + ALICE SAMPA Tier-2)
- Instrumentação para detecção de partículas e sistemas associados
- Participação nos projetos de atualização do experimento (Fase-I e Fase-II)
- Projetos de divulgação científica
- Participação nos comitês científicos e de governança do experimento



# A Física que produzimos I - medidas de precisão

## Standard Model Production Cross Section Measurements

Status: October 2023

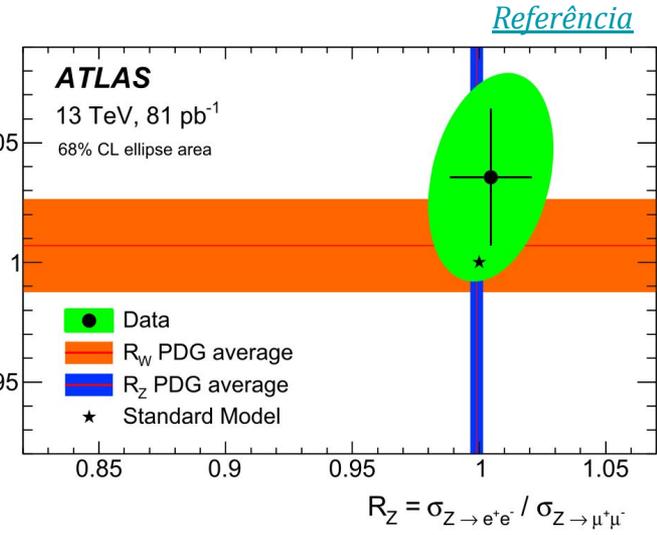


$\int \mathcal{L} dt$  [fb<sup>-1</sup>]

Reference

34x10 <sup>3</sup>	EPJ C 83 (2023) 441
56x10 <sup>3</sup>	PLB 781 (2016) 106
3.2	Nucl. Phys. B (2014) 486
3.2	JHEP 05 (2018) 185
20.2	JHEP 02 (2015) 153
4.5	JHEP 05 (2018) 195
3.2	JHEP 05 (2014) 059
3.2	PLB 2017 04 075
20.2	JHEP 06 (2016) 005
4.6	PRD 89 (2014) 032004
0.981	PLB 781 (2016) 061
20.2	EPJ C 79 (2019) 769
4.6	EPJ C 77 (2017) 307
0.925	EPJ C 79 (2019) 128
20.3	arXiv:2308.09253
3.2	JHEP 02 (2017) 117
20.2	JHEP 02 (2017) 117
4.6	JHEP 02 (2017) 117
0.925	EPJ C 79 (2019) 128
20.3	arXiv:2308.09253
140	JHEP 07 (2023) 141
20.2	EPJ C 74 (2014) 3108
4.6	EPJ C 74 (2014) 3108
0.3	JHEP 06 (2023) 138
140	ATLAS-CONF-2023-026
20.3	EPJ C 77 (2017) 531
4.6	PRD 86, 112006 (2014)
0.3	arXiv:2310.01518
140	JHEP 06 (2023) 191
20.3	PLB 794 (2016) 228-246
3.2	JHEP 01 (2016) 051
20.3	JHEP 01, 064 (2016)
2.0	PLB 716, 124-129 (2012)
139	JHEP 07 (2020) 124
36.1	EPJ C 79 (2019) 864
20.3	PLB 804, 114 (2016)
4.6	PRD 87 (2013) 112001
36.1	EPJ C 79 (2019) 536
20.3	PRD 85, 052004 (2016)
4.6	EPJ C 72 (2012) 2172
20.3	ATLAS-CONF-2023-042
36.1	PRD 97 (2018) 033005
20.3	JHEP 01, 089 (2017)
4.6	JHEP 03, 128 (2013)
139	JHEP 11 (2021) 168
20.2	PRD 86, 050171 (1995)
4.9	JHEP 01, 086 (2013)
4.6	PRD 87, 112003 (2013)
36.1	JHEP 03 (2006) 064
20.3	PRD 83, 112002 (2016)
4.6	PRD 87, 112003 (2013)
140	ATLAS-CONF-2023-019
20.3	JHEP 11, 172 (2015)
36.1	EPJ C 79 (2019) 362
20.2	JHEP 11 (2017) 088
4.6	PRD 86 (2015) 070007
140	EPJ C 83 (2023) 486
20.2	EPJ C 77 (2017) 274
4.7	EPJ C 77 (2017) 474
139	EPJ C 81 (2021) 163
20.3	JHEP 04 (2021) 043
20.2	PLB 781 (2016) 55
139	EPJ C 83 (2023) 538
20.3	PRD 83, 112002 (2016)
140	arXiv:2308.03041
20.2	PRD 115, 031802 (2015)
140	arXiv:2305.16984
139	PRD 129 (2022) 081803
79.8	PLB 768 (2016) 194013
140	PLB 848 (2023) 136222
20.3	JHEP 07 (2017) 107
139	PLB 818 (2021) 18490
20.2	PRD 94 (2016) 033011
139	Tepep Journal JHEP
20.3	PRD 86, 012007 (2017)
36.1	PLB 793 (2016) 488
20.3	PRD 83 (2016) 030004
139	Nature Phys. 19 (2023) 207

- Incerteza experimental < teoria
- O Modelo Padrão funciona muito bem 😊
- Mas não responde todas as perguntas 🤔
- Maior precisão! 😎



Teste da Universalidade Leptonica já na primeira medida de seção choque W e Z a 13 TeV no LHC

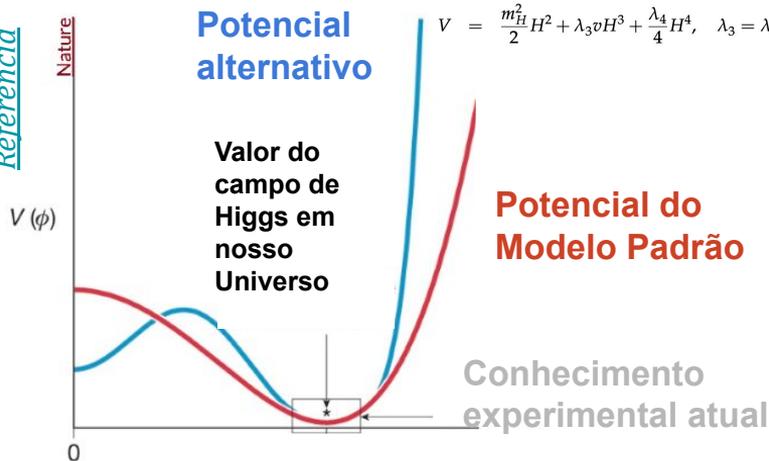
# A física que produzimos - questões em aberto

## O potencial de Higgs e suas implicações

- $\lambda_{HHH}$  acessível via produção HH
- **medida essencial** do programa LHC/HL-LHC para esclarecer a estrutura do potencial de Higgs **somente acessível em colisores**
- forma exata: profundas consequências em teorias cosmológicas (estabilidade do vácuo, inflação)

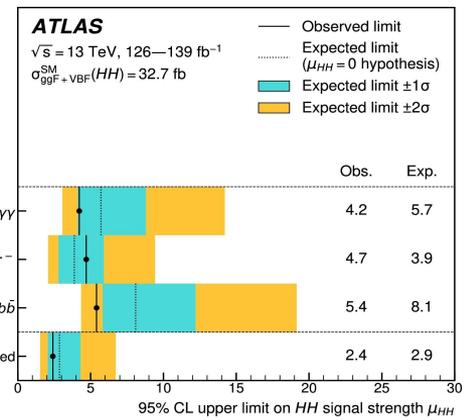
- vários estados finais de HH no MP
- **produção HH 1000x mais rara do que H  $\Rightarrow$  mais dados, melhor desempenho do detector!**

