

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

PROJETO MANHATTAN: UMA REVISÃO HISTÓRICA DAS DESCOBERTAS CIENTÍFICAS QUE IMPULSIONARAM A CRIAÇÃO DAS PRIMEIRAS BOMBAS ATÔMICAS

¹João Augusto Fernandes Sinatra, ²Erik Zampieri, ³Altemir Antônio Pereira Junior

¹Graduando em Licenciatura em Física, IFSP – Campus Birigui, j.sinatra@aluno.ifsp.edu.br

²Graduando em Licenciatura em Física, IFSP – Campus Birigui, z.erik@aluno.ifsp.edu.br

³Professor do curso de Licenciatura em Física, IFSP – Campus Birigui, pereira.junior@ifsp.edu.br

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

RESUMO: O Projeto Manhattan representou um ponto de inflexão na história da ciência e da tecnologia, ao ser responsável pela criação das primeiras armas nucleares durante a Segunda Guerra Mundial. Sob a liderança do general Leslie Groves e com a coordenação científica de J. Robert Oppenheimer, o projeto reuniu alguns dos mais renomados físicos da época, como Enrico Fermi, Niels Bohr e Richard Feynman, com o objetivo de desenvolver a bomba atômica. A compreensão da fissão nuclear, das diferenças entre os isótopos de urânio (U-235 e U-238) e a descoberta do plutônio foram fundamentais para o êxito da iniciativa. O lançamento das bombas sobre Hiroshima e Nagasaki, em agosto de 1945, visava acelerar a capitulação do Japão, evitando uma invasão terrestre que provavelmente resultaria em inúmeras baixas. Além disso, a ação serviu para evidenciar o poder militar dos Estados Unidos, tanto para o Japão quanto para a União Soviética. A decisão foi fortemente influenciada pelo desejo de pôr fim à guerra rapidamente e afirmar a supremacia militar norte-americana. Apesar dos avanços proporcionados na área da física nuclear, o Projeto Manhattan também expôs os riscos do uso da ciência com propósitos destrutivos. A mesma ciência com potencial de promover o bem-estar humano foi utilizada para desenvolver armamentos de grande poder destrutivo, cujos impactos humanitários e geopolíticos ainda são sentidos nos dias atuais.

PALAVRAS-CHAVE: Manhattan; Física Nuclear, Oppenheimer, Urânio, Bomba Atômica.

MANHATTAN PROJECT: A HISTORICAL REVIEW OF THE SCIENTIFIC DISCOVERIES THAT DROVE THE CREATION OF THE FIRST ATOMIC BOMBS

ABSTRACT: The Manhattan Project represented a turning point in the history of science and technology, as it was responsible for the creation of the first nuclear weapons during World War II. Under the leadership of General Leslie Groves and the scientific coordination of J. Robert Oppenheimer, the project brought together some of the most renowned physicists of the time, such as Enrico Fermi, Niels Bohr, and Richard Feynman, with the goal of developing the atomic bomb. The understanding of nuclear fission, the differences between uranium isotopes (U-235 and U-238), and the discovery of plutonium were fundamental to the success of the initiative. The bombings of Hiroshima and Nagasaki in August 1945 aimed to accelerate Japan's surrender, avoiding a land invasion that would likely result in numerous casualties. Furthermore, the action served to demonstrate the military power of the United States, both to Japan and to the Soviet Union. The decision was strongly influenced by the desire to end the war quickly and assert American military supremacy. Despite the advances made in the field of nuclear physics, the Manhattan Project also revealed the dangers of using science for destructive purposes. The same science with the potential to promote human well-being was used to develop

weapons of great destructive power, whose humanitarian and geopolitical impacts are still felt to this day.

KEYWORDS: Manhattan; Nuclear Physics, Oppenheimer, Uranium, Atomic Bomb.

