



Pró-Reitoria de Pesquisa
e Pós-Graduação



11^o Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2020



Câmpus
Presidente Epitácio

FUSÃO NUCLEAR: HISTÓRIA, PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

FELIPE B. FREITAS¹, DEIDIMAR A. BRISSI²

¹Graduando em Licenciatura em Física, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Birigui, felipe.bezerra.freitas20@gmail.com.

²Professor Mestre em Licenciatura em Física, IFSP, Câmpus Birigui, deidimar@deidimar.com.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.05.04.00-1 Física Nuclear.

RESUMO: Uma nuvem de dúvidas, estranheza e maldade sempre pairou sob os assuntos que envolvem a Física Nuclear, pois no senso comum, esta ciência só é lembrada pelo seu uso bélico. A fissão nuclear foi manchada pelo seu uso com armas de destruição em guerras, com isso, sua pesquisa ficou mais contida a usos militares, e as vezes, medicinais. Buscando uma alternativa, a pesquisa pela fusão nuclear se tornou uma corrida tecnológica por conta de seus benefícios. Diante disto, o objetivo deste trabalho é compreender a história da fusão nuclear, o panorama atual e as perspectivas para o futuro a partir uma pesquisa bibliográfica abrangente, mostrando seu desenvolvimento e história. Em dezembro de 1993, a Universidade de Princeton conseguiu gerar uma fusão controlada em seu reator, porém não foi eficiente e atualmente, o maior projeto para a pesquisa da fusão nuclear em Tokamaks é o ITER, na França. O Brasil possui certo interesse, e até desenvolveu alguma destas tecnologias, porém carece de pesquisadores, incentivo e financiamento no ramo que envolve a geração de energia por meio nuclear, e acaba não participando de importantes projetos.

PALAVRAS-CHAVE: tokamak; reator nuclear; geração de energia; física nuclear; sustentabilidade.

NUCLEAR FUSION: HISTORY, CURRENT OVERVIEW AND FUTURE PERSPECTIVES

ABSTRACT: A cloud of doubts, strangeness and evil always hung over the subjects that involve Nuclear Physics, because in common sense, this science is only remembered for its warlike use. Nuclear fission was tainted by its use with weapons of destruction in wars, with that, its research was more contained to military uses, and sometimes, medicinal. Looking for an alternative, nuclear fusion research has become a technological race because of its benefits. Given this, the objective of this work is to understand the history of nuclear fusion, the current panorama and the perspectives for the future from a comprehensive bibliographic research, showing its development and history. In December 1993, Princeton University managed to generate a controlled fusion in its reactor, but it was not efficient and currently, the largest project for the research of nuclear fusion in Tokamaks is ITER, in France. Brazil has a certain interest, and has even developed some of these technologies, but it lacks researchers, incentives and financing in the field that involves the generation of energy through nuclear means, and ends up not participating in important projects.

KEYWORDS: tokamak; nuclear reactor; power generation; nuclear physics; sustainability.

INTRODUÇÃO

Após a descoberta da fissão do urânio pelos físicos Otto hahn (1879-1968) e Lise Meitner (1878-1968), e com suas possíveis utilidades, a Segunda Guerra Mundial eclodiu, corrompendo este conhecimento para fins bélicos e levando a criação de bombas nucleares, que foram posteriormente usadas para bombardear as cidades de Fukushima e Nagasaki. Somente depois de diversos protestos, foi dado um fim pacífico para a tecnologia e então uma corrida pela construção de reatores de geração de energia por meio da fissão eclodiu no mundo. Com a perda de interesse dos países pela geração de energia por meio da fissão nuclear, causado principalmente pelo desastre em Chernobyl e o acidente em Fukushima, as pesquisas e investimento em física nuclear perderam força, planejamentos para construções de reatores foram cancelados e os que estavam em andamento, parados. A tecnologia ficou com boa parte restrita a assuntos militares e medicina nuclear (FAIRLEY, 2011).

Hans A. Bethe (1905-2005), com suas pesquisas, mostrou a capacidade energética das reações de fusão nuclear através da pesquisa com núcleos estelares e mostrou o caminho para a busca de uma alternativa milagrosa para a fissão nuclear como geradora de energia, aumentando a procura pela pesquisa neste ramo que se tornou objetivo incansável de organizações privadas e governamentais, tendo em vista sua geração de energia abundante, eficiente, limpa e segura. Se tornando facilmente o “Santo Graal” da energia sustentável, a geração de energia por meio da fusão nuclear é grandemente pesquisada e tem como ator principal o reator Tokamak da organização ITER.