Referência



$$V = \frac{m_H^2}{2} H^2 + \lambda_3 v H^3 + \frac{\lambda_4}{4} H^4, \quad \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_{HHH} = \frac{m_H^2}{2v^2}$$

	bb	WW	$\tau\tau$	ZZ	$\gamma\gamma$
bb	34%				
WW	25%	4.6%			
$\tau\tau$	7.3%	2.7%	0.39%		
ZZ	3.1%	1.1%	0.33%	0.069%	
$\gamma\gamma$	0.26%	0.10%	0.028%	0.012%	0.0005%



$$\kappa_c = c / c_{\text{MP}}$$

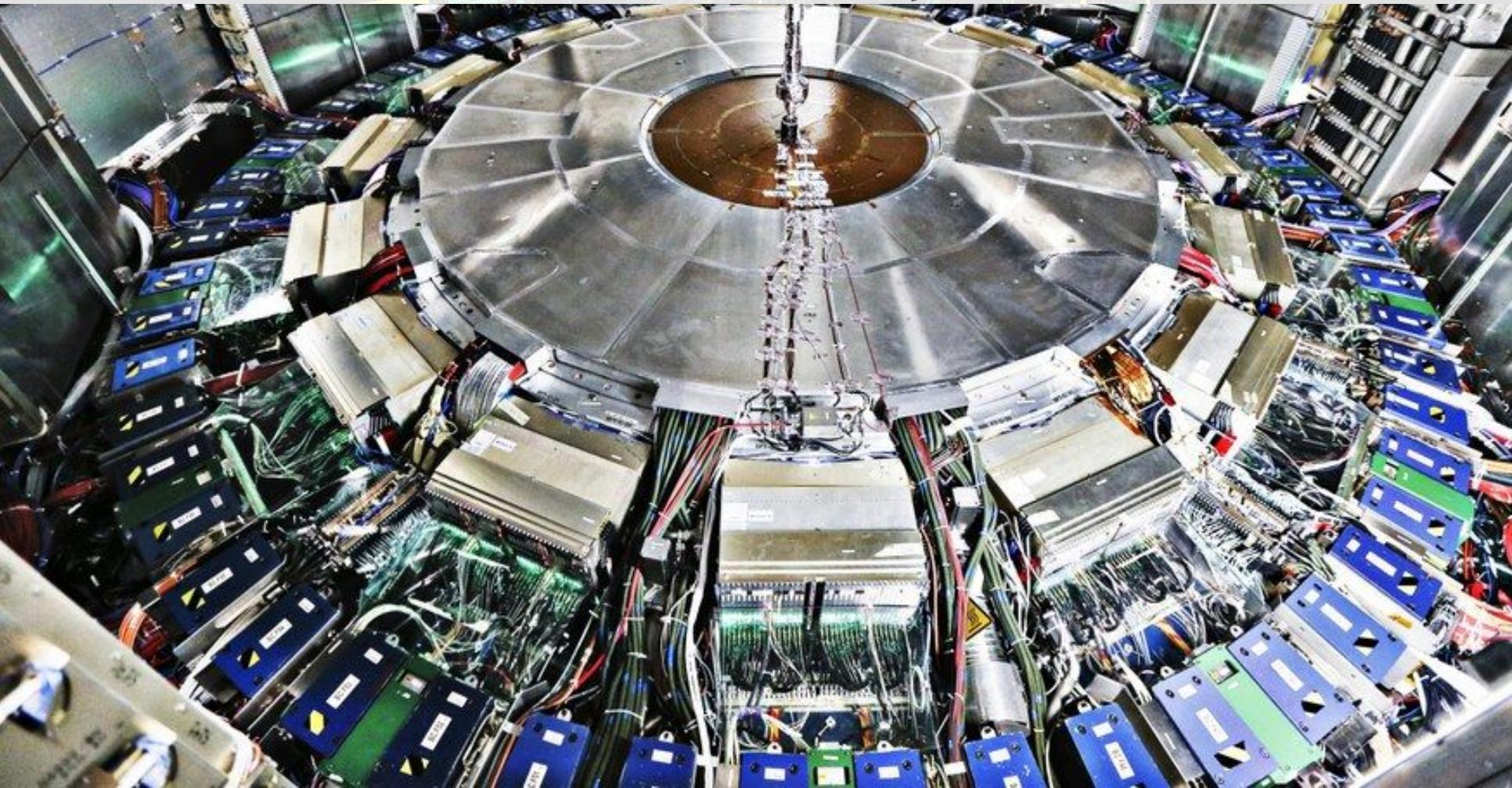
Combination assumption	Obs. 95% CL	Exp. 95% CL	Obs. value $^{+1\sigma}_{-1\sigma}$
HH combination	$-0.6 < \kappa_\lambda < 6.6$	$-2.1 < \kappa_\lambda < 7.8$	$\kappa_\lambda = 3.1^{+1.9}_{-2.0}$
Single-H combination	$-4.0 < \kappa_\lambda < 10.3$	$-5.2 < \kappa_\lambda < 11.5$	$\kappa_\lambda = 2.5^{+4.6}_{-3.9}$
HH+H combination	$-0.4 < \kappa_\lambda < 6.3$	$-1.9 < \kappa_\lambda < 7.6$	$\kappa_\lambda = 3.0^{+1.8}_{-1.9}$
HH+H combination, $\kappa_\tau$ floating	$-0.4 < \kappa_\lambda < 6.3$	$-1.9 < \kappa_\lambda < 7.6$	$\kappa_\lambda = 3.0^{+1.8}_{-1.9}$
HH+H combination, $\kappa_t, \kappa_V, \kappa_b, \kappa_\tau$ floating	$-1.4 < \kappa_\lambda < 6.1$	$-2.2 < \kappa_\lambda < 7.7$	$\kappa_\lambda = 2.3^{+2.1}_{-2.0}$

**combinação H+HH estabelece os limites mais restritos para  $\kappa_\lambda$  no LHC**

Além do Modelo Padrão :

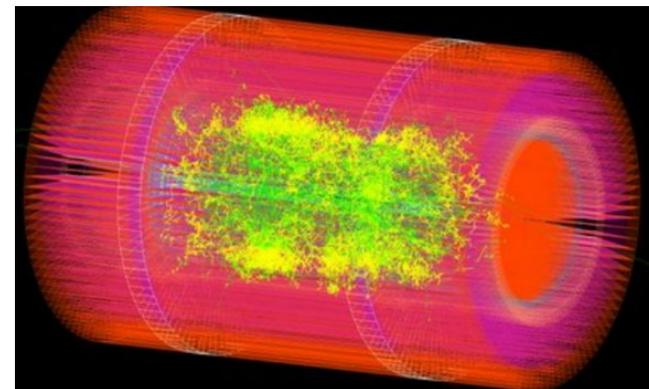
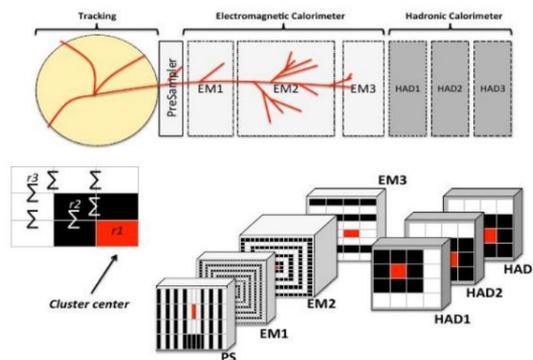
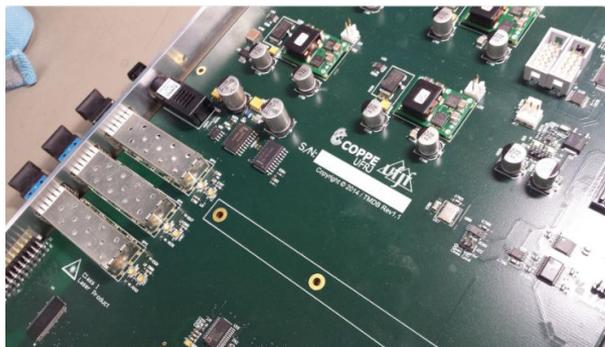
- busca por Axion-like-particle (ALP)  $h \rightarrow Z(l\bar{l}) + a(\gamma\gamma)$  ( $a = \text{ALP}, l = e, \mu,$ ) candidato a matéria escura (nova análise!)

