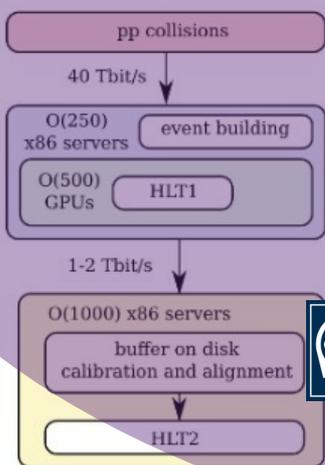


Hádrons exóticos e computação de alto desempenho no experimento LHCb/CERN

Murilo Rangel
Universidade Federal do Rio de Janeiro

LHCb
ГHCб



UFRJ



Instituto de Física
Universidade Federal do Rio de Janeiro





**Se dividirmos um grão de areia
na metade**

...

a metade na metade

...

a metade na metade

...

**chegaremos em
algo indivisível?**

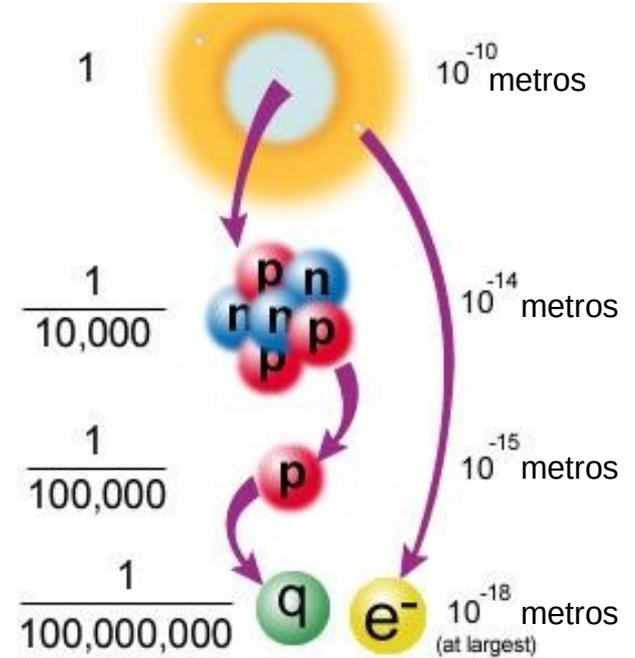
Século IV a.c.

2.300 anos!!

Século XX



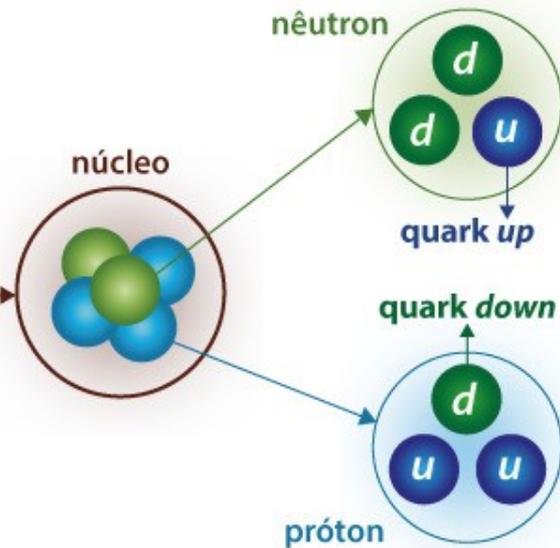
**Demócrito
(atomista)**



<https://particleadventure.org/>



canal ciência



**Prótons e nêutrons:
estados ligados de
quarks up (u) e down (d)**

próton → u u d

nêutron → u d d

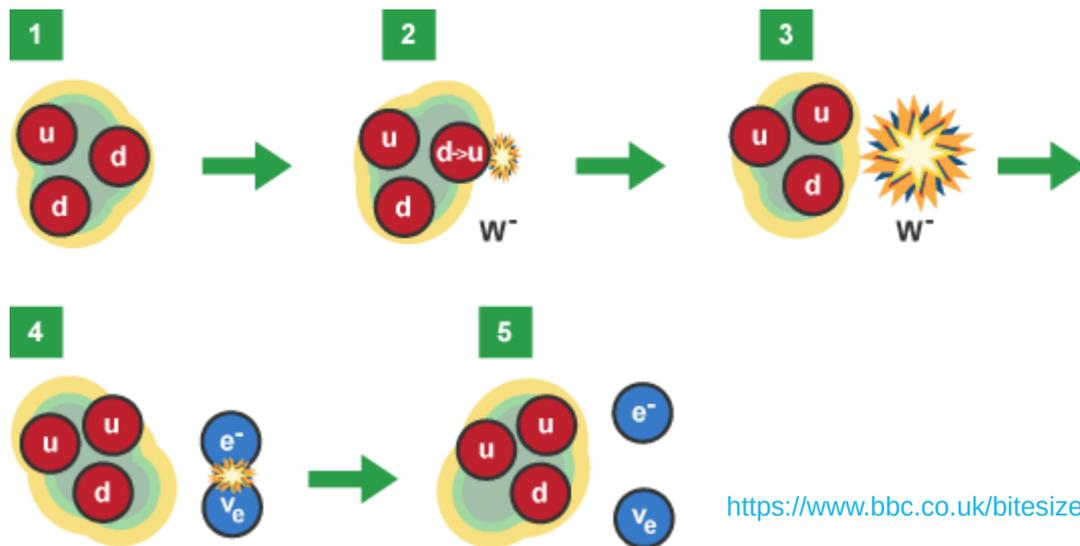
Os estados ligados podem ser

Estáveis (prótons)

→ não podem se separar sem ação externa

Instáveis (nêutrons)

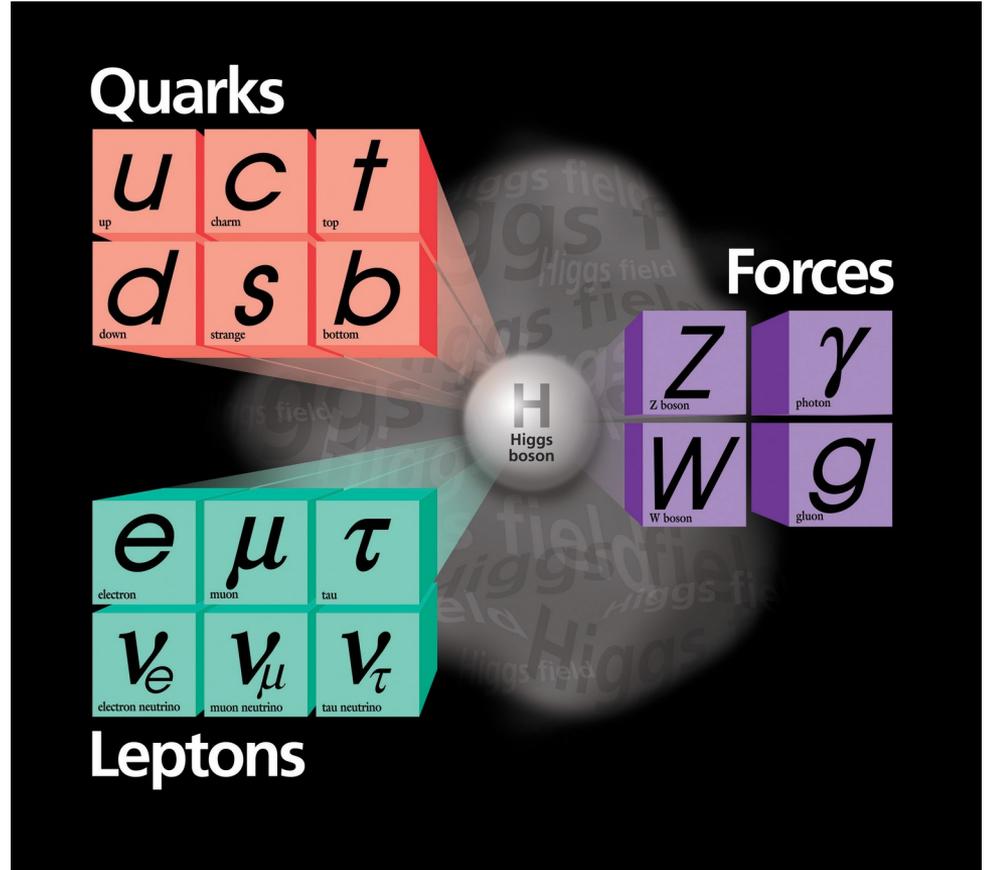
→ desintegração espontânea



<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zsnssbk/revision/5>

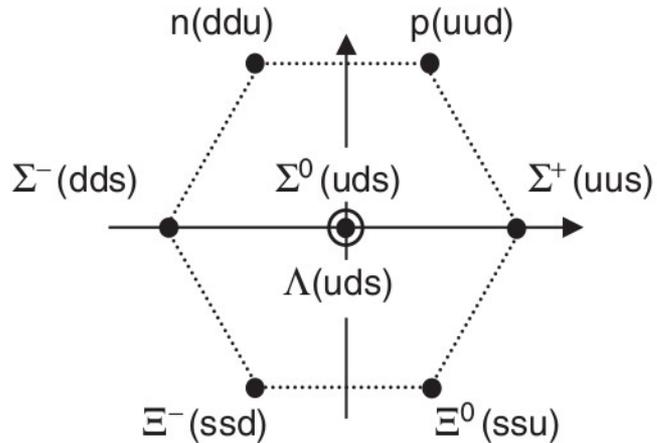
Além da tabela periódica

- novos quarks que formam estados ligados instáveis
- “elétrons” mais pesados e “elétrons” sem carga elétrica
- “fótons” conectados à outras interações
- Origem da massa fundamental: Higgs