INTRODUÇÃO

No presente trabalho realiza-se uma revisão histórica das descobertas científicas que culminaram na criação das primeiras bombas atômicas por meio do Projeto Manhattan, durante a Segunda Guerra Mundial. O trabalho destaca o papel de figuras como Robert Oppenheimer, Enrico Fermi, Niels Bohr e Richard Feynman, bem como a liderança militar do general Leslie Groves. O desenvolvimento das armas nucleares é apresentado como resultado de décadas de avanços na física atômica e nuclear, iniciando-se com a transmutação de elementos por Ernest Rutherford em 1919.

A descoberta do nêutron por James Chadwick em 1932, o desenvolvimento do ciclotron por Ernest Lawrence, e os experimentos de Fermi com o urânio, que levaram à identificação da fissão nuclear por Hahn, Strassmann, Meitner e Frisch, são marcos fundamentais descritos no texto. Também é abordada a carta de Einstein e Szilard ao presidente Roosevelt, que motivou a criação de um comitê para explorar o uso militar do urânio.

É contemplada a importância da separação isotópica do urânio-235 e a descoberta do plutônio-239, fundamentais para a construção das bombas. A liderança científica de Oppenheimer em Los Alamos foi essencial para organizar o trabalho dos cientistas, culminando no teste Trinity e nos ataques nucleares a Hiroshima e Nagasaki em agosto de 1945.

Na conclusão, destacam-se as consequências imediatas do uso das bombas (a rendição do Japão e o fim da guerra) e os impactos duradouros, como o início da era nuclear e da Guerra Fria. O texto encerra com uma reflexão ética: embora a ciência seja neutra, suas aplicações dependem das escolhas humanas, e o Projeto Manhattan é um exemplo de como avanços científicos podem ser usados tanto para o bem quanto para a destruição.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão das principais descobertas científicas que culminaram na criação do Projeto Manhattan, utilizando como referência obras conceituadas como “The Making of The Atomic Bomb”, do historiador e jornalista norte-americano Richard Rhodes e “American Prometheus: The Triumph and Tragedy of J. Robert Oppenheimer” dos escritores Kai Bird e Martin Jay Sherwin. Metodologia: Para cumprir o objetivo acima proposto, foi feita uma pesquisa bibliográfica nos livros supracitados e em um relatório do Departamento de Energia dos Estados Unidos, a saber: “The Manhattan Project: Making the atomic bomb”, redigido por Francis George Gosling. A pesquisa resultou em uma linha cronológica abordando os principais acontecimentos e descobertas científicas no âmbito do Projeto Manhattan.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento do Projeto Manhattan, responsável pela criação das primeiras armas nucleares durante a Segunda Guerra Mundial, não foi fruto de um avanço isolado, mas sim o ápice de uma sequência notável de descobertas científicas no campo da física atômica e nuclear ao longo da primeira metade do século XX. Essas descobertas transformaram o entendimento da estrutura da matéria e revelaram possibilidades energéticas até então inimagináveis, que foram decisivas para viabilizar o uso militar da energia nuclear.

A trajetória começou em 1919, quando Ernest Rutherford, considerado o pai da física nuclear, realizou a primeira transmutação artificial de um elemento químico. No laboratório Cavendish, em Cambridge, ele bombardeou átomos de nitrogênio com partículas alfa, resultando na emissão de uma partícula carregada positivamente, que ele identificou como um núcleo de hidrogênio — o próton. Essa descoberta foi fundamental para a compreensão da estrutura atômica e estabeleceu as bases para a ideia de que o núcleo do átomo podia ser alterado e investigado experimentalmente. Com isso, a física

ultrapassava os limites do modelo atômico de Dalton e de Bohr, abrindo caminho para um novo campo de investigação: a física nuclear (Gosling, 1994).