# A Instrumentação



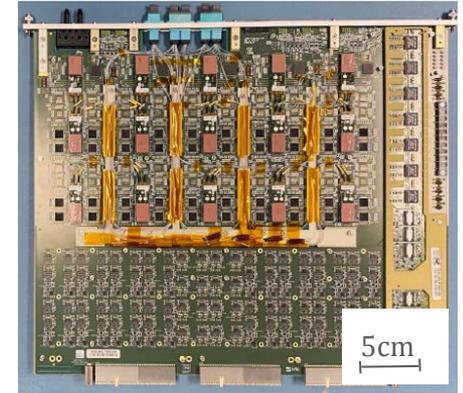
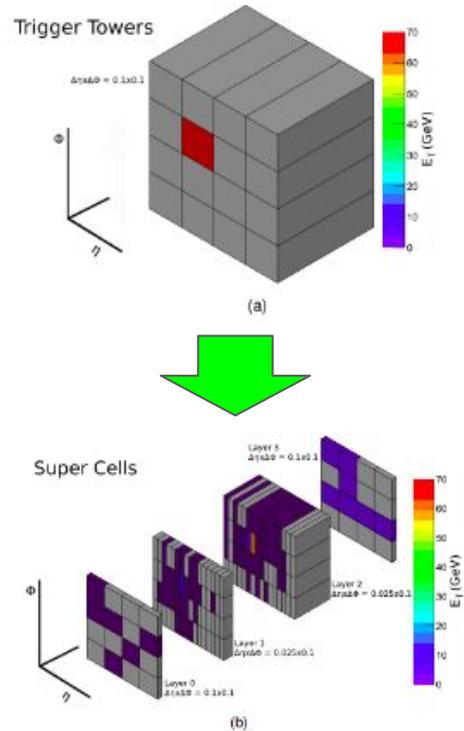
# Contribuição na instrumentação - Calorimetria

- Circuitos somadores para o calorímetro hadrônico do ATLAS (Tilecal)
- Métodos de processamento de sinais para a reconstrução da energia das torres do calorímetro
- Trigger de múons de primeiro nível assistido pela calorimetria
- Novas topologias (anéis concêntricos) para o sistema de seleção de eventos do ATLAS
- Simulação e Processamento de Sinais para Futuros Desenvolvimentos em Calorimetria de Altas Energias

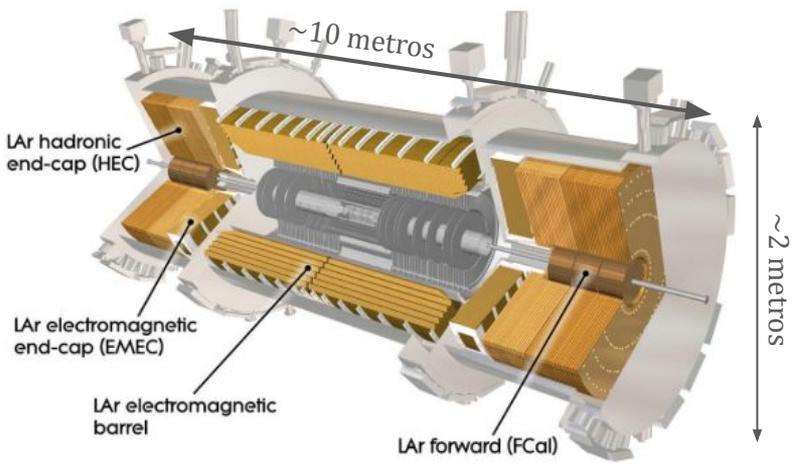


# Contribuição na instrumentação - Calorimetria

- Calorímetro eletromagnético de argônio líquido
- Contribuição no desenvolvimento do sistema de trigger digital
  - Testes de radiação dos principais componentes na fase de protótipo
  - Métodos de reconstrução de sinais
  - Comissionamento operações

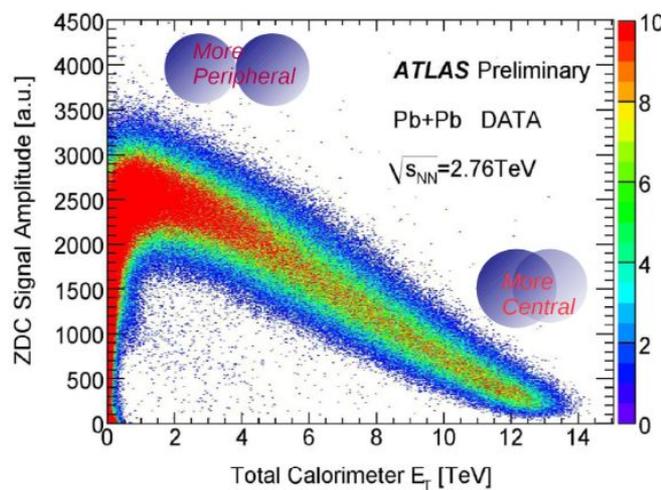
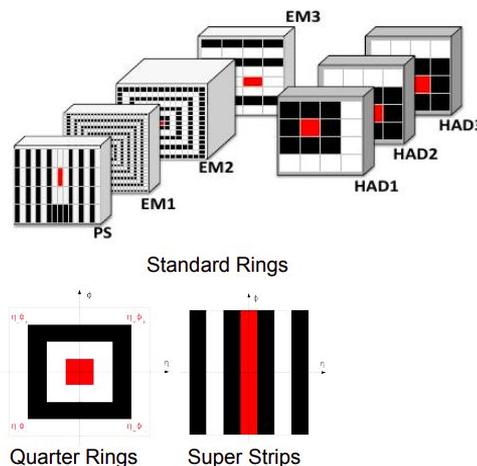
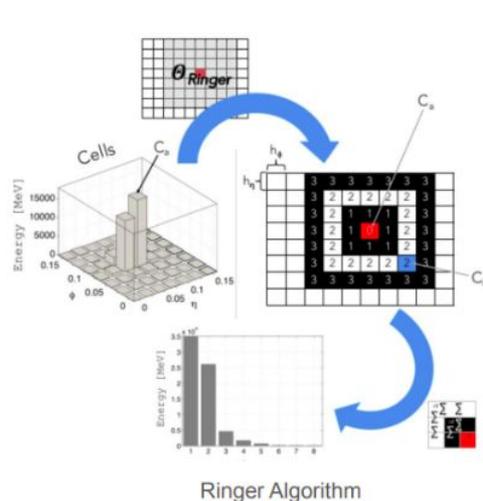
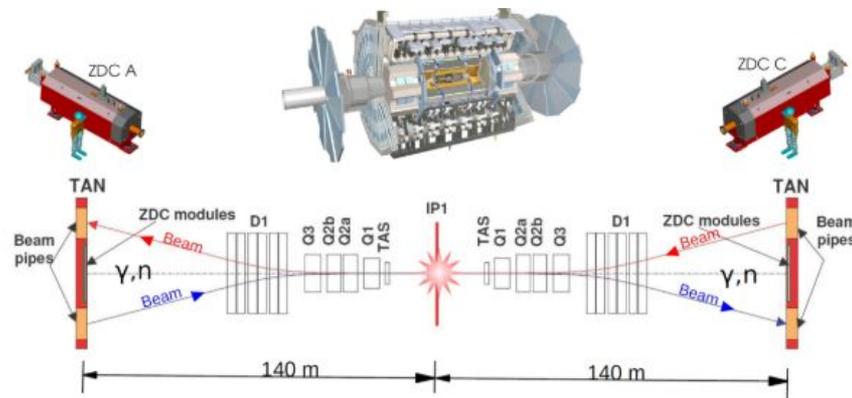


124 placas , processando cada uma 320 canais =  
~40 mil canais e 25 mil Gb/s



# Contribuição na instrumentação - Seleção de eventos (trigger)

- Comissionamento, instalação e operação do “Zero Degree Calorimeter” (ZDC) do ATLAS nas primeiras tomadas de íons pesados no ATLAS (seleção de eventos)
- Uso de topologia de anéis e métodos de Inteligência Artificial para reduzir em até 45% a taxa de falsos positivos na seleção de fótons
- Diferentes topologias de anéis permitem otimizar a resposta (sensível à assimetria do chuva de partículas)



