

O FILME OPPENHEIMER COMO ARTEFATO CULTURAL NO ENSINO DE CIÊNCIAS: POSSIBILIDADES CTS E SOCIOCIENTÍFICAS

THE FILM OPPENHEIMER AS A CULTURAL ARTIFACT IN SCIENCE EDUCATION: STS AND SOCIOSCIENTIFIC POSSIBILITIES

LA PELÍCULA OPPENHEIMER COMO ARTEFACTO CULTURAL EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: POSIBILIDADES CTS Y SOCIOCIENTÍFICAS

Guilherme Milagres Viana¹
Daniel Rodrigues de Lima²
Karen Cecília Dias Amorim³

RESUMO: Este artigo analisa as potencialidades pedagógicas do filme *Oppenheimer* para o ensino de Ciências, considerando suas possibilidades de articulação entre conhecimentos científicos, relações entre ciência e tecnologia, processos políticos, dilemas éticos e consequências sociais. A pesquisa, de abordagem qualitativa, caráter exploratório e natureza documental e bibliográfica, tomou o filme dirigido por Christopher Nolan como corpus central, articulado a documentos históricos e produções acadêmicas sobre ciência nuclear, Projeto Manhattan, relações entre ciência e Estado e tecnologias nucleares. A análise foi organizada em quatro etapas: apreciação integral da obra e registro das situações relevantes; organização dos episódios em categorias analíticas; interpretação à luz da perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e das Questões Sociocientíficas (QSC); e sistematização de possibilidades de utilização pedagógica. Os resultados evidenciam que o filme permite discutir a ciência como prática histórica, coletiva e socialmente situada, bem como problematizar as relações entre ciência, tecnologia, poder político, responsabilidade científica, guerra e movimentos sociopolíticos. Conclui-se que *Oppenheimer* pode constituir um artefato cultural relevante para abordagens CTS e QSC, desde que utilizado com mediação pedagógica e contextualização histórica, não como substituto de fontes científicas e históricas.

Palavras-chave: Oppenheimer. Ensino de Ciências. Questões Sociocientíficas.

¹ Mestrando em Educação - Universidade Federal de Ouro Preto.

² Mestrando em Educação - Universidade Federal de Ouro Preto.

³ Mestre em Educação - Universidade Federal de Ouro Preto.

ABSTRACT: This article analyzes the pedagogical potential of the film *Oppenheimer* for science education, considering its possibilities for articulating scientific knowledge, relationships between science and technology, political processes, ethical dilemmas, and social consequences. The research adopted a qualitative, exploratory, documentary, and bibliographic approach, using the film directed by Christopher Nolan as the central corpus, complemented by historical documents and academic studies on nuclear science, the Manhattan Project, relationships between science and the State, and nuclear technologies. The analysis was organized into four stages: comprehensive viewing of the film and systematic recording of relevant situations; organization of episodes into analytical categories; interpretation based on the Science-Technology-Society (STS) perspective and Socioscientific Issues (SSI); and systematization of possibilities for pedagogical use. The results show that the film enables discussions of science as a historical, collective, and socially situated practice, while also problematizing the relationships between science, technology, political power, scientific responsibility, war, and sociopolitical movements. It is concluded that *Oppenheimer* can constitute a relevant cultural artifact for STS and SSI approaches, provided that it is used with pedagogical mediation and historical contextualization, rather than as a substitute for scientific and historical sources.

Keywords: Oppenheimer. Science Education. Socioscientific Issues.

RESUMEN: Este artículo analiza las potencialidades pedagógicas de la película *Oppenheimer* para la enseñanza de las Ciencias, considerando sus posibilidades de articulación entre los conocimientos científicos, las relaciones entre ciencia y tecnología, los procesos políticos, los dilemas éticos y las consecuencias sociales. La investigación adoptó un enfoque cualitativo, exploratorio, documental y bibliográfico, tomando como corpus central la película dirigida por Christopher Nolan, complementada por documentos históricos y producciones académicas sobre ciencia nuclear, el Proyecto Manhattan, las relaciones entre ciencia y Estado y las tecnologías nucleares. El análisis se organizó en cuatro etapas: apreciación integral de la obra y registro sistemático de situaciones relevantes; organización de los episodios en categorías analíticas; interpretación a partir de la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) y de las Cuestiones Sociocientíficas (CSC); y sistematización de posibilidades de utilización pedagógica. Los resultados evidencian que la película permite discutir la ciencia como una práctica histórica, colectiva y socialmente situada, además de problematizar las relaciones entre ciencia, tecnología, poder político, responsabilidad científica, guerra y movimientos sociopolíticos. Se concluye que *Oppenheimer* puede constituir un artefacto cultural relevante para los enfoques CTS y CSC, siempre que sea utilizado con mediación pedagógica y contextualización histórica, y no como sustituto de fuentes científicas e históricas.

