

Nota Técnica Complementar

I. DO OBJETIVO

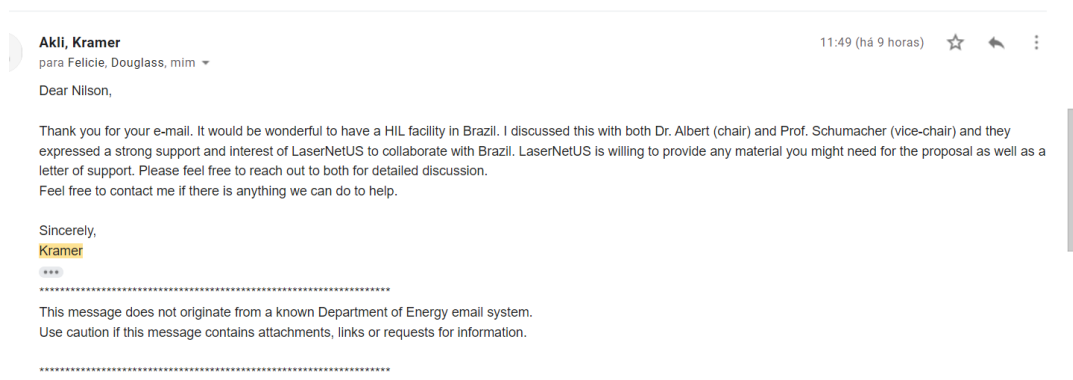
A nota Técnica 2014/NDVJ evidenciou o surgimento de uma nova área de ciências de fronteira, Laser de Altíssima Potência, e suas potenciais aplicações, principalmente em física e medicina, além de informar a existência de uma capacidade modesta no país, inserida nestes temas. Após nove anos, estas ações se acentuaram e se consolidaram, e novas oportunidades se apresentam que serão descritas seguindo o modelo da Nota Técnica já escrita em 2014.

II. DOS FATOS

1. Além da iniciativa da comunidade europeia da criação do Extreme Light Infrastructure - ELI (<https://eli-laser.eu/>), em atividade, os Estados Unidos da América criaram a organização LaserNetUS (lasernetus.org), apoiada financeiramente pelo *Department of Energy* – DoE/USA, agregando dez sistemas de Lasers de Altíssima Intensidade (HIL), incluindo um no Canadá, todos operacionais;
2. Os lasers incluídos nessas organizações executam propostas científicas e tecnológicas submetidas pela comunidade que são selecionadas por um processo de revisão por pares;
3. Vários sistemas laser da LaserNetUS são usados como aceleradores de partículas, e feixes de elétrons com energia de até 8 GeV já foram produzidos em plasmas com poucos centímetros de comprimento. Na Universidade de Nebraska-Lincoln (UNL), elétrons foram acelerados a 400 MeV;
4. O grupo do IPEN teve um projeto de cooperação apoiado pela FAPESP com a UNL, na modalidade de cooperação internacional, denominado SPRINT. A UNL é a sede do laser Diocles, com potência de pico de 0,7 PW.
5. Durante o projeto SPRINT, fomos instados a fazer uma proposta científica à LaserNetUS. A proposta foi aprovada para ser executada no ciclo 3, com início previsto para 2019/2020. Como a proposta foi baseada em viagens para execução de missões científicas, estas tiveram que ser adiadas pela instalação da pandemia de covid-19, tendo sido executadas durante 4 semanas, tendo sido concluídas em 2022. Em função dos resultados preliminares obtidos, fomos instados a submeter uma nova proposta ao ciclo 5 da LaserNetUS, atualmente em julgamento.
6. As comunidades internacionais de aceleradores de partículas e lasers juntaram esforços para elaborar propostas de desenvolvimento conjunto de aceleradores por plasma a laser, objetivando atingir, como meta de longo prazo, energias de multi-TeV e assim poder estudar novos fenômenos no campo de partículas elementares (ref. 2), analogamente ao que já foi feito pelos europeus (ref. 3);
7. Em 2015, a comunidade europeia iniciou o projeto EuPRAXIA (*European Plasma Research Accelerator with Excellence in Applications*), visando desenvolver aceleradores por plasma a laser capazes de produzir feixes de elétrons com energias de 1 a 5 GeV, com qualidade compatível à obtida em aceleradores convencionais. Além disso, o projeto também contemplou o estudo da montagem serial de múltiplos aceleradores, visando atingir energias mais elevadas. Em