No Brasil, quase não é falado sobre o assunto em trabalhos de divulgação científica e em livros didáticos, a física nuclear é dificilmente tratada com atenção, que na maioria das vezes dedicam duas ou três páginas de texto no terceiro ano do ensino médio, e nada mais (DARROZ; ROSA; SILVA, 2017). Diante disto, o objetivo deste trabalho é compreender a história da fusão nuclear, o panorama atual e as perspectivas para o futuro.

MATERIAIS E MÉTODOS

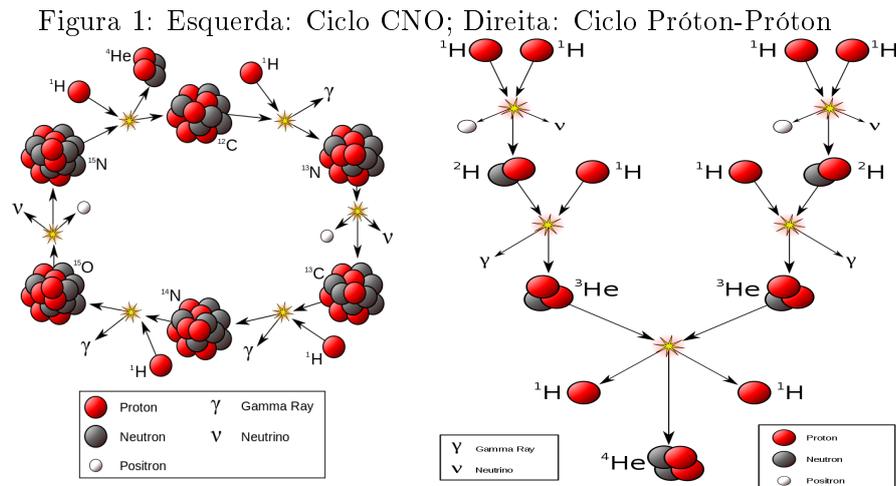
Com o objetivo de levantar informações confiáveis e aprofundadas, foi feita uma pesquisa bibliográfica abrangente para compreender a história e evolução da tecnologia, tendo como fonte biografias oficiais publicadas pela The Nobel Prize Organization, livros didáticos sobre Física e Física Nuclear, artigos científicos em revistas reconhecidas como a Nature, The Royal Society, e informativos técnicos de institutos como o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e o Instituto Niels Bohr.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Hans Albrecht Bethe (1906-2005) foi um físico alemão brilhante que fez grandes contribuições para a Astrofísica, Eletrodinâmica Quântica e Física do Estado Sólido. Por reconhecimento de seus trabalhos na área de nucleossíntese estelar, foi contemplado com o Prêmio Nobel de Física em 1967. Com seus trabalhos sobre as reações nucleares, Bethe descobriu os processos que fornecem energia às estrelas, garantindo-lhe o Prêmio Nobel. Sendo mais importante o chamado Ciclo CNO (Carbono-Nitrogênio-Oxigênio) para grandes estrelas e o Ciclo Próton-Próton, para as menores como o nosso Sol.

No ciclo CNO (Figura 1), um núcleo de hidrogênio (^1H) reagiria com um núcleo de carbono-12 (^{12}C) e formaria o nitrogênio-13 (^{13}N) e liberaria um raio gama (γ). Após várias reações, 3 prótons seriam envolvidos e então no final o resultado seria um carbono-12 (^{12}C) e um núcleo de hélio (^4He). Já no Ciclo Próton-Próton, dois núcleos de hidrogênio (^1H) reagem entre si formando um deutério (^2H), liberando um pósitron (e^+) e um neutrino (ν), que reage com outro núcleo de hidrogênio (^1H), formando um núcleo

de trítio (^3H) A reação se repete e então dois núcleos de trítio (^3He) interagem, formando um núcleo de hélio (^4He) e dois de hidrogênio (^1H).