# Contribuição em computação

## ATLAS GLANCE

- Infraestrutura sofisticada (banco de dados e interface) para o gerenciamento de milhares de colaboradores e análises
- Interface WEB
- Atualmente utilizada também pelo ALICE e LHCb



**ATLAS**

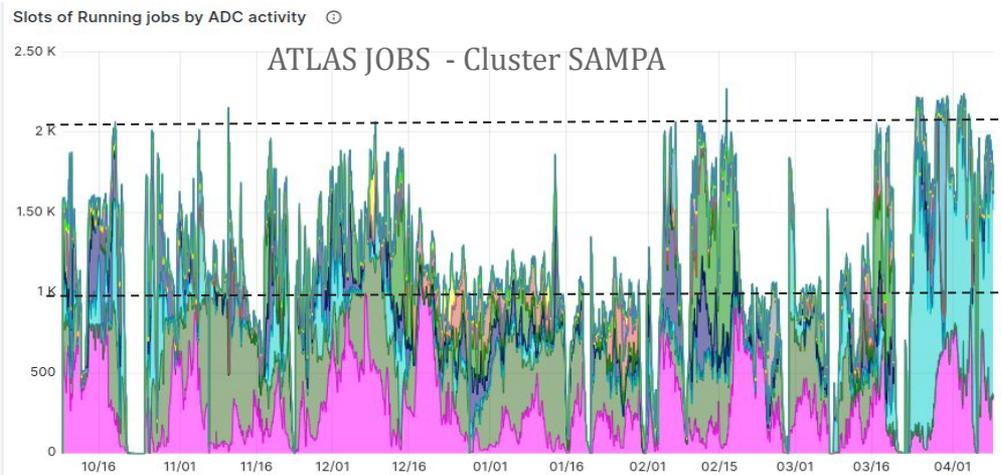
ATLAS

### Welcome to the ATLAS Glance Interfaces

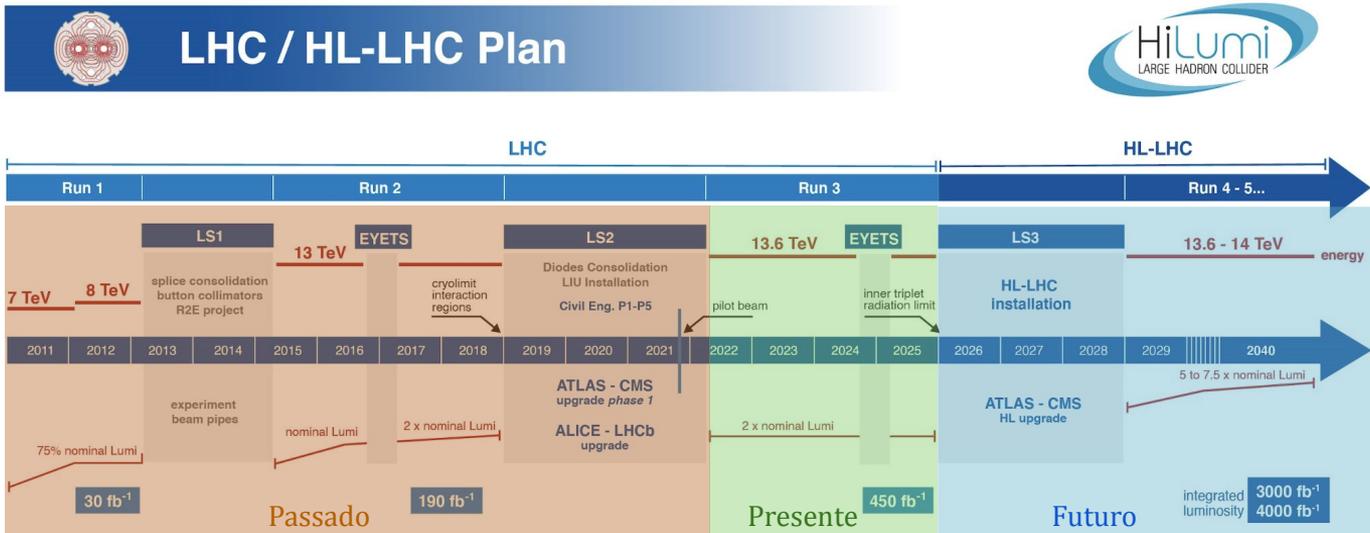
Collaboration	Publications	Speakers	Equipment
+ Membership	+ Analysis - Phase 0	+ SCAB	+ ACES
+ Appointment	+ Analysis - Papers	+ Speakers Committee	+ CORE Value Recognition
+ Collaboration Board Meetings	+ Analysis - CONF Notes	+ TDAQ Speakers	
+ Author lists	+ Analysis - PUB Notes	+ Public Pages	
+ Idea Box	+ Analysis - PLOTS		
	+ Thesis		

## ATLAS Tier-2

- ATLAS Tier-2 na USP (HEPIC)
- Compartilhamento entre ATLAS e ALICE no mesmo cluster !
  - Uso otimizado dos recursos
- Alta eficiência (>90%)
- Em operação no ATLAS desde 2022



# A evolução do ATLAS



- Estamos limitados a energia máxima de 14 TeV

- Ainda temos muitas perguntas sem resposta

- 5% dos dados esperados pelo LHC foram produzidos até hoje

Aumentar número de colisões próton-próton por segundo (3 vezes o valor atual)

Aumento significativo do nível de radiação

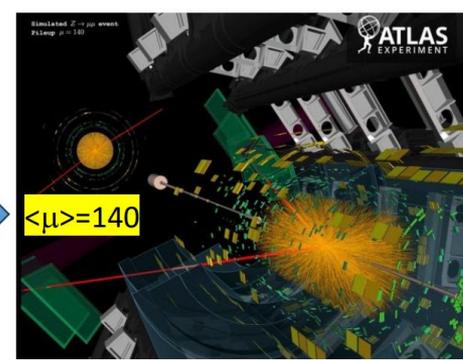
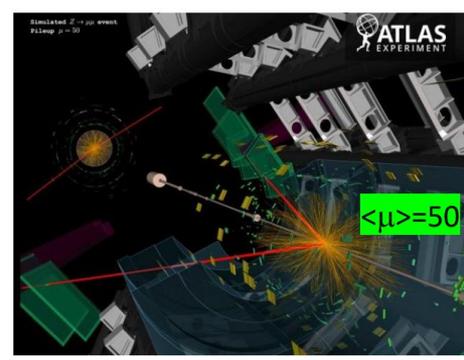
+

Eventos de topologia extremamente complexa

- Novos Detectores

- Nova eletrônica

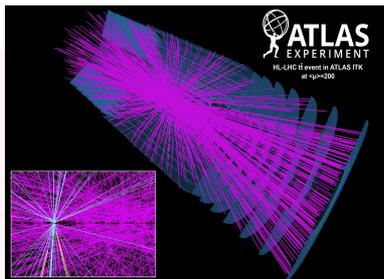
- Métodos inovadores para o processamento dos dados



# A atualização do ATLAS (Fase-II) - *High Granularity Timing Detector* (HGTD)

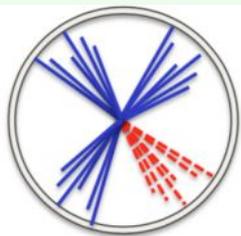
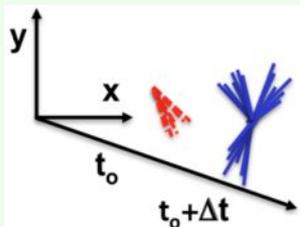
## O problema

- 200 colisões simultâneas a 40MHz
- Produção de um “fundo” irreduzível
- Desafio para a reconstrução de trajetórias
- Contribuição nos estudos de sensibilidade para  $HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$  no HL-LHC ([report](#))



