

A experiência de projetos Open Hardware no SIRIUS - O acelerador de partículas brasileiro

Daniel de Oliveira Tavares

Fernando Henrique Cardoso

Divisão de Aquisição e Processamento de Dados
LNLS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
CNPEM – Centro de Pesquisa em Energia e Materiais



Open Hardware Day



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



Resumo



- *A instituição CNPEM*
- *Aceleradores de partícula pelo mundo*
- *Como funciona uma fonte de luz síncrotron?*
- *O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos*
- *Projetos Open Hardware*
- *Conclusão*

A instituição CNPEM (Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais)



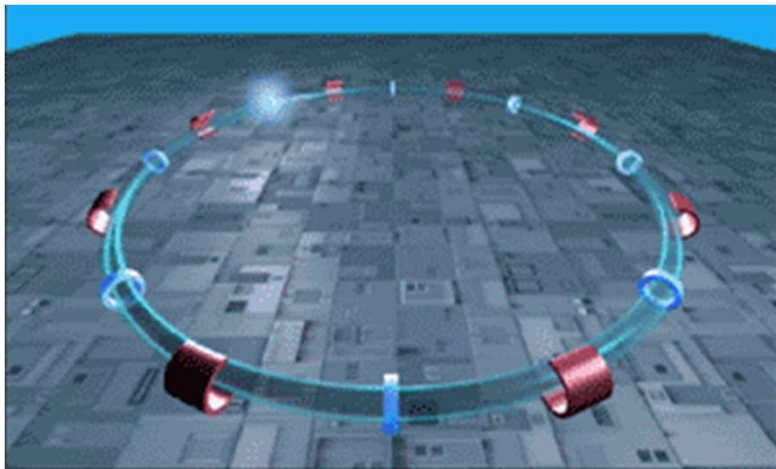
Campinas - SP



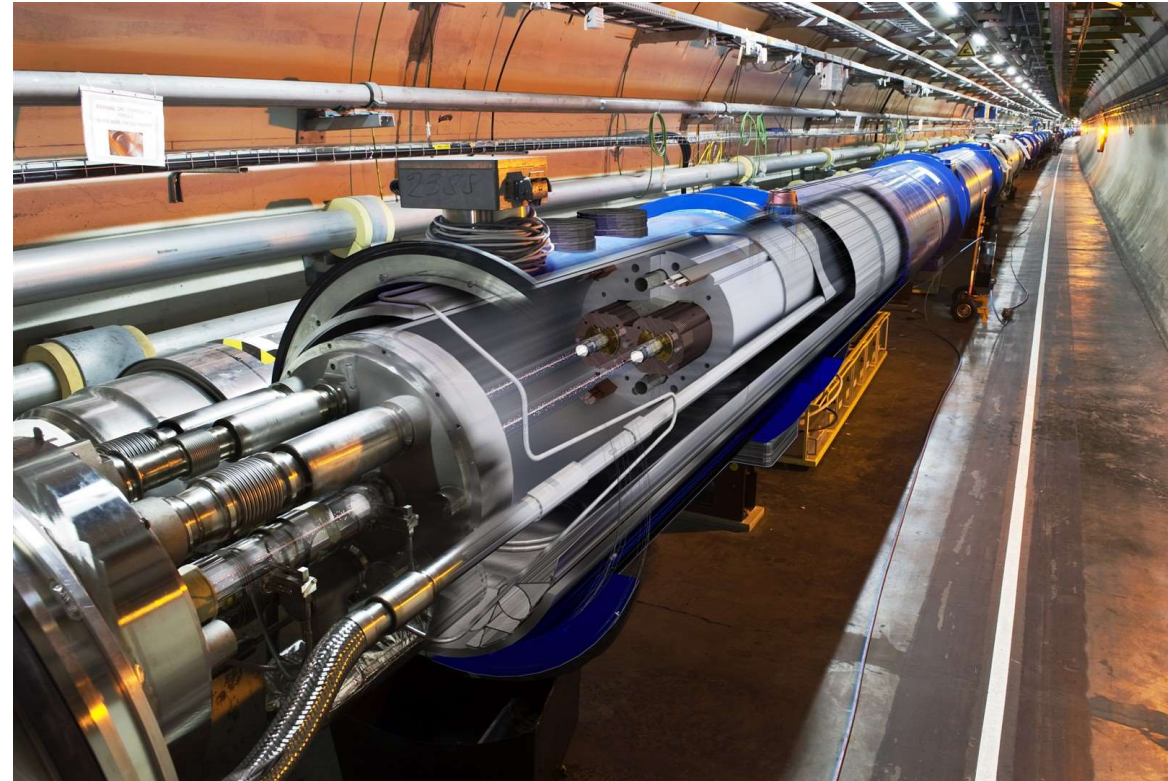
270+ funcionários,
80 estudantes e
estagiários



O que é um acelerador de partículas?

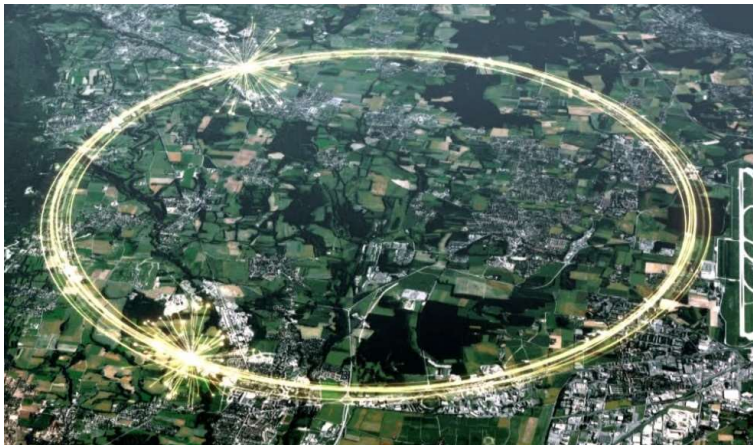


“... Um acelerador de partículas é uma máquina que usa campos eletromagnéticos para impulsionar partículas carregadas até quase a velocidade da luz e para contê-las em feixes bem definidos...”



LARGE HADRON COLLIDER – CERN

Colisor Vs. Fonte de luz

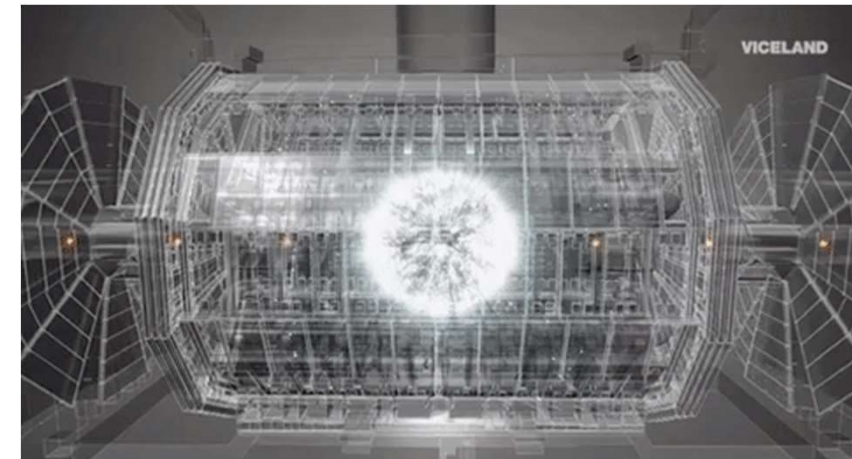


LHC – CERN – 27 km circunferência

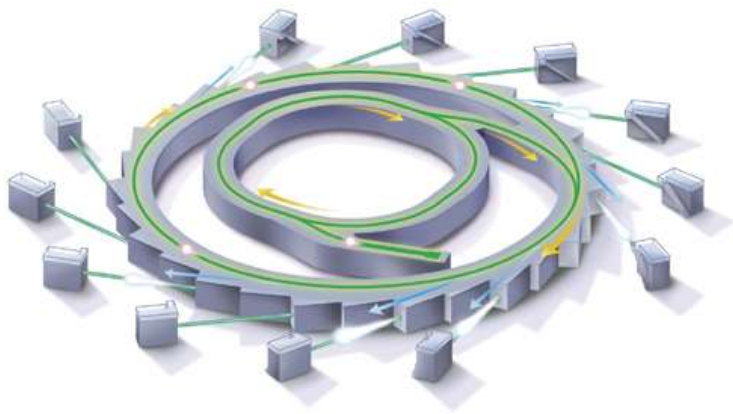
Colisor

Colisão de Partículas para desvendar leis físicas das partículas fundamentais (Física de Altas Energias)

A geração de radiação é um efeito parasita



Detectores de partículas - Atlas



Fonte de luz síncrotron– 100 m – 1.5 km circunferência

Fonte de luz

Armazenamento de partículas para geração de radiação eletromagnética, em especial, raios X, para estudo dos mais diversos materiais

A colisão de partículas é um efeito espúrio



Estações experimentais

Fontes de luz síncrotron no mundo



NSLS-2 (USA)



ESRF (FR)



MAX-4 (SE)



SSRF (CH)

Primeira no hemisfério sul

Ainda única na América Latina

Mais de 85% fabricada no Brasil

UVX (BR)