Fonte: (STEINER, 2018)

Conhecendo então o enorme potencial da possível geração de energia através da fusão nuclear, começou-se uma corrida mundial que visava o domínio desta prática. Laboratórios e aparatos foram construídos mundo à fora com a intenção de conseguir masterizar a prática o quanto antes, o equipamento mais conhecido e eficaz foi o reator de origem russa Tokamak¹, que obteve resultados satisfatórios em 1960. Com isso, em 1980 foi construído outros equipamentos parecidos, um em solo americano e outro soviético (MARTINS, 2001).

Em dezembro de 1993, a Universidade de Princeton conseguiu gerar uma fusão controlada em seu reator *Tokamak Fusion Test Reactor*² na qual foi capaz de produzir 5.6 milhões de Watts, porém a energia necessária para produzir a fusão foi superior a gerada.

Projetado para operar em no máximo 5 MW e tendo como finalidade a produção de radioisótopos para medicina nuclear e experimentos de Física Nuclear, Física de Estado Sólido e pesquisas para tratamento de câncer (IPEN, 2020), o primeiro reator de fusão nuclear brasileiro, Experimento Tokamak Esférico, foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e entrou em operação no ano 2000, a construção do mesmo foi feita em conjunto da implantação do novo Laboratório Associado de Plasma, e juntos custaram 2,2 milhões de reais. Em funcionamento, ele tem capacidade de produzir plasma, gases ionizados que possuem alta energia térmica, à temperaturas de 2 milhões de graus Celsius e ainda não produz resíduos radioativos como o urânio. A segurança de reatores tokamaks também é um ponto à se considerar, pois a reação de fusão é totalmente interrompida caso haja algum vazamento ou defeito, visto que é necessário um ambiente muitíssimo específico para tal (FAPESP, 2004).

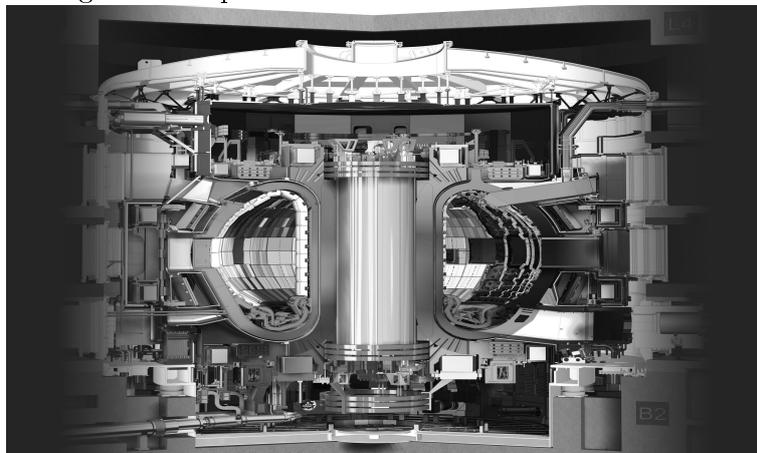
O ITER (Figura 2) é atualmente o maior projeto para construção de um reator de fusão nuclear para uso de geração de energia e pesquisas. Sendo um projeto internacional entre os Estados Unidos, Reino Unido, França e outros, terá sede em uma província no sul da França. Trabalhando gerando plasmas a uma temperatura de 150 milhões de graus Celsius (10 vezes mais quente que o núcleo do Sol) com o objetivo de gerar aproximadamente 500 MW por 20 minutos. Reproduzindo então, em laboratório, o ambiente e reações nucleares como as que ocorrem em estrelas, como o nosso Sol. Sua

¹“Câmara toroidal com um campo magnético axial.”

²“Reator Tokamak Teste de Fusão.”

operação está marcada para iniciar no ano de 2025 e as construções já começaram. Sendo um marco da engenharia, ITER será o maior reator de fusão nuclear já construído, pesando cerca de 23 mil toneladas.

Figura 2: Esquema interno do reator ITER em corte



Fonte: (ITER, 2020b)

Dentro da câmara do reator, sob calor e pressão extremas e com o hidrogênio gasoso se transformando em plasma, sendo modelado e controlado, ele é confinado por bobinas massivas que geram o campo magnético, necessário para que o material não entre em contato com as paredes internas do reator, visto que nenhum material suportaria tanta temperatura.