Palabras clave: Oppenheimer. Enseñanza de las Ciencias. Cuestiones Sociocientíficas.

INTRODUÇÃO

A presença da ciência e da tecnologia na vida social contemporânea torna cada vez mais necessário pensar uma educação científica que ultrapasse a transmissão de conceitos e procedimentos disciplinares. Questões relacionadas ao desenvolvimento tecnológico, à produção de energia, às mudanças ambientais, à saúde, à guerra e aos usos sociais do conhecimento científico envolvem escolhas que não podem ser determinadas exclusivamente por conhecimentos técnicos, uma vez que também mobilizam dimensões históricas, econômicas, políticas, éticas e culturais. Nesse sentido, a educação científica orientada pela perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) propõe aproximar os conhecimentos científicos dos contextos sociais nos quais são produzidos e utilizados, favorecendo a compreensão das inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade e contribuindo para a formação de cidadãos capazes de participar de processos coletivos de decisão (SANTOS; MORTIMER, 2000; AIKENHEAD, 2002; STRIEDER; KAWAMURA, 2017).

Nessa perspectiva, ensinar Ciências implica também possibilitar que os estudantes compreendam a ciência como uma prática humana, histórica e socialmente situada. A produção do conhecimento científico não ocorre de maneira independente das instituições, dos interesses e das condições sociais e políticas de cada período histórico. Discussões sobre a natureza da ciência, portanto, podem contribuir para superar uma visão descontextualizada e exclusivamente acumulativa da atividade científica, aproximando a compreensão dos conteúdos científicos das circunstâncias em que esses conhecimentos são produzidos, negociados e utilizados (LEDERMAN; ANTINK; BARTOS, 2014). A abordagem de questões sociocientíficas constitui, nesse sentido, uma possibilidade particularmente relevante, uma vez que tais questões articulam conhecimentos científicos a problemas controversos que envolvem diferentes dimensões da vida social e para os quais não existem respostas exclusivamente determinadas pela ciência (SADLER, 2004; ZEIDLER et al., 2005).

Entre os diferentes recursos culturais que podem contribuir para essa aproximação, o cinema ocupa uma posição singular. Filmes não apenas apresentam conceitos ou fenômenos científicos, mas também produzem representações sobre cientistas, instituições, tecnologias e sobre as relações entre ciência e sociedade. A utilização de produções cinematográficas no

ensino de Ciências já foi explorada como possibilidade de contextualização e problematização de conceitos científicos, inclusive por meio da análise crítica daquilo que os filmes representam de maneira compatível ou incompatível com os conhecimentos científicos estabelecidos (EFTHIMIOU; LLEWELLYN, 2004). Desse modo, o cinema pode ser compreendido não apenas como recurso ilustrativo, mas como artefato cultural que oferece situações e narrativas capazes de desencadear discussões sobre a própria produção social da ciência e seus efeitos.

É nesse contexto que o filme *Oppenheimer*, dirigido por Christopher Nolan e lançado em 2023, apresenta-se como um objeto particularmente fecundo para o ensino de Ciências. A obra acompanha a trajetória do físico J. Robert Oppenheimer e sua participação na direção científica do Laboratório de Los Alamos durante o Projeto Manhattan, desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos com o objetivo de produzir uma arma nuclear durante a Segunda Guerra Mundial. O próprio filme estrutura sua narrativa em torno das relações entre conhecimento científico, desenvolvimento tecnológico, guerra, poder político e dilemas éticos. Historicamente, o Projeto Manhattan constituiu um empreendimento científico e tecnológico de grande escala, marcado pela mobilização de pesquisadores sob condições de sigilo estatal e orientado pela transformação dos conhecimentos associados à fissão nuclear em uma arma de enorme poder destrutivo. O registro do primeiro processo de reação nuclear em cadeia controlada, em 2 de dezembro de 1942, integra essa trajetória que culminaria no teste Trinity, em julho de 1945, e posteriormente nos ataques atômicos a Hiroshima e Nagasaki.

