

## **UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O LABORATÓRIO SÍNCROTRON À LUZ DA TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO**

### **A DIDACTICAL SEQUENCE ABOUT BRAZILIAN SYNCHROTRON LIGHT LABORATORY ACCORDING ANTHROPOLOGICAL DIDACTIC THEORY**

**Laís Estevão Moraes de Oliveira<sup>1</sup>, Débora Coimbra<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática Universidade Federal de Uberlândia /  
lais.moraes@ufu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia /deboracoimbra@ufu.br

#### **Resumo**

Apesar de prevista nos documentos oficiais do Novo Ensino Médio, a Física Moderna e Contemporânea figura timidamente nos livros didáticos e programas escolares e, menos ainda, no conteúdo ensinado e aprendido. Neste trabalho, apresentamos uma sequência didática fundamentada na Teoria Antropológica do Didático, cujo questionamento do mundo versa sobre a interação da radiação com a matéria. Discutindo a contribuição da ciência relacionada aos contextos em que essa produção ocorre, o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron tem sua história esmiuçada com duplo objetivo: primeiro, articular os conteúdos escolares campo, força e energia magnéticos, emissão de luz e espectro eletromagnético à compreensão técnica do funcionamento do acelerador de partículas; e, segundo, realizar uma visita virtual ao Sírius, como forma de vivenciar a rotina das pesquisas realizadas nas linhas de luz. Os momentos exploratórios ocorreram com a utilização de experimentos com ímãs e de simuladores. Na sequência, os blocos tecnológico-teórico e de trabalho com a técnica, foram concretizados via exposição dialogada e resolução de questões padronizadas de vestibulares. Finalizamos realizando uma avaliação escrita individual no Google Forms, sobre a visita virtual e questões que abordavam o conteúdo explorado. Considerando o momento da institucionalização, como pontos a serem melhorados, um reordenamento das atividades pode ser mais apropriado em aplicações futuras, assim como a inclusão de experimentos físicos dependendo das contingências da realidade escolar do professor.

**Palavras-chave:** Interação Radiação-Matéria; Teoria Antropológica do Didático; Sequência Didática; Aceleradores de Partículas; Luz síncrotron.

#### **Abstract**

Despite its presence in official documents of the New Brazilian Medium School, the integration of Modern and Contemporary Physics in textbooks, school programs, and actual teaching remains inadequate. This study introduces a didactic sequence based on the Anthropological Theory of Didactics. It engages students in questioning radiation-matter interactions, while exploring the scientific contributions within the contexts of knowledge generation. Focusing on the Brazilian Synchrotron Light Laboratory, it aims to connect school curriculum elements (magnetic fields, forces, energy, light emission, and the electromagnetic spectrum) with particle accelerator operation techniques. Additionally, it offers a virtual tour of Sírius, providing insight into the daily research activities conducted

on the beamlines. Exploratory phases involve magnetic experiments and simulators, followed by theoretical and technological segments, including interactive discussions and standardized exam question resolutions. The study concludes with individual written assessments through Google Forms, encompassing reflections on the virtual tour and content-related queries. Recommendations for improvement include reorganizing activities for better efficacy and adapting physical experiments based on specific teacher's school realities and contingencies.

**Keywords:** Matter - Radiation Interaction, Anthropological Theory of Didactics, Didactical Sequence, Particles Accelerator, Synchrotron Light.

## **Introdução**

A tecnologia é uma forte aliada para tornar as tarefas cotidianas mais simples, rápidas e eficientes. A Física Moderna e Contemporânea (FMC) é responsável pelo desenvolvimento de muitas dessas tecnologias, como fornos micro-ondas, termômetros de medição sem contato (infravermelho), lasers, exames de raios-X, leitores de códigos de barras e códigos QR. Embora a FMC seja prevista e obrigatória no currículo escolar, pouco é explorado sobre esses assuntos nas escolas, devido à má distribuição dos conteúdos na grade curricular e à falta de ferramentas para o desenvolvimento do trabalho do professor (Oliveira, Vianna e Gerbassi, 2007).