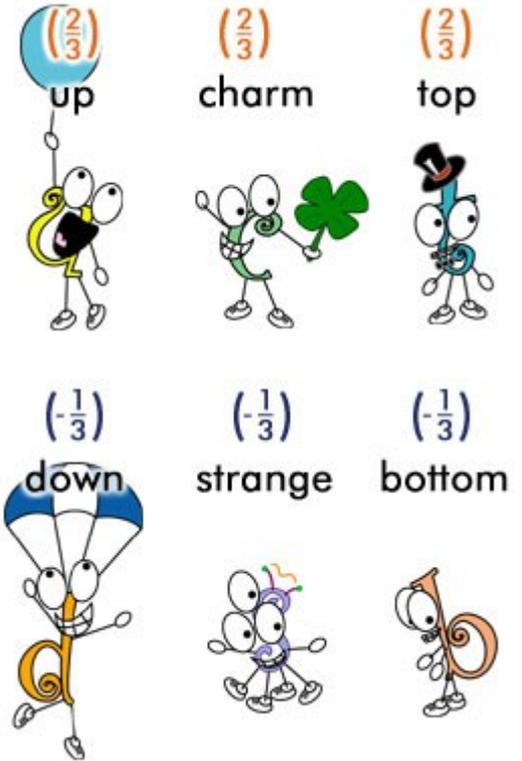


Além da tabela periódica

- bárions 3 quarks
- mésons 2 quarks



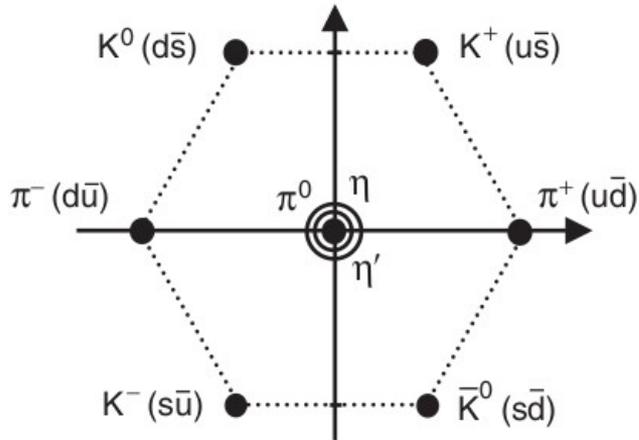
Robinson, Symmetry and the Standard Model



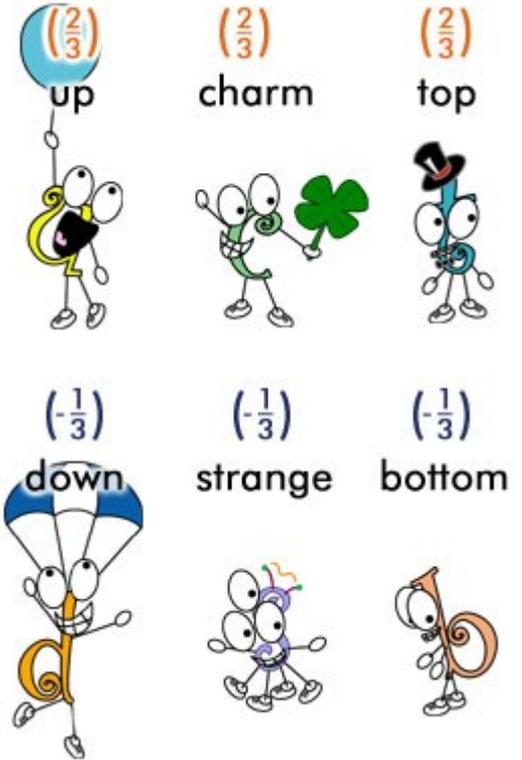
<https://particleadventure.org/>

Além da tabela periódica

- bárions 3 quarks
- mésons 2 quarks



Robinson, Symmetry and the Standard Model



<https://particleadventure.org/>



SCHEMATIC MODEL OF BARYONS AND MESONS *

M. GELL-MANN

California Institute of Technology, Pasadena, California

Received 4 January 1964

AN SU_3 MODEL FOR STRONG INTERACTION SYMMETRY AND ITS BREAKING

G. Zweig *)

CERN - Geneva



Bárions e mésons

- 1964: Gell-Mann e Zweig propõe a possibilidade da existência de estados ligados de quarks
- Se houver mais de três quarks, o estado ligado se torna difícil de descrever - **Exótico**



Como estudamos os estados ligados de quarks que não estão na tabela periódica?

Descobrimo partículas novas

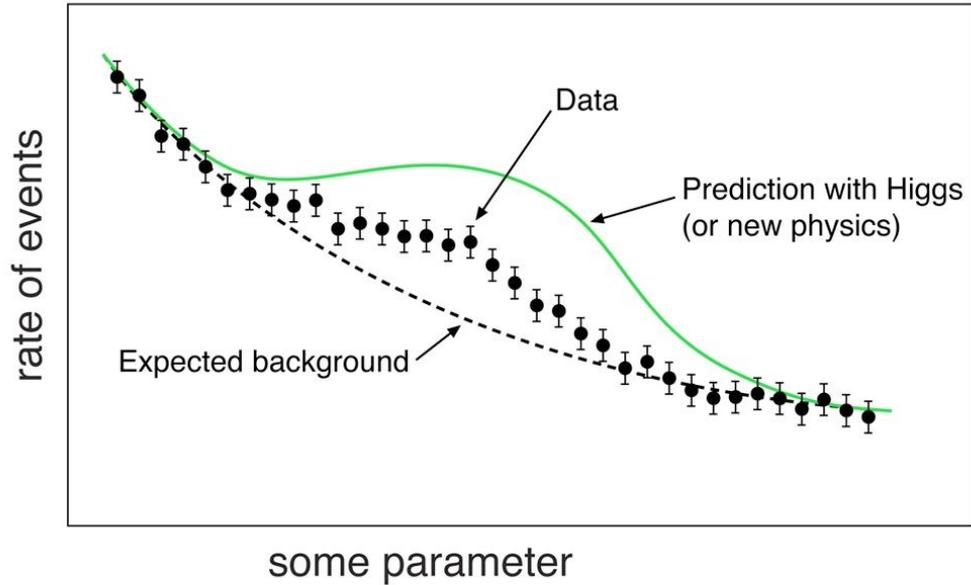
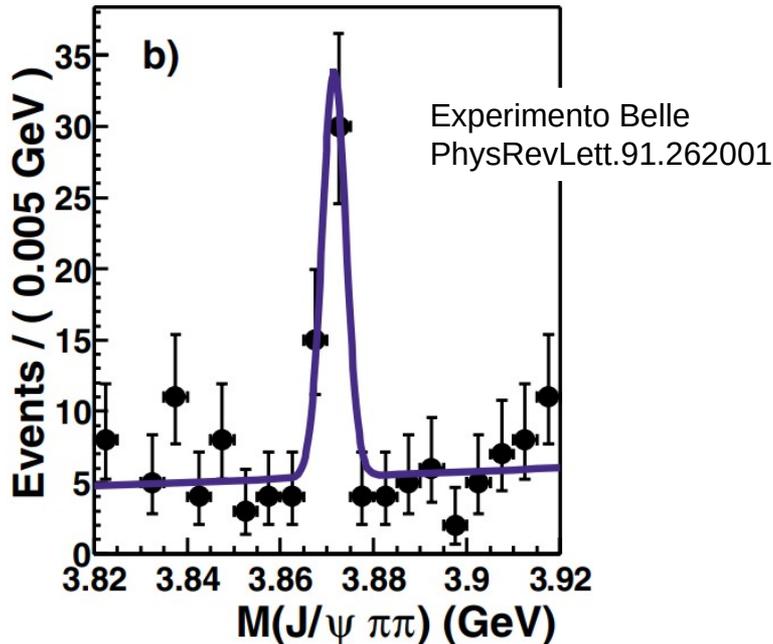


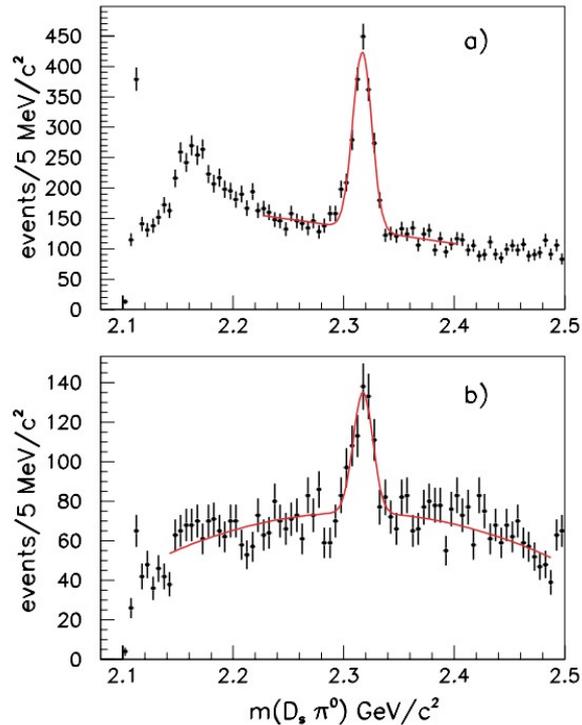
Figure B

Primeiras descobertas

Em 2003, dois experimentos descobrem estados ligado de quarks que não se encaixam nos previstos por 2 ou 3 quarks → hádrons exóticos!



Experimento BABAR
PhysRevLett.90.242001





Em qual laboratório pode se estudar os hádrons exóticos?

CERN - Laboratório europeu para física de partículas



cern.ch

CERN – uma breve história

<https://timeline.web.cern.ch/timeline-header/89>

1949 a 1954 - Criação do laboratório para fomentar colaborações internacionais e reerguer a ciência europeia esvaziada após a segunda guerra mundial.

1959 - Primeiro acelerador em funcionamento - Proton Synchrotron (PS)

1965 - Primeiro anti-núcleo (anti-deuteron) observado.

1981 - Primeiras colisões entre prótons e anti-prótons.

1983 - Partículas W^{\pm} e Z^0 são descobertas.

1989 - Maior colisor entre elétrons e pósitrons (anti-partícula do elétron) do mundo entra em operação com aproximadamente 27 km de circunferência.

