



**IFUSP**

Instituto de Física da USP

Proposta para abertura de vaga docente

# Aplicações de feixes de iônicos para novos materiais

## **Proponentes:**

Manfredo H. Tabacniks, Prof. Titular, IFUSP

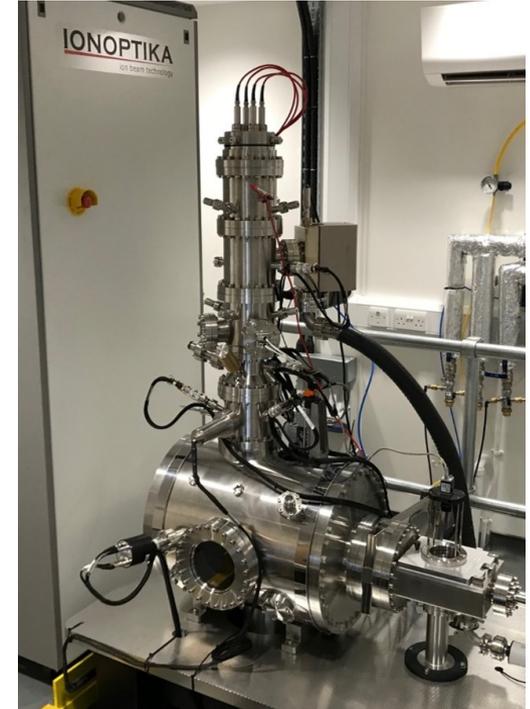
Nemitala Added, Prof. Dr., IFUSP

Nilberto Heder Medina, Prof. Associado, IFUSP

Tiago Fiorini da Silva, Prof. Dr., IFUSP

---

- A **implantação iônica** desempenha um papel importante na síntese de materiais e funcionalização de superfícies
  - Dopagem de semicondutores
  - Biocompatibilidade
  - Micro-padronização
  - Micro-fabricação de alta resolução
  - Entre outros
- Hoje, a tecnologia mais avançada é representada pela **implantação determinística** de átomos únicos no contexto de computação quântica a base de silício.

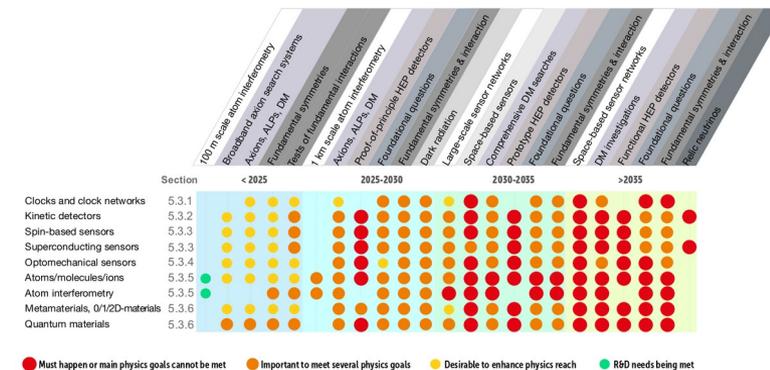
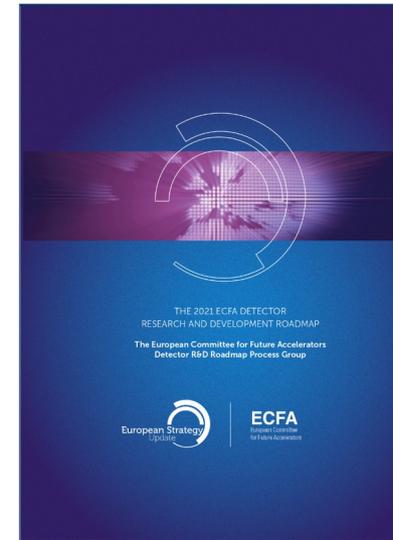


Single ion implanter – Univ. of Surrey / Ionoptika.