Dentre as maiores dificuldades em ensinar FMC, Siqueira (2006), Silva, Siqueira e Batista (2015) e Pessanha (2014) relatam que o “como ensinar” é o maior desafio. Assim, há a necessidade de desenvolver instrumentos didáticos que contribuam para a aproximação dos conteúdos vistos em salas de aula com esses temas mais atuais, de forma a facilitar e engajar professores e alunos.

O Brasil conta com um laboratório pioneiro de grande aplicabilidade da Física Moderna, localizado na cidade de Campinas/SP. O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) abrigou a primeira fonte de luz síncrotron do Brasil, chamada UVX, no período entre 1997 e 2019. Ele integra o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), com outros três: o Laboratório Nacional de Biociências (LNBio), Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) e o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) (CNPEM, 2014, p.11).

O LNLS é o responsável pela operação do Sirius, inaugurado em 2018. Trata-se de um acelerador de partículas de quarta geração, acelerando elétrons a uma velocidade muito próxima à da luz. Dipolos magnéticos são utilizados para desviar a trajetória desses elétrons, resultando numa radiação eletromagnética de altíssimo brilho, chamada Luz

Síncrotron, a qual pode ser emitida em diferentes comprimentos de onda, do ultravioleta aos raios-X (CNPEM, 2014, p.16). Atualmente, existem 14 linhas de luz em funcionamento no Sirius<sup>1</sup>, mas a projeção é operar até 38 linhas. Segundo o site oficial do CNPEM, existem cerca de 400 áreas de pesquisas desenvolvidas no Sirius, envolvendo em torno de 1,2 mil pessoas. Aproximadamente 80% das pesquisas são realizadas por brasileiros e o restante por pesquisadores estrangeiros, principalmente da América do Sul<sup>1</sup> (CNPEM, 2023). As pesquisas são variadas, desde a observação de combustíveis fósseis armazenados no espaço poroso de rochas carbonáticas (linha de luz de micro e nanotomografia de raio-X), até pesquisas pioneiras na área da agricultura com o desenvolvimento de sensores, que possibilitam o monitoramento da quantidade de água e nutrientes no solo, tecnologia voltada ao plantio de soja e cana de açúcar.

Em julho de 2021, o Sirius ganhou notoriedade na mídia ao obter uma imagem tridimensional da proteína do Sars-Cov 2, responsável pela transmissão da Covid-19. O estudo e entendimento da estrutura do vírus é fundamental para o desenvolvimento de drogas antivirais e produção de vacinas.<sup>2</sup> Inspirados em disponibilizar abordagens inovadoras para o ensino de FMC, apresentamos o design e a validação de uma sequência didática (SD), desenvolvida com base na Teoria Antropológica do Didático, a qual é abordada na próxima seção.

### **A Teoria Antropológica do Didático**

A Teoria Antropológica do Didático (TAD) se consolidou pelo alargamento dos estudos a respeito da transposição didática, que designa o conjunto de transformações pelas quais um saber de referência (saber sábio) se torna um saber ensinado.

Yves Chevallard (2002) parte de três definições significativas para o entendimento e estudo da TAD. A primeira refere-se ao objeto, como “qualquer entidade material ou imaterial que há pelo menos para um indivíduo”. Assim, tudo pode ser considerado objeto: pessoas, números, conceitos, de forma que exista uma intenção (CHEVALLARD, 2002). A segunda relaciona-se com a noção de indivíduo, podendo ser pessoas ou uma instituição. A terceira definição para a compreensão da TAD é a de “relação pessoal” entre

---

<sup>1</sup> Site oficial do CNPEM, disponível em: <https://cnpem.br/sirius-o-que-e-e-como-funciona-o-acelerador-de-particulas-brasileiro/>

<sup>2</sup> Matéria publicada no portal G1 em julho de 2021 - “Superlaboratório Sirius ajuda a revelar detalhes inéditos da reprodução do vírus da Covid-19”.

o indivíduo e objeto. De acordo com Bosch e Chevallard (1999), um objeto só existirá se houver uma relação e interação entre a pessoa e o objeto.