1990 - Primeiro browser de internet é colocado on-line

1994 - Aprovação para a construção do LHC-CERN

1995 - Primeiro anti-átomo de Hidrogênio é produzido no experimento ALPHA

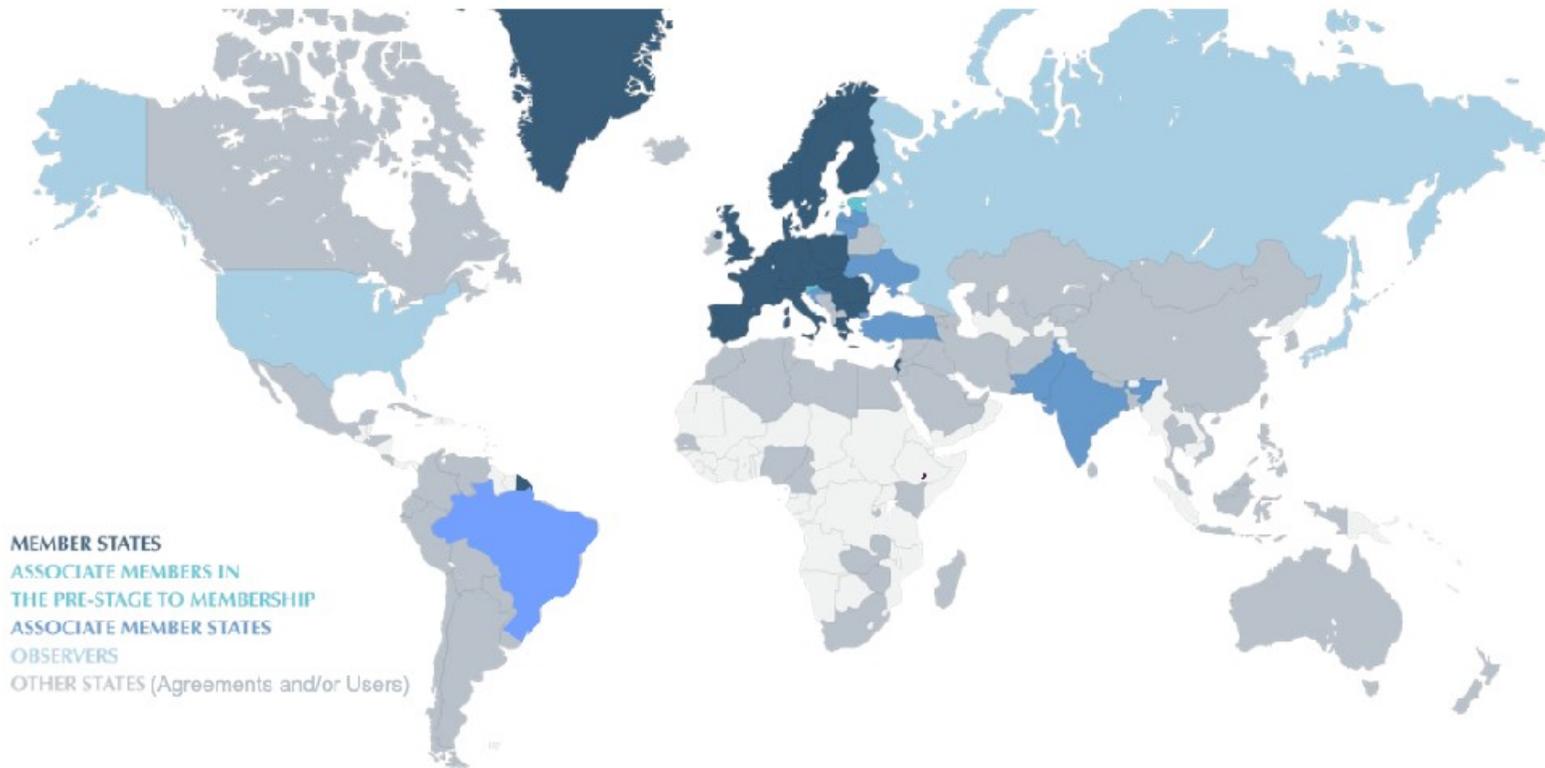
2003 - Início da instalação do LHC-CERN

2010 - Início das coletas de dados no LHC-CERN

2011 - Átomos de antimatéria são aprisionados por 1.000 segundos no ALPHA

2012 - Descoberta do bóson de Higgs

2024 - 70 anos de existência desenvolvendo ciência para paz



O Brasil é estado membro associado desde 2024 com 135 pesquisadores!

CERN/LHC - Large Hadron Collider

LEP 1989-2000

elétrons e pósitrons

Energia máxima 104 GeV

LHC 2008-?

próton-próton

Energia máxima 7 TeV

(velocidade = 0.999999999 c)

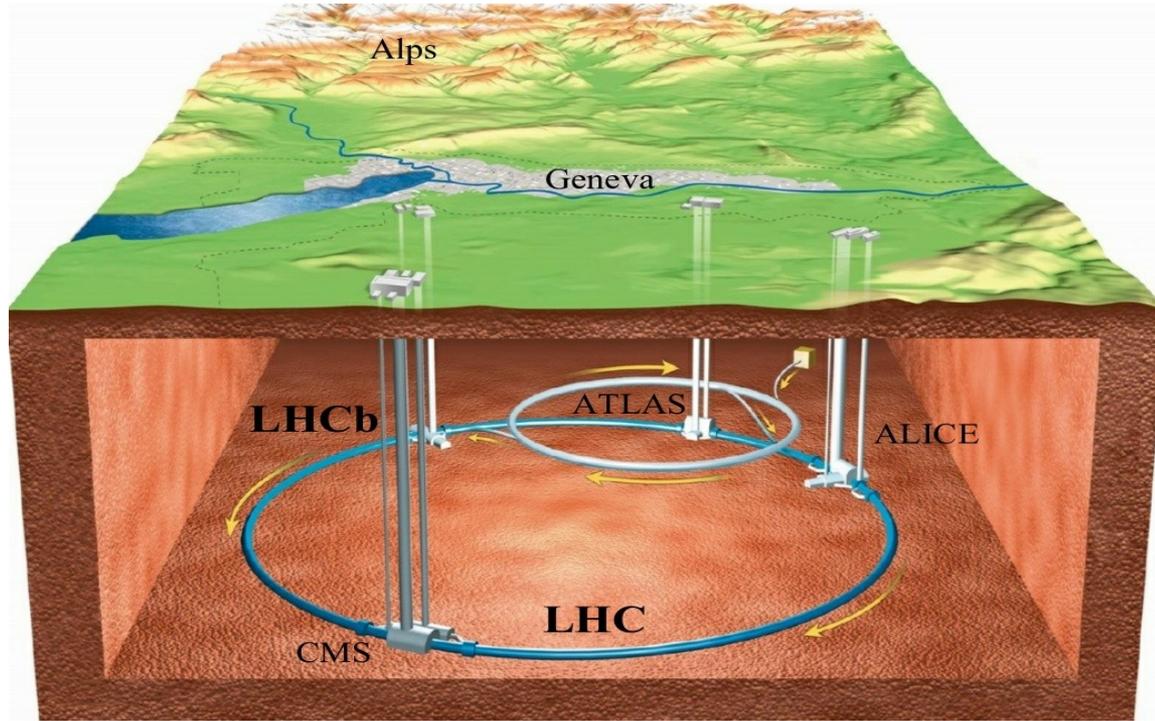
Circunferência: 26.7 km

Diâmetro do túnel: 3.8 m

Profundidade: 70-140 m

Consumo: 120 MW

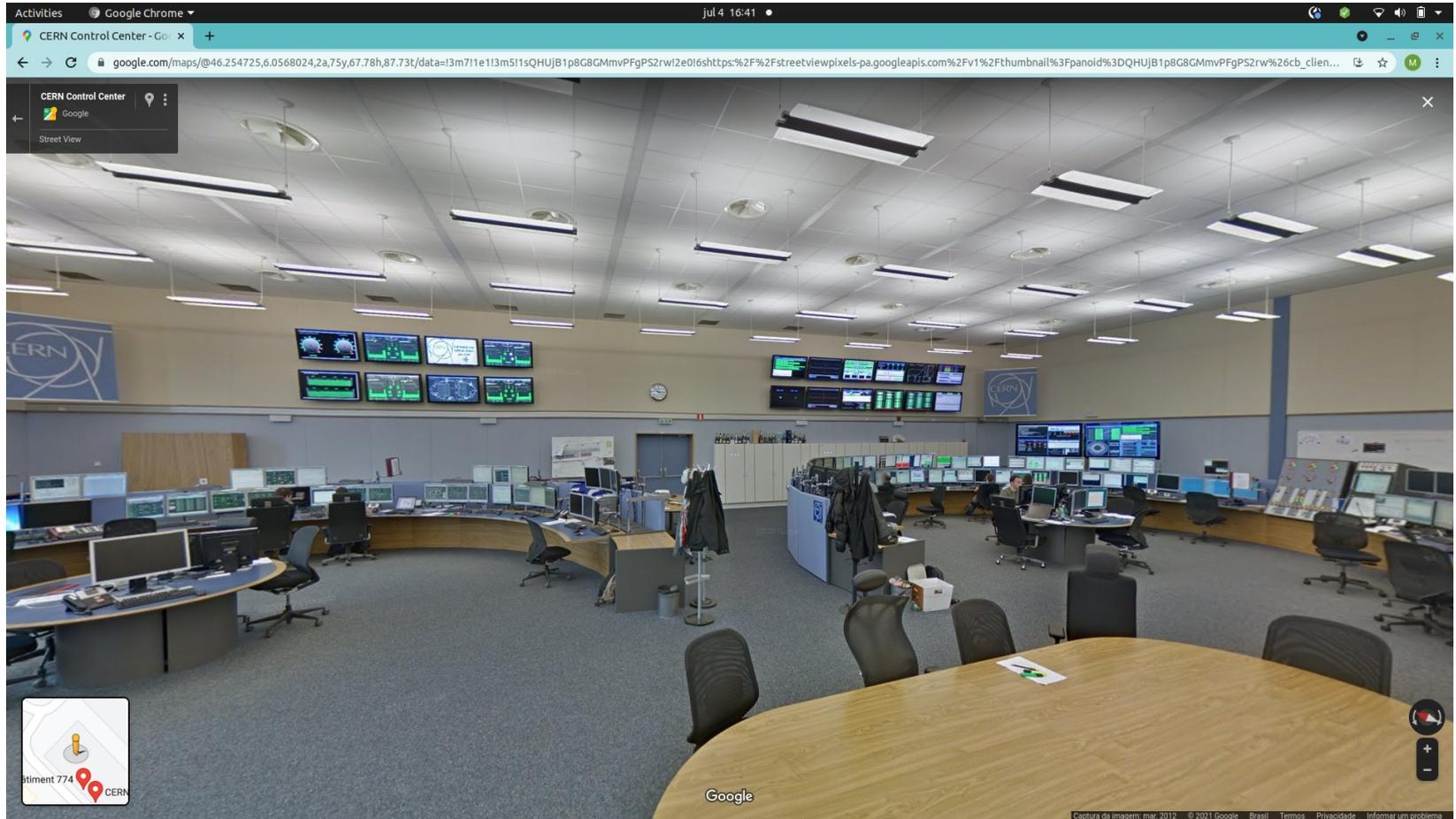
(Consumo do Brasil ~80.000MW)



CERN/LHC - Large Hadron Collider - “Visão aérea”