Essa nova compreensão do núcleo atômico foi ampliada em 1932 por James Chadwick, também no Cavendish Laboratory. Chadwick conseguiu demonstrar experimentalmente a existência do nêutron — uma partícula subatômica sem carga elétrica, que até então era apenas uma hipótese para explicar a diferença de massa entre isótopos de um mesmo elemento. Ao bombardear berílio com partículas alfa e observar a radiação emitida, Chadwick provou que havia partículas neutras e com massa semelhante à do próton sendo emitidas. Essa descoberta foi revolucionária: como o nêutron não possuía carga elétrica, ele podia penetrar nos núcleos atômicos sem ser repelido, como acontecia com partículas carregadas. Isso tornava o nêutron a ferramenta ideal para provocar reações nucleares, incluindo a fissão, algo que seria confirmado poucos anos depois (Gosling, 1994).

No mesmo ano da descoberta do nêutron, em Berkeley, Califórnia, o físico Ernest O. Lawrence desenvolveu, com M. Stanley Livingston e Milton White, o primeiro ciclotron funcional. Esse acelerador de partículas usava campos elétricos oscilantes e um campo magnético constante para impulsionar partículas carregadas — como prótons — em espiral até atingirem velocidades elevadíssimas. O ciclotron foi um divisor de águas na experimentação nuclear, pois permitia colidir partículas com núcleos atômicos e investigar suas reações em alta energia. Com ele, tornou-se possível simular condições que só ocorriam naturalmente no interior de estrelas, fornecendo dados fundamentais para o estudo da estrutura do núcleo e da transformação de elementos — base teórica e prática essencial para o desenvolvimento de reatores e bombas nucleares (Gosling, 1994).

Em 1934, Enrico Fermi, em Roma, deu mais um passo decisivo rumo à fissão nuclear. Utilizando os recém-descobertos nêutrons, Fermi e sua equipe bombardearam diferentes elementos químicos na tentativa de produzir novos isótopos radioativos. O experimento mais marcante foi realizado com urânio, o elemento mais pesado conhecido na época. Embora Fermi acreditasse que estivesse criando elementos transurânicos, ele, na verdade, estava provocando a cisão do núcleo de urânio — a fissão nuclear. Fermi não reconheceu de imediato a natureza da reação, mas o registro e os produtos da experiência foram essenciais para que outros cientistas entendessem o que havia ocorrido (Gosling, 1994).

A compreensão plena da fissão veio em 1938, na Alemanha, com Otto Hahn e Fritz Strassmann. Ao repetir e aprofundar os experimentos de Fermi, eles identificaram que, ao bombardearem urânio com nêutrons, os produtos da reação incluíam elementos muito mais leves, como o bário. Isso contrariava a lógica de criação de elementos mais pesados e indicava que o núcleo de urânio havia se dividido em dois. A explicação teórica foi dada por Lise Meitner e Otto Frisch, que, refugiados da perseguição nazista, entenderam que a enorme energia liberada era decorrente da divisão do núcleo — processo batizado de "fissão nuclear" (Gosling, 1994). A teoria explicava, com base na equação de Einstein ($E=mc^2$), como uma pequena fração da massa era convertida em energia de forma extremamente eficiente.

No início de 1939, Niels Bohr levou essa descoberta aos Estados Unidos, divulgando-a em uma conferência de física teórica em Washington. A comunidade científica norte-americana reagiu imediatamente, reconhecendo o potencial energético e destrutivo do fenômeno. A notícia coincidiu com a crescente tensão internacional devido à expansão do regime nazista. Diversos cientistas europeus exilados nos Estados Unidos, entre eles Leo Szilard, Eugene Wigner e Edward Teller, expressaram preocupação de que a Alemanha pudesse desenvolver uma bomba baseada na fissão nuclear. Szilard, que já havia teorizado sobre a possibilidade de uma reação em cadeia auto-sustentada, procurou alertar o governo americano.