## A solução

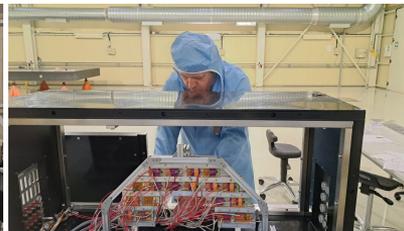
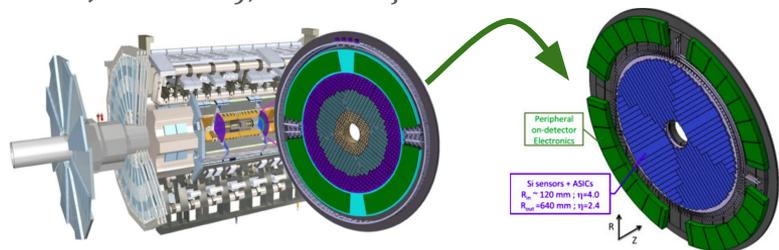
- introduzir uma 4a dimensão (tempo)
- desafio : resolução de 30 picosegundos
- altamente segmentado (muitos canais)



Timing Layer

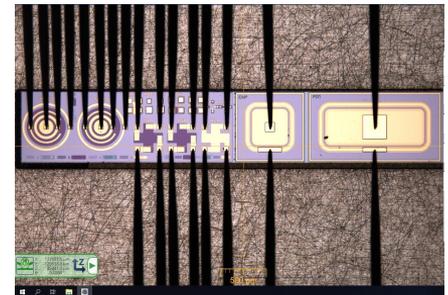
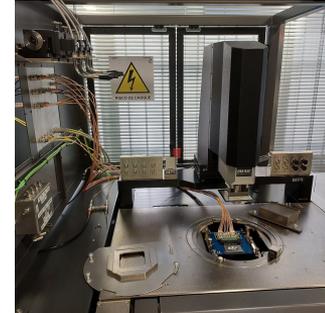
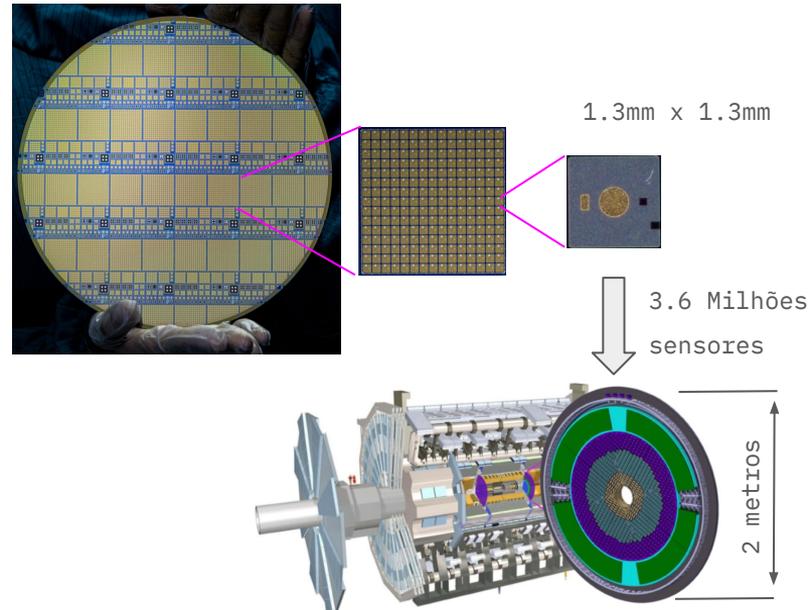
## ATLAS High Granularity Timing Detector HGTD (2020)

- Novo Detector
- 8 camadas de sensores semicondutores ultra-rápidos (LGADs)
- 2 discos de 2m x 12cm de espessura
- 3.6 M de sensores (1.3mm<sup>2</sup> cada)
- Contribuição brasileira nos sensores (US\$ 172 mil, FAPESP), construção e comissionamento



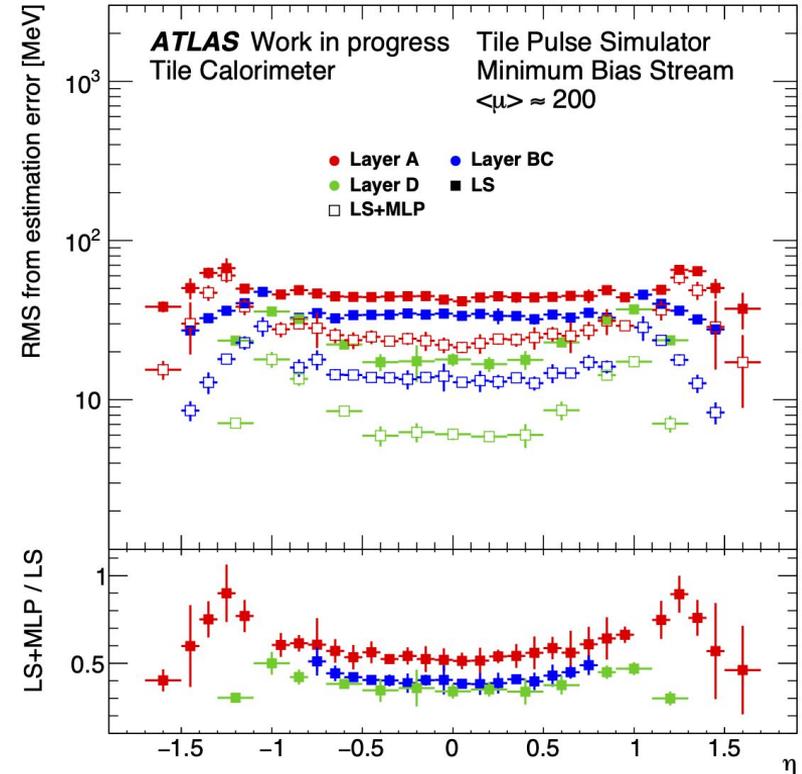
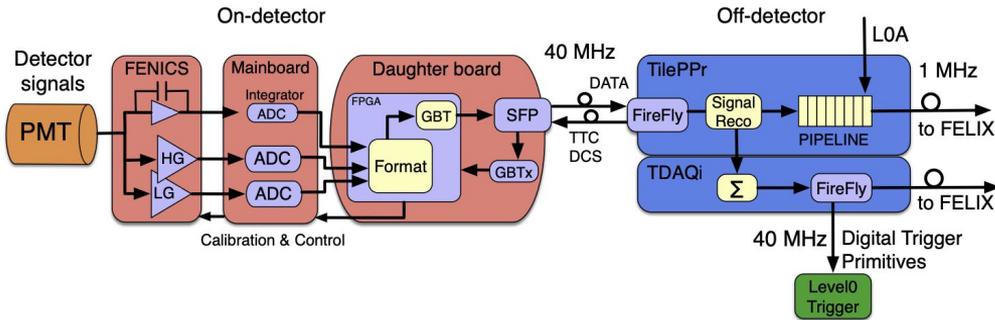
# ATLAS Fase-II - HGTD

- O HGTD utilizará 3.6 milhões de sensores ultra-rápidos, arranjados em 16 mil matrizes produzidas em 52 "wafers" de silício
- USP e o CERN serão as duas principais instituições para avaliar o desempenho dos sensores produzidos para o HGTD
- Procedimento complexo envolvendo milhares de medidas que devem ser automatizadas a partir de 2024
- Uma instalação para o teste dos sensores do HGTD do ATLAS foi construída na USP (recursos FAPESP EMU) e já em operação.