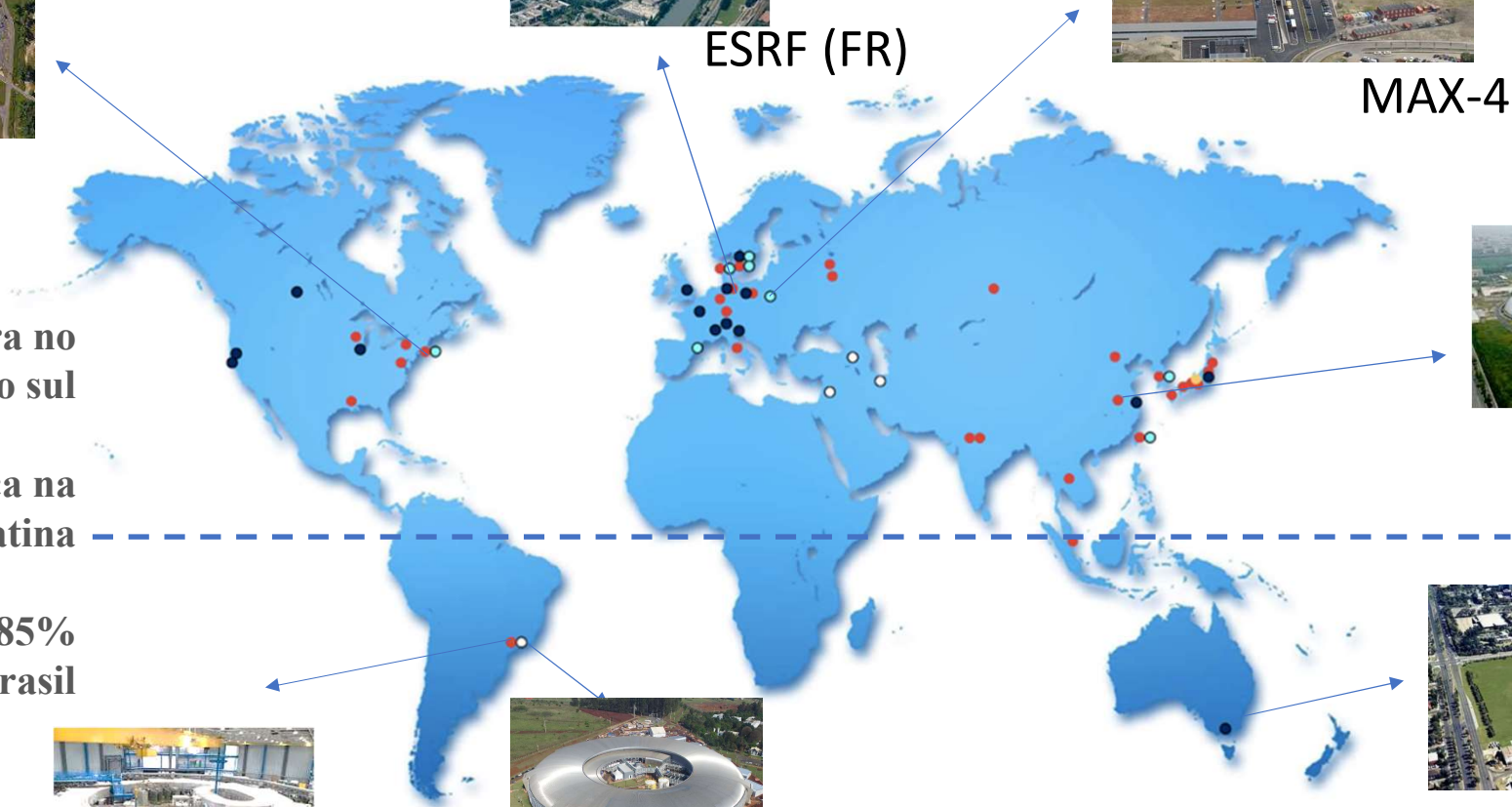
1997



Sirius (BR) 2018



AS (AU) 2007



Fontes de luz síncrotron no mundo (algumas das)



SPRING-8 - Japão
Início das operações: 2000
Energia: 8 GeV



DIAMOND - Inglaterra
Início das operações: 2007
Energia: 3 GeV



SOLEIL - França
Início das operações: 2007
Energia: 2.75 GeV



PETRA-III - Alemanha
Início das operações: 2009
Energia: 6 GeV



SSRF - China
Início das operações: 2009
Energia: 3.5 GeV



ALBA - Espanha
Início das operações: 2012
Energia: 3 GeV



NSLS-II - Estados Unidos
Início das operações: 2014
Energia: 3 GeV



MAX-VI - Suécia
Início das operações: 2017
Energia: 3 GeV

Fontes de luz síncrotron no mundo



Energia: 1.37 GeV

Circunferência: 93 m

Início da construção: **1987**

Inauguração: **1997**

Encerramento: **2018**

Custo: **70 M US\$** (1987-1997)

