



A forma como os cientistas pensam sobre a fusão mudou para sempre em 2022, quando o que alguns chamaram de experiência do século demonstrou pela primeira vez que a fusão pode ser uma fonte viável de energia limpa.

O experimento, no Laboratório Nacional Lawrence Livermore, mostrou ignição: uma reação de fusão que gera mais energia do que foi inserida.

Além disso, os últimos anos foram marcados por lucros inesperados de vários milhares de milhões de dólares em investimento privado neste domínio, principalmente nos Estados Unidos.

Mas é necessário enfrentar toda uma série de desafios de engenharia antes que a fusão possa ser ampliada para se tornar uma fonte segura e acessível de energia limpa praticamente ilimitada. Em outras palavras, é hora da engenharia.

Como engenheiros que trabalham há décadas na ciência fundamental e na engenharia aplicada à fusão nuclear, vimos grande parte da ciência e da física da fusão atingir a maturidade nos últimos 10 anos.

Mas para tornar a fusão numa fonte viável de energia comercial, os engenheiros têm agora de enfrentar uma série de desafios práticos. O facto de os Estados Unidos aproveitarem esta oportunidade e emergirem como líder mundial na energia de fusão dependerá, em parte, de quanto o país está disposto a investir na resolução destes problemas práticos - particularmente através de parcerias público-privadas.



O que você vai ler:



- [Construindo um reator de fusão](#)
- [Desafios pela frente](#)
- [Cenário atual de financiamento](#)

Construindo um reator de fusão

A fusão ocorre quando dois tipos de átomos de hidrogênio, deutério e trítio, colidem em condições extremas. Os dois átomos literalmente se fundem em um átomo, aquecendo até 180 milhões de graus Fahrenheit (100 milhões de graus Celsius), 10 vezes mais quente que o núcleo do Sol. Para que estas reações aconteçam, as infraestruturas de energia de fusão terão de suportar estas condições extremas.

Existem duas abordagens para alcançar a fusão no laboratório: fusão por confinamento inercial, que usa lasers poderosos, e fusão por confinamento magnético, que usa ímãs poderosos.

Embora a “experiência do século” tenha utilizado a fusão por confinamento inercial, a fusão por confinamento magnético ainda não demonstrou que pode atingir o ponto de equilíbrio na geração de energia.

Várias experiências financiadas pelo setor privado pretendem alcançar este feito ainda nesta década, e uma grande experiência em França, apoiada internacionalmente, o ITER, também espera atingir o ponto de equilíbrio no final da década de 2030. Ambos estão usando fusão por confinamento magnético.

Desafios pela frente

Ambas as abordagens à fusão partilham uma série de desafios cuja superação não será barata. Por exemplo, os investigadores precisam de desenvolver novos materiais que possam suportar temperaturas e condições de irradiação extremas.

Os materiais dos reatores de fusão também se tornam radioativos à medida que são bombardeados com partículas altamente energéticas. Os investigadores precisam de conceber novos materiais que possam decair dentro de alguns anos até níveis de radioactividade que possam ser eliminados de forma segura e mais fácil.

Produzir combustível suficiente e fazê-lo de forma sustentável também é um desafio importante. O deutério é abundante e pode ser extraído da água comum. Mas aumentar a produção de trítio, que normalmente é produzido a partir do lítio, será muito mais difícil. Um único reator de fusão precisará de centenas de gramas a um quilograma (2,2 libras) de



trítio por dia para operar.

Neste momento, os reactores nucleares convencionais produzem trítio como subproduto da fissão, mas estes não podem fornecer o suficiente para sustentar uma frota de reactores de fusão.

Assim, os engenheiros precisarão desenvolver a capacidade de produzir trítio dentro do próprio dispositivo de fusão. Isto pode implicar cercar o reator de fusão com material contendo lítio, que a reação converterá em trítio.

Para ampliar a fusão inercial, os engenheiros precisarão desenvolver lasers capazes de atingir repetidamente um alvo de combustível de fusão, feito de deutério e trítio congelados, várias vezes por segundo ou mais. Mas nenhum laser é poderoso o suficiente para fazer isso nesse ritmo - ainda. Os engenheiros também precisarão desenvolver sistemas de controle e algoritmos que direcionem esses lasers com extrema precisão para o alvo.

Além disso, os engenheiros precisarão aumentar a produção de alvos em ordens de grandeza: de algumas centenas feitas à mão todos os anos, com um preço de centenas de milhares de dólares cada, até milhões custando apenas alguns dólares cada.

Para a contenção magnética, os engenheiros e cientistas de materiais terão de desenvolver métodos mais eficazes para aquecer e controlar o plasma e materiais mais resistentes ao calor e à radiação para as paredes do reator. A tecnologia usada para aquecer e confinar o plasma até que os átomos se fundam precisa operar de forma confiável durante anos.

Estes são alguns dos grandes desafios. Eles são difíceis, mas não intransponíveis.

Cenário atual de financiamento

Os investimentos de empresas privadas aumentaram a nível mundial - estes provavelmente continuarão a ser um factor importante para impulsionar a investigação sobre fusão. As empresas privadas atraíram mais de 7 mil milhões de dólares em investimento privado nos últimos cinco anos.

Diversas [startups](#) estão desenvolvendo diferentes tecnologias e projetos de reatores com o objetivo de agregar fusão à rede elétrica nas próximas décadas. A maioria está baseada nos Estados Unidos, alguns na Europa e na Ásia.

Embora os investimentos do sector privado tenham aumentado, o governo dos EUA continua a desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento da tecnologia de fusão até ao momento. Esperamos que continue assim no futuro.

Foi o Departamento de Energia dos EUA que investiu cerca de 3 mil milhões de dólares para construir a Instalação Nacional de Ignição no Laboratório Nacional Lawrence Livermore em meados da década de 2000, onde a "experiência do século" teve lugar 12 anos depois.



Em 2023, o Departamento de Energia anunciou um programa de quatro anos no valor de US\$ 42 milhões para desenvolver centros de fusão para a tecnologia. Embora este [financiamento](#) seja importante, provavelmente não será suficiente para resolver os desafios mais importantes que permanecem para os Estados Unidos emergirem como líder global na energia de fusão prática.

Uma forma de construir parcerias entre o governo e empresas privadas neste espaço poderia ser criar relações semelhantes às entre a NASA e a SpaceX. Como um dos parceiros comerciais da NASA, a SpaceX recebe financiamento governamental e privado para desenvolver tecnologia que a NASA possa usar. Foi a primeira empresa privada a enviar astronautas ao espaço e à Estação Espacial [Internacional](#).

Juntamente com muitos outros investigadores, estamos cautelosamente otimistas. Novos resultados experimentais e teóricos, novas ferramentas e investimento do sector privado estão a contribuir para a nossa crescente sensação de que o desenvolvimento prático da energia de fusão já não é uma questão de se, mas sim de quando.

George R. Tynan é professor de engenharia mecânica e aeroespacial na Universidade da Califórnia, San Diego.

Farhat Beg é professor de engenharia mecânica e aeroespacial na Universidade da Califórnia, San Diego.

Este artigo foi republicado de A conversa sob uma licença Creative Commons. Leia o artigo original.