No nosso contexto, nos debruçamos a oferecer diferentes situações ao estudante do Novo Ensino Médio (o indivíduo) de forma a desafiá-lo a mobilizar novas perspectivas para a resolução de um problema. A instituição exige a carga horária obrigatória dos conteúdos previstos na Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), além dos Itinerários Formativos que permitem atrelar os conteúdos a propostas inovadoras. Quanto à compreensão entre indivíduo e objeto, essa articulação deve materializar o questionamento do mundo através de aulas mais dinâmicas, priorizando subsídios experimentais sempre que possível.

Os momentos de estudo ou momentos didáticos são etapas ou os caminhos a serem seguidos até atingir a compreensão de um conteúdo. Chevallard (1999) aponta que esses devem ser respeitados, algumas etapas podendo sofrer ajustes. São eles:

- Momento do Primeiro Encontro: Neste, um problema é proposto junto aos estudantes; o indivíduo tenta resolver a situação reproduzindo uma prática já conhecida, ou resolvê-la se afastando de uma realidade pré-existente; ele mesmo busca construir respostas para a solução do problema.
- Momento Exploratório: Ao explorar um problema, é possível que uma ou mais técnicas sejam empregadas para a sua resolução.
- Momento da Constituição do Bloco Tecnológico-Teórico: no contexto escolar, a técnica mais adequada a ser escolhida será a seleção do material para análise no momento anterior, enquanto o bloco tecnológico-teórico explica e justifica a melhor técnica a ser empregada.
- Momento do Trabalho da Técnica: este momento representa o período de validação da técnica, bem como se essa é satisfatória ou não.
- Momento da Institucionalização: oficialização da organização praxeológica; nesta etapa é necessário se atentar a todos os elementos que participaram da organização didática, manter aqueles que se mostraram eficazes durante o processo, revisar problemas que não foram tratados e excluir aqueles que não são significativos para que finalmente a organização didática seja formalizada.
- Momento Avaliação: essa etapa pode ser vivenciada individual ou coletivamente, aqui tem-se a oportunidade de revisar e repensar todo o processo educativo.

Considerando os princípios da TAD delineados, abordamos a seguir a metodologia empregada no desenvolvimento e redesenho da SD.

### Metodologia

Nossa SD foi desenvolvida e validada; modificações ocorridas encontram alicerce na abordagem metodológica conhecida como pesquisa baseada em design (DBR), uma metodologia de pesquisa capaz de associar a perspectiva teórica com aplicações educacionais práticas (DBR-COLLECTIVE, 2003), considerando as seguintes etapas:

- I. Design da sequência, contemplando os temas abordados, estrutura da sequência e objetivos alcançados.
- II. Produto e primeira aplicação da SD - validação;
- III. Resultado, análise dos dados construídos.
- IV. Re-design da SD, aprimorando-a a partir da análise feita;

A SD foi aplicada junto a trinta alunos de primeiro e segundo ano de um colégio da rede privada da cidade de Uberlândia- MG durante as aulas do Itinerário Formativo previsto no Novo Ensino Médio no primeiro semestre de 2023. A SD contou com oito aulas, desenhadas articulando os conteúdos previstos no currículo escolar e organizadas de forma estratégica, a fim de traçarmos uma trilha coerente para a compreensão de alguns fenômenos físicos que acontecem no LNLS. Na Tabela 1, apresentamos os principais conteúdos abordados durante a aplicação da SD, cada aula teve duração de 50 minutos.