13 estações de pesquisa

85% de desenv. **NACIONAL**



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

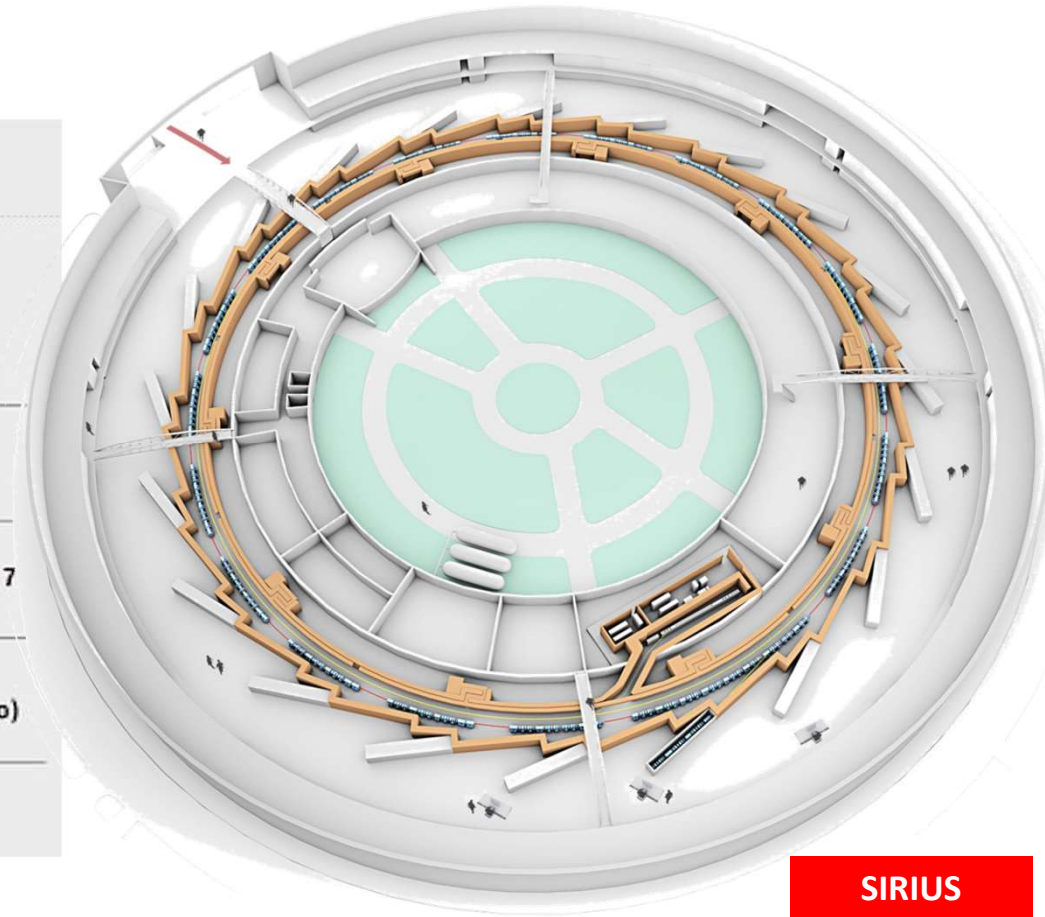
UVX vs. Sirius



UVX

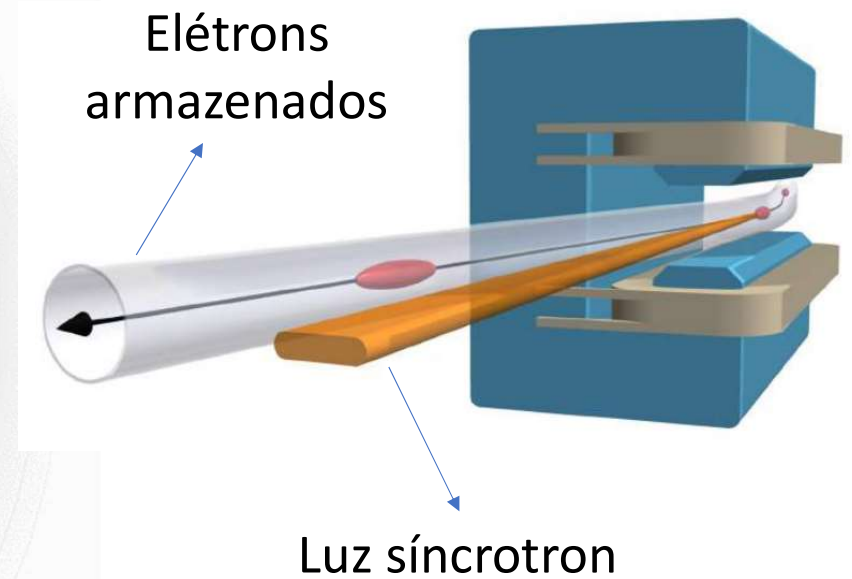
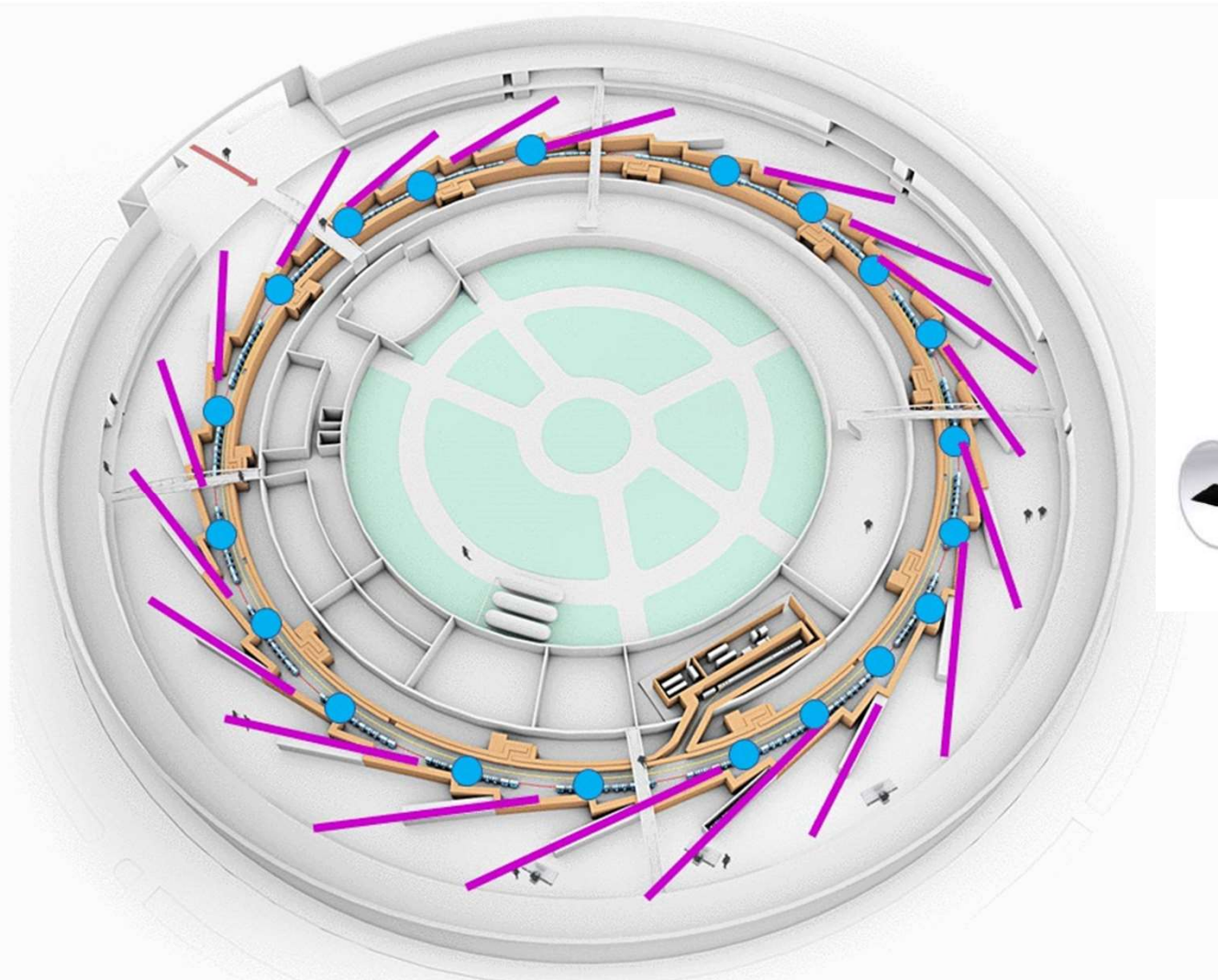
COMPARAÇÃO ENTRE AS MÁQUINAS

	UVX (FONTE ATUAL)	SIRIUS
Comprimento do anel	100 m	518 m
Energia de operação dos elétrons:	1,37 GeV	3 GeV
Número de magnetos (ímãs)	460	7
Limite de energia dos fótons	30 KeV (raio X mole)	250 KeV (raio X duro)
Linhas de luz	18	40*



SIRIUS

Como funciona uma fonte de luz síncrotron?



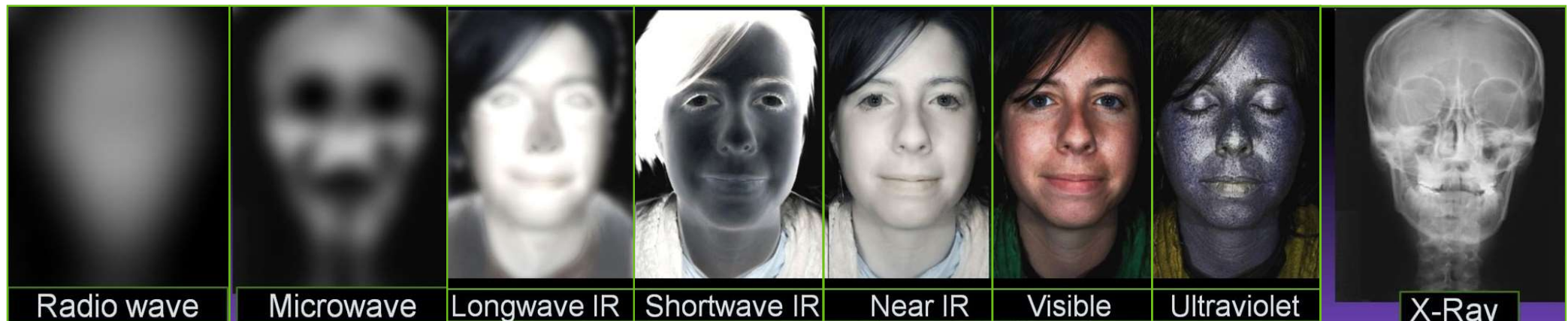


**Mas afinal, para que
serve a luz produzida
por um acelerador
síncrotron?**

Para que serve um síncrotron?

Fotos obtidas através de diferentes câmeras, sensíveis a diferentes “tipos de luz” (ou comprimentos de onda)

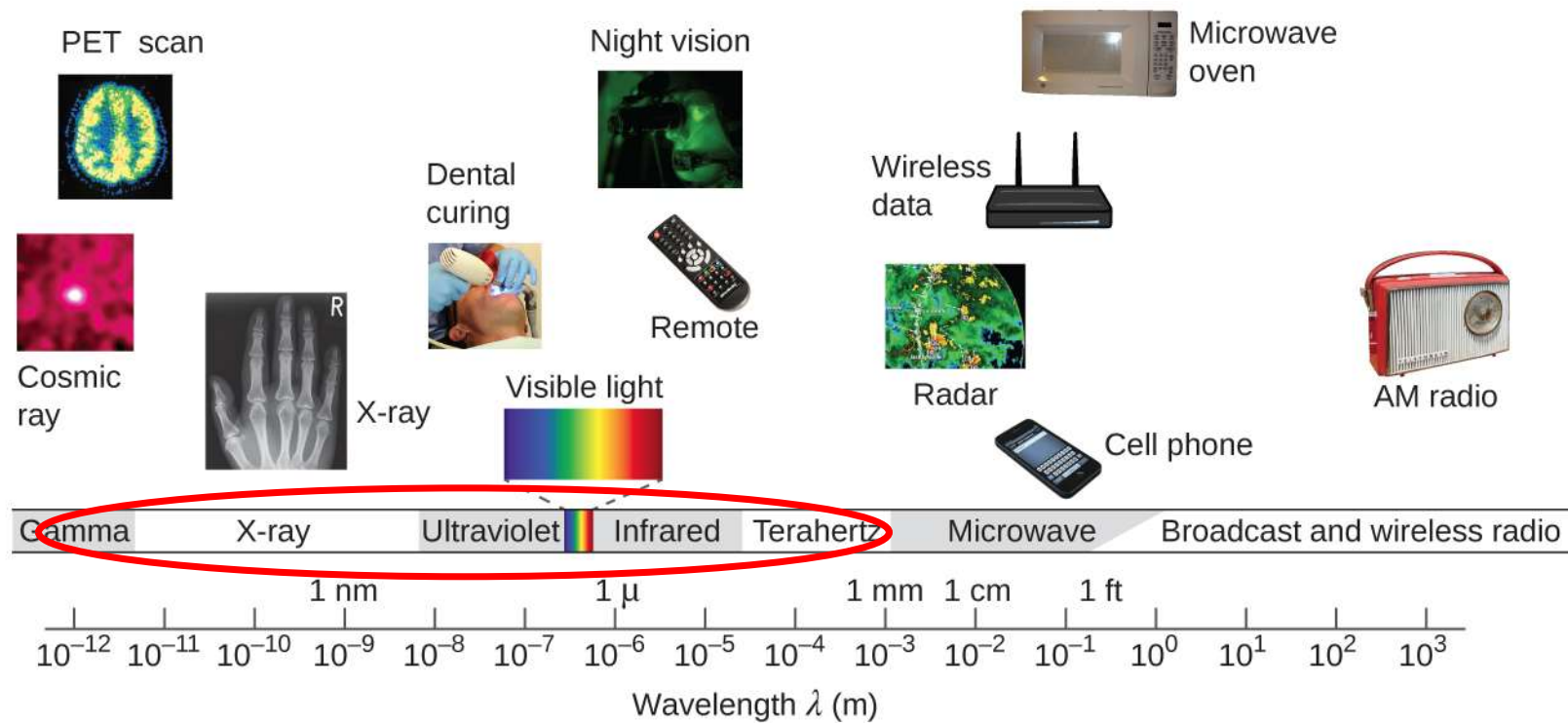
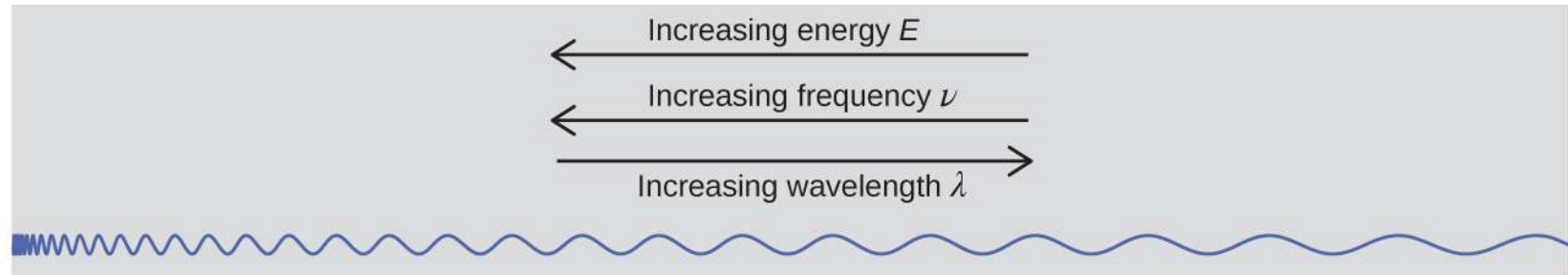
<http://www.chemistryland.com/CHM107/Final/FinalWritten.html>



Energia aumenta. Comprimento de onda diminui.