4

A relevância pedagógica de *Oppenheimer*, contudo, não está apenas na possibilidade de abordar conteúdos de Física Nuclear. O filme permite problematizar as condições históricas e políticas que orientaram a mobilização do conhecimento científico para fins militares e, posteriormente, as disputas relacionadas ao controle, à responsabilidade e aos limites da atividade científica. A trajetória de Oppenheimer também remete à relação entre comunidade científica e Estado e aos conflitos políticos que marcaram os Estados Unidos no contexto da Guerra Fria. O processo de revisão de sua autorização de segurança, realizado em 1954, tornou-se um episódio emblemático das tensões entre ciência, segurança nacional, lealdade política e poder institucional. Assim, a narrativa cinematográfica oferece elementos para discutir não somente como uma tecnologia é produzida, mas também quem define seus usos, quais interesses orientam seu desenvolvimento e quais consequências sociais e políticas decorrem dessas escolhas.

Essa característica aproxima *Oppenheimer* das discussões propostas pela educação CTS e pelas abordagens de questões sociocientíficas. As QSC caracterizam-se justamente por articularem conhecimentos científicos e tecnológicos a controvérsias que envolvem fatores políticos, econômicos, éticos e sociais, exigindo posicionamentos que não podem ser obtidos exclusivamente a partir de respostas técnicas (SADLER, 2004; ZEIDLER et al., 2005). A questão nuclear constitui um exemplo paradigmático desse tipo de problemática: compreender a fissão nuclear e os princípios físicos envolvidos é fundamental, mas insuficiente para discutir, por exemplo, a legitimidade da produção de armas nucleares, a responsabilidade dos cientistas, o papel do Estado no financiamento de pesquisas estratégicas ou os impactos sociais de tecnologias destinadas à guerra. A abordagem CTS, por sua vez, destaca a necessidade de compreender as dimensões humanas e sociais da prática científica, incluindo suas consequências e sua relação com processos coletivos de tomada de decisão (AIKENHEAD, 2002).

A discussão adquire, portanto, uma dimensão política que não deve ser compreendida como simples inserção de opiniões políticas no ensino de Ciências. Trata-se de reconhecer que determinadas questões científicas e tecnológicas são inseparáveis de disputas sobre interesses, valores, formas de organização social e processos de tomada de decisão. A própria educação CTS, no contexto brasileiro, tem sido relacionada à construção de percepções, questionamentos e compromissos sociais, tendo como parâmetros a racionalidade científica, o desenvolvimento tecnológico e a participação social (STRIEDER; KAWAMURA, 2017). Nessa direção, trabalhar pedagogicamente com *Oppenheimer* pode favorecer uma abordagem na qual conceitos científicos sejam articulados a processos históricos e políticos, permitindo discutir a ciência não como atividade neutra e isolada, mas como prática inserida em relações sociais e institucionais.

Diante disso, este artigo parte da seguinte questão: como *Oppenheimer* pode ser explorado como artefato cultural para articular conhecimentos científicos, relações entre ciência e tecnologia e processos políticos no ensino de Ciências? Para respondê-la, propõe-se uma análise qualitativa, de caráter documental e bibliográfico, tomando o filme como corpus central e articulando suas representações e acontecimentos históricos ao referencial da educação CTS, das questões sociocientíficas e das discussões sobre a natureza social da ciência. O objetivo é identificar e discutir possibilidades pedagógicas presentes na obra para a abordagem integrada de conhecimentos científicos, relações de poder, conflitos políticos, dilemas éticos e consequências sociais da ciência e da tecnologia.

Ao assumir esse encaminhamento, o artigo não pretende defender o filme como substituto dos conhecimentos científicos ou como recurso capaz, por si só, de produzir uma formação crítica. Busca-se, antes, compreender as condições pelas quais uma obra cinematográfica pode constituir um ponto de partida para a problematização das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e política. A aposta é que a potência educativa de *Oppenheimer* esteja justamente na possibilidade de deslocar o ensino de Ciências de uma apresentação exclusivamente conceitual da Física Nuclear para uma discussão mais ampla sobre quem produz a ciência, em quais condições, para quais finalidades, sob quais interesses e com quais consequências sociais e políticas.

MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória e documental, desenvolvida a partir da análise do filme *Oppenheimer* (NOLAN, 2023) em articulação com produções acadêmicas e documentos históricos relacionados à ciência nuclear, ao Projeto Manhattan, às relações entre ciência e Estado e às implicações políticas e sociais do desenvolvimento de tecnologias nucleares. A opção por uma abordagem documental decorre da própria natureza do problema investigado, uma vez que o objetivo não consiste em avaliar os efeitos do filme sobre estudantes, mas em analisar suas potencialidades enquanto artefato cultural para a construção de abordagens pedagógicas no ensino de Ciências. A análise fílmica, nesse sentido, pode constituir uma estratégia de investigação da linguagem audiovisual e de suas possibilidades educativas, permitindo considerar tanto os elementos narrativos quanto os temas e relações sociais produzidos pela obra (VANOYE; GOLIOT-LÉTÉ, 1994; SANTOS; GORDO; SANTOS, 2020).

O corpus principal da pesquisa foi constituído pelo longa-metragem *Oppenheimer*, dirigido por Christopher Nolan e lançado em 2023. A escolha da obra ocorreu em razão de sua centralidade temática nas relações entre conhecimento científico, desenvolvimento tecnológico, guerra, poder político e responsabilidade científica. O filme acompanha a trajetória de J. Robert Oppenheimer e sua participação na construção da bomba atômica no contexto do Projeto Manhattan, possibilitando a identificação de situações narrativas que remetem tanto a conceitos e processos da Física quanto a conflitos históricos, políticos e éticos relacionados à produção e ao uso da tecnologia nuclear.

Para a composição e contextualização do corpus, foram também considerados documentos históricos e produções acadêmicas que permitem confrontar e contextualizar as situações apresentadas na obra cinematográfica. A utilização desses materiais é importante porque a análise proposta não pretende tomar a narrativa cinematográfica como reprodução literal dos acontecimentos históricos. Ao contrário, considera-se o filme uma representação audiovisual construída a partir de escolhas narrativas, estéticas e interpretativas, cuja utilização educacional requer contextualização e análise crítica. Nessa perspectiva, a análise fílmica deve considerar a obra em sua especificidade cinematográfica, sem desconsiderar as condições históricas e sociais às quais ela se refere (VANOYE; GOLIOT-LÉTÉ, 1994).

O procedimento analítico foi organizado em quatro etapas. Na primeira etapa, realizou-se a apreciação integral do filme, acompanhada do registro sistemático de cenas, diálogos, acontecimentos e situações relacionadas às dimensões científica, tecnológica, política, histórica, ética e social. O procedimento buscou identificar não apenas momentos em que aparecem explicitamente conceitos científicos, mas também situações nas quais a produção científica é apresentada em relação a instituições, interesses políticos, conflitos de poder e consequências sociais.

Na segunda etapa, as unidades selecionadas foram organizadas em categorias analíticas construídas a partir do diálogo entre o próprio corpus e o referencial teórico da pesquisa. Foram estabelecidas, inicialmente, cinco categorias: (a) ciência e produção do conhecimento; (b) ciência e tecnologia; (c) ciência, Estado e poder político; (d) responsabilidade e dilemas éticos; e (e) consequências sociais e movimentos sociopolíticos associados à tecnologia nuclear. Essas categorias não foram empregadas como classificações estanques, mas como eixos orientadores para a identificação das relações que atravessam a narrativa cinematográfica.

Na terceira etapa, os episódios identificados foram analisados à luz das perspectivas da educação Ciência-Tecnologia-Sociedade e das Questões Sociocientíficas. A abordagem CTS parte da compreensão de que ciência e tecnologia são práticas socialmente situadas e que seus processos de produção e utilização estão relacionados a interesses, valores, contextos históricos e processos de tomada de decisão (SANTOS; MORTIMER, 2000; AIKENHEAD, 2002; STRIEDER; KAWAMURA, 2017). As Questões Sociocientíficas, por sua vez, permitem abordar problemas que articulam conhecimentos científicos a controvérsias de natureza social, política, econômica e ética, exigindo a consideração de diferentes perspectivas e formas de

argumentação (SADLER, 2004; ZEIDLER et al., 2005). Assim, cada categoria foi examinada buscando-se identificar quais possibilidades de problematização científica e sociopolítica emergem da narrativa.