- 2020, foi publicado um relatório técnico (EuPRAXIA Conceptual Design Report, Ref. 9) com mais de 600 páginas, contendo os principais resultados do projeto;
8. Além de novas instalações, há uma profusão de novas aplicações, sendo a área mais desenvolvida a de aplicações médicas, com destaque para a intensa atividade em Hamburgo, no *Deutsches Elektronen-Synchrotron – DESY*, na Alemanha (<https://photon-science.desy.de/>, ref. 4, 5 e 6);
 9. Na ocasião da execução da missão científica na UNL, contamos com o apoio financeiro da UNL e do DoE/USA, o que viabilizou a ida de três doutores brasileiros e um aluno de doutoramento nesta missão. Em particular, tivemos a manifestação do DoE, na pessoa do Dr. Aki Kramer, *Program Manager, Fusion Energy Science, U. S. Department of Energy, DoE*, que nos respondeu sobre nossa possível inserção na LaserNetUS com a nota abaixo:

trabalho: 011-3133-9261



10. A consolidação das aplicações destes lasers de alta potência de pico depende do aumento de sua potência média, implicando na operação em altas taxas de repetição, se aproximando da operação em modo contínuo. Lasers contínuos de fibras são hoje disponíveis comercialmente, com centenas de kW, permitindo antever que lasers de TW poderão estar disponíveis com taxas de repetição de MHz, com potências médias uma ordem de magnitude inferior ao de lasers de fibras, adequados para usos práticos;
11. Esses lasers com maior potência média reduzirão o custo e a complexidade desses sistemas, viabilizando seu uso em inúmeras aplicações;
12. Resultados experimentais obtidos por grupos na Alemanha já permitem gerar radiação para formar imagens de raios X de alto contraste, com alta resolução temporal, e com grande impacto em medicina (ref. 4);
13. A produção de feixes de nêutrons por lasers de alta intensidade se tornou corriqueira e a Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA, já organiza encontros técnicos na área que foi denominada como *Laser-Driven Neutron Source* (ref. 7);
14. O Programa de Fusão por confinamento inercial americano, em desenvolvimento no *National Ignition Facility – NIF, Lawrence Livermore National Laboratory – LLNL*, que participa da LaserNetUS, obteve recentemente um resultado científico por Laser importante (ref. 1) para o desenvolvimento de fusão, que mereceu uma nota da Sociedade Brasileira de Física – SBF, escrita pelo Prof. Ricardo Galvão, disponível em <https://sbfisica.org.br/v1/sbf/sobre-o-recente-resultado-de-fusao->

[por-laser-obtido-no-lawrence-livermore-national-laboratory/](#), destacando a importância científica do fato;