Para que serve um síncrotron?

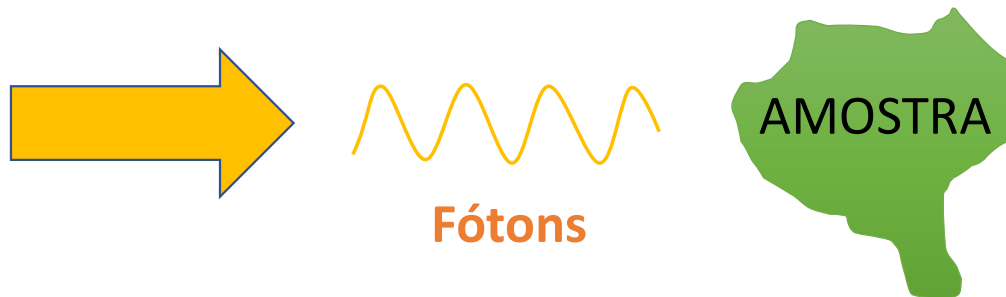
Qual o comprimento de onda?



Para que serve um síncrotron?



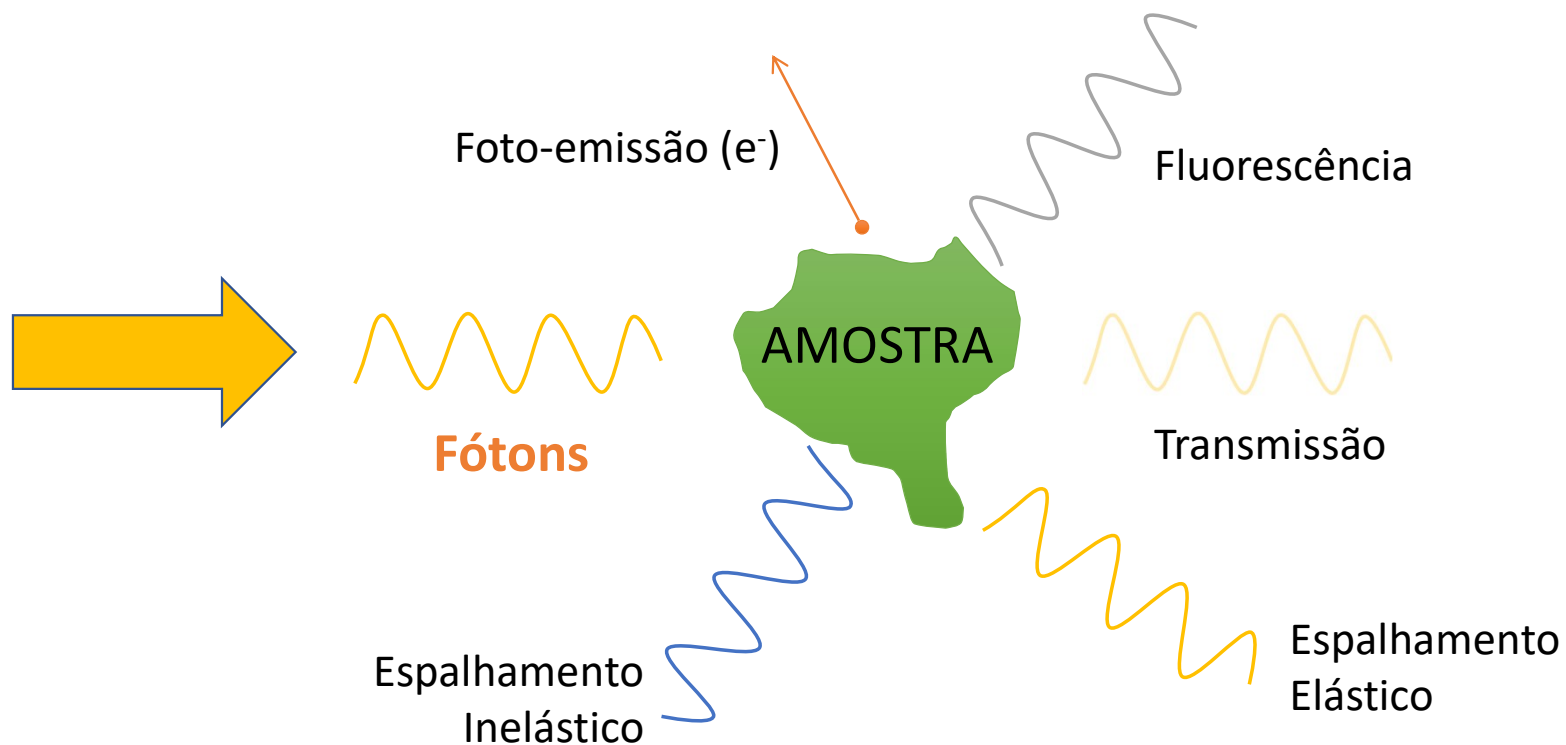
Radiação eletromagnética: uma ferramenta para investigar a estrutura da matéria



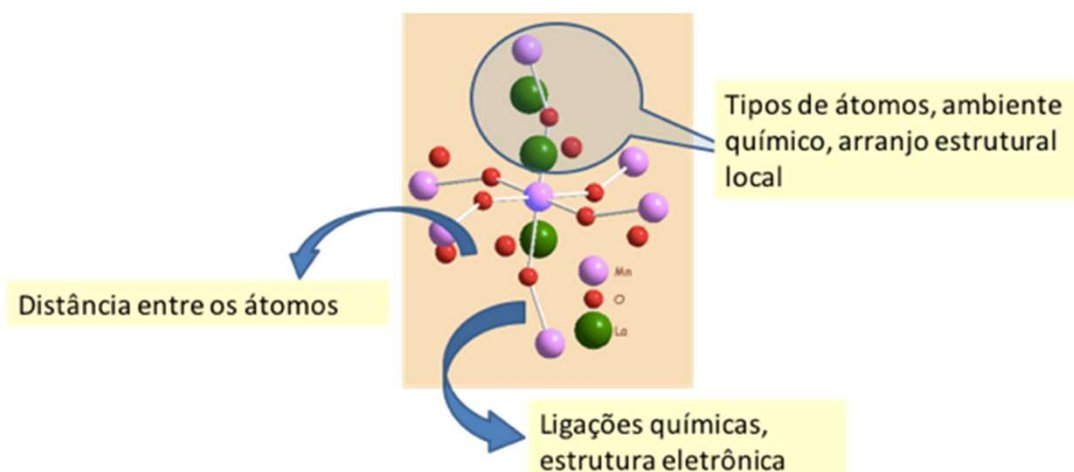
Para que serve um síncrotron?



Radiação eletromagnética: uma ferramenta para investigar a estrutura da matéria

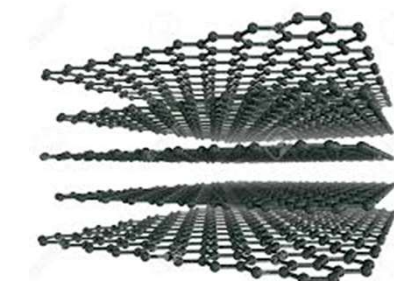
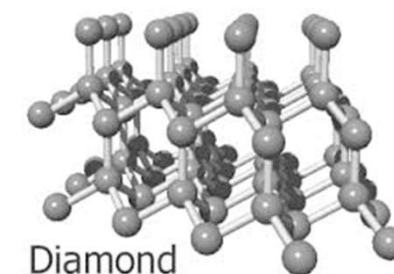


Para que serve um síncrotron?



Precisamos obter informações sobre os materiais na escala atômica ... Ferramentas especiais são necessárias!

Diamante x Grafite: somente átomos de Carbono!



Quais átomos e como se distribuem no espaço determinam as propriedades dos materiais ⇒ Estrutura Atômica

Resumo



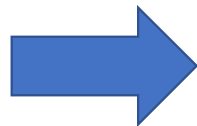
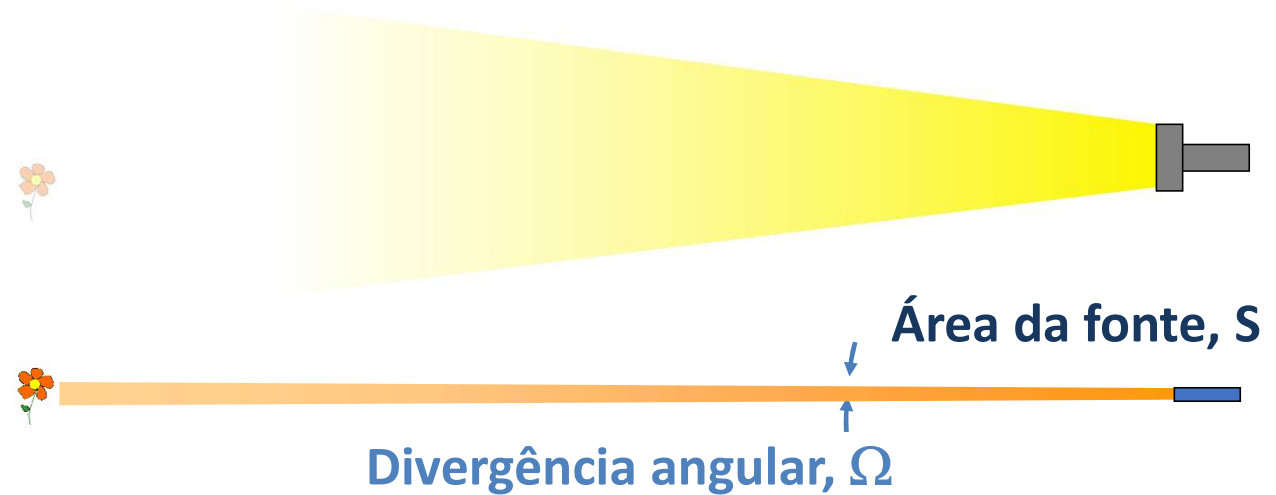
- *A instituição CNPEM*
- *Aceleradores de partícula pelo mundo*
- *Como funciona uma fonte de luz síncrotron?*
- ***O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos***
- *Projetos Open Hardware*
- *Conclusão*