Na quarta etapa, a partir da análise realizada, foram sistematizadas possibilidades de utilização pedagógica do filme no ensino de Ciências. Nesse momento, a preocupação não foi elaborar uma sequência didática aplicada ou avaliar sua eficácia, mas identificar possibilidades didático-pedagógicas teoricamente fundamentadas que possam articular conhecimentos científicos a discussões sobre política, poder, ética e sociedade. Foram consideradas, portanto, as relações que podem ser estabelecidas entre determinados elementos do filme e conteúdos como Física Nuclear, radioatividade, fissão nuclear e energia, bem como questões relacionadas à militarização da ciência, ao papel do Estado no financiamento da pesquisa, à corrida armamentista, à Guerra Fria, à responsabilidade dos cientistas e aos movimentos sociopolíticos relacionados à questão nuclear.

A análise considera, ainda, que o cinema não deve ser reduzido a uma função ilustrativa ou a um mecanismo para tornar conteúdos científicos mais atraentes. A linguagem cinematográfica constitui uma forma própria de produção de significados e pode suscitar problematizações acerca das imagens de ciência e de cientistas que circulam socialmente. Estudos que discutem a relação entre cinema e educação destacam justamente a necessidade de superar uma utilização exclusivamente instrumental do filme, reconhecendo seu potencial para provocar interpretações, questionamentos e diferentes modos de compreender fenômenos sociais e culturais (FREITAS; COUTINHO, 2013).

Desse modo, o procedimento metodológico adotado procura articular análise fílmica, pesquisa documental e revisão bibliográfica, tendo como unidade de análise as situações narrativas do filme relacionadas à produção e ao uso do conhecimento científico e às suas implicações sociais e políticas. O resultado esperado não é determinar se *Oppenheimer* constitui uma representação historicamente perfeita da trajetória do físico ou do Projeto Manhattan, mas compreender quais elementos da obra podem ser pedagogicamente mobilizados para problematizar as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e política.

Por não envolver aplicação de instrumentos, entrevistas, questionários, observações em ambientes educacionais ou qualquer outro procedimento de obtenção de dados diretamente com participantes, a pesquisa foi delimitada ao exame de obra cinematográfica, documentos e

produções científicas disponíveis. Essa delimitação é compatível com o escopo estabelecido pela Resolução CNS nº 510/2016 para pesquisas em Ciências Humanas e Sociais, que diferencia as investigações que envolvem diretamente participantes ou informações identificáveis daquelas baseadas em informações de acesso público ou domínio público e em revisão da literatura científica (BRASIL, 2016).

Assim, a metodologia adotada permite analisar *Oppenheimer* não apenas como suporte para o ensino de determinados conteúdos da Física, mas como uma produção cultural capaz de colocar em evidência relações historicamente constituídas entre ciência, tecnologia, Estado, guerra, poder, ética e sociedade. É a partir dessa perspectiva que, na seção seguinte, serão discutidas as categorias identificadas no filme e suas possibilidades de articulação com o ensino de Ciências em uma perspectiva CTS e sociocientífica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise do filme *Oppenheimer* permitiu identificar um conjunto de relações entre ciência, tecnologia, política, ética e sociedade que ultrapassa a apresentação de conteúdos de Física Nuclear. Embora a narrativa tenha como eixo a trajetória de J. Robert Oppenheimer e sua participação no Projeto Manhattan, a obra constrói uma representação da ciência profundamente vinculada a instituições, interesses estatais, conflitos políticos e consequências sociais. Tal característica amplia as possibilidades de utilização pedagógica do filme, especialmente em propostas fundamentadas na perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e na abordagem de Questões Sociocientíficas (QSC).

A análise também indica que a principal potencialidade educacional da obra não reside simplesmente na possibilidade de “ensinar Física por meio de um filme”, mas na capacidade de utilizar situações apresentadas pela narrativa como pontos de partida para problematizar como a ciência é produzida, para quais finalidades, sob quais condições e com quais consequências. Essa perspectiva está em consonância com a educação CTS, que busca superar uma concepção de ciência apresentada de maneira descontextualizada, aproximando os conhecimentos científicos dos processos históricos, sociais e políticos que condicionam sua produção e utilização (SANTOS; MORTIMER, 2000; AIKENHEAD, 2002; STRIEDER; KAWAMURA, 2017).

3.1 Ciência e produção do conhecimento: a ciência como prática historicamente situada

Um primeiro resultado da análise refere-se à representação da ciência como uma atividade coletiva e historicamente situada. O filme apresenta diferentes cientistas, instituições e grupos de pesquisa envolvidos na construção do conhecimento necessário ao desenvolvimento da bomba atômica, destacando que a produção científica depende de redes de colaboração, recursos materiais, infraestrutura e condições políticas específicas.