Em agosto de 1939, Albert Einstein, e Szilard, assinaram uma carta endereçada ao presidente Franklin D. Roosevelt. O documento explicava a recente descoberta da fissão e a possibilidade de uma arma de poder sem precedentes (Gosling, 1994). A carta teve efeito imediato: Roosevelt criou o Comitê Consultivo sobre Urânio para investigar as possibilidades do uso militar do elemento. Este comitê, embora inicialmente modesto e com poucos recursos, representou o embrião institucional do futuro Projeto Manhattan. Entre 1940 e 1941, novos experimentos permitiram identificar uma distinção fundamental entre os isótopos do urânio. O urânio-235, raríssimo na natureza (cerca de 0,7% do urânio natural), era altamente fissionável, ao passo que o urânio-238, mais abundante, tendia a absorver nêutrons sem se dividir. Essa constatação levou à necessidade de técnicas de separação isotópica — processo chamado de enriquecimento — para isolar o urânio-235 (Rhodes, 1986).

O desafio tecnológico era imenso, mas superá-lo tornou-se prioridade diante da possibilidade de se fabricar uma arma com base nesse isótopo. Paralelamente, outro caminho promissor surgiu: a descoberta do plutônio. Em 1940, Glenn T. Seaborg, Edwin McMillan, Joseph Kennedy e Arthur Wahl conseguiram sintetizar o elemento de número atômico 94 — o plutônio — ao bombardear urânio-238 com nêutrons. O plutônio-239, isótopo criado a partir do urânio-238, também era fissionável e, ao contrário do urânio-235, poderia ser produzido em grandes quantidades em reatores nucleares. Isso abriu a possibilidade de uma segunda via para a construção da bomba: além da via do enriquecimento, haveria a transmutação nuclear em reatores para produzir material fissil (Rhodes, 1986).

Assim, entre as décadas de 1910 e 1940, as descobertas científicas acumuladas transformaram o conhecimento sobre o átomo e suas possibilidades. Desde a identificação das partículas fundamentais (prótons, nêutrons) até a construção de máquinas que permitiam manipular o núcleo atômico, passando pela descoberta da fissão e do plutônio, a física nuclear deixou de ser um campo puramente teórico e experimental para se tornar, tragicamente, uma força central na geopolítica mundial. O Projeto Manhattan representou a aplicação militar desse conhecimento acumulado — uma convergência entre ciência, tecnologia, política e guerra, cuja origem está fincada na curiosidade científica e no engenho humano (Rhodes, 1986).

Segundo Bird e Sherwin (2006), a escolha de Julius Robert Oppenheimer para liderar a divisão científica do Projeto Manhattan foi feita pelo general Leslie Groves em 1942. Groves identificou em Oppenheimer características que considerava essenciais para o cargo: ambição, inteligência e uma notável capacidade de entender a complexidade dos cientistas envolvidos na criação da bomba atômica. Apesar da pouca experiência administrativa de Oppenheimer, sua proposta de reunir todos os cientistas em um laboratório centralizado, favorecendo a colaboração e a resolução eficiente dos desafios técnicos, causou uma forte impressão em Groves. Além disso, Groves apreciou a sugestão de Oppenheimer de instalar o laboratório em uma área isolada, atendendo às exigências de segurança do projeto. Apesar das diferenças em suas personalidades e estilos de liderança, Groves destacou a combinação de intelecto e habilidade de comando de Oppenheimer como fatores decisivos para gerir o vasto esforço científico e tecnológico do Projeto Manhattan.

Ainda conforme Bird e Sherwin (2006), Oppenheimer exerceu um papel fundamental no desenvolvimento da bomba atômica, chefiando a equipe científica no laboratório de Los Alamos. Sob sua liderança, os cientistas superaram grandes barreiras técnicas e teóricas que permitiram a viabilização da arma nuclear. Ele foi decisivo ao atrair alguns dos mais brilhantes físicos da época — como Enrico Fermi, Richard Feynman, Niels Bohr e Hans Bethe — para trabalhar em Los Alamos, promovendo um ambiente altamente colaborativo.