Uma “boa” fonte de luz – Alto brilho



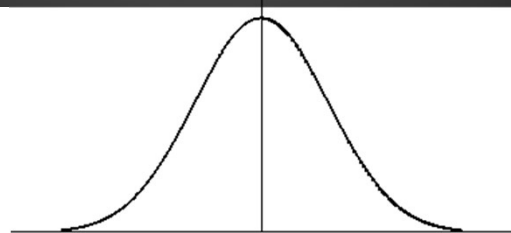
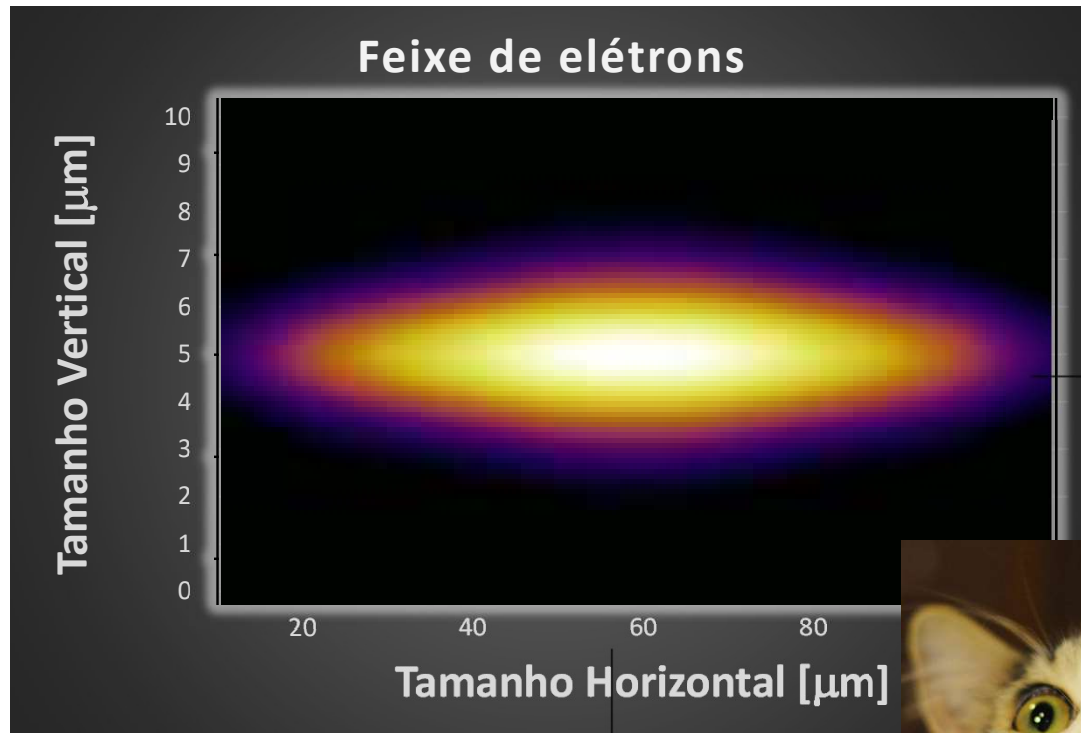
1. Intensa, alta taxa (fótons/s)
2. Fonte pequena e colimada
3. Alta estabilidade

$$\text{Brilho} = \frac{\text{Taxa}}{S \times \Omega}$$

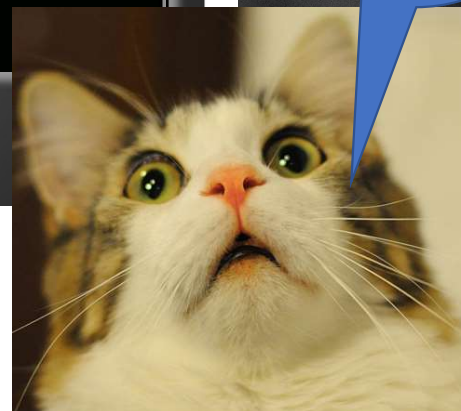


O SIRIUS produz uma luz bilhões de vezes mais brilhante do que a luz do Sol

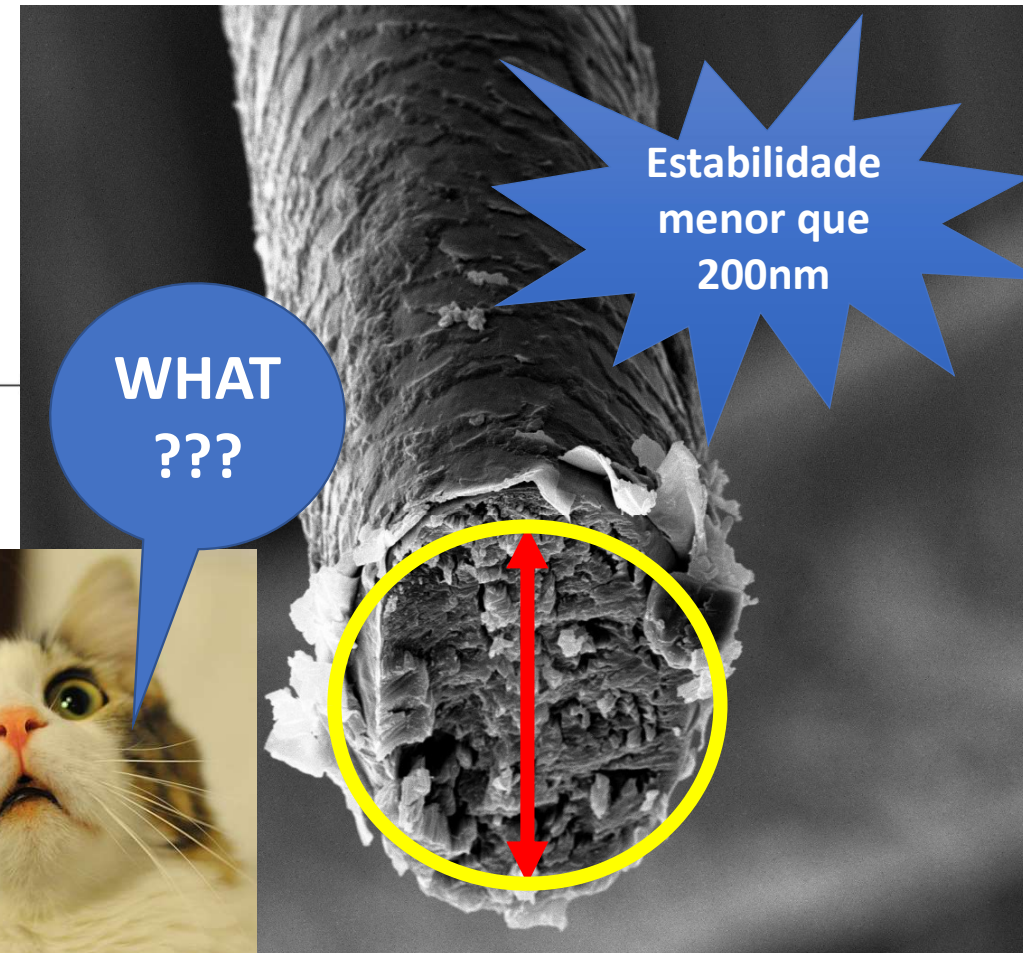
O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos



$\sigma = 30 \mu\text{m}$



WHAT
???