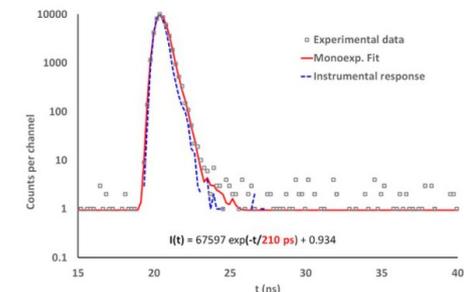
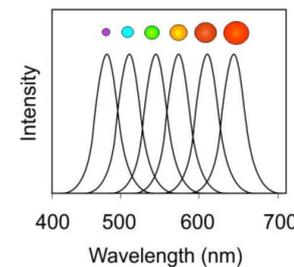
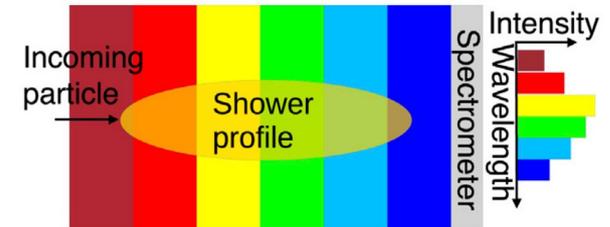
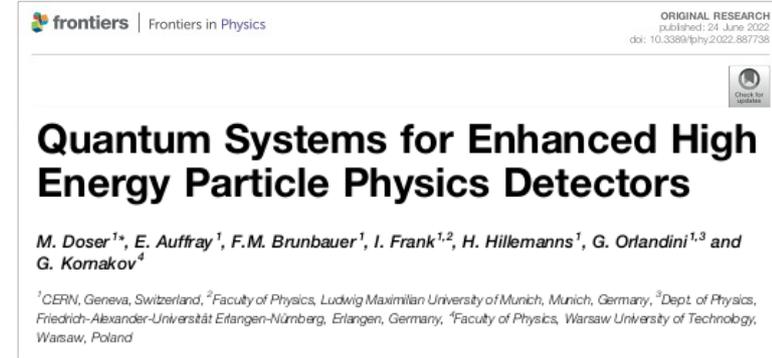
- **Materiais quânticos** são sistemas físicos nos quais as interações coletivas entre os elétrons e os íons levam a uma **propriedade ressaltada** pelas leis da mecânica quântica.
- No **sensoriamento quântico**, tira-se vantagem das alterações dessas propriedades por agentes externos (temperatura, campo magnético, etc)
  - O sensoriamento quântico leva a dispositivos de **maior sensibilidade** e a aplicações importantes, incluindo a medicina, geologia, imageamento, comunicação, etc.

# Introdução – Sensoriamento para radiações

- Em um relatório recente, o *European Committee for Future Accelerators* (ECFA) definiu um **roadmap** para **desenvolvimentos de detectores**
- O objetivo é dar um norte aos grupos de pesquisa visando os **objetivos físicos** dos experimentos futuros, como o FCC, EIC, ILC, entre outros.
  - **Tecnologias abordadas:** detectores à gás, semicondutores, e cintiladores.
  - O último capítulo trata de **sensoriamento quântico** e suas potencialidades para sensoriamento de radiações



- **Exemplo: Chromatic calorimetry**
  - O sensor deve ser composto por um material opticamente transparente, com dopagem diferencial ao longo de seu comprimento com *nanodots* com diferentes espectros de emissão
  - A medida do espectro de emissão traria uma tomografia longitudinal de um chuveiro hadrônico ou eletromagnético
- **Pontos em aberto:**
  - Resistência dos nanodots e do material suporte à radiação, excitação óptica pela radiação, espectro de emissão X absorção, etc...