Para começar a reação, a câmara do reator é primeiramente evacuada para que nenhuma impureza interfira no processo, e então o sistema de confinamento magnético é carregado enquanto o combustível gasoso (deutério e trítio) é injetado na câmara. Uma grande quantidade de energia (50 MW) é imposta no combustível, arrancando elétrons dos núcleos de seus átomos, ionizando-os, transformando em plasma.

Devido ao confinamento magnético e pressão, o plasma energeticamente carregado colide suas próprias partículas e começa a se aquecer, e com a ajuda de um aquecimento auxiliar, o mesmo é levado à temperaturas de fusão (entre aproximadamente 150 e 300 milhões de graus Celsius). Com esta altíssima temperatura e pressão, as partículas podem então ultrapassar a repulsão eletromagnética³ e ocorrendo as colisões, a fusão acontece e quantidades imensas de energia é liberada (ITER, 2020a).

CONCLUSÕES

A demanda por energia mundial aumenta cada vez mais juntamente com o avanço tecnológico, as necessidades industriais e sociais, de transporte e conforto. Tendo em vista a necessidade de aprimorarmos nossa geração de energia, a promissora tecnologia da fusão nuclear é tão almejada, pois não é produzido lixo radioativo como na fissão e gases poluentes como os do efeito-estufa seu combustível é acessível, sendo que um deles, o deutério, é praticamente inesgotável. É também um processo muito seguro, pois caso haja algum problema, a reação é cessada instantaneamente.

O Brasil possui certo interesse, e até desenvolveu alguma destas tecnologias, porém carece muito de pesquisadores, incentivo e financiamento no ramo que envolve a geração de energia, e neste caso, a nuclear. Assim, acaba ficando com o papel de coadjuvante em grandes projetos que são feitos interna-

³A Barreira Coulombiana ou repulsão eletromagnética faz com que os átomos não entre em contatos com outros, evitando a fusão.

cionalmente. Portanto, é necessário instigar, desde a educação básica, a curiosidade pela pesquisa de meios sustentáveis de geração de energia, formando cientistas capazes de buscar soluções inovadoras, que beneficiará toda a sociedade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSP – Campus Birigui – pela oportunidade e liberdade que dá aos alunos em pesquisas e estudos, a PRP-IFSP pelo apoio através da bolsa PIBIFSP para a realização desta pesquisa, ao orientador Deidimar Alves Brissi pelo incansável incentivo a pesquisa e busca do conhecimento, ao CPI-BRI, nas pessoas de Andréia de Alcantara Cerizza e Ana Carolina Garcia Broiz, e a minha namorada Evelyn que sempre incentivou e ajudou a aprimorar este trabalho.

Referências

DARROZ, L. M.; ROSA, C. T. W. da; SILVA, J. C. da. Análise da abordagem de física nuclear nos livros didáticos de física. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v. 7, n. 3, p. 56, dez. 2017. ISSN 2238-2380.

FAIRLEY, P. A worldwide nuclear slowdown continues. *MIT Technology Review*, maio 2011. Disponível em: <<https://www.technologyreview.com/2011/05/18/194636/a-worldwide-nuclear-slowdown-continues/>>. Acesso em: 26 Agosto. 2020.

FAPESP. *Brasil busca desenvolver a tecnologia da fusão nuclear*. 2004. Disponível em: <<https://namidia.fapesp.br/brasil-busca-desenvolver-a-tecnologia-da-fusao-nuclear/11405>>. Acesso em: 31 jul 2020.

IPEN. *Reator IEA-R1*. 2020. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=729>. Acesso em: 31 jul 2020.

ITER. *International Thermonuclear Experimental Reactor*. 2020. Disponível em: <<https://www.iter.org/proj/iterhistory>>. Acesso em: 31 jul 2020.

ITER. *The ITER Tokamak*. 2020. Disponível em: <https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/TheTOKAMAKWidget/Attachments/2/tokama_bw-shades.jpg>. Acesso em: 31 jul 2020.

MARTINS, J. B. *Historia Do Atomo, A - De Democrito Aos Quarks*. Ciencia Moderna, 2001. ISBN 85-7393-213-9. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Historia-Do-Atomo-Democrito-Quarks/dp/8573932139?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=8573932139>>.

STEINER, J. E. *E-Disciplinas USP - Astronomia: Uma Visão Geral I*. 2018. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3442259/mod_resource/content/1/AGA0100%8.1%De%onde%vem%a%energia%das%estrelas.pdf>. Acesso em: 30 jul 2020.