

# RELATÓRIO FINAL

**Desenvolvimento de um sistema de Tempo de Vôo para estudar a transferência de núcleons para a reação  $^{10}\text{B}+^{197}\text{Au}$**

**Pesquisador Pós-doutorado: Dr. Ernesto Sílvio Rossi Júnior  
(Código USP 218354)**

**Supervisor: Dr. Leandro Romero Gasques  
Universidade de São Paulo - SP – Brasil**

**[Resolução nº 6016/2011](#)**

**(Art. 3º – III - Pós-doc sem Bolsa)**

**Período agosto de 2016 a agosto de 2017**

**Maio de 2018**

## PESQUISA

A pesquisa teve como principal objetivo desenvolver um sistema de tempo de voo, que foi instalado na canalização 30B do Laboratório Aberto de Física Nuclear (LAFN) do IFUSP. O novo sistema de tempo de voo foi desenvolvido e construído para identificar a massa dos produtos de reação em uma colisão nuclear. Recentemente, também, novos módulos eletrônicos foram adquiridos com verbas de auxílio à pesquisa da Fapesp e CNPq. Alguns destes equipamentos já se encontram em operação. Outros devem ser instalados e testados, para que posteriormente possam ser utilizados no estudo de mecanismos de reação para diversos sistemas.

### **O acelerador Pelletron, novos equipamentos adquiridos e participação em outros experimentos realizados no LAFN.**

O acelerador eletrostático de 8 MV do tipo tandem, instalado no início dos anos 70 no Laboratório Aberto de Física Nuclear (LAFN) do IFUSP, tem sido amplamente utilizado na investigação de diversos processos nucleares que ocorrem em uma colisão entre dois núcleos. Em uma campanha experimental, iniciada no primeiro semestre de 2016, na canalização 30B, estudamos algumas reações utilizando feixes fracamente ligados de  ${}^6,7\text{Li}$  e  ${}^{10}\text{B}$ , e um alvo contendo  ${}^{120}\text{Sn}$  e  ${}^{197}\text{Au}$ . A Figura 1 mostra um espectro típico para as reações  ${}^{10,11}\text{B} + {}^{120}\text{Sn}$  e  ${}^{10}\text{B} + {}^{197}\text{Au}$  (como consta no título do projeto de pesquisa), obtidos em  $125^\circ$ , para a energia de 37,5 MeV. Diversos canais de reação, tais como espalhamento elástico, inelástico e transferência de núcleons, foram claramente identificados.

Estimulados pelo rápido avanço tecnológico que nos cerca, iniciamos um planejamento visando à aquisição de novos equipamentos, mais modernos e compactos, e com maior capacidade de processamento de dados. Utilizando recursos de projetos de auxílio à pesquisa, Prof. Leandro Romero Gasques, FAPESP (11792-3) e Universal do CNPq (471623 e 443519), detectores pixelados, pré-amplificadores, amplificadores, ADC's, e mais recentemente um digitizador de pulsos, foram comprados, e estão sendo gradativamente instalados no LAFN. Na Figura 1 é possível visualizar parte desses equipamentos, que atualmente estão em operação na canalização 30B do LAFN. Na Figura 2 é possível visualizar parte do arranjo experimental que está atualmente montado na canalização 30B. Na Figura 3 é possível ver parte da eletrônica utilizada, que é muito mais versátil e compacta que a utilizada anteriormente.