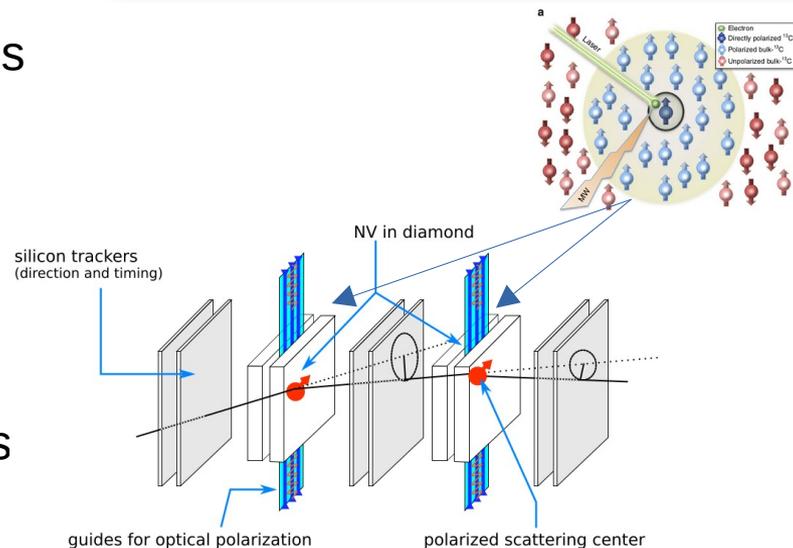


- **Exemplo: Traçador com polarímetro**

- Vacâncias de nitrogênio em diamante apresentam ressonância magnética detectável no estado NV-, com o spin do elétron podendo ser polarizado por um processo envolvendo micro-ondas e lasers
- Essa polarização é transferida para os núcleos em uma região razoavelmente extensa por acoplamento. Espalhamento elástico de partículas carregadas é dependente do alinhamento de spins

- **Pontos em aberto:**

- Resistência à radiação, produção dos defeitos com nitrogênio, seções de choque, ...



- Desenvolvimento de novas tecnologias de sensoriamento para radiação podem **abrir portas para exploração de novas físicas**, tanto em altas energias quanto em baixas
  - Participação tecnológica em futuros experimentos
  - Produção/testes de materiais para sensoriamento quântico
- Os estudos sobre sensoriamento quântico estão cada vez mais intensos, e as aplicações em detecção de radiação estão ainda insipientes, representando **oportunidades!**
- Novas **perspectivas de colaboração** internacional:
  - Univ. of Surrey, Melbourne University, National Univ. of Singapore e Instituto Nazionale di Fisica Nucleare, além do próprio CERN.



# Introdução – Relevância internacional

- Evento organizado por lideranças no assunto junto à IAEA
- Visão geral dos aspectos teóricos e práticos
- Aproximadamente 60 representantes de diversas partes do mundo



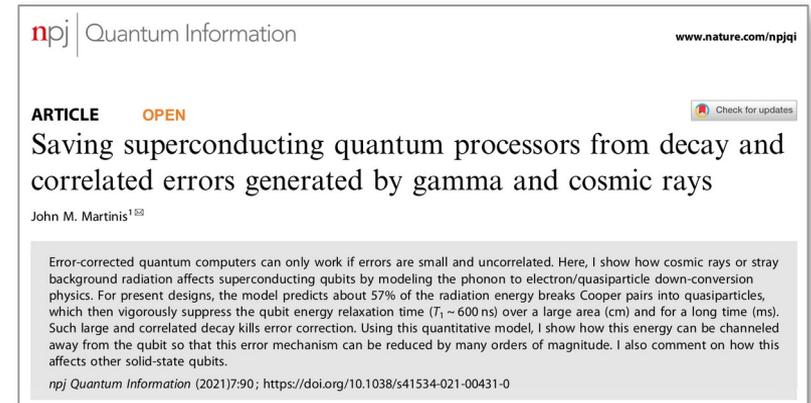
## Key lecture topics:

- First-principles techniques for materials modeling
- Molecular dynamics simulations of cascades and swift heavy ions
- Fundamentals-Ion matter interactions and Instrumentation
- Present state of the art; deterministic doping, towards billion qubit machines
- Simple: a single ion implanter, statistics of detection, etc.
- Ion implantation to produce Isotopically pure layers:
- Quantum gadgets and applications, quantum computing, quantum computer architectures
- Single photon sources: quantum communication for a safe global network
- Quantum sensing based on color centers in wide bandgap semiconductors, brain sensing
- Virtual laboratory visit of the Ion Beam Centre of university of Surrey, UK