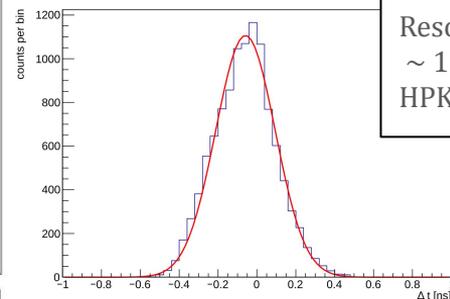
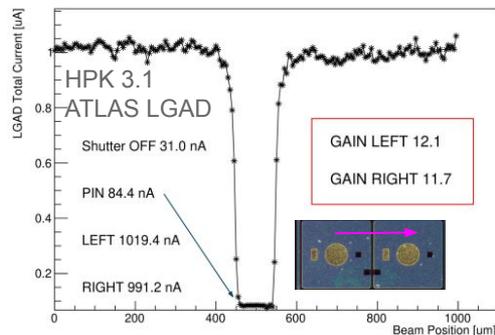
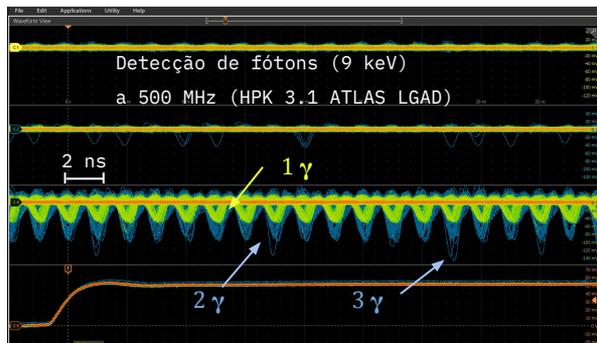
# Calorímetro Hadrônico (TILECAL)

- O novo sistema de seleção digital de eventos da Fase-II do ATLAS exige do calorímetro uma estimativa de energia a cada 25ns.
- Novas estratégias propostas por grupos brasileiros estão sendo avaliadas (método linear com correção não-linear que permite mitigar o efeito do empilhamento)
- Um filtro linear (*least squares*) foi projetado e a correção mostra uma melhora significativa no desempenho de todas as células do calorímetro para as condições de operação do HL-LHC.



# Sinergias : aplicações em luz síncrotron

- Em comum hoje :
  - Resolução em tempo de picosegundos
  - Amplificação intrínseca do sinal das partículas no sensor
- Específico para aplicações de luz síncrotron :
  - Resolução espacial micrométrica
- Trabalho sendo desenvolvido em estreita colaboração com o grupo de instrumentação do Sírius
  - 3 campanhas em uma das linhas de luz (Carnaúba) com resultados inéditos
- Novos testes com detectores altamente segmentados ainda este ano
- Atividades ocorrem dentro de Temático FAPESP envolvendo colaboração ATLAS+ALICE





# ATLAS

Demandas

# EXPERIMENT

# ATLAS Fase-II - Ações diretas (10 anos)

- **Core Cost :**

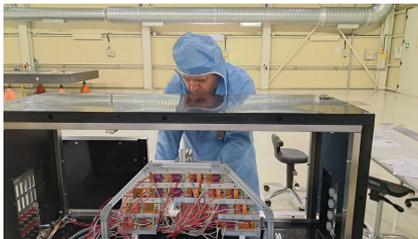
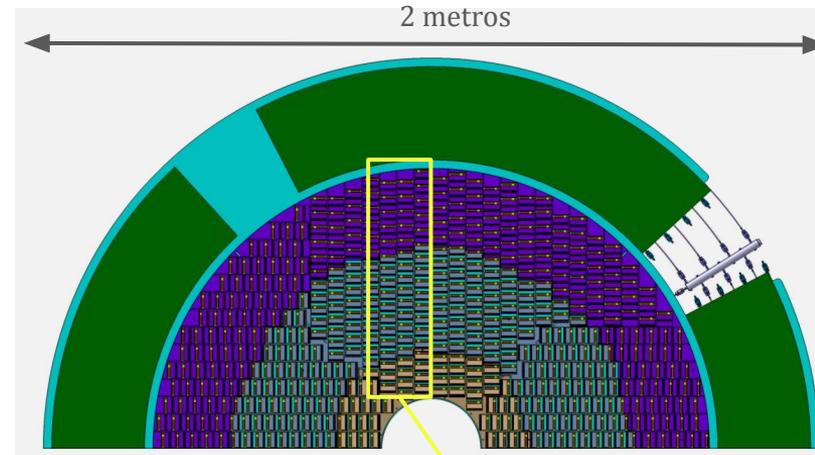
- Novos sensores para os anéis internos do HGTD : **US\$ 480 mil**
- Novo Beam Monitor for ATLAS (BMA) : **US\$ 90 mil**
- Calorímetro hadrônico e trigger : **US\$ 250 mil**
- Computação (SAMPA ATLAS T2 e centros de HPC) : **US\$ 300 mil**
- **Total 10 anos : US\$ 1.12 M**

- **Contribuições sistemáticas :**

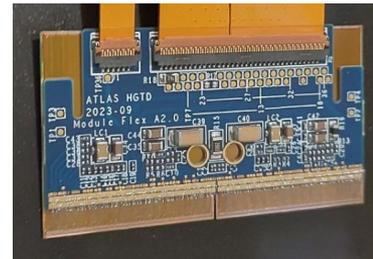
- M&O A : **US\$ 120 mil /ano**
- M&O B : **US\$ 20 mil/ano**
- Fundo Comum Fase-2 : **US\$ 20 mil/ano (até 2028)**
- **Total 10 anos : US\$ 1.5 M**

- **Mobilidade :**

- Em média 2 viagens/ano/pesquisador ao CERN e demais instituições : **R\$ 100 mil/ano**
- **Total 10 anos : R\$ 1 M**

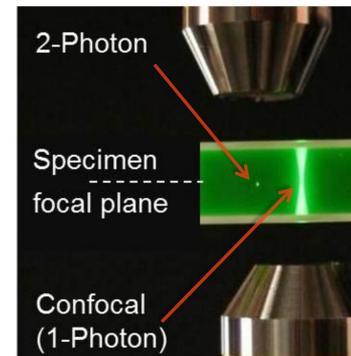


8 mil módulos de sensores  
semicondutores no detector



# ATLAS Fase-II - Ações transversais (10 anos)

- Eletrônica avançada para aquisição de dados :
  - **Objetivo** : capacitar a indústria local para fabricação/testes/qualificação de hardware para o ATLAS e aplicações em luz síncrotron (FELIX PCI-e) e outros
  - **Escopo** : ATLAS , CNPEM, ALICE, outros experimentos do LHC que venham a utilizar a FELIX
  - **Parcerias** : CNPEM, Eldorado, Indústria local
  - **Investimento**: US\$ 250 mil (produção e montagem) + US\$ 200 mil (bancada de testes e qualificação)
- P&D em sensores semicondutores ultra-rápidos altamente resistentes à radiação
  - **Objetivo** : Ampliar a competência local (infra-estrutura e pessoal) no desenvolvimento, teste e qualificação sensores semicondutores ultra-rápidos para detecção de radiação para altas e baixas energias-> **nova colaboração DRD3 do CERN (P&D em sensores semicondutores)**
  - **Escopo** : ATLAS, DRD3, CNPEM, ALICE, CMS e outros experimentos
  - **Parcerias** :CNPEM, Eldorado
  - **Investimento** : US\$ 1.9 M
    - Já investidos: A FAPESP (US\$ 300 mil); INCT (US\$ 100 mil)



Photography: Ciceron Yanez, University of Central Florida

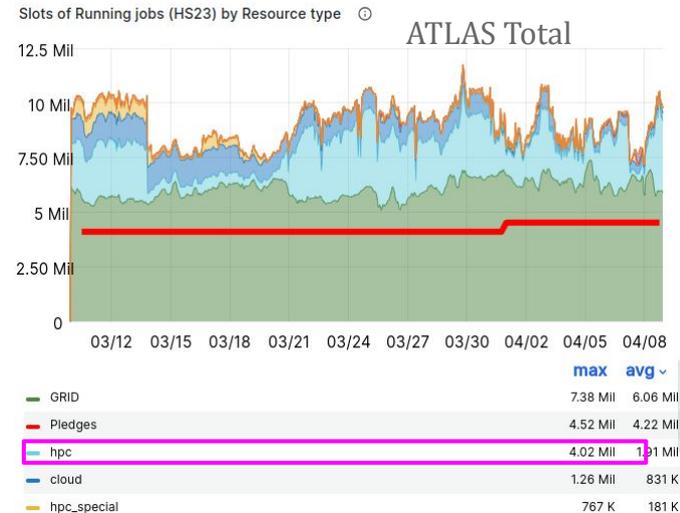
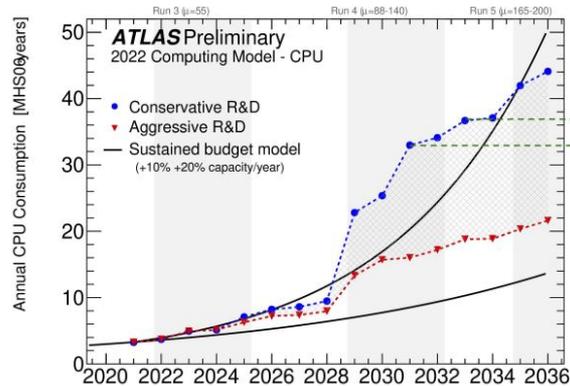