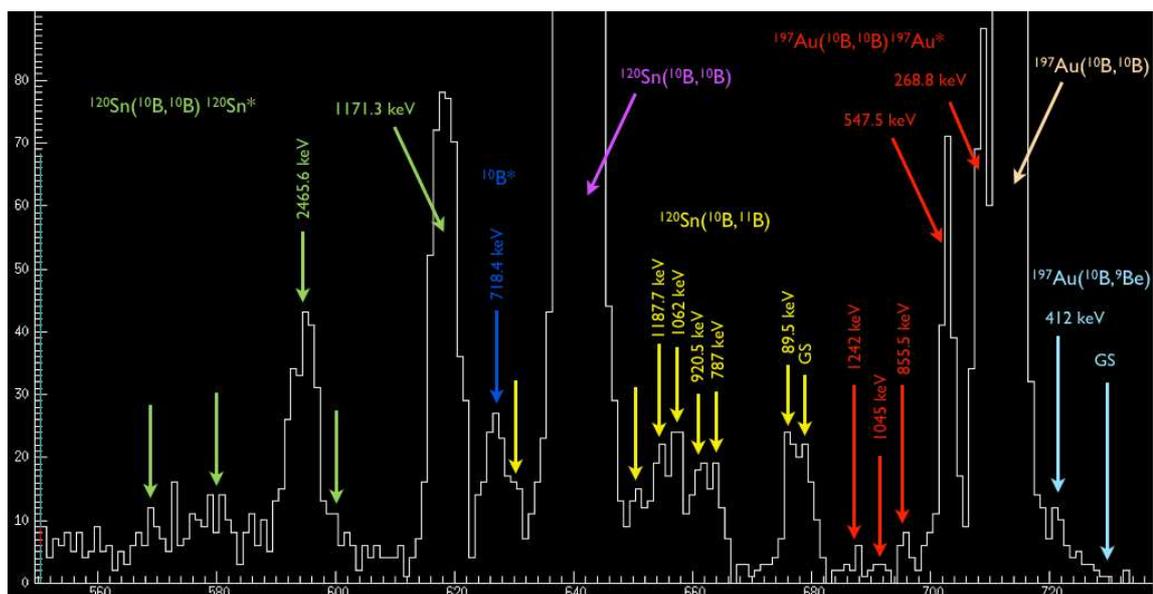


Figura 1 - Espectro obtido por um detector instalado em  $125^\circ$ , na canalização 30B do LAFN, referente à reação  $^{10}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ , medida em Energia de 37,5 MeV.

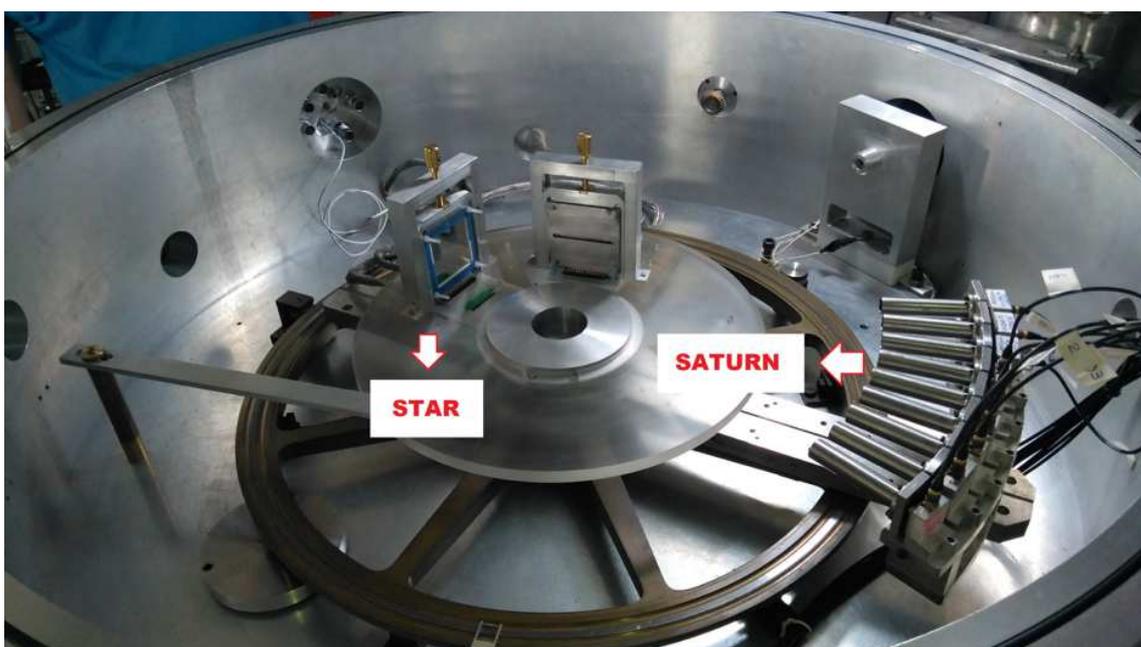


Figura 2 - Parte do arranjo experimental utilizado em uma campanha experimental recente, que possibilitou a investigação de diversas reações nucleares envolvendo feixes fracamente ligados.