## Lecturers:

Flyura Djurabekova, University of Helsinki, Finland  
David N. Jamieson, University of Melbourne Australia  
Takeshi Ohshima, QST, Japan  
Paolo Olivero, University of Turin, Italy  
Thomas Schenkel, Berkeley Lab, US  
Andre Schleife, University of Illinois, US  
Roger Webb, University of Surrey, UK

- A **relação entre novas tecnologias quânticas e radiação** é de grande interesse para diversas aplicações, por exemplo, na computação quântica
- Estudos revelaram que existe correlação entre **erros** nos computadores quânticos e raios cósmicos
  - É importante o entendimento de como isso acontece e a proposição de maneiras de atenuação desses efeitos



- **Desenvolvimento de tecnologias** quânticas para sensoriamento de radiações
- Possibilidade de **colaborações** com grupos experimentais e teóricos de materiais
- Maior **aproximação das áreas** de física nuclear aplicada com física dos materiais
- Desenvolvimento de **soberania nacional** em testes de materiais altamente estratégicos
- Atração de **talentos estrangeiros** para estágios e experimentos

- Infraestrutura existente para aplicação em uma **área de grande impacto científico**
- **Pesquisa inovadora** com desenvolvimentos instrumentais
- **Pesquisa estratégica** para o país
- **Transferência de tecnologia** dos grandes centros por meio de colaborações
- Engajamento de estudantes e incorporação de pesquisa na sala de aula
- Fortalecimento da área de **Física Nuclear Aplicada a Materiais**

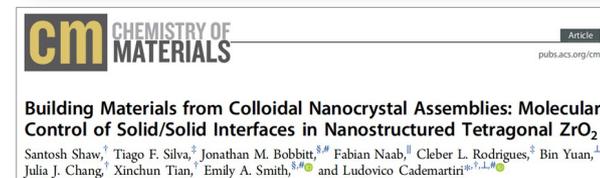
## Por que reforçar esta área no IFUSP?

- **Colaboração com Polícia Científica do Estado de São Paulo**
  - Assinatura do termo de cooperação pelo próprio secretário de segurança pública
- **Colaboração técnica do CNPEM**
  - Implementação do micro sonda no LAMFI
  - Produção de protótipo de acelerador de prótons de 2MeV no CNPEM
- **Participação importante em projeto de abrangência nacional**
  - Nova fase do projeto CITAR
  - Contribuições no INCT-FNA (INCT-CERN-Brasil?)

## Por que reforçar esta área no IFUSP?

- **Colaborações internacionais importantes:**

- Max Planck Institut für Plasmaphysik, Alemanha
- Iowa State University, Estados Unidos
- Université de Namur, Bélgica
- University of Helsinki, Finlândia
- Ruđer Bošković Institute, Croácia
- National Physical Laboratory, Inglaterra
- INFN-LNS (Projeto NUMEN), Itália
- Bariloche Atomic Centre, Argentina
- Saclay Université, França
- IN2PAST na Universidade de Évora, Portugal



## Por que reforçar esta área no IFUSP?

- **O acelerador como ferramenta de ensino:**
  - Diversos cursos de graduação e pós-graduação tem usufruído da infraestrutura do LAMFI ou de seus produtos de pesquisa
    - Instrumentação para física nuclear
    - Tecnologia de feixes iônicos para análise de materiais
    - Aceleradores de partículas: Fundamentos e aplicações
    - Aprendizado de máquina e Inteligência artificial em física
  - Tanto o LAMFI quanto a linha SAFIIRA já receberam edições da Escola Swieca de Física Nuclear Experimental
    - 2018: Instrumentação nuclear e efeitos de radiação em dispositivos eletrônicos
    - 2022: Multiplicadores Gasosos de Elétrons: Fundamentos e Aplicações