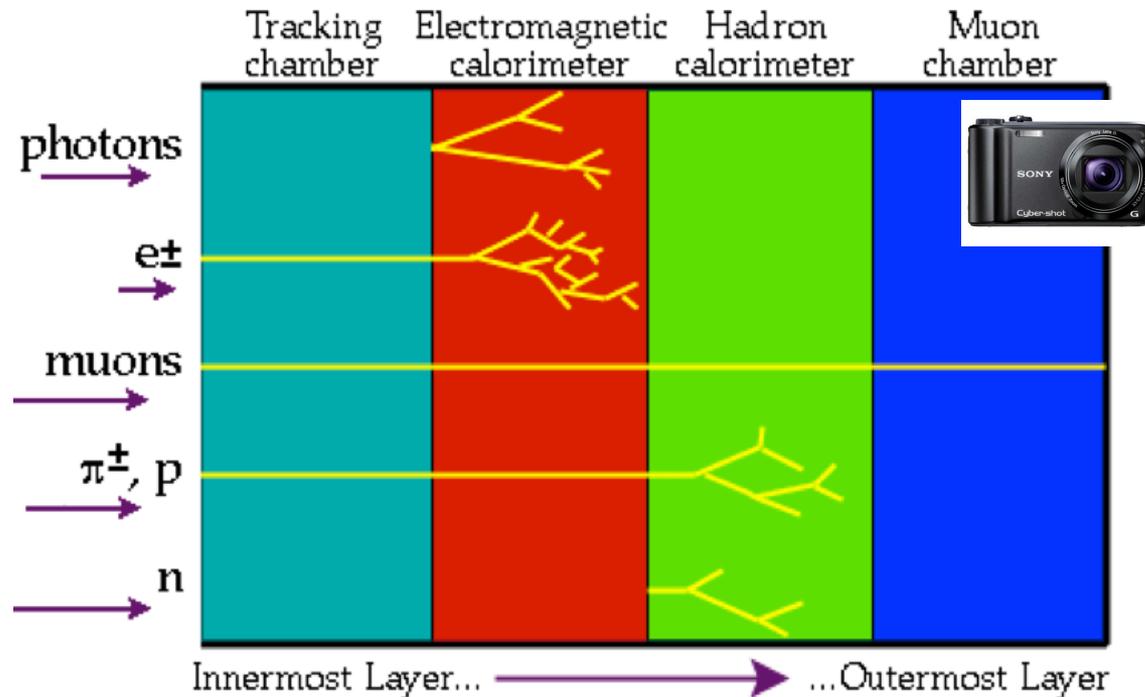


CERN/LHC - Large Hadron Collider - sala de controle - google maps



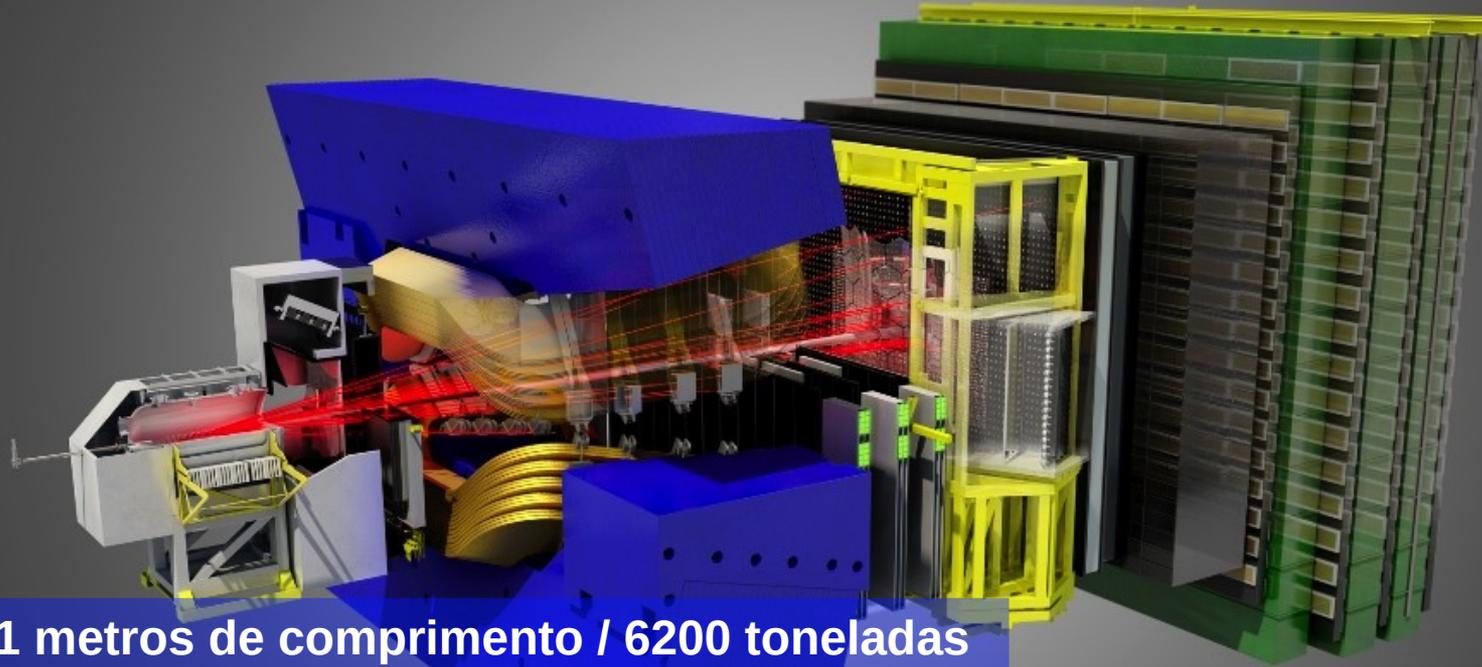
CERN/LHC - Detectores

Os detectores são “máquinas fotográficas” sensíveis às partículas que os atravessam. Para isso, eles possuem diferentes **camadas** e **tamanhos**.



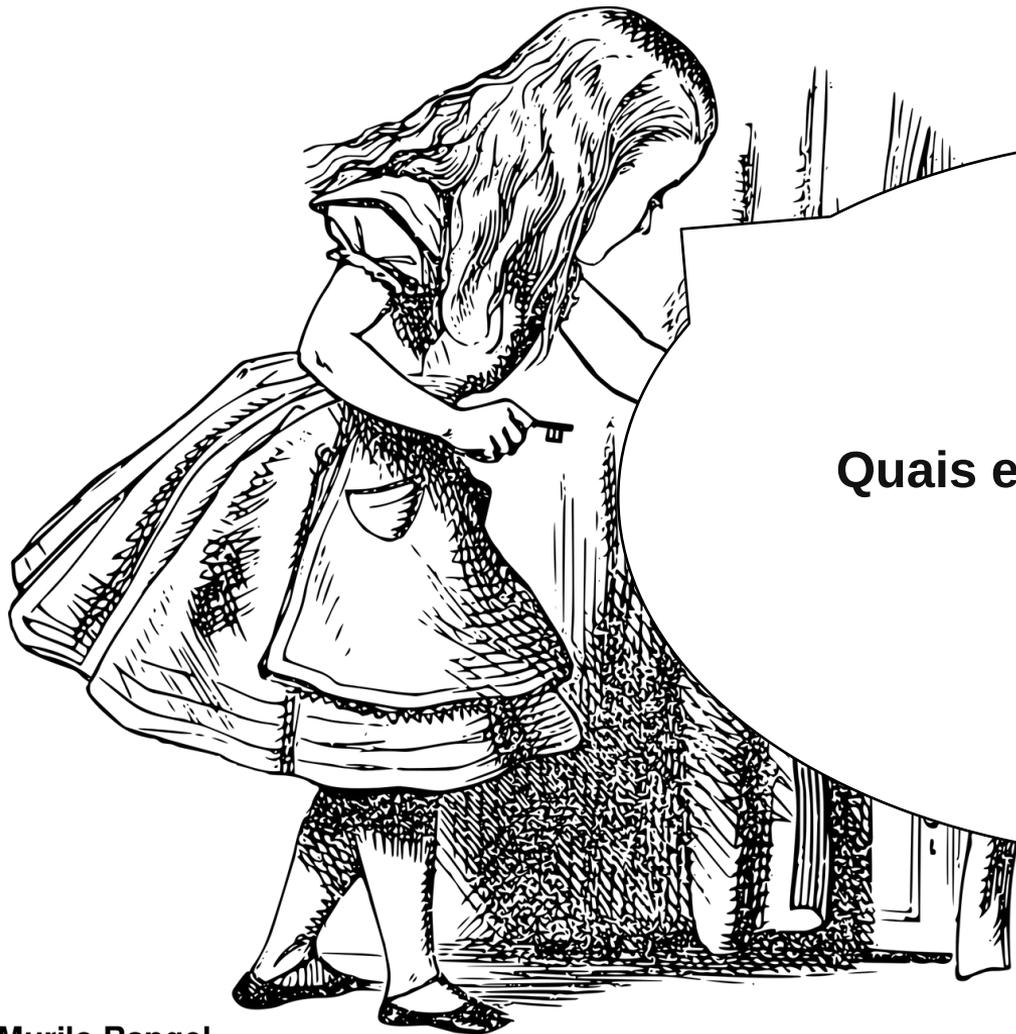
<http://www.particleadventure.org/>

CERN/LHCb



- ~ 21 metros de comprimento / 6200 toneladas
- ~ milhões de canais de leitura eletrônica
- 1719 Membros de 104 instituições em 22 países