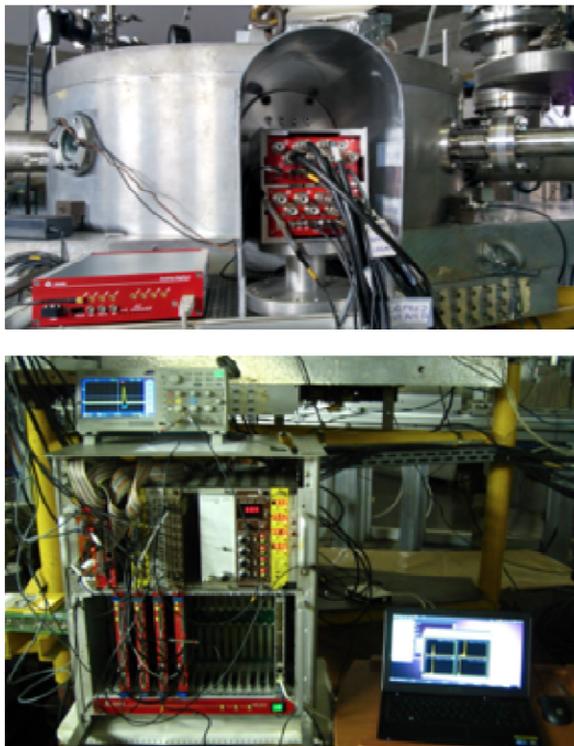


Figura 3 - Módulos eletrônicos utilizados no processamento e aquisição de dados.

### Montagem do sistema de tempo de voo.

É bem conhecido que o processo de transferência tem papel importante na quebra de núcleos fracamente ligados [2, 3, 4, 5]. No entanto, para que as seções de choque de transferência possam ser obtidas experimentalmente, é necessário separar estes eventos, daqueles relacionados aos núcleos de  $^{10}\text{B}$  espalhados elasticamente pelo alvo de  $^{197}\text{Au}$ . Dentro do contexto deste projeto, planejamos, desenvolvemos e construímos um sistema de tempo de voo para separar partículas de mesma energia. Essa técnica experimental tem sido vastamente utilizada na identificação da massa dos produtos de reação em uma colisão nuclear, especialmente para reações envolvendo feixes leves. Sendo assim, este sistema de tempo de voo, será utilizado no estudo de diversas reações no LAFN. Testes preliminares demonstraram que o sistema de pulsação de feixes, recentemente instalado no LAFN, tem resolução temporal da ordem de 1 ns com intervalos de até 82,5 ns. Tal resolução é obtida aplicando-se uma tensão de radio frequência, em forma de dente de serra, em um pré-buncher instalado antes da entrada do tanque do acelerador tandem.

Há pouco mais de um ano, o buncher, equipamento responsável pela produção de feixes pulsados no acelerador, precisou ser desmontado. Em seu lugar, foi montada uma grade para identificação da posição espacial do feixe. Na próxima abertura do acelerador, programada para

meados de junho de 2018, o buncher será reinstalado e novos testes com o feixe pulsado serão realizados. Em nosso arranjo experimental, um tubo foi instalado em uma flange da câmara 30B do LAFN, localizada em um ângulo fixo de espalhamento igual a  $135^\circ$  em relação ao feixe incidente. No fim desse tubo, um detector de partículas foi instalado à aproximadamente 120 cm em relação ao alvo, localizado no centro da câmara de espalhamento da canalização 30B do LAFN (vide Fig. 4).



Figura 4 – Flange do sistema de Tempo de Vôo, que abrigará o detector de partículas.

Uma foto do novo arranjo experimental pode ser visto na Figura 5, já com o sistema de Tempo de Vôo instalado na câmara 30B do LAFN. Para que a técnica de tempo de vôo possa ser implementada, é necessário utilizar um TAC (Time-to-Amplitude Converter) que converte a diferença de tempo entre dois pulsos lógicos (start – stop) em um pulso de saída com altura proporcional à diferença temporal. Um detector de fase instalado após o imã analisador de energia (ME200) irá fornecer um sinal de referência, que será utilizado como stop na montagem da eletrônica de aquisição associada ao arranjo experimental de tempo de vôo. O segundo sinal de tempo (start) será obtido usando o próprio detector de partículas, localizado no final do tubo instalado em  $135^\circ$  em relação ao feixe incidente.