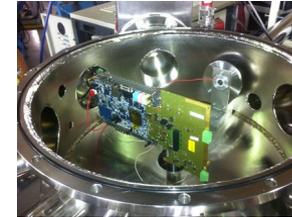


- O **IFUSP** apresenta uma **configuração única no mundo** ao concentrar grupos de física nuclear aplicada, matéria condensada experimental e teórica num mesmo sítio
  - Possibilidade de **integração entre as áreas**, com sinergias entre as diversas iniciativas na área de materiais quânticos e computação quântica
- Atração de **talentos em alta tecnologia** e desenvolvimento de temas atuais com equipamentos e infraestruturas instaladas
- Potencial ampliação de participação em **projetos estratégicos e de abrangência nacional**, como uma possível nova fase do projeto CITAR

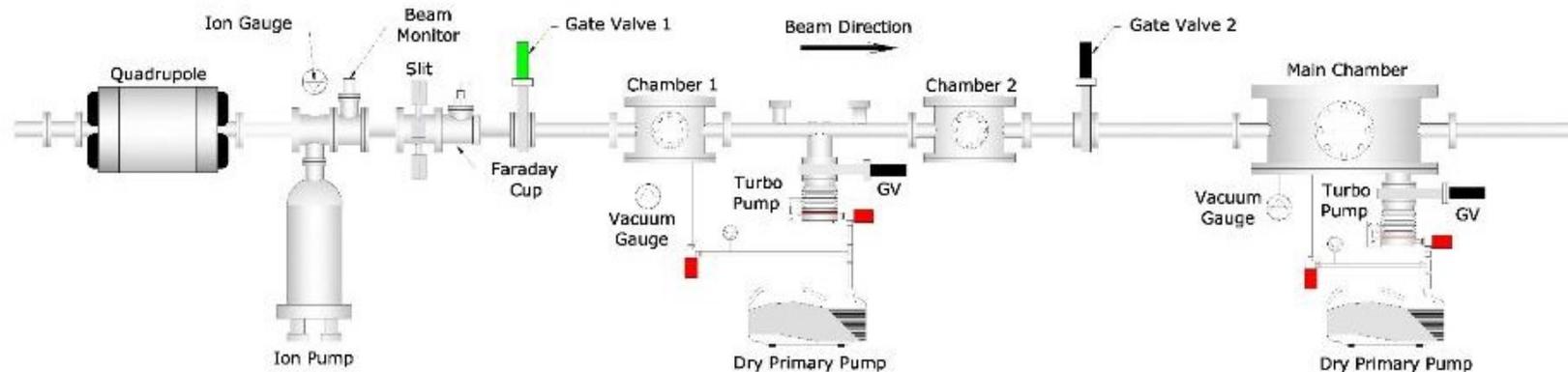
- Centros de tecnologias de feixes iônicos com programas de pesquisa em física dos materiais:
  - **No Brasil:**
    - IFUSP, UFRGS, UFRJ, UFF, PUC-RJ  
(ao menos 9 posdocs com potencial interesse)
  - **No mundo:**
    - Université de Saclay, Jülich Forschungszentrum, Max-Planck Institut, Université de Namur, NPL
- **Pioneiros em tecnologias de feixes iônicos para materiais quânticos:**
  - California Berkeley University, University of Surrey, INFN, University of Melbourne, National Univ. of Singapore