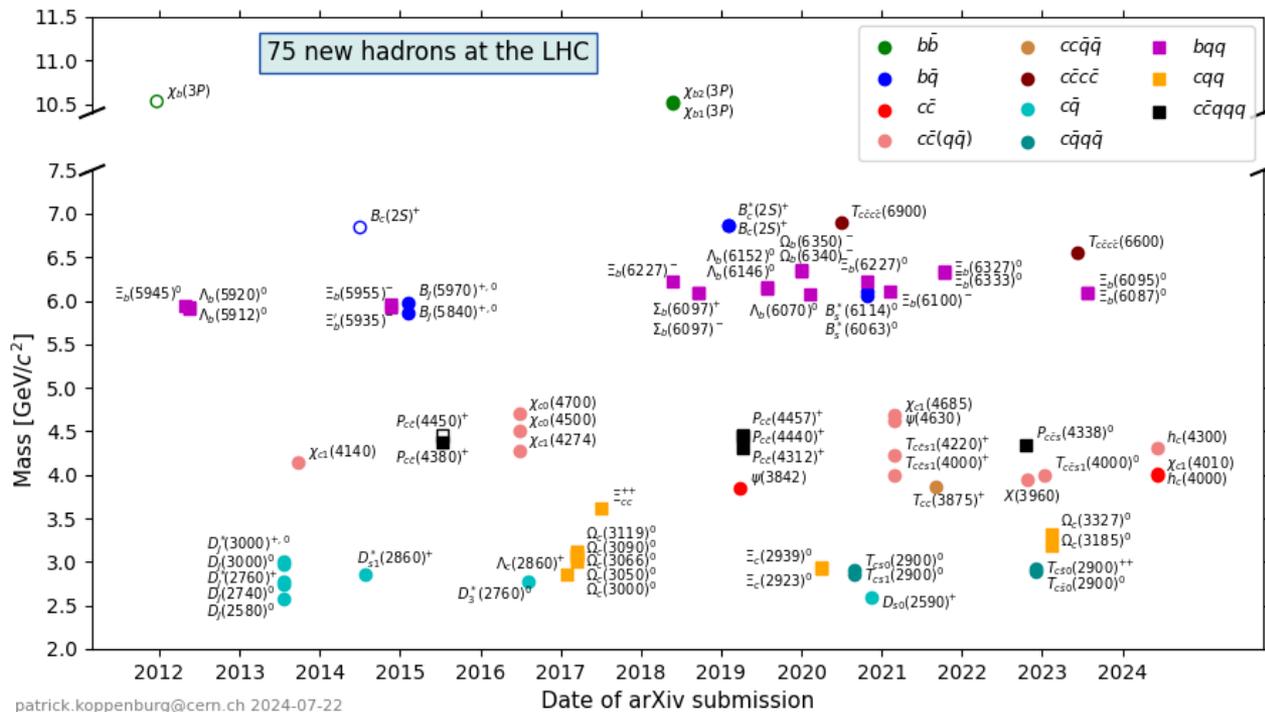




Quais estados exóticos foram descobertos?

Descobertas no LHC/CERN

75 hádrons descobertos, sendo 23 exóticos

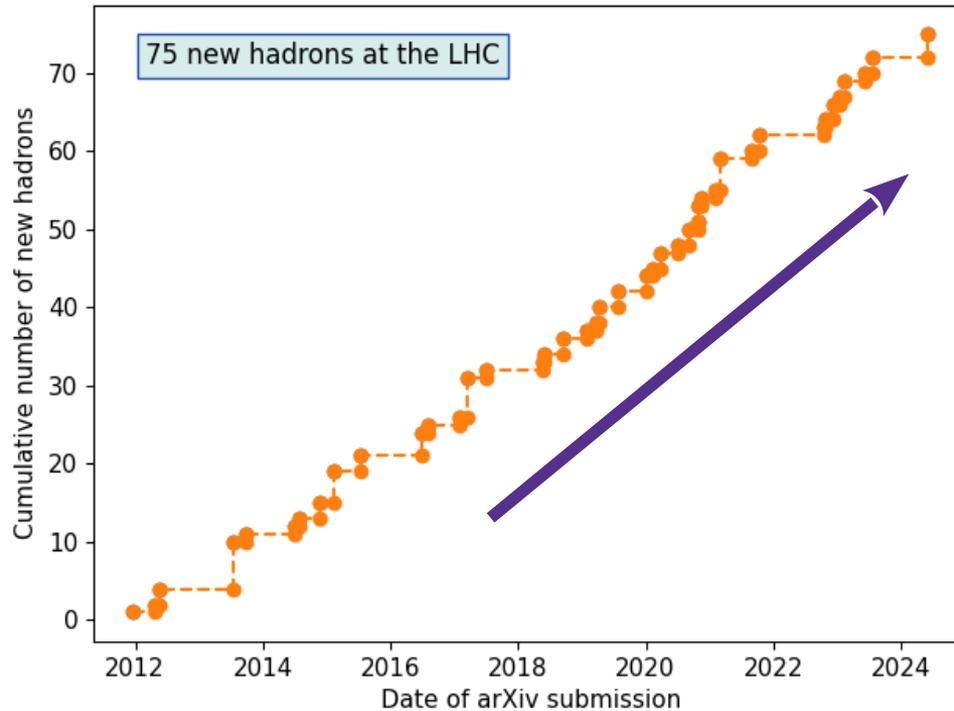


LHCb-FIGURE-2021-001 <https://cds.cern.ch/record/2749030>

<https://www.nikhef.nl/~pkoppenb/particles.html>

Descobertas no LHC/CERN

75 hádrons descobertos, sendo 23 exóticos

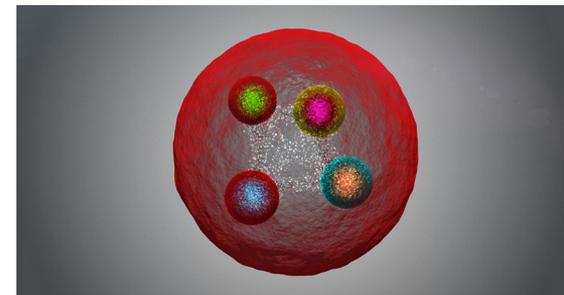
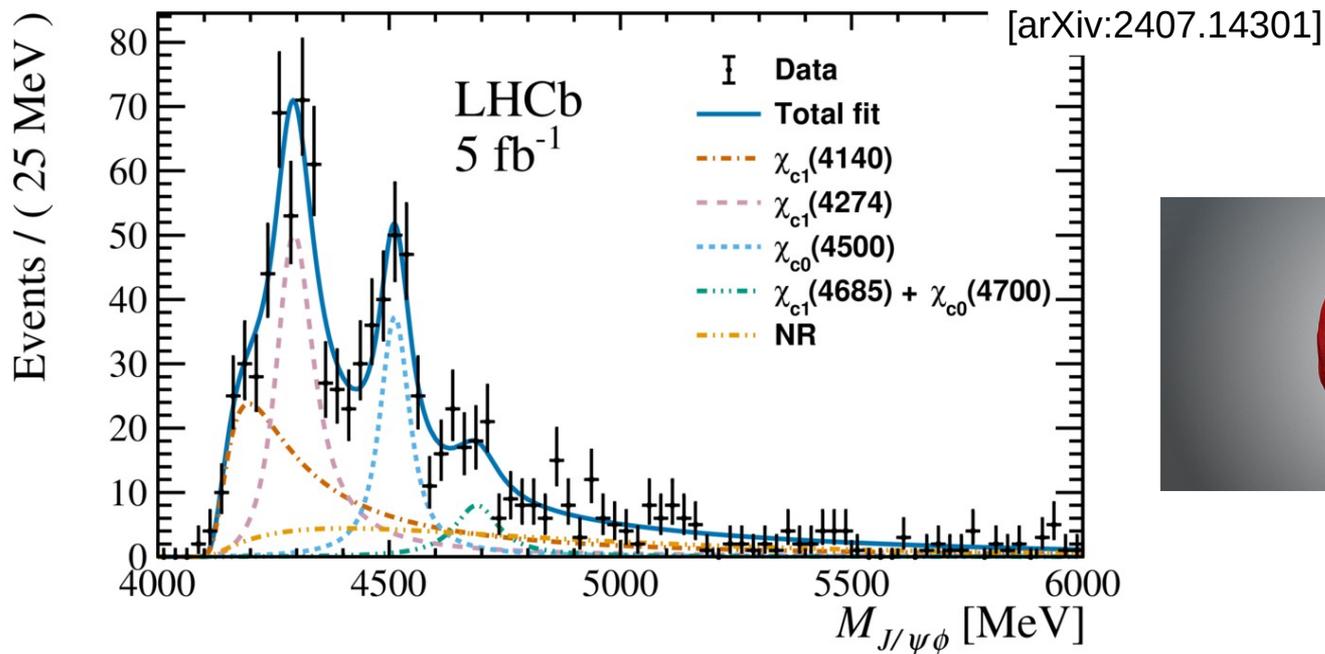


patrick.koppenburg@cern.ch 2024-07-22

LHCb-FIGURE-2021-001 <https://cds.cern.ch/record/2749030>
<https://www.nikhef.nl/~pkoppenb/particles.html>

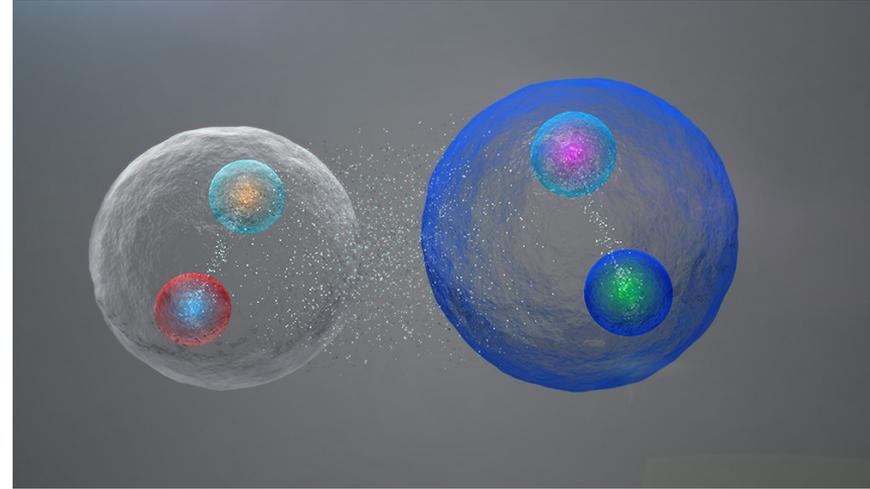
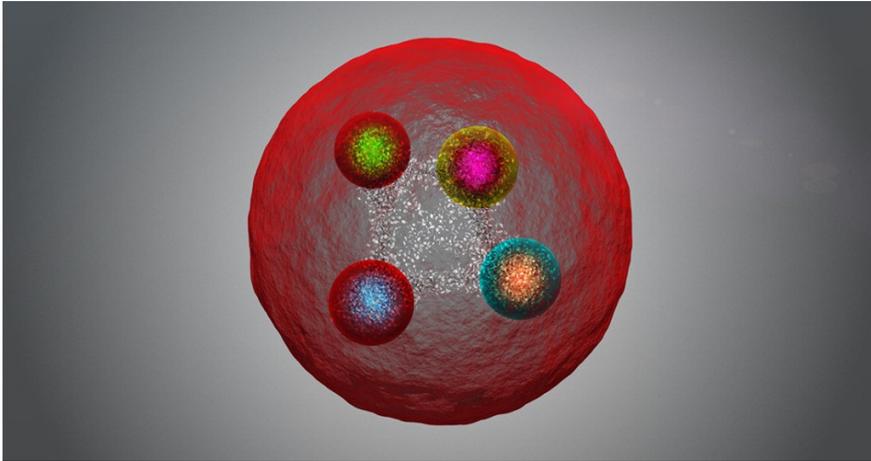
Alguns **hádrons exóticos** podem ser produzidos em processos difrativos

- **números quânticos** bem definidos
- **características únicas** podem ser medidas



Hádrons exóticos são estados ligados

- entre 4 quarks?
- entre 2 mésons?