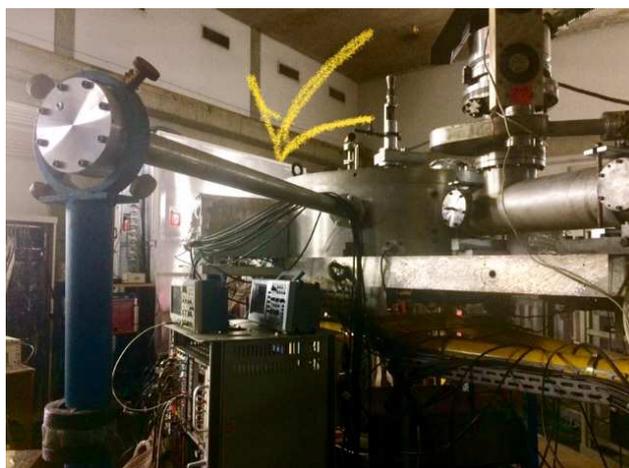


Fig. 5 - Esquema do novo arranjo experimental da canalização 30B do LAFN. O sistema de Tempo de Vôo (sinalizado pela flecha amarela) está instalado a  $135^\circ$  em relação ao feixe incidente.

## Análise de Dados Experimentais

Ao longo de 2017 e, principalmente, neste primeiro semestre de 2018, dediquei-me intensamente nas reduções de dados e análises de dados do sistema  $^{11}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ . Foram centenas de espectros de energia analisados, “retiradas” às áreas dos picos de espalhamento elástico  $^{120}\text{Sn}$  e  $^{197}\text{Au}$  (para normalização), áreas dos picos de espalhamento inelásticos  $2^+$ ,  $3^-$ , e de transferências de partículas e outras áreas que estão sendo determinadas, mas já foram obtidas. Também, foram calculadas as seções de choque de espalhamento Elástico e Inelástico para o citado sistema, nas Energias de 35 MeV e 37.5 MeV. A Figura 6, mostra as distribuições angulares de espalhamento Elástico para o sistema  $^{11}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ , para as Energias de 35 MeV e 37.5 MeV.

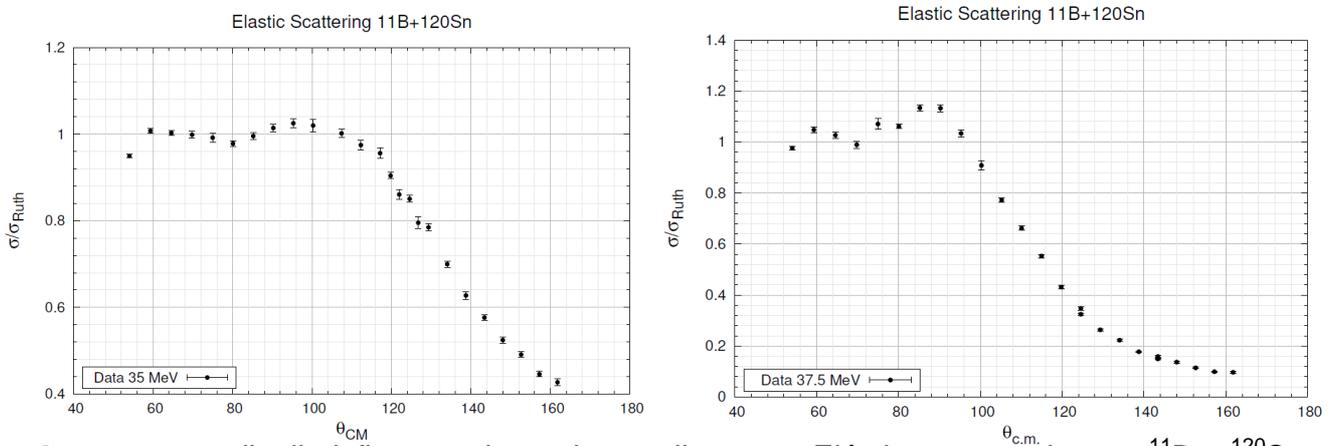


Fig. 6 - mostra as distribuições angulares de espalhamento Elástico para o sistema  $^{11}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ , para as Energias de 35 MeV e 37.5 MeV.

A Figura 7, mostra as distribuições angulares de espalhamento Inelástico, estado  $2^+$ , para o sistema  $^{11}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ , para as Energias de 35 MeV e 37.5 MeV.