O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos



30/11/2016

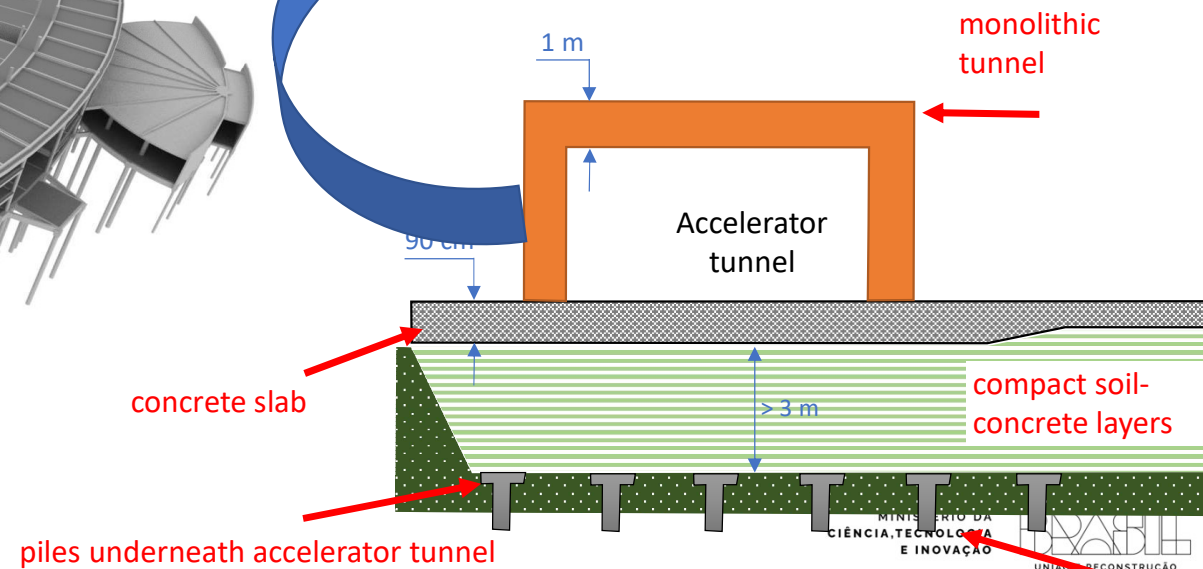
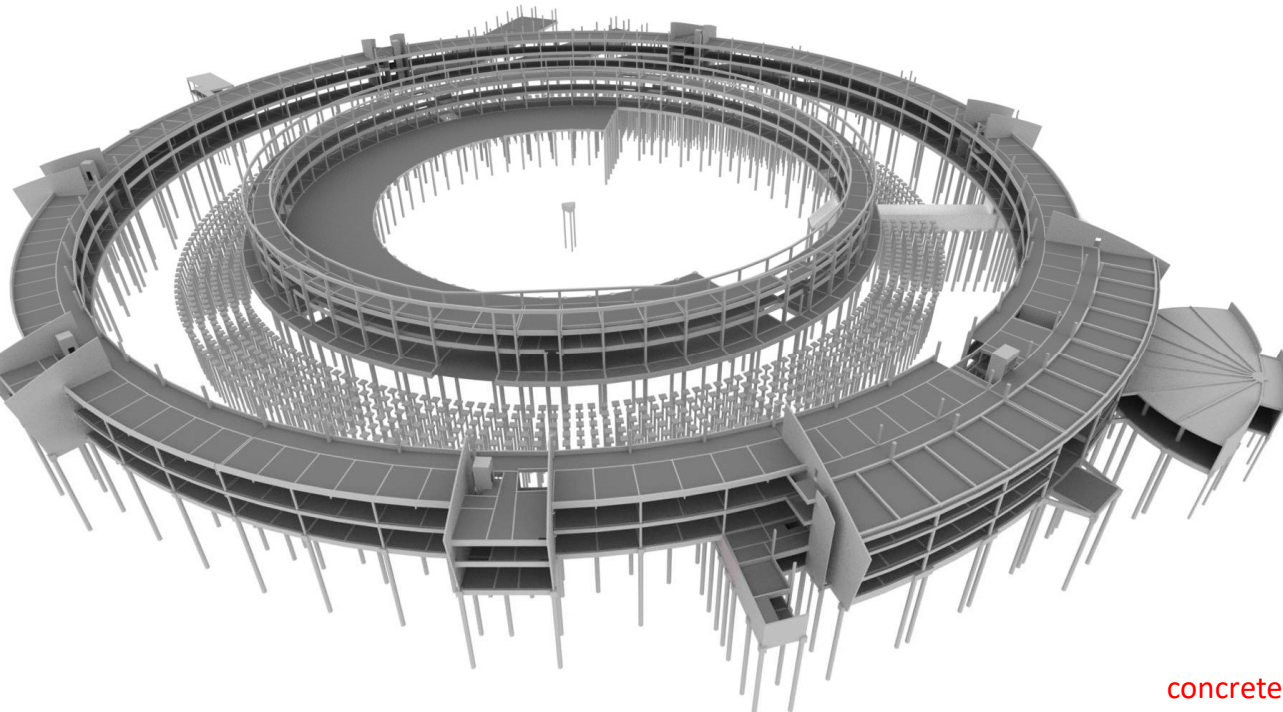


Croncretagem dos pilares de estabilidade do piso dos aceleradores do Sirius

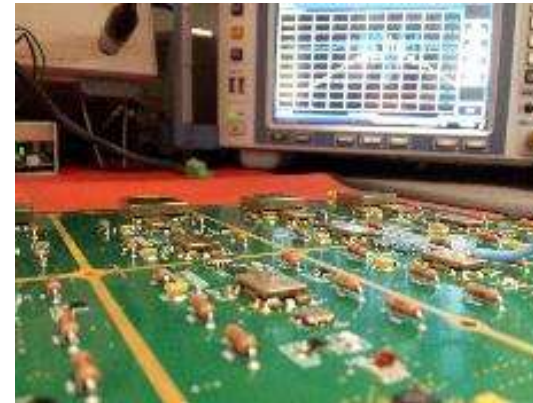
O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos



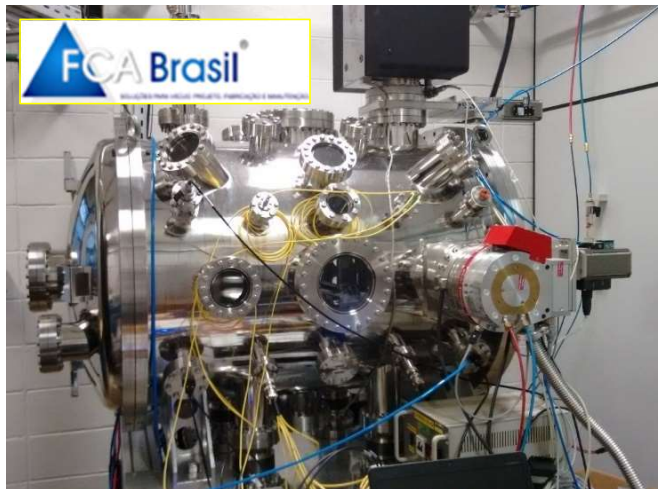
Pilares com 10 ~ 15 m de profundidade
1300 pilares p/ trecho de alta estabilidade



O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos



Empresas nacionais desenvolvendo tecnologia de ponta!



Para que serve um síncrotron?



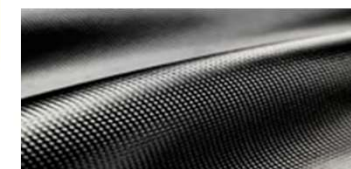
Saúde



Agricultura



Recursos naturais



Energia e novos materiais

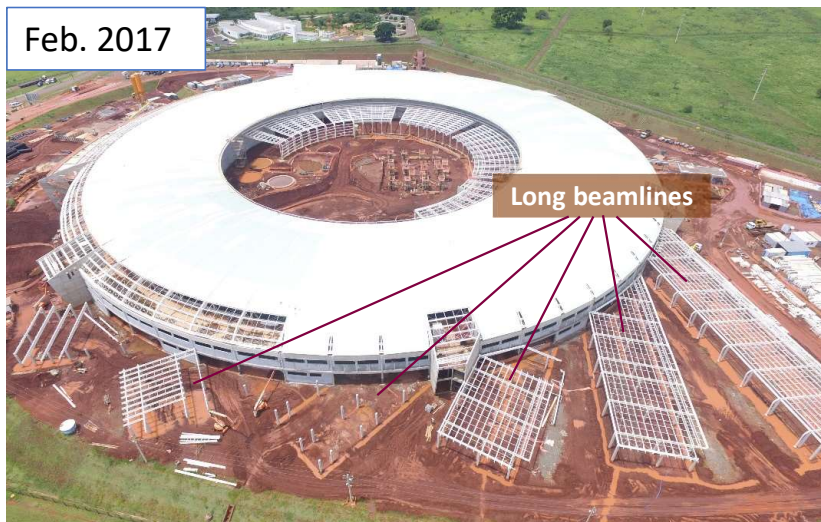


Meio ambiente



Grandes instalações científicas são indutores de inovação tecnológica

Status



Projeto Orion



Projeto conceitual do Orion - infraestrutura irá se beneficiar da conexão com três linhas de luz do Sirius

MENU | g1

CAMPINAS E REGIÃO EPTV

Q BUSCAR

Brasil e Alemanha assinam acordo para laboratório de R\$ 1 bilhão que ajudará em futuras pandemias

Batizado de Orion, laboratório de biossegurança máxima (NB4) será 'único no mundo', uma vez que será integrado ao Sirius, acelerador de partículas no CNPEM, em Campinas (SP).

Por **Fernando Evans**, g1 Campinas e Região
04/12/2023 16h58 · Atualizado há 5 meses



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Um laboratório de biossegurança máxima (NB4) oferece condições ao país de monitorar, isolar e pesquisar os agentes biológicos para **desenvolver métodos de diagnóstico, vacinas e tratamentos.**

Resumo

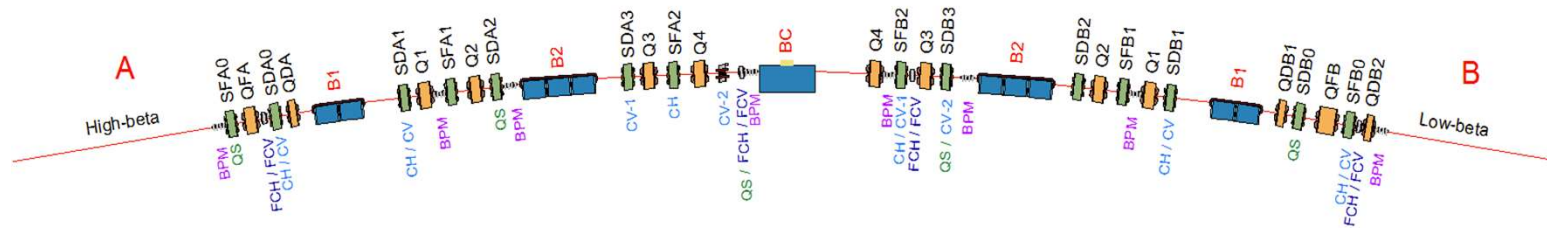


- *A instituição CNPEM*
- *Aceleradores de partícula pelo mundo*
- *Como funciona uma fonte de luz síncrotron?*
- *O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos*
- ***Projetos Open Hardware***
- *Conclusão*