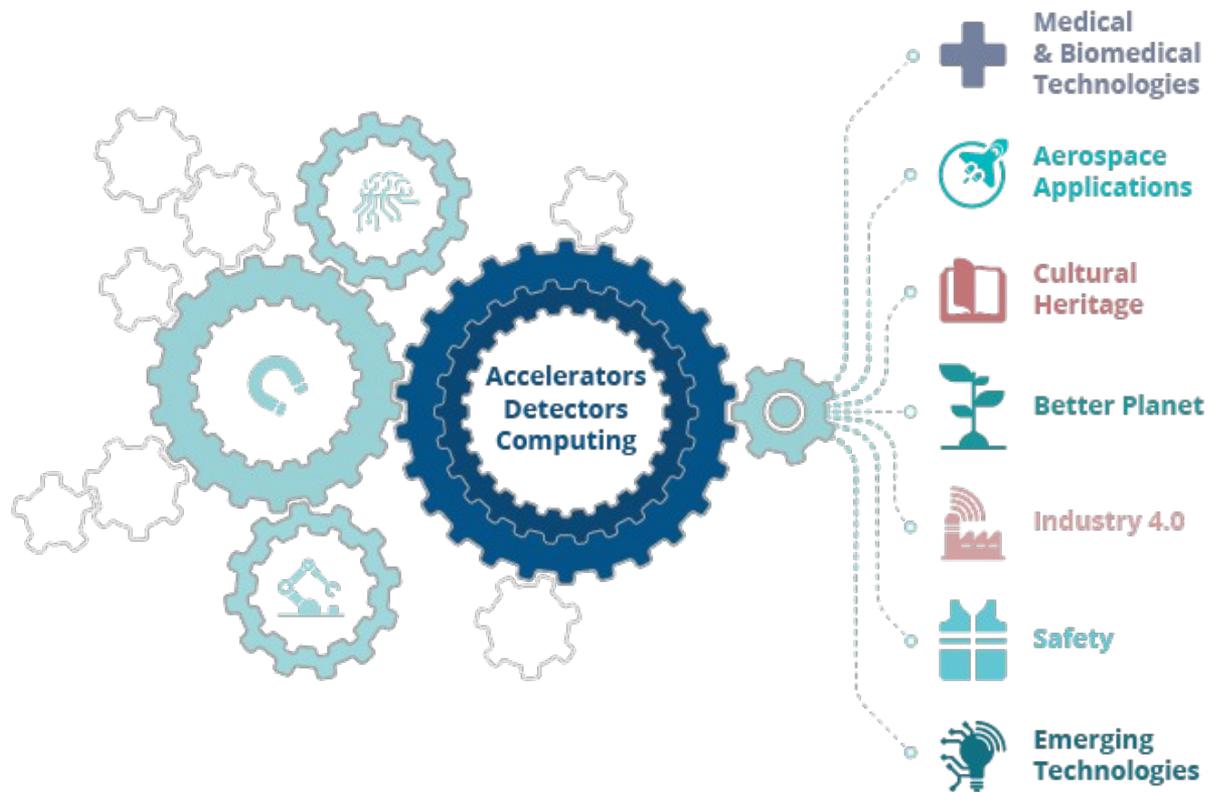




**Muitas perguntas e muitas
respostas, mas ...**

CERN - Transferência de conhecimento

<https://kt.cern/>



CERN - computação - início da www

<https://home.cern/science/computing/birth-web>

CERN DD/OC

Tim Berners-Lee, CERN/DD

Information Management: A Proposal

March 1989

Information Management: A Proposal

Abstract

This proposal concerns the management of general information about accelerators and experiments at CERN. It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext system.

Keywords: Hypertext, Computer conferencing, Document retrieval, Information management, Project control

Em 1993, w3 torna-se pública e gratuita.

No final de 1994, havia mais de 10.000 servers (2.000 comerciais) com mais de 10M de usuários.

Software and Computing in HEP

<https://hepsoftwarefoundation.org>

High Energy Physics (HEP) has a large investment in software

- Critical part of the physics production pipeline: real-time and offline analysis software
- LHC experiments use about 1M CPU cores every hour of every day
 - ++ 1000PB of data with 100PB of data transfers per year (10-100Gb links)
- Estimated to be around 50M lines of C++ which would cost more than 500M\$ to develop commercially
- There are vast challenges ahead of us to support our ongoing physics programme

HEP trigger

$$\text{Bandwidth [GB s}^{-1}] \propto \text{Trigger output rate [kHz]} \times \text{Average event size [kB]}$$

Trigger wish-list:

- High reduction factor
- High efficiency for interesting events
- ++ Fast decision
- ++ High resolution

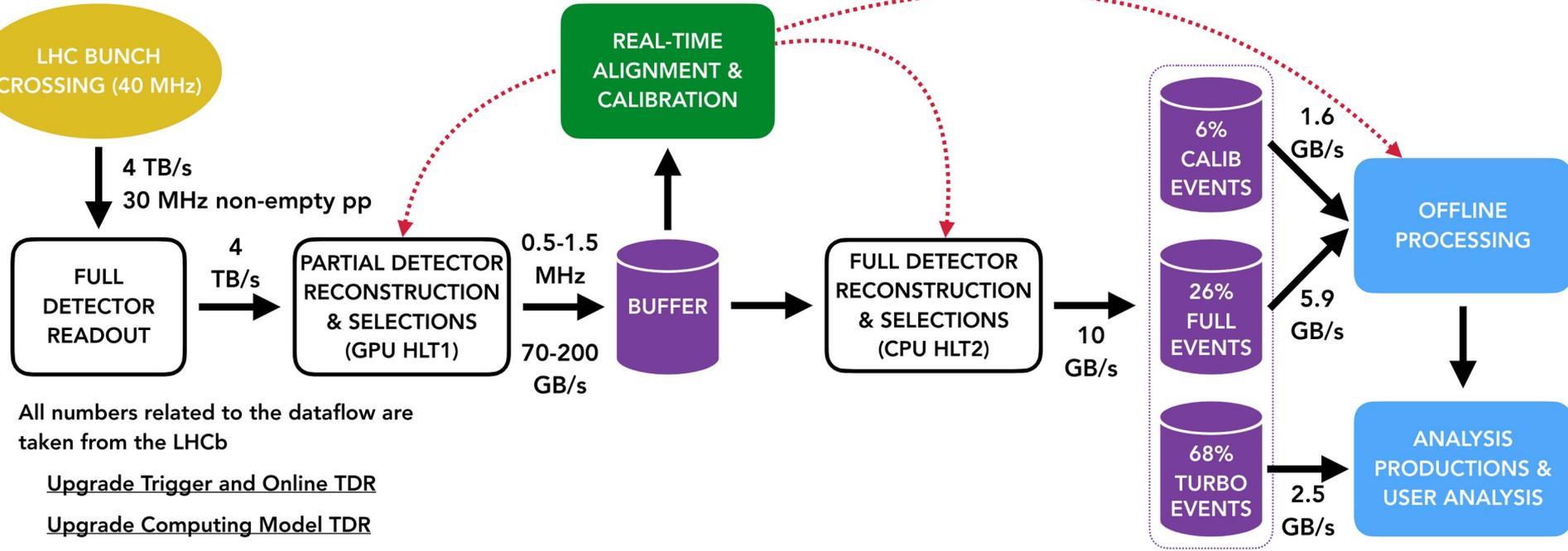
Challenges:

- The higher background and Pile Up will limit the ability to trigger on interesting events
- The primitives will be more complicated with respect today: tracks, clusters, rings

Possible solution: GPGPUs

LHCb Trigger: LHC experiment example

$$\text{Bandwidth [GB s}^{-1}] \propto \text{Trigger output rate [kHz]} \times \text{Average event size [kB]}$$



All numbers related to the dataflow are taken from the LHCb

Upgrade Trigger and Online TDR

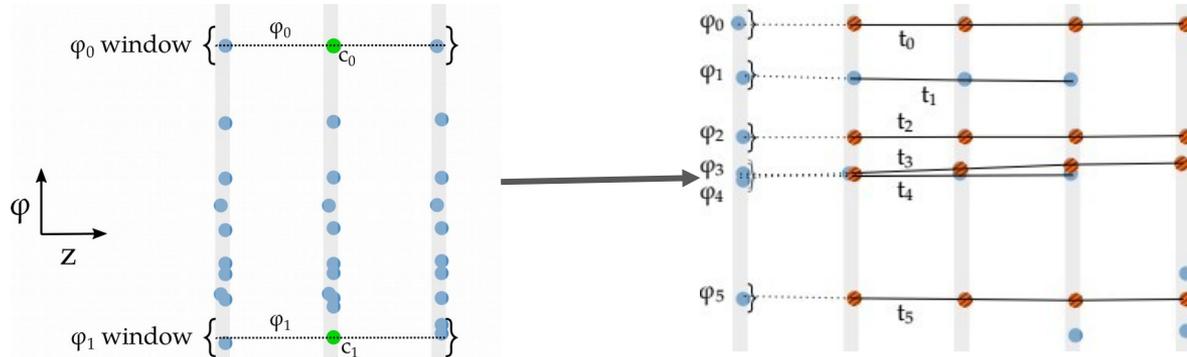
Upgrade Computing Model TDR

<https://lbfence.cern.ch/alcm/public/figure/details/32>

GPU in LHCb Trigger

Comput.Softw.Big Sci. 4 (2020) 1

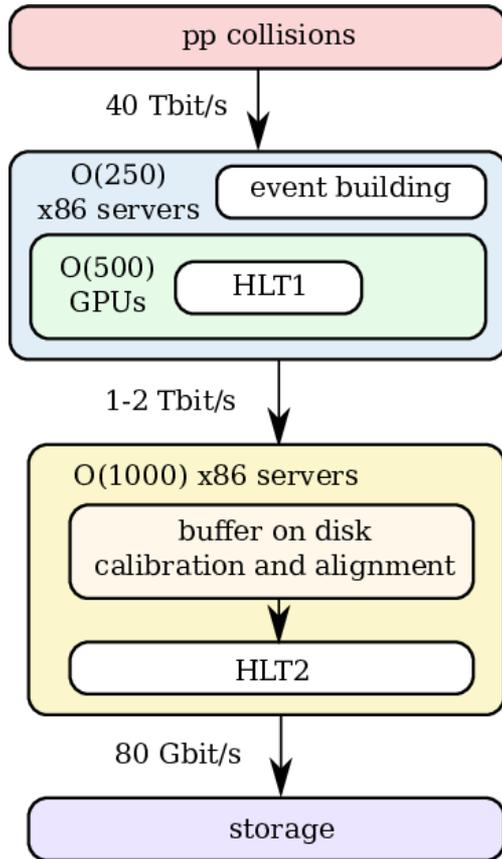
- * GPU used in the first trigger level
- * One GPU should process events at roughly 60 kHz
 - ++ Reduce data rate by factor 30 based on single and two-track selections