A liderança de Oppenheimer foi crucial na estruturação das divisões do laboratório, responsáveis por diferentes áreas, como física teórica, metalurgia e química. Ele também coordenou os esforços para solucionar questões técnicas complexas, como a separação dos isótopos de urânio e o desenvolvimento da bomba de plutônio, o que resultou no bem-sucedido teste Trinity, em julho de 1945. Sua capacidade de inspirar e motivar a equipe científica também foi amplamente reconhecida, criando uma cultura de inovação e cooperação que impulsionou o sucesso do projeto (Bird; Sherwin, 2006).

CONCLUSÕES

O efeito mais imediato do uso das bombas atômicas foi a rendição do Japão. A primeira bomba, "Little Boy", foi lançada sobre Hiroshima em 6 de agosto de 1945, matando instantaneamente cerca de 70.000 a 80.000 pessoas, com muitas outras mortes ocorridas nos meses seguintes devido à radiação. Três dias depois, em 9 de agosto, uma segunda bomba, "Fat Man", foi lançada sobre Nagasaki, matando aproximadamente 40.000 a 75.000 pessoas. Esses ataques levaram o imperador Hirohito a anunciar a rendição do Japão em 15 de agosto de 1945, encerrando a Segunda Guerra Mundial. O uso das bombas atômicas mudou radicalmente o curso das relações internacionais. Ao demonstrar a força devastadora das armas nucleares, os Estados Unidos se estabeleceram como a maior potência militar do mundo. Isso também marcou o início da era nuclear e da corrida armamentista com a União Soviética, que logo desenvolveu sua própria bomba atômica, dando início à Guerra Fria. Em suma, o uso de bombas atômicas foi motivado pela necessidade de encerrar uma guerra rapidamente, pela demonstração de poder geopolítico e pela pressão para evitar uma invasão prolongada e sangrenta. Ao mesmo tempo, o impacto foi devastador e abriu um novo capítulo nas relações internacionais, dando início à era nuclear

e às complexas questões éticas sobre o uso de armas de destruição em massa. Texto O Projeto Manhattan representa um exemplo notório de como o avanço científico, embora capaz de transformar a humanidade de maneira positiva, pode ser utilizado de forma destrutiva quando direcionado para fins bélicos. Ao desenvolver a primeira arma nuclear, a ciência atingiu um novo patamar no domínio das forças naturais, mas também revelou os perigos inerentes à utilização imprudente desse conhecimento. A ciência é, por natureza, neutra – ela busca entender o mundo ao nosso redor e expandir os limites do que é possível. No entanto, as aplicações desses avanços são determinadas pelas escolhas humanas, e o Projeto Manhattan declarou como essas escolhas podem ter consequências devastadoras. A criação da bomba atômica, embora tenha sido crucial para encerrar a Segunda Guerra Mundial, deixou um legado de destruição sem precedentes, com centenas de milhares de vítimas e a introdução de uma era de medo e tensão global que culminou na Guerra Fria. Uma vez que um avanço científico é concretizado, não há como voltar atrás. As descobertas e tecnologias, uma vez construídas, permaneceram no mundo, suscetíveis ao uso tanto para o bem quanto para o mal. Isso torna essencial que a ciência seja conduzida com cautela e sempre em conformidade com princípios éticos rigorosos. O poder transformador da ciência, como demonstrado pelo Projeto Manhattan, exige que aqueles que praticam e financiam estejam atentos às consequências de longo prazo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram com a redação e revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

REFERÊNCIAS

BIRD, K.; SHERWIN, M. J. American Prometheus (2006): The triumph and tragedy of J. Robert Oppenheimer. New York: Vintage Books, 2006.

GOSLING, F. G. The Manhattan Project: Making the atomic bomb. OSTI OAI (U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information), 1 set. 1994.

RHODES, R. The making of the atomic bomb. London: Simon & Schuster, 1986.