**Tabela 1:** Relação das aulas da Sequência Didática

Aula	Tema	Estratégia Didática
1	Ímãs	Observar a interação entre ímãs e metais.
2	Campo Magnético	Representação das linhas de campo magnético utilizando limalha de ferro. Experimento de Oersted representado através de simulação <i>Phet</i> <sup>3</sup>
3	Força Magnética	Utilização do simulador <i>Water Fendt</i> , <sup>4</sup> a fim de ilustrar as relações entre o campo magnético e a Força de Lorentz.
4	Exercícios – Força e Energia Magnética	Resolução de exercícios de ENEM e vestibulares.
5	Uma máquina para enxergar: o Síncrotron	Questionário investigativo sobre o laboratório Sírius.
6	Espectros eletromagnéticos: Raio-X, como o enxergamos?	Estudo sobre radiação ionizantes e não-ionizantes.

<sup>3</sup> Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/faradays-law](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law)

<sup>4</sup> Disponível em: [https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/lorentzforce\\_pt.htm](https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/lorentzforce_pt.htm)

7	Laboratório Nacional de Luz Síncrotron: Sírius	Visita virtual ao laboratório Sírius.
8	Questionário final.	Avaliação dos conteúdos estudados.

**Fonte:** Produzida pela autora.

Na próxima seção, relatamos os principais resultados oriundos da aplicação dessa sequência sob a ótica dos momentos didáticos da TAD.

## Resultados e Discussões

Durante a primeira aula, tivemos o momento do Primeiro Encontro, um diálogo com as(os) estudantes sobre os assuntos que seriam abordados nas aulas seguintes. Nessa aula, tivemos o Momento Exploratório, pela observação das diferentes interações de alguns metais e ímãs. Emergiram discussões sobre a Terra ser um ímã gigante e o fato da bússola apontar para o Norte Geográfico, bem como a existência de Aurora Boreal. Ao compreender que a bússola aponta para o Norte Geográfico, em função da atração pelo sul magnético, alguns estudantes se mostraram surpresos: *“ Ahhh, então é por isso, o sul magnético atrai o norte da bússola, eu sabia disso, mas não sabia o porquê”*.

Continuando os estudos sobre ímãs, durante a segunda aula, evidenciamos o Momento Exploratório, ao questionar se seria possível visualizar o campo magnético, muitos responderam: *“Não dá pra ver não, só sentir por causa da atração com outro ímã, isso já prova que tem campo”*, um outro estudante disse: *“Eu sei que o campo magnético é curvado”*. A partir dessas respostas, realizamos a experiência com a limalha de ferro para representar as linhas de campo de um ímã.

Na terceira aula, o Momento Exploratório ocorreu via simulador *Water Fendt*, explorando as relações entre o campo magnético e a força magnética. Na quarta aula, o Momento do Trabalho da Técnica foi concretizado pela resolução de exercícios. Nos Momentos do Bloco Tecnológico, integramos a teoria dos conteúdos estudados e previstos no currículo escolar aos Momentos Exploratórios de cada uma das aulas, conciliamos os conceitos de campo magnético, força magnética, espectro eletromagnético e a interação dos raios-X com a matéria.

No início da quinta aula, foi aplicado um questionário sobre aceleradores de partículas, com perguntas como – “Para que serve?”, “Como funciona?”, “Existe aceleradores de partículas no Brasil?”. Dos vinte e nove questionários respondidos, cerca

de dezenove afirmaram existir aceleradores de partículas no Brasil. Possivelmente, esse número pode ser decorrente de comentários anteriormente feitos pela professora em aula. Apenas três alunos esboçaram uma resposta próxima de uma das funcionalidades do acelerador: *“Com a radiação produzida no laboratório é possível ver desde rochas até vírus”*. – respondeu um estudante. Ainda nessa aula, apresentamos o funcionamento do acelerador, associando com os conceitos abordados nas aulas anteriores. Alguns comentários foram feitos, como: *“Ahhh, o movimento do elétron é circular por causa da força magnética, por isso que o acelerador parece um estádio de futebol.”*