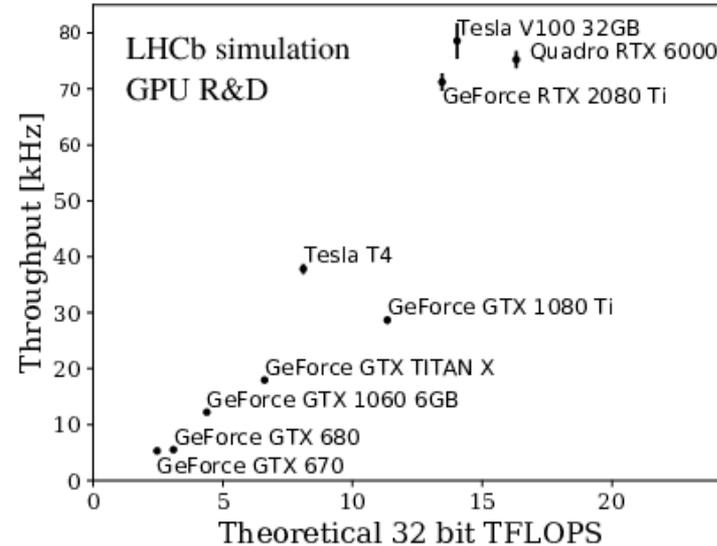
Velo on GPUs

- ++ 26 planes of silicon pixel detectors
- ++ Parallel algorithm for cluster finding using bitmasks
- ++ Pattern recognition finding seed triplets in parallel
- ++ Primary vertex finding using cluster finding in a histogram

GPU in LHCb Trigger



Comput.Softw.Big Sci. 4 (2020) 1



The demonstrated event throughput shows that the full HLT1 sequence can run on about 500 of either one of the RTX 2080 Ti, V100 or Quadro RTX 6000 Nvidia GPU cards.

19
5
36

LHCb / Allen

Project

- Allen
- Pinned
- Issues 177
- Merge requests 71
- Manage
- Plan
- Code
- Build
- Secure
- Deploy
- Operate

Allen

🔔
★ Unstar 38
🍴 Fork 27
⋮

🔗 master
Allen /
+

History
Find file
Edit
Code

Merge branch 'anmorris-master-patch-52690' into 'ma...

Miroslav Saur authored 6 days ago

⋮
✔
9ae53aef
🔄

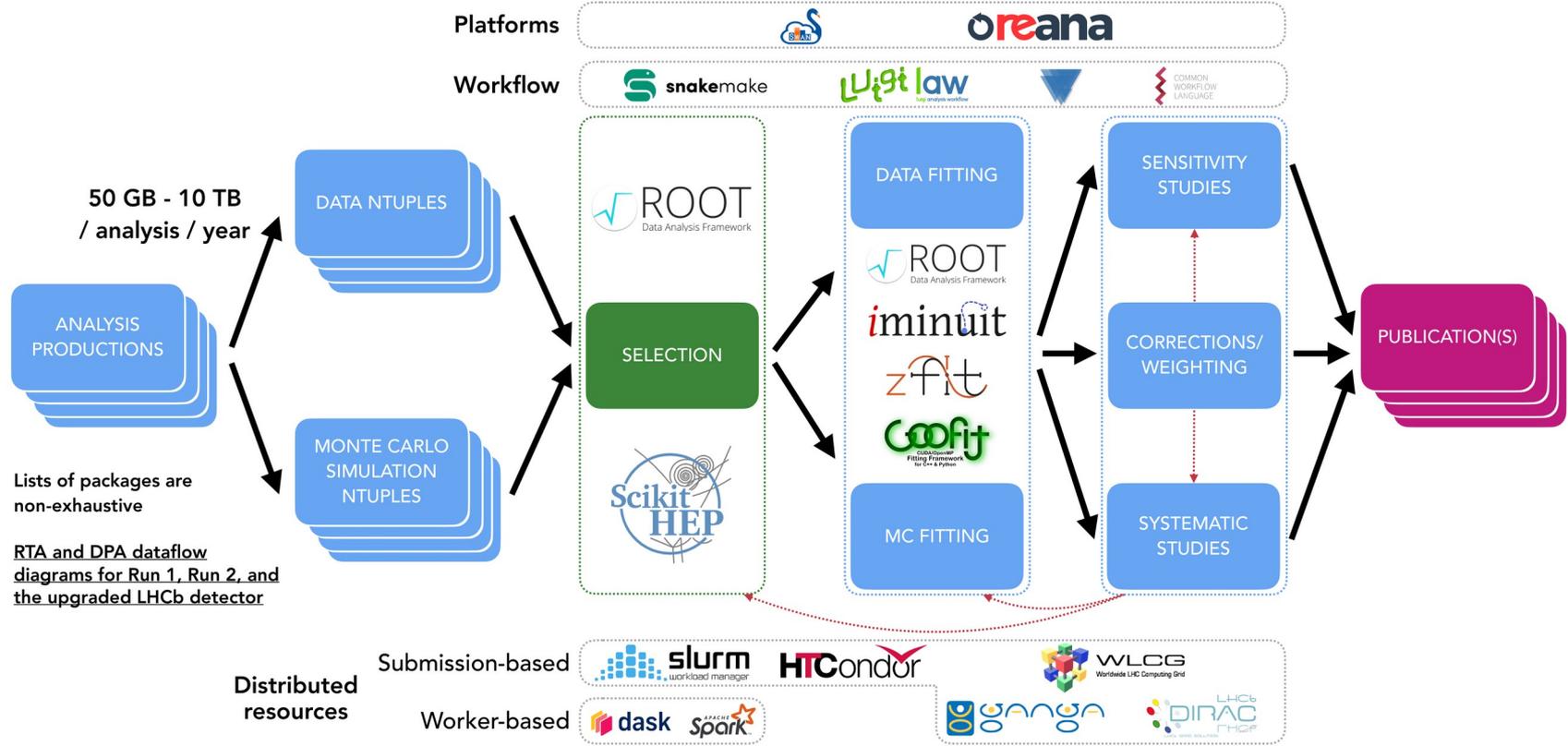
Name	Last commit	Last update
📁 .devcontainer	Removed local paths on devc...	1 year ago
📁 .gitlab/issue_templates	Update .gitlab/issue_templat...	2 years ago
📁 Dumpers	Merge remote-tracking branc...	3 weeks ago
📁 Rec/Allen	Merge remote-tracking branc...	3 weeks ago
📁 ReleaseNotes	Prepare Allen v4r12p2	1 month ago
📁 backend	Add per-sector UT hit dxDy i...	1 month ago
📁 checker	Add per-sector UT hit dxDy i...	1 month ago
📁 cmake	Fast run changes for HLT1	2 months ago
📁 configuration	Merge branch 'tmombach_di...	3 weeks ago

Project information

Full software HLT1 reconstruction sequence on GPU.

- 🔗 9,227 Commits
- 🔗 1,305 Branches
- 🏷️ 118 Tags
- 🚀 85 Releases
- 📄 README
- 📄 LICENSE
- 🔗 CI/CD configuration
- 📄 GitLab Pages

Created on
April 12, 2018



Oportunidades no CERN

Brasil no CERN



RENAFAE

REde NAcional de Física de Altas Energias
CBPF- Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Criada em 2008 por uma portaria do MCTI, tem a atribuição de coordenar a área de Física de Altas Energias e assessorar o ministério nesta área



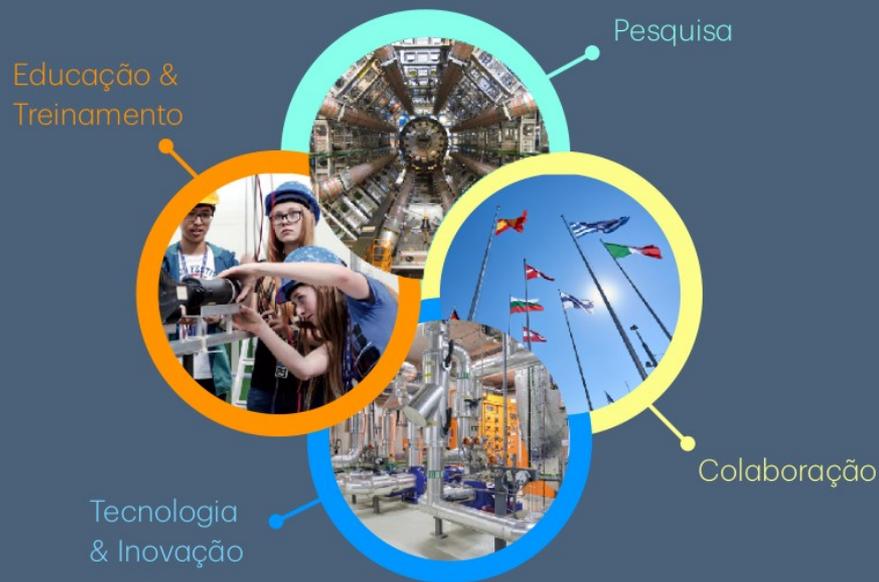
Instituto Nacional de Ciência e
Tecnologia CERN-Brasil

Criado em 2023 tem como principal objetivo dar apoio às atividades dos grupos brasileiros nos experimentos no LHC

Missão

Contribuir para colaboração científica construindo **aceleradores de partículas** e toda a **infraestrutura** necessária para seu desenvolvimento. O CERN não faz experimentos!