# ATLAS Computação

- ATLAS Tier-2 na USP (HEPIC)
- Recursos continuam sendo compartilhados entre ATLAS e ALICE
- Esse sistema compartilhado também implantou o primeiro Stratum-I do CVMFS , servindo todos os experimentos do LHC além de Astronomia e Astrofísica (único Stratum-I no hemisfério sul !)
- A fase do HL-LHC aumentará as demandas de computação (Monte Carlo, reconstrução, armazenamento) de forma significativa
  - Explorar ao máximo as possibilidades da comunicação =(Ella-link)
- O ATLAS já é capaz de utilizar de forma muito eficiente recursos de HPC
  - Explorar os novos centros de HPC no país !
- Necessárias **atualizações constantes** nos próximos 10 anos !

## Monitor Squid CVMFS

Visitors domains/countries (Top 10) - Full list			
Domains/Countries	Pages	Hits	Bandwidth
Brazil	br	6,174,632	963.90 GB
Germany	de	4,331,770	30.25 GB
Unknown	ip	2,700,156	202.35 GB
Switzerland	ch	1,907,986	18.53 GB
USA Educational	edu	1,090,792	410.66 GB
Chile	cl	1,024,990	178.22 GB
United Kingdom	uk	829,040	1.06 GB
USA Government	gov	325,716	24.97 GB
Italy	it	294,548	10.96 GB
Non-Profit Organizations	org	245,433	6.96 GB
Others		971019	22.26 GB



# ATLAS Brasil - Informação consolidada

O cluster ATLAS-Brasil consolida e expande sua participação em muitas áreas do experimento ATLAS

## I- Física

- Busca pela produção de pares de Higgs no canal  $HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$
- Medidas de precisão no Modelo Padrão
- Estudos envolvendo geradores de eventos na produção de bósons vetoriais
- Busca por “*axion-like particles*” (ALP) no decaimento exótico  $H \rightarrow Z(\ell\ell) + a(\gamma\gamma)$

## IV - Atualização Fase-II (HL-LHC)

- *High Granularity Timing Detector* (HGTD)
- Intenso P&D em sensores semicondutores

## II - Calorimetria

- Técnicas de estimação de energia para calorimetria e implementação em “hardware” reconfigurável (FPGA)
- Estudos de mitigação de empilhamento e reconstrução de sinais no calorímetro eletromagnético
- Integração da informação dos múons ao sistema de seleção de eventos do calorímetro
- Métodos eficientes de simulação em calorimetria
- Desenvolvimento e comissionamento de seleção digital de eventos em calorimetria

## III - Trigger

- Identificação de elétrons e fótons
- Novas topologias (anéis) para o trigger de elétrons
- Utilização de redes neurais e aprendizado de máquina para seleção de eventos

## V - Computação

- ATLAS Tier-2
- Sistema GLANCE

## VI - Divulgação

- Visitas virtuais
- ATLAS Masterclasses anuais



# ATLAS

OBRIGADO !

# EXPERIMENT

# BACKUP

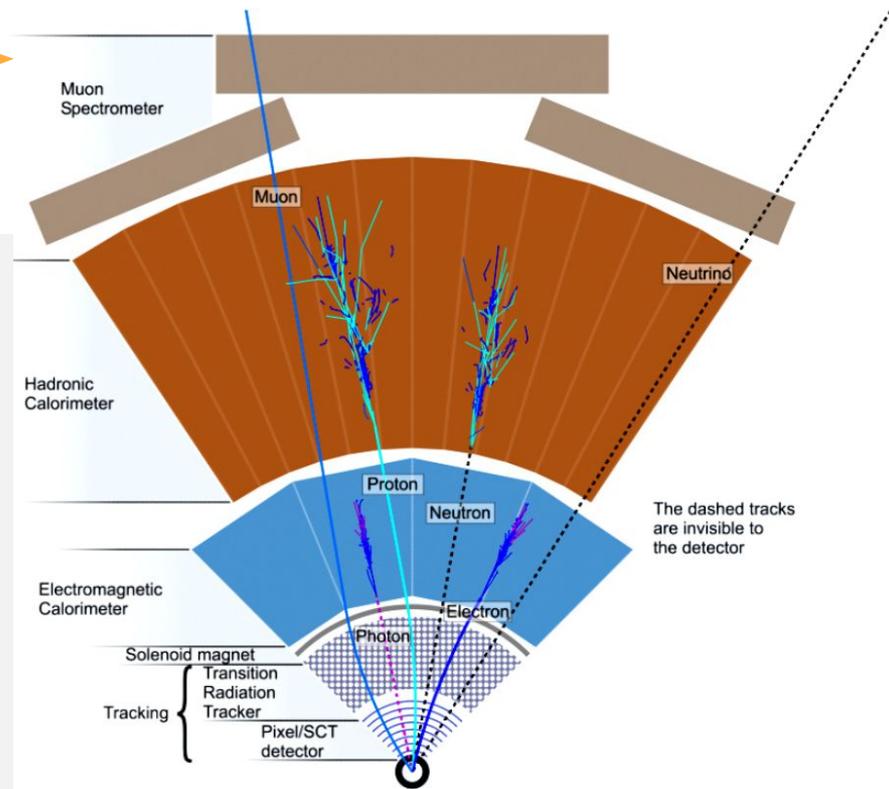
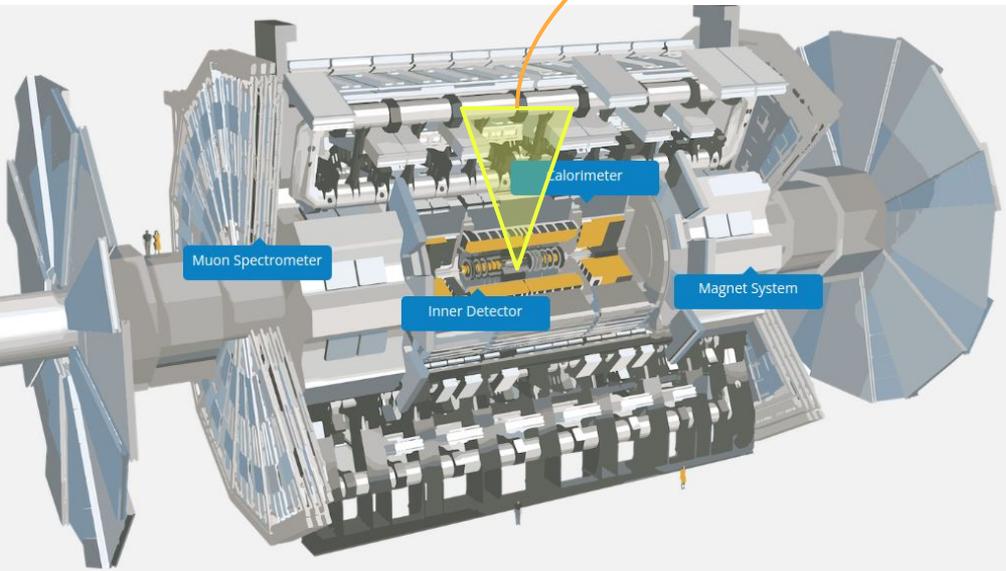


## **Demandas integradas nos próximos DEZ anos**

- Contribuições DIRETAS para novos subsistemas e atualização (Fase-II) : **US\$ 1.12 M**
- Contribuições TRANSVERSAIS (infra-estrutura local de P&D, parcerias, treinamento) : **US\$ 2.35 M**
- Contribuições SISTEMÁTICAS (proporcionais ao número de autores) : **US\$ 1.5 M**
- Contribuições EM ABERTO (Fase-I core cost, Fase-II fundo comum, M&O B) : **US\$ 259 mil**
  