III. DA ANÁLISE

15. As atividades científicas de lasers de alta intensidade evoluíram significativamente nos últimos nove anos, tendo como principais marcos de evolução os resultados de fusão a laser obtidos no NIF, os resultados de aceleração de elétrons, e o fato de terem se tornado fontes de nêutrons relativamente comuns;
16. Sistemas práticos de aceleração de elétrons já são comerciais e operam em taxas de repetição de kHz. Nessa faixa de potência já é possível acelerar elétrons a energias relativísticas (dezenas de MeV com potencial de atingir 70 MeV, conforme nossas previsões teóricas – ref. 8 e 9), necessitando aumentar a taxa de repetição para se tornarem competitivos com aceleradores convencionais;
17. Sistemas lasers, mesmo com potências de pico de TW são mais simples e compactos que os aceleradores de radiofrequência (RF) e apresentam redução drástica de radiação ionizante, acarretando numa menor necessidade de blindagem, o que deverá torná-los muito mais acessíveis que aceleradores de RF;
18. A redução de valor dos aceleradores a laser, associada à menor complexidade de operação e manutenção, deverá disseminar o seu uso, tanto em aplicações científicas como médicas;
19. Sistemas laser de alta intensidade são agora considerados como uma infraestrutura para estudo de física de partículas, para atingir energias ultra relativísticas de multi-TeV;
20. Para se inserir nestas atividades, a comunidade científica brasileira precisa participar mais ativamente destas ações, principalmente nas que envolvem experimentos que gerarão tecnologias disruptivas;
21. Os custos de participação nestas ações são em geral muito elevados, devido à necessidade de implementação de sistemas laser de centenas de TW no Brasil, que necessitam de grande infraestrutura de pesquisa;
22. A organização LaserNetUS, assim como o DoE, se mostraram muito cooperativos com a nossa participação, portanto surge uma oportunidade de participar nestes experimentos com boas ideias e propostas científicas, como ocorreu com o nosso grupo.

IV. DO FUNDAMENTO LEGAL

O Ministério de Minas e Energia, MME, criado pela **LEI No 8.422, DE 13 DE MAIO DE 1992**, tem no seu Art. 6º - Os assuntos que constituem área de competência de cada ministério criado por esta lei são os seguintes:

- I - Ministério de Minas e Energia:
 - a. geologia, recursos minerais e energéticos;
 - b. regime hidrológico e fonte de energia hidráulica;
 - c. mineração e metalurgia;

d. indústria do petróleo e de energia elétrica, inclusive nuclear;

DECRETO Nº 5.886, DE 6 DE SETEMBRO DE 2006. Art. 1º O Ministério da Ciência e Tecnologia, órgão da administração direta, tem como área de competência os seguintes assuntos:

- I. política nacional de pesquisa científica, tecnológica e inovação;
- II. planejamento, coordenação, supervisão e controle das atividades da ciência e tecnologia;
- III. política de desenvolvimento de informática e automação;
- IV. política nacional de biossegurança;
- V. política espacial;
- VI. política nuclear; e
- VII. controle da exportação de bens e serviços sensíveis.

Portanto cabe ao MCTI, particularmente nos incisos I, II e VI implementar a política na área e ao MME, no inciso VI, tratar da área de aplicações de lasers em fusão nuclear.

V. DA CONCLUSÃO

23. Observando a clara tendência de aumento de potência e diminuição de custos, a tecnologia de aceleração de cargas a laser vai possibilitar inúmeras aplicações com grandes impactos à sociedade, mais notadamente nas aplicações na saúde, com destaque para irradiação de raios x e gama e a produção de radioisótopos para uso em medicina nuclear;
24. Os Estados Unidos da América, que dispõem de uma infraestrutura multibilionária de lasers de alta intensidade, estão apoiando grupos de pesquisa brasileiros a participar de experimentos em sua infraestrutura, inclusive com recursos financeiros;
25. O Brasil, e todo o hemisfério sul, participam marginalmente da área de lasers de alta intensidade e suas aplicações, uma das mais ativas cientificamente, na atualidade;
26. Mesmo com essa participação marginal, dois pesquisadores brasileiros – o Dr. Nilson Dias Vieira Junior, do IPEN-CNEN, e o Dr. Alexandre Bonatto, da UFCSPA – atualmente integram o *International Committee on Ultrahigh Intensity Lasers* (ICUIL), entidade ligada à *International Union of Pure and Applied Physics*, (IUPAP).
27. Um exemplo desta participação está ocorrendo com o grupo do IPEN e as instituições colaboradoras, USP, UFRGS, UFCSPA, mais ativos nesta área. Esta ação já conta com pelo menos uma dúzia de pesquisadores espalhados pelo no país, como uma semente destas ações.