- Todos os resultados científicos devem ser públicos
- **Todos os experimentos devem ser feitos em colaboração e sem fins militares.**
- Os pesquisadores e técnicos devem prioritariamente pertencer a instituições de pesquisa nacionais
- **Proporcionar contatos e trocas entre cientistas e treinamentos para todos tipos de participantes**
- Atenção para aplicações das tecnologias desenvolvidas no laboratório



Participantes (2024)

Colaboração

Os pesquisadores e técnicos devem prioritariamente pertencer a instituições de pesquisa nacionais
O CERN é um condomínio com três tipos de atores

CERN -

Contratados: 1320 pesquisadores ou técnicos, 900 pós-docs, 1338 outras ocupações

Associados: 12.184 usuários,
1.516 outros

24 Estados Membros 7467

Alemanha 1296 - **Áustria** 86 - **Bélgica** 129 - **Bulgária** 46 - **Chéquia** 252 - **Dinamarca** 47 - **Eslováquia** 67 - **Estonia** 29 - **Espanha** 413 - **Finlândia** 88 - **França** 842 - **Grécia** 112 - **Holanda** 167 - **Hungria** 80 - **Israel** 74 - **Itália** 1609 - **Noruega** 77 - **Polônia** 322 - **Portugal** 105 - **Reino Unido** 950 - **Romênia** 113 - **Sérvia** 38 - **Suécia** 106 - **Suíça** 419

2 Estados associados em processo de adesão 40

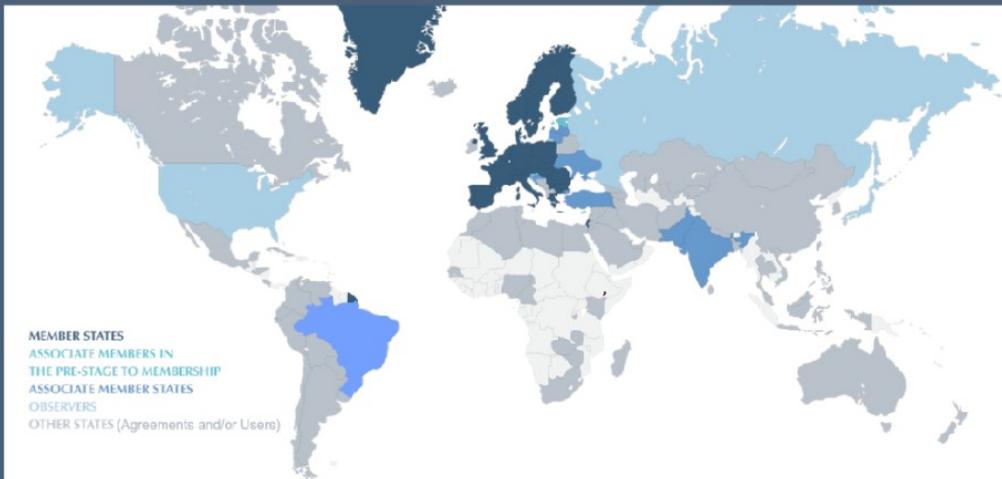
Chipre 14 - **Eslovênia** 26

8 Estados Membros Associados 541

Brasil 135 - **Croácia** 37 - **Índia** 145 - **Letônia** 21 - **Lituânia** 17 - **Paquistão** 30 - **Turquia** 129 - **Ucrânia** 27

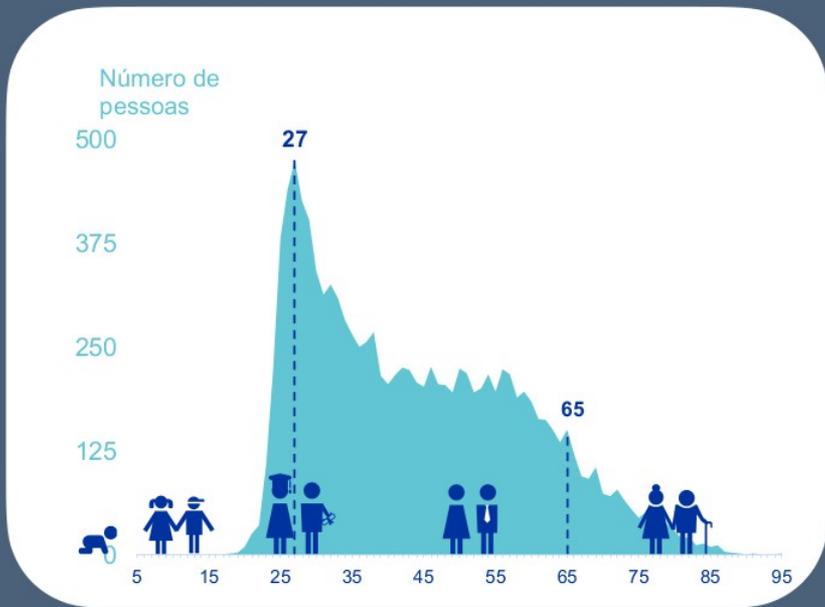
3 Estados Observadores 3005

Estados Unidos 2007 - **Japão** 219 - **Rússia** 779

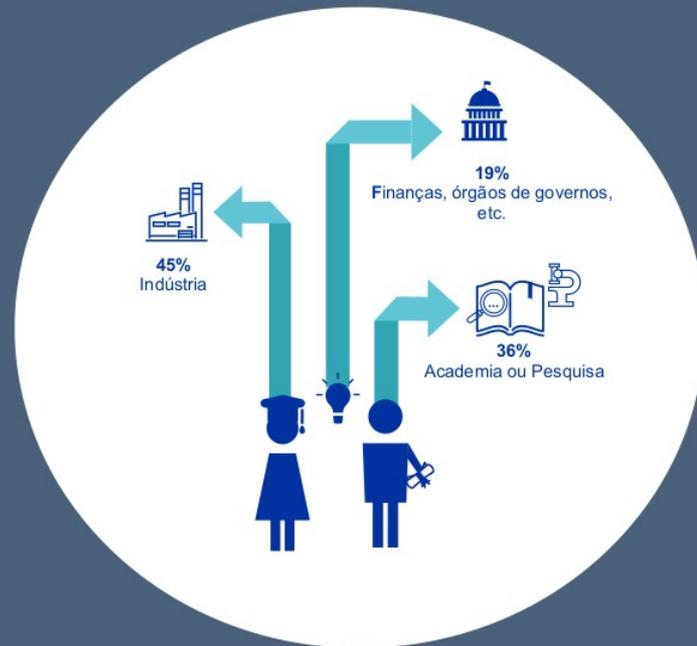


44 acordos de colaboração com Estados ou Territórios não membros 1131

África do Sul 52 - **Argélia** 2 - **Argentina** 13 - **Armênia** 8 - **Austrália** 21 - **Azerbaijão** 2 - **Bahrein** 4 - **Canadá** 199 - **Chile** 34 - **Colômbia** 21 - **Costa Rica** 2 - **Cuba** 3 - **Emirados Árabes Unidos** 7 - **Equador** 4 - **Egito** 20 - **Filipinas** 1 - **Georgia** 32 - **Hong Kong** 15 - **Islândia** 3 - **Indonésia** 5 - **Irã** 11 - **Irlanda** 5 - **Jordânia** 5 - **Kuwait** 4 - **Libano** 13 - **Madagascar** 1 - **Malásia** 4 - **Malta** 1 - **Marrocos** 19 - **México** 49 - **Montenegro** 4 - **Nigéria** 1 - **Nova Zelândia** 5 - **Omã** 1 - **Palestina** 1 - **Peru** 2 - **Republica da Coreia** 147 - **República Popular da China** 333 - **Singapura** 2 - **Sri Lanka** 10 - **Tailândia** 17 - **Taiwan** 45 - **Tunísia** 2 - **Vietnã** 1



Distribuição etária de cientistas trabalhando no CERN



PhD e estudantes técnicos que deixam o CERN

<https://careers.smartrecruiters.com/CERN/students>

Diversas oportunidades e muitas dedicadas a candidatos de nacionalidade de países associados

DOCTORAL STUDENT PROGRAMME

Exemplo:

This programme is now open for applications until 4th November 2024.

This is a chance to work on your thesis while spending up to 36 months at the forefront of science. Whether you've already chosen a subject or are still making your decision, if your specialism is Applied Physics, Engineering or Computing, this is an invitation to further your knowledge in a truly unique organization. In fact, it's an invitation to get involved in world-famous experiments of unprecedented scale and scope. An invitation to join an environment like nowhere else on Earth.

Specific programmes are in place for candidates studying in Germany, Austria, Czech Republic, and Norway. Click [here](#) to find out more.

Qualifications

In order to qualify for a place on the programme you will need to meet the following requirements:

- You are a national of a [CERN Member or Associate Member State](#).
- You have started or are about to start a doctoral programme in a university.
- Your work envisaged at CERN is all or part of the thesis work

<https://careers.cern/alljobs>

Diversas oportunidades e muitas dedicadas a candidatos de nacionalidade de países associados

Find all our current openings here:

Job Title	Location
Chemistry Technician (TE-VSC-SCC-2024-168-GRAE)	Geneva, Switzerland
Technician for Plastic Materials R&D (TE-MS-C-SMT-2024-160-GRAE)	Geneva, Switzerland
CAD Designer - Superconducting Magnets (TE-MS-C-SMT-2024-164-GRAE)	Geneva, Switzerland
Group Administrative Officer (EP-AGS-SE-2024-151-LD)	Geneva, Switzerland
HVAC Project Engineer (SCE-SAM-IN-2024-168-GRAP)	Geneva, Switzerland
LHC Engineer in Charge (BE-OP-LHC-2024-150-LD)	Geneva, Switzerland
Applied Physicist (TE-VSC-VSM-2024-167-GRAP)	Geneva, Switzerland
Software Engineer (TE-MPE-CB-2024-166-GRAP)	Geneva, Switzerland
Electronic/Electrical Engineer (TE-MS-C-TM-2024-165-GRAP)	Geneva, Switzerland

<https://careers.cern/alljobs>

Diversas oportunidades e muitas dedicadas a candidatos de nacionalidade de países associados

Exemplo:



Software Engineer (TE-MPE-CB-2024-166-GRAP)

Geneva, Switzerland

Full-time

Eligibility criteria:

- You are a national of a [CERN Member or Associate Member State](#).
- You have a professional background in Computer Science or Software Engineering (or a related field) and have either:
 - a **Master's degree with 2 to 6 years** of post-graduation professional experience;
 - or a **PhD with no more than 3 years** of post-graduation professional experience.
- You have never had a CERN fellow or graduate contract before.

Concluindo ...

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics 2024 to

JOHN J. HOPFIELD

Born 1933 in Chicago, IL, USA. PhD 1958 from Cornell University, Ithaca, NY, USA. Professor at Princeton University, NJ, USA.

GEOFFREY E. HINTON

Born 1947 in London, UK. PhD 1978 from The University of Edinburgh, UK. Professor at University of Toronto, Canada.



“for foundational discoveries and inventions that enable machine learning with artificial neural networks”

<https://www.nobelprize.org/uploads/2024/10/popular-physicsprize2024-2.pdf>



<http://lape.if.ufrj.br>

facebook/instagram/youtube: @lapeufrj

MUITO OBRIGADO!