Rede magnética do SIRIUS



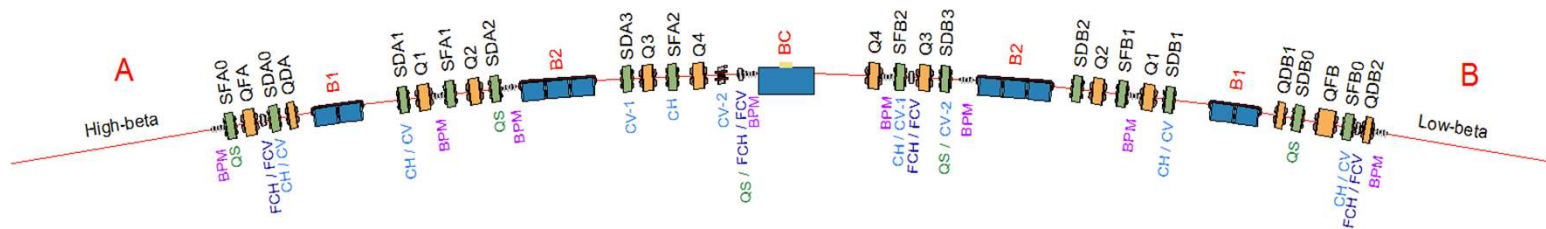
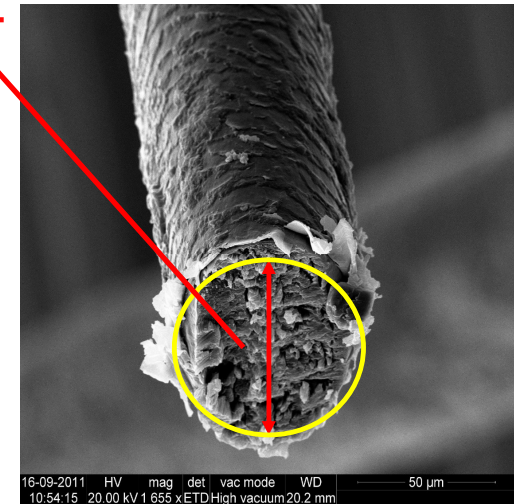
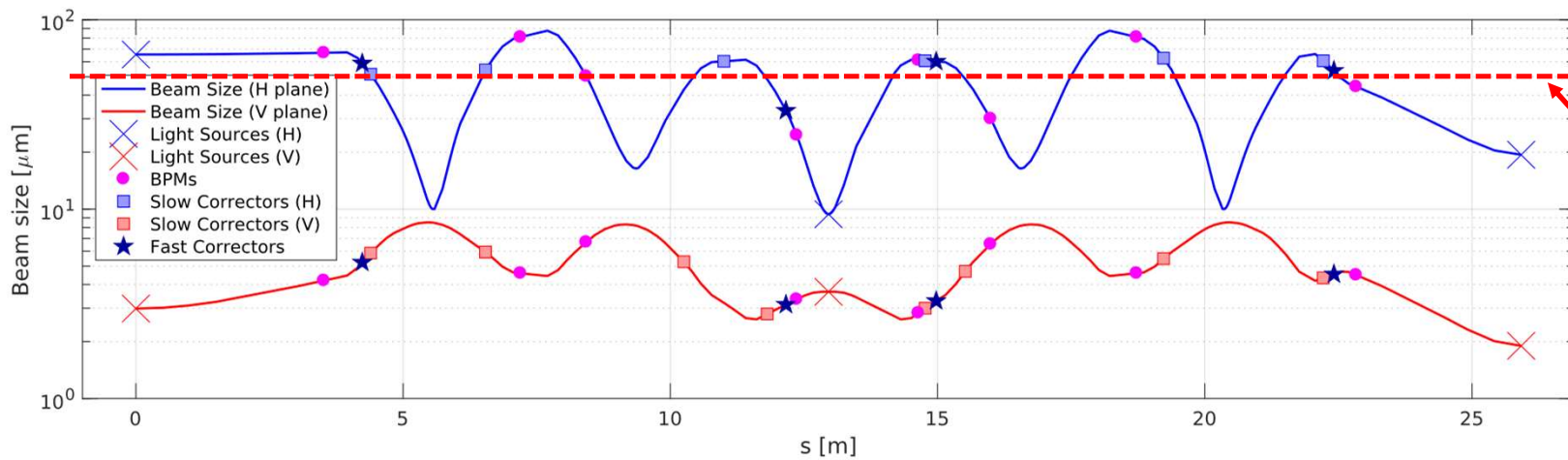
1/20 do Anel de Armazenamento do SIRIUS



Estabilidade de feixe no SIRIUS

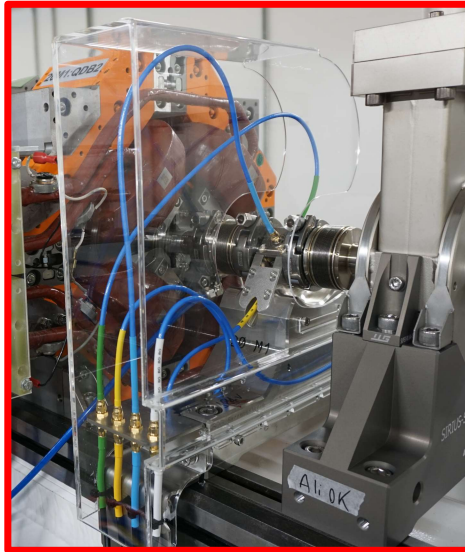
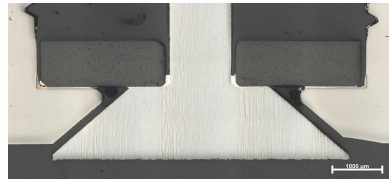
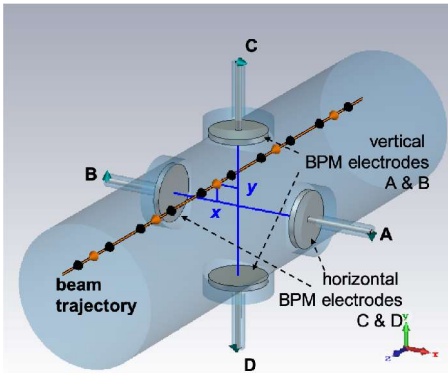


Requisito de estabilidade mais demandante (5% tamanho do feixe) : $140 \text{ nm}_{\text{RMS}}$

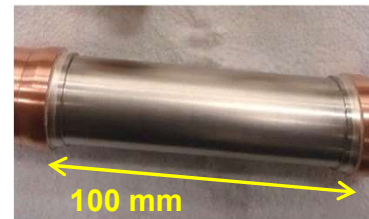
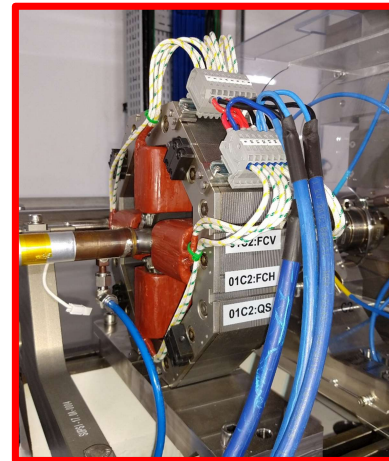


Medida e estabilização de posição de feixe

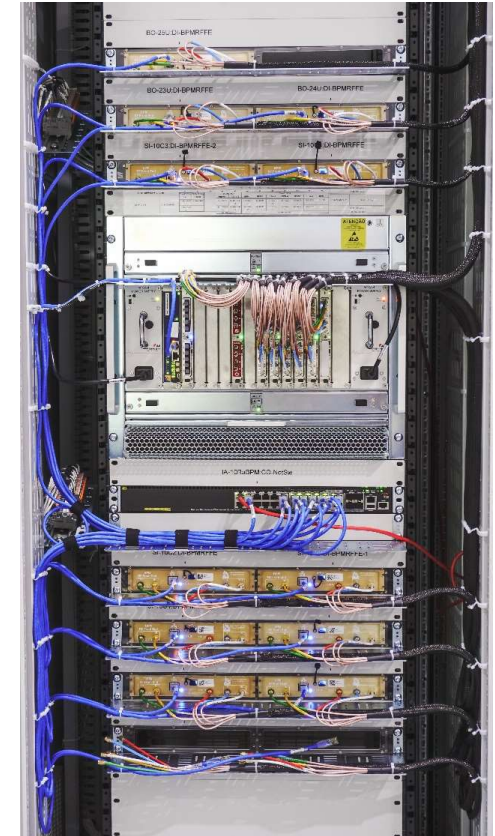
Sensor: Beam Position Monitor (BPM)



Atuador: Bobinas corretoras (dipolos)



Eletrônica: MicroTCA.4, FMC, Eletrônica Analógica (RF)



Projetos Open Hardware



- AMC FMC Carrier
- Generic FPGA board
- www.ohwr.org/projects/afc

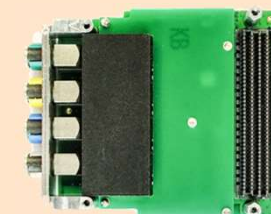
- Sirius BPM RF Front-end
- 4-ch BPM analog front-end
- github.com/lnls-dig/rffe-hw

- Sirius BPM RFFE microcontroller
- Mbed clone, noise-optimized
- github.com/lnls-dig/rffe-uc-hw



NOT OPEN DESIGNS

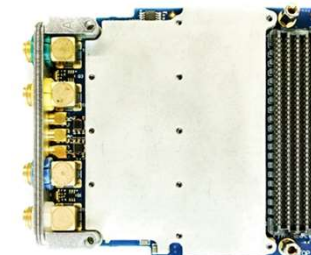
FMC-Pico-1M4
4-channel fast picoammeter
By CAENels



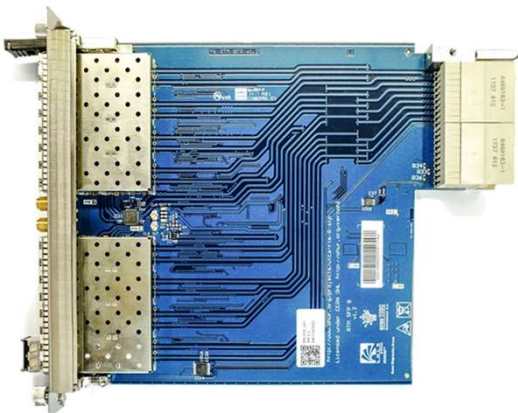
- SFP RTM
- 8-ch SFP cages for optical I/O
- github.com/lnls-dig/utca-rtm-8-sfp-hw