# Viabilidade de execução de projetos

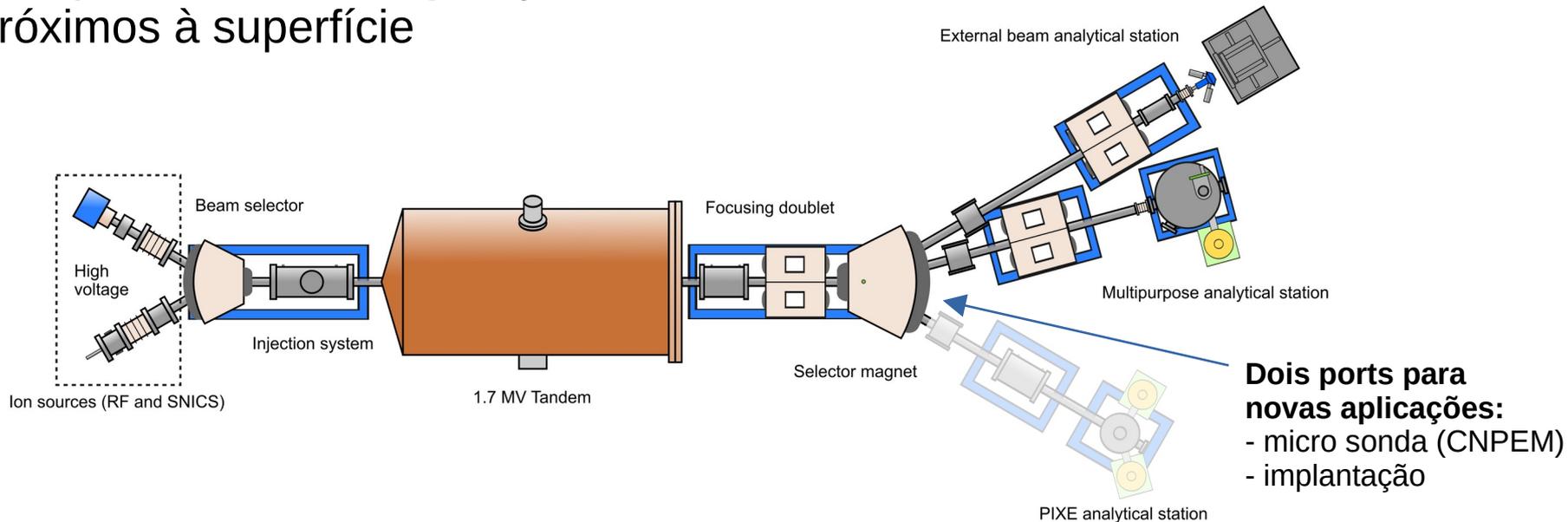
- No IFUSP existem algumas infraestruturas que propiciam os estudos deste tipo de aplicações
  - **Linha Safira:** Baixo fluxo de íons com controle geométrico de perfil de implantação. Ampla variação de LET. Alta variedade de espécies iônicas.



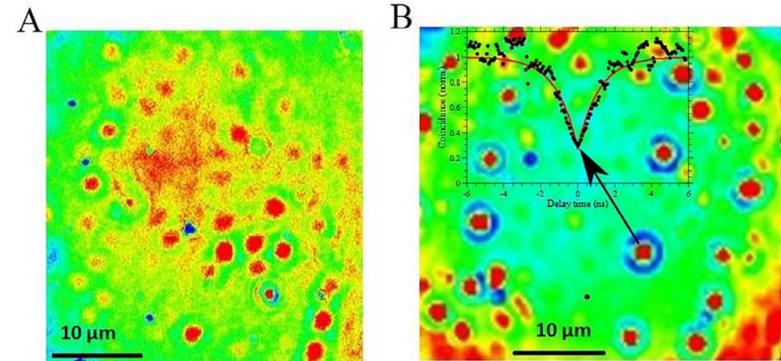
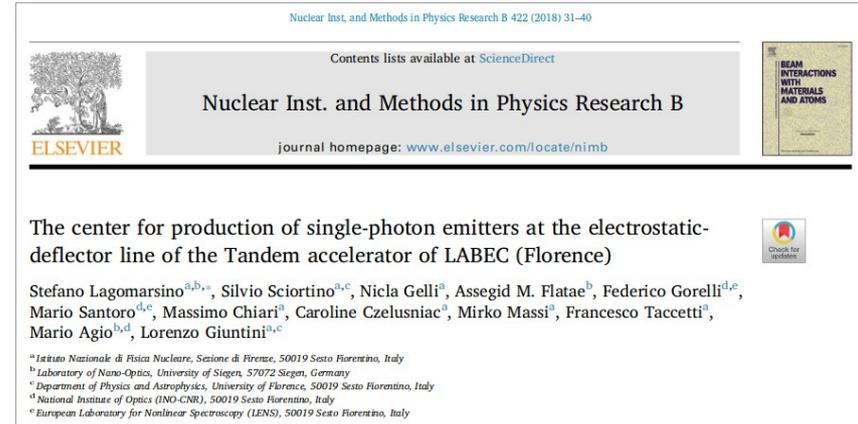
Flux 100 to 100,000 part/cm<sup>2</sup>s  
Fluence 10<sup>6</sup> to 10<sup>7</sup> part/cm<sup>2</sup>  
< 10% uniformity variation  
up to 30 mm depth