VI. DA RECOMENDAÇÃO

28. O Brasil precisa participar das iniciativas de lasers de alta intensidade que são a base de expansão de várias áreas de ciência fundamental, com possíveis aplicações disruptivas que terão grande impacto na medicina mundial;
29. Há uma oportunidade de institucionalizar essa participação, por meio de **acordos de cooperação** com instituições americanas, que se mostram muito favoráveis à construção destes compromissos. Esta ação deverá ser acompanhada de ampla

divulgação desta oportunidade. Desta forma, o Brasil não precisará fazer investimentos vultosos para executar experimentos avançados, e poderá fomentar a área com investimentos em pequenos projetos e auxílios para viagem e estadia de média e curta duração, o que incentivará ações brasileiras nesta área;

30. O Brasil poderá fomentar uma ou algumas infraestruturas mais modestas (a exemplo dos Tokamak para fusão por confinamento magnético existentes no país) e manter esta área viva, usando-a para treinar recursos humanos e preparar experimentos preliminares aos experimentos nas grandes instalações, como foi feito no exemplo de colaboração entre a UNL e o IPEN.



Nilson Dias Vieira Junior
Pesquisador Titular
IPEN-CNEN

VII. Referências

1. **Nuclear Fusion Lab achieves “ignition”: what does it mean?**, J. Tollefson and E. Gibrey, Nature 13 December 2022, , ([DOI:10.1038/d41586-022-04440-7](https://doi.org/10.1038/d41586-022-04440-7));
2. **Linear colliders based on laser-plasma accelerators**, C. Benedetti et al, White paper to the Proceedings of the U.S. Particle Physics Community Planning Exercise (Snowmass 2021), [arXiv:2203.08366v2 \[physics.acc.ph\]](https://arxiv.org/abs/2203.08366v2) 4 Jul 22;
3. **EuPRAXIA Conceptual Design Report**, Assmann, R.W., Weikum, M.K., Akhter, T. et al. *Eur. Phys. J. Spec. Top.* **229**, 3675–4284 (2020). ([DOI:10.1140/epjst/e2020-000127-8](https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000127-8))
4. **Stability of ionization-injection-based laser-plasma accelerators**, Simon Bohlen, Jonathan C. Wood, Theresa Brümmer, Florian Grüner, Carl A. Lindstrøm, Martin Meisel, Theresa Staufer, Richard D’Arcy, Kristjan Pöder, and Jens Osterhoff, *Phys. Rev. Accel. Beams* **25**, 031301 – Published 15 March 2022, ([DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.25.031301](https://doi.org/10.1103/PhysRevAccelBeams.25.031301))
5. **Advanced Lasers, High-Power Lasers, and Applications XII**, Jiang, S. (Editor) ; Hartl, I. (Editor) ; Liu, J. (Editor), SPIE (2021), ([DOI: 10.1117/12.2619270](https://doi.org/10.1117/12.2619270))
6. **Laser-driven high-energy proton beams from cascaded acceleration regimes**, Tim Ziegler et al, Physical Sciences, Nature Portfolio, posted May 19th, 2023, ([DOI: 10.21203/rs.3.rs-2841731/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2841731/v1))
7. **Exploring nuclear photonics with a laser driven neutron source**, Zechen Lan and Akifumi Yogo, *Plasma Phys. Control. Fusion* **64** (2022) 024001 ([DOI:10.1088/1361-6587/ac38b3](https://doi.org/10.1088/1361-6587/ac38b3))
8. **Study of quasimonoenergetic electron bunch generation in self-modulated laser wakefield acceleration using TW or sub-TW ultrashort laser pulses**, E. P. Maldonado, R. E. Samad, A. Bonatto, R. P. Nunes, S. Banerjee, and N. D. Vieira, , *AIP Adv.* **11**, 065116 (2021), ([DOI:0.1063/5.0052831](https://doi.org/10.1063/5.0052831))
9. **Impact of He+N₂ concentration on self-modulated laser wakefield acceleration driven by pulses of a few TW**, E. P. Maldonado, R. E. Samad, A. V. F. Zuffi, J. R. d. Santos, and N. D. V. Jr., *J. Opt. Soc. Am. B* **40**, C141-C147 (2023). ([DOI:10.1364/JOSAB.482305](https://doi.org/10.1364/JOSAB.482305))