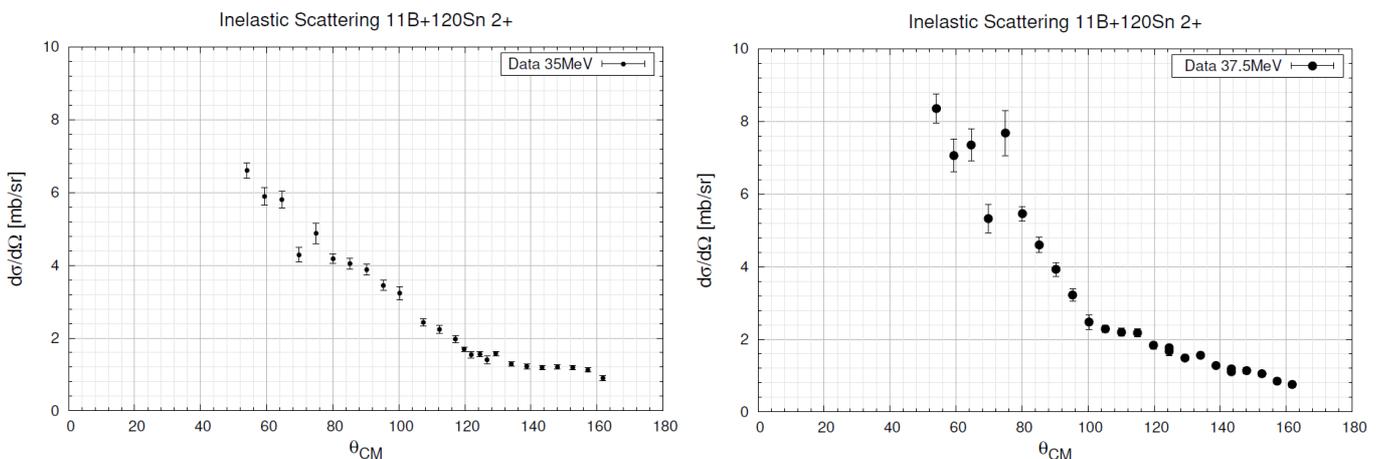


Fig. 7 - Distribuições angulares de espalhamento Inelástico, estado  $2^+$ , para o sistema  $^{11}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ , para as Energias de 35 MeV e 37.5 MeV.

A Figura 8, mostra as distribuições angulares de espalhamento Inelástico, estado  $3^-$ , para o sistema  $^{11}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ , para as Energias de 35 MeV e 37.5 MeV.

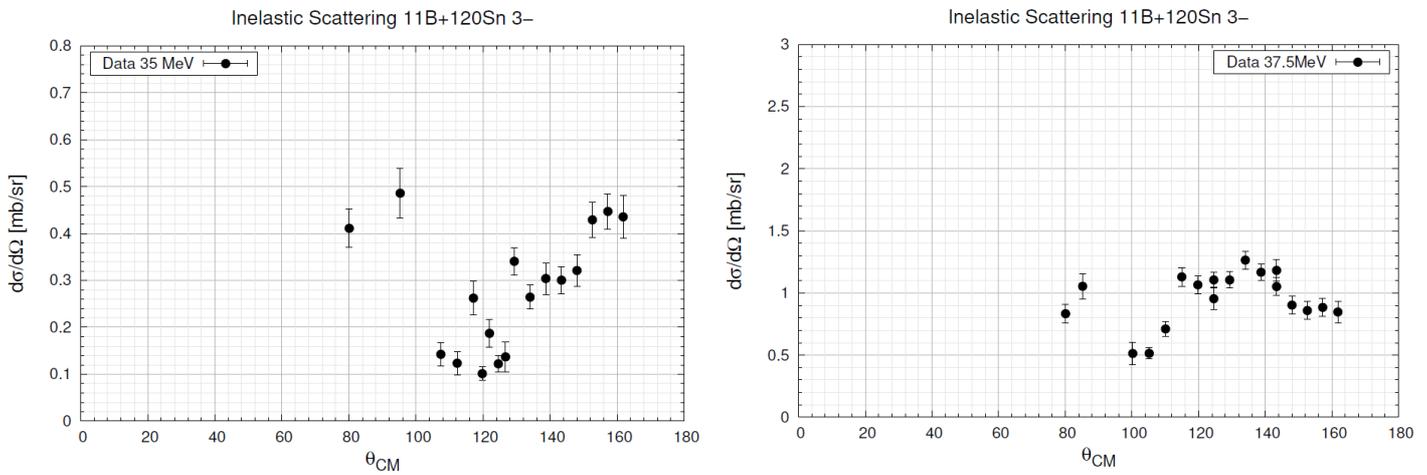


Fig. 8 - Distribuições angulares de espalhamento Inelástico, estado  $3^-$ , para o sistema  $^{11}\text{B} + ^{120}\text{Sn}$ , para as Energias de 35 MeV e 37.5 MeV.

No momento estamos fazendo análises de canais acoplados para as reações nucleares desse sistema nas referidas energias.