- MOBILIDADE de pesquisadores e estudantes : **R\$ 1 M**
  
- BOLSAS : **4 bolsas** (Doutorado e/ou PD) por ano

# ATLAS Brasil - Contribuições em aberto

- ATLAS Phase-II Common Fund (proporcional ao número de autores):
  - US\$ 129 mil
- ATLAS M&O B (De acordo com a participação nos subsistemas, proporcional ao número de autores):
  - US\$ 60 mil
- ATLAS Atualização Fase-I Core Cost : Participação no desenvolvimento dos protótipos, instalação e comissionamento do novo sistema de seleção de eventos do Calorímetro de Argônio Líquido :
  - US\$ 70 mil
- **Total : US\$ 259 mil**



## THE 2021 ECFA DETECTOR RESEARCH AND DEVELOPMENT ROADMAP ([Link](#))

*“The purpose of this Roadmap more specifically should be to “identify and describe a diversified detector R&D portfolio that has the largest potential to enhance the performance of the particle physics programme in the near and long term”*

*“ The European particle physics community must intensify accelerator R&D and sustain it with adequate resources. A roadmap should prioritize the technology, taking into account synergies with international partners and other communities such as photon and neutron sources, fusion energy and industry. Deliverables for this decade should be defined in a timely fashion and coordinated among CERN and national laboratories and institutes. “*

**Grupo brasileiro do ATLAS, assim como ALICE e CMS, participam do DRD3 : P&D em detectores semicondutores.**



# Atuação no ATLAS

- **Participação direta em 25 análises de Física (5 em andamento) e vários artigos de performance**
- **Dois projetos bi-nacionais (Brasil/França and Brasil/Suíça) especificamente para o ATLAS**
- **Participação em comitês e gerenciamento**
  - Augusto Cerqueira (UFJF) :
    - ATLAS Tilecal Speakers Committee
  - Luciano Manhães (UFJF) :
    - ATLAS Tilecal Trigger Coordinator (até 2022)
  - Edmar E. P. de Souza (UFBA):
    - ATLAS Trigger E/gamma Signature Coordinator
  - Juan Lieber Marin (UFBA)
    - ATLAS  $e/\gamma$  Trigger Monitoring and Data Quality Coordinator
  - Marisilvia Donadelli (UERJ - a partir de 2024/USP - até 2023) :
    - CERN Summer Student Program supervisor
    - ATLAS Higgs and Di-Boson Searches Group HEPData Validator Liaison
    - ATLAS Higgs and Di-Boson Searches Group Monte Carlo Liaison
    - ATLAS ZDC Trigger Contact (até 2013)
  - Marco Leite (USP) :
    - ATLAS Upgrade Steering Committee
    - ATLAS Upgrade Speaker Committee chair
    - ATLAS International Computing Board
    - ATLAS Executive Board (Member at Large, até 2023)
    - ATLAS Experiment Collaboration Board Chair Advisory Committee (até 2020)
    - ATLAS ZDC Deputy Project Leader (até 2013)
    - ATLAS Forward System Resources M&O B Scrutiny Group (2012-2013)

# A atualização do ATLAS (Fase-II) - BMA

## Desafios para a determinação da Luminosidade no HL-LHC

- Necessária precisão  $< 1\%$  na medida de luminosidade
  - Muitas medidas já tem a luminosidade como principal incerteza (e.g. *prompt  $\gamma$* )
  - São necessários múltiplos detectores de luminosidade (bunch-by-bunch) com estabilidade melhor que  $1\%$



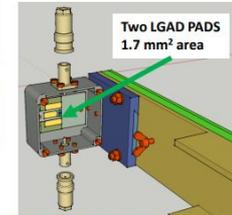
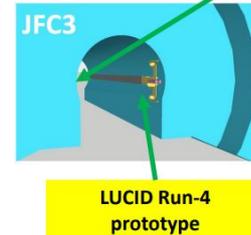
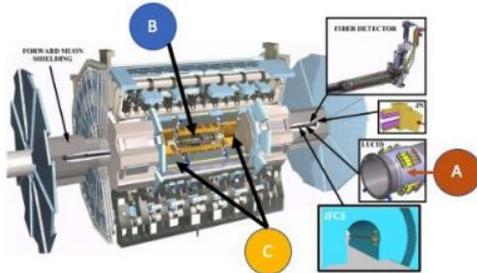
## ATLAS Beam Monitor (BMA) (em discussão no ATLAS)

- Protótipo para um monitor de luminosidade adicional no ATLAS HL-LHC
- Baixa aceitação geométrica (empilhamento)
- Baseado nos sensores do HGTD (LGADs)
- Baixa dependência com a taxa média de colisão
- Testes preliminares mostram uma ordem de magnitude melhor que o LUCID (ATLAS standard)

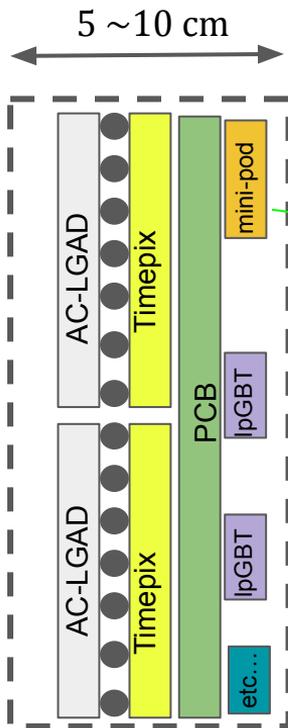
- A** LUCID
- Cherenkov light detector with  $2 \times 16$  PMT at  $z = \pm 17$  m from IP
  - Bunch-by-bunch luminosity through **hit counting** (many different algorithms in use)
  - Additional three prototypes detectors, shown in the inset, are being tested in RUN 3

- B** TRACK COUNTING (TC)
- Counting tracks in the inner detector (ID)
  - Bunch-by-bunch capabilities (although statistically limited)

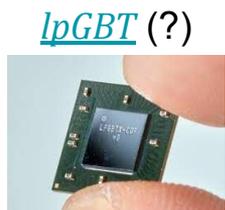
- C** Calorimeter measurements
- LAr (EMEC and FCAL)
    - using the total ionization current
  - Tile calorimeter
    - using the current drawn by PMT
  - Only bunch integrated measurement



# Readout chain for synchrotron light - a *de-facto* approach (from a HEP physicist perspective ...)

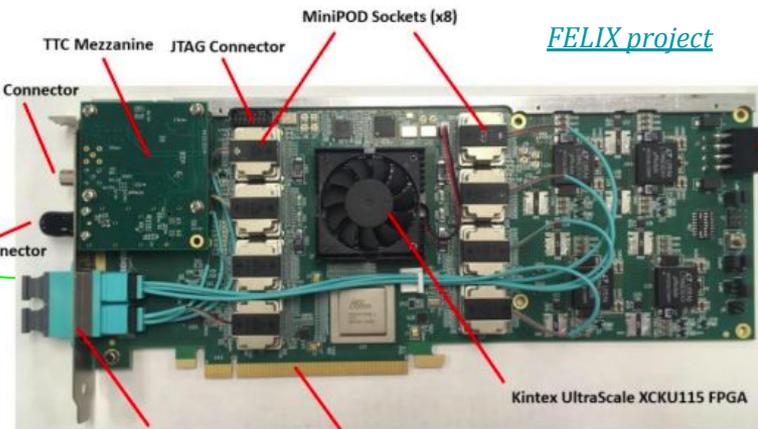


Mini-Pod



lpGBT (?)

48 (24) fibers, 100's meters



*FELIX project*

Kintex UltraScale XCKU115 FPGA

PCIe Gen 3 x 16

Device	Lanes	Gb/s	# Dev. For 1 Felix
Timepix 3	8	0.640	48
lpGBT	1	10.24	24
Felix	48 (24)	4.8 (9.6)	1
Felix-FLX181	24	25	0.4

To understand (at least...) :

- Fast UFSD signal (1 ns width)
- ToT Timepix TDC resolution
- Link aggregation (e-links)
- Cooling (-30C)