- Linear Amplifier RTM
- 12-ch linear power amplifier
- github.com/lnls-dig/rtm-lamp-hw

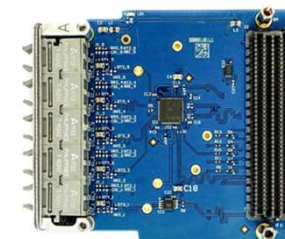
- FMC ADC 250 MS/s
- 16-bit 4-ch fast ADCs
- github.com/lnls-dig/fmc250-hw



FMC-S14
4 SFP cage for optical I/O
By Faster Technology



- FMC 5POF
- 5-channel plastic optical fiber I/O
- github.com/lnls-dig/fmc-5POF-hw

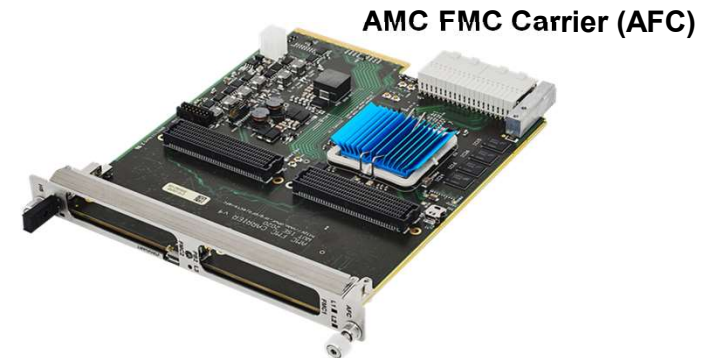


Casos de sucesso



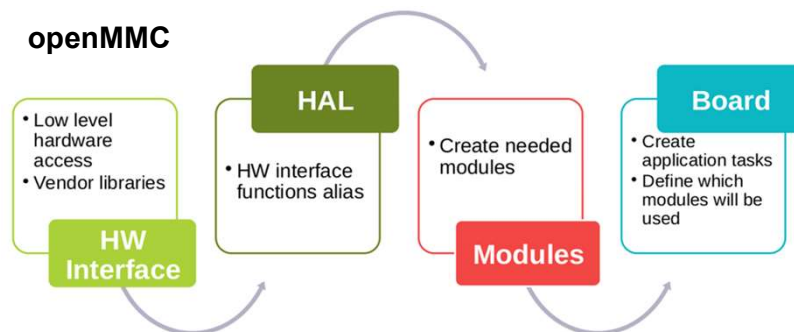
- **AMC FMC Carrier (AFC) – a cheap and versatile open hardware MicroTCA.4 FPGA board**

- Based on “cheap” FPGA device (< 200 USD): Xilinx Artix-7 200T
- Used in 4 different applications at Sirius by selecting different I/O cards (FMC modules) and accompanying gateway
- From v1 to v3.1 in partnership with Creotech (Poland) / Technosystem (Poland) jumped in 2021 to iterate to v4 and on
- Potential users in GSI (Germany), CERN (Europe), FRIB (USA),
- Design available at: <https://www.ohwr.org/project/afc>
- Licensed under CERN Open Hardware License (CERN OHL)



- **openMMC – MicroTCA.4 Module Management Controller (IPMI-compliant)**

- Built on top of FreeRTOS
- Adopted by LNLs (Brazil), CERN (Europe), GSI (Germany), Diamond Light Source (UK), Creotech (Poland), Lemote (China), Digitek Engineerin (Pakistan)
- Code contribution from a variety of partners (e.g.: port to STM32 from CERN & DLS)
- Code available at: <https://github.com/lnls-dig/openMMC>
- Licensed under GPL v3



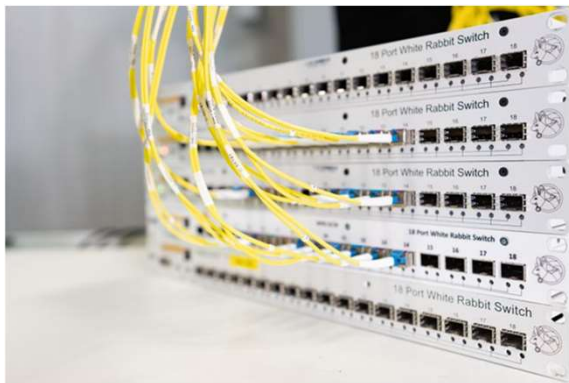
Inspiração



The White Rabbit Project



- White Rabbit é uma rede determinística baseada em Ethernet para transferência de dados de uso geral e transferência de um base de tempo com precisão de subnanossegundos.
- Idealizadores da licença [CERN Open Hardware License](#) e do repositório [Open Hardware Repository](#)



White Rabbit, a CERN-born technology, sets a new global standard

<https://home.cern/news/news/knowledge-sharing/white-rabbit-cern-born-technology-sets-new-global-standard>



26 JUNE, 2020 | By Marzena Lapka

CERN developed WR as an open-source hardware and it was initially adopted by other research infrastructures with similar challenges in highly accurate synchronisation of distributed electronic devices. The R&D process and all the knowledge gained throughout its development have been made available [through CERN's Open Hardware Repository](#). This gives other organisations and companies the freedom to use and modify existing developments. Through the proactive engagement of CERN's [Knowledge Transfer](#) and [Beam Controls](#) groups, a larger group of companies and organisations contributed to the development of hardware, software, and gateway for WR switches and nodes. The WR ecosystem quickly grew to include several organisations, developing open hardware for widespread benefit. This collaborative approach brought improvements to the original concept, allowing CERN to also benefit from the new developments.

Por que Open Hardware?



1. Maior impacto do nosso trabalho na comunidade de aceleradores (e sociedade em geral)
2. “Imitar” o sucesso do paradigma de software livre (“four freedoms”) em hardware
3. Perseguir os objetivos da Ciência Aberta, com compartilhamento de conhecimento científico e tecnológico entre instituições
4. Um novo modelo de inovação tecnológica

Lições aprendidas



- Entre instituições de pesquisa a base de usuários é muito reduzida, o que dificulta a adoção de projetos Open Hardware em larga escala
- Seguir padrões e evitar customizações excessivas é essencial para o sucesso de projetos Open Hardware
- Para projetos complexos, a demanda por suporte gerada sobre os desenvolvedores é grande
- Em geral Open Hardware não é visto como um fator chave de inovação, especialmente por empresas privadas e departamentos de inovação que lidam com propriedade intelectual
- O modelo de negócios pretendido é aquele em que as empresas se envolvem não somente com a fabricação, mas com o fornecimento de produtos completos, garantia e serviços de suporte
- É difícil medir a extensão do uso de um projeto Open Hardware. Como explicar aos financiadores o impacto/extensão de uma solução aberta na ausência de métricas objetivas?

CERN Open Hardware License



- Novos desafios desconhecidos pelas comunidades de Software Livre: fabricação, distribuição de objetos físicos, patentes, código para descrição de hardware, entre outros
 - Licenças como Creative Commons, SolderPad, GPL/LGPL não são suficientes
- [CERN Open Hardware License v2](#) possui 3 variantes:
 - Strongly-reciprocal: CERN-OHL-S
 - Weakly-reciprocal: CERN-OHL-W
 - Permissive: CERN-OHL-P
- CERN OHL também foi pensada para gateway/HDL e projetos de chips (ASICs)
- FAQ: <https://ohwr.org/project/cernohl/wikis/faq>

Resumo



- *A instituição CNPEM*
- *Aceleradores de partícula pelo mundo*
- *Como funciona uma fonte de luz síncrotron?*
- *O Projeto Sirius e seus desafios tecnológicos*
- *Projetos Open Hardware*
- **Conclusão**

Conclusão



- Os aceleradores de partículas do SIRIUS operam rotineiramente com sistemas eletrônicos avançados desenvolvidos no Brasil para monitorar e estabilizar a posição dos feixes de elétrons e de fótons em centenas de nanômetros
- A licença Open Hardware do CERN foi desenhada especificamente para cobrir as lacunas que outras licenças tinham para lidar com hardware e gateware/HDL. Recomendamos fortemente que a considerem em seu próximo projeto de hardware!
- Open Hardware (ou Hardware Aberto e Livre) é apenas um componente da Ciência Aberta – Uma meta a ser perseguida é ter o compartilhamento de projetos de propósito científico como regra geral e tratar as necessidades de projetos proprietários como exceção



C I Ê N
C I A B
E R T A

9 E 10 DE AGOSTO
MARQUE NA AGENDA.
VENHA VISITAR,
CONHECER E SE DIVERTIR
ENTRADA GRATUITA

acesse: pages.cnpem.br/cienciaaberta/

Convite

<https://pages.cnpem.br/cienciaaberta/>

A instituição CNPEM

(Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais)



<http://pages.cnpem.br/trabalheconosco/>

Oportunidades para estudantes



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



OBRIGADO

Daniel de Oliveira Tavares
daniel.tavares@lnls.br

Fernando Henrique Cardoso
fernando.cardoso@lnls.br

cnpem.br



CNPem
Centro Nacional de Pesquisa
em Energia e Materiais

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO





- 1)["Why \(and how\) public institutions should release more of their hardware designs as Open Source Hardware" - Javier Serrano, 2020](#)
- 2)["The emerging economic paradigm of Open Source" - Bruce Perens, 2005](#)
- 3)[Open Hardware debate with Bruce Perens and Javier Serrano \(e-HAL 2016\)](#)
- 4)["Against Intellectual Monopoly" - Michele Boldrin and David K. Levine, 2008](#)
- 5)[Accelerating the Adoption of Open Science \(Open Science Summit 2023\)](#)