### Conclusão: Justifica de atraso na conclusão do pós-doc.

Ao longo do período de meu Pós-Doutorado (08/2016 a 08/2017), participei de algumas atividades no Departamento de Física Nuclear da USP e cabe comentar, que não foi possível concluir no prazo previsto (agosto de 2017), embora tenha concluído posteriormente, devido ao ano de 2017 ter sido um ano atípico em meu trabalho. Assumi, no início de 2017, a cadeira de Pró-Reitor Acadêmico da Instituição da qual trabalhava - UNIFIEO, e foi um ano muito, mas muito difícil, devido à gravíssima crise que se instalou nesta Instituição. Este fato, e devido a minha função de Pró-Reitor, me "consumiu" integralmente, trabalhava *full time*, dia e noite, para tentar dirimir os inúmeros e sérios problemas que tínhamos para resolver. Após o meu desligamento desta Instituição em novembro de 2017, me dediquei mais ao meu pós-doc, concluindo-o neste primeiro semestre de 2018.

### Conclusão: Sobre o sistema de Tempo de Vôo, análise de dados e publicações.

Assim que o buncher for reinstado no LAFN, o novo sistema de Tempo de Vôo, equipado com parte dos novos módulos eletrônicos, será utilizado para investigar a reação  $^{10}\text{B} + ^{197}\text{Au}$  em energias

entre 35 e 48 MeV, assim como, futuramente, outros sistemas de reações de interesse dos grupos de pesquisadores do LAFN. Diversas modificações foram realizadas na canalização 30B em diferentes etapas ao longo dos últimos três anos (uma vez que sempre estive, de uma forma ou de outra, envolvido com as atividades do grupo de pesquisa do Prof. Leandro Gasques no LAFN). Com o novo setup, distribuições angulares para as reações  ${}^6,7\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$  e  ${}^{10,11}\text{B}+{}^{120}\text{Sn}$  foram medidas em energias em torno da barreira coulombiana. Seções de choque de espalhamento elástico, inelástico e transferência de núcleons foram obtidas experimentalmente. Cálculos de canais acoplados foram realizados com o objetivo de descrever os dados. Os resultados obtidos para a reação  ${}^7\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$  foram publicados na revista Phys. Rev. C (**PHYSICAL REVIEW C 95, 064614 (2017)** - Elastic scattering, inelastic excitation, and neutron transfer for  ${}^7\text{Li} + {}^{120}\text{Sn}$  at energies around the Coulomb barrier). Além disso, os resultados obtidos para a reação  ${}^{10}\text{B}+{}^{120}\text{Sn}$  também já foram publicados na mesma revista (**PHYSICAL REVIEW C 97, 034629 (2018)**

- Elastic, inelastic, and 1n transfer cross sections for the  ${}^{10}\text{B} + {}^{120}\text{Sn}$  reaction). Os dados obtidos para os sistemas  ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$  e  ${}^{11}\text{B}+{}^{120}\text{Sn}$  estão em fase de redução para posterior análise.

#### Referências:

- [1] R. Lichtenthaler, A. Lèpine-Szily, V. Guimarães, G. F. Lima, M. S. Hussein, Nucl. Instr. Meth. A505 (2003) 612c.
- [2] R.Rafiei, R.du Rietz, D.H.Luong, D.J.Hinde, M.Dasgupta, M.Evers, A.Diaz- Torres, Phys. Rev. C81 (2010) 024601.
- [3] D.H.Luong, M.Dasgupta, D.J.Hinde, R.du Rietz, R.Rafiei, C.J.Lin, M.Evers, A.Diaz-Torres, Phys. Rev. C88 (2013) 034609.
- [4] S.Kalkal, E.C.Simpson, D.H.Luong, K.J.Cook, M.Dasgupta, D.J.Hinde, I.P.Carter, D.Y.Jeung, G.Mohanto, C.S.Palshetkar, E.Prasad, D.C.Rafferty, C.Simenel, K.Vo-Phuoc, E.Williams, L.R.Gasques, P.R.S.Gomes, R.Linares, Phys. Rev. C93 (2016) 044605.
- [5] V.A.B.Zagatto, J.R.B.Oliveira, L.R.Gasques, J.A.Alcantara-Nunez, J.G.Duarte, V.A.P.Aguiar, N.H.Medina, W.A.Seale, K.C.C.Pires, A.Freitas, J.Lubian, J.M.B.Shorto, F.A.Genezini, E.S.Rossi, Jr., J. Phys. G43 (2016) 055103.