Na sétima aula, exploramos a dimensão do laboratório Sirius por meio de uma visita virtual. No início, a visita leva à sala de controle, onde é explicado o processo de aumentar a velocidade dos elétrons no Booster (anel menor), antes de inseri-los no anel principal: os elétrons atingem velocidades próximas as da luz. Nesse contexto, mobilizamos um “desafio” aos estudantes: “Considerando a circunferência do Sirius é de cerca de 518m e, sabendo o valor aproximado da velocidade dos elétrons, quantas voltas o feixe de elétrons consegue dar em um segundo?” Mobilizando diferentes técnicas, uns calcularam inicialmente o tempo para que o feixe dê uma volta; outros dividiram a velocidade pelo valor da extensão da circunferência e obtiveram o valor de 600.000 voltas por segundo.

As linhas de luz também foram exploradas durante a visita virtual, cada uma delas apresentando diferentes faixas de energia do Raio-X, aqui os estudantes assimilaram que cada uma dessas faixas de energia interage de forma diferente com a matéria. Pudemos constatar a seguinte associação: *“...é por isso que o raio-x do hospital é diferente do raio-X do aeroporto!”* Finalizamos observando a estrutura física do Sirius e a visão aérea, muitos estudantes questionaram se era possível visitar o laboratório pessoalmente. Fizemos a divulgação do “Ciência Aberta”, evento no qual o CNPEM fica disponível para a comunidade conhecer os laboratórios e as pesquisas realizadas no Sirius. Na última aula, efetivamos o Momento da Avaliação, por meio de um questionário. Cerca de metade dos estudantes associaram os assuntos discutidos com o funcionamento do Sirius.

### **Considerações Finais**

Inspirados em desenvolver uma SD baseada na TAD e relacionada aos contextos em que a produção do trabalho científico é realizada, escolhemos estudar o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, de forma a articular os conteúdos escolares, à compreensão

técnica do funcionamento do acelerador de partículas. Como detalhado, os momentos exploratórios ocorreram com a utilização de experimentos com imãs e de simuladores e os blocos tecnológico-teórico e de trabalho com a técnica, foram concretizados via exposição dialogada e resolução de questões padronizadas de vestibulares. Finalizamos realizando uma avaliação escrita individual no Google Forms, sobre a visita virtual e questões que abordavam o conteúdo explorado.

Considerando o Momento da Institucionalização, no qual reavaliamos algumas etapas e pontos a serem melhorados para uma aplicação futura da nossa SD, percebemos que o experimento das linhas de campo utilizando a limalha de ferro seria mais efetivo na primeira aula. Durante a segunda aula, o experimento de Oersted poderia ser realizado com pilhas e bússola. Entre as aulas dois e três, poderia ser dada maior ênfase ao campo elétrico, pela sua importância no acelerador linear. A vigilância epistemológica sempre depende das condições efetivas da realidade escolar do professor.

### Referências:

- BRASIL, **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação. 2018.
- BOSCH, M., CHEVALLARD Y. La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs: objet d'étude et problématique. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 19, n. 1, p. 77-123, 1999.
- CNPEM - B. **Projeto Sirius**: A nova fonte de luz Síncrotron brasileira. Livro Projeto Sirius - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Campinas, 2014.
- DBR-COLLECTIVE. Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. **Educational Researcher**, v. 32, n. 1, p. 5–8., 2003.
- OLIVEIRA, F. F.; VIANNA D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.
- PESSANHA, M. **Estrutura da Matéria na Educação Secundária: Obstáculos de Aprendizagem e o Uso de Simulações Computacionais**. 2014. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.
- SILVA, Y. A. R.; SIQUEIRA, M.; BATISTA, C. A. S. Aceleradores e detectores de partículas sob o olhar da Transposição Didática. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2015, Águas de Lindoia.
- SIRIUS: acelerando o futuro da ciência brasileira**, Campinas – SP, disponível em: <https://lnls.cnpem.br/sirius/>. Acesso em 31 de outubro de 2023
- SIQUEIRA, M. **Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. 2006. Dissertação (Mestrado em Educação) -USP, São Paulo.