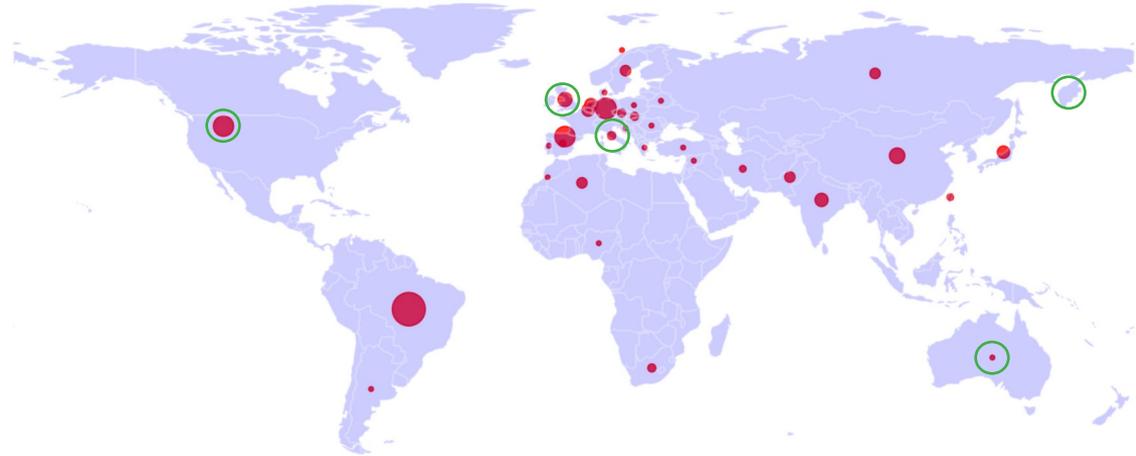
- No IFUSP existem algumas infraestruturas que propiciam os estudos deste tipo de aplicações
  - **LAMFI:** Acurado controle de dose e energia, com possibilidade de geração de danos próximos à superfície



- Estudos de produção de vacâncias em Nitrogênio é possível em aceleradores como o do LAMFI
  - **Pontos em aberto:** Eficiência de produção de vacâncias, ativação das vacâncias criadas, localização, entre outros



- A **visibilidade internacional** do LAMFI é um potencial **facilitador** de colaboração com os grandes centros de tecnologia de feixes iônicos aplicados em tecnologias quânticas



*Distribuição de usuários registrados do programa de análise de dados desenvolvido no LAMFI  
(círculos verdes mostram os grandes centros de feixes iônicos aplicados à tecnologias quânticas)*

- **Projetos aprovados:**  
5 FAPESP (2 em andamento), 4 CNPq (2 em andamento),  
2 IAEA (2 em andamento), 1 PRP-USP
- **Artigos publicados:** 44
- **Formação de recursos humanos:**
  - Pós-doutorandos: 1 concluído, 1 em andamento
  - Alunos de Doutorado: 2 concluídos, 3 em andamento
  - Alunos de Mestrado: 2 concluídos, 6 em andamento
  - Alunos de Iniciação científica: 17 concluídas, 7 em andamento

- **Técnicas de feixes iônicos** tem grandes contribuições a oferecer para a área de novos materiais
- Esse tópico de pesquisa tem **caráter agregador** de vários grupos de pesquisa no IFUSP, sejam teóricos ou experimentais
- Sensoriamento quântico para radiações tem um grande **potencial disruptivo** para nos futuros experimentos de física de partículas e nuclear de altas energias
- O **aperfeiçoamento da infraestrutura** deve atrair novos estudantes e mais colaborações internacionais
- Produtos da pesquisa devem promover **atualização de conteúdos de disciplinas na graduação e pós-graduação** por meio de integração com ensino