Essa dimensão pode ser observada na própria organização do Projeto Manhattan. A construção da bomba exigiu a mobilização de pesquisadores de diferentes áreas, instalações de pesquisa, recursos financeiros e uma estrutura estatal de grande escala. Em Los Alamos, Oppenheimer assumiu a liderança de uma equipe composta por alguns dos principais físicos da época, em uma estrutura orientada para um objetivo militar específico. Documentos históricos do Departamento de Energia dos Estados Unidos evidenciam que o projeto articulou pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico e organização militar em escala sem precedentes, constituindo posteriormente um dos modelos da chamada *big science* (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2018).

Do ponto de vista pedagógico, essa representação permite questionar uma imagem individualizada da ciência, na qual grandes descobertas aparecem como resultado da genialidade isolada de determinados indivíduos. A própria narrativa do filme pode ser utilizada para problematizar a ideia de que “Oppenheimer inventou a bomba”, deslocando a discussão para a natureza coletiva da produção científica e para a complexidade institucional do empreendimento.

Essa possibilidade é particularmente relevante para o ensino de Física porque permite articular conhecimentos conceituais a discussões sobre a Natureza da Ciência (NdC). A compreensão da ciência como empreendimento humano, coletivo, histórico e submetido a diferentes condicionantes sociais constitui elemento importante da formação científica, uma vez que favorece a superação de representações exclusivamente positivistas e descontextualizadas da atividade científica (LEDERMAN; ANTINK; BARTOS, 2014).

Nesse sentido, o filme pode ser utilizado para problematizar questões como: quem produz o conhecimento científico? Quais condições materiais são necessárias para sua produção? Quais instituições financiam a pesquisa? Que interesses podem orientar

determinadas agendas científicas? Essas questões deslocam o ensino da simples apresentação dos princípios físicos envolvidos na fissão nuclear para uma discussão sobre a própria constituição social da ciência.

3.2 Da ciência à tecnologia: quando o conhecimento científico se transforma em projeto político

O segundo eixo identificado diz respeito à relação entre conhecimento científico e desenvolvimento tecnológico. *Oppenheimer* apresenta a passagem de conhecimentos produzidos no campo da Física para um empreendimento tecnológico voltado à construção de um artefato militar. O filme permite, portanto, discutir que a relação entre ciência e tecnologia não é linear nem neutra.

A própria trajetória do Projeto Manhattan demonstra que conhecimentos associados à física nuclear foram incorporados a um programa de desenvolvimento tecnológico submetido a objetivos estratégicos definidos pelo Estado. A primeira detonação nuclear, realizada no teste Trinity em 16 de julho de 1945, foi resultado de um processo no qual problemas teóricos, experimentais, de engenharia e de organização institucional precisaram ser articulados (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2018).

Essa questão pode ser pedagogicamente explorada para evitar a apresentação da tecnologia como simples “aplicação” do conhecimento científico. Em uma perspectiva CTS, ciência e tecnologia constituem práticas inter-relacionadas, mas que também possuem objetivos, atores, formas de organização e condicionantes próprios (AIKENHEAD, 2002; STRIEDER; KAWAMURA, 2017). O caso da bomba atômica é especialmente produtivo porque evidencia que uma determinada tecnologia não emerge apenas porque “a ciência tornou isso possível”, mas porque houve uma decisão histórica de mobilizar recursos e conhecimentos para uma finalidade específica.

Assim, conteúdos como fissão nuclear, reação em cadeia, enriquecimento de urânio, plutônio e energia liberada em processos nucleares podem ser trabalhados juntamente com questões como: por que determinados conhecimentos científicos são convertidos em determinadas tecnologias? Quem decide quais tecnologias serão desenvolvidas? A possibilidade técnica de produzir algo significa necessariamente que esse desenvolvimento deva ocorrer?

Essas questões aproximam o conteúdo científico da reflexão sociopolítica e podem contribuir para uma compreensão menos tecnicista da tecnologia.

3.3 Ciência, Estado e poder: a dimensão política da produção científica

Um dos resultados mais expressivos da análise foi a centralidade das relações entre ciência, Estado e poder. O filme apresenta a construção da bomba atômica como um empreendimento diretamente vinculado aos interesses estratégicos do governo norte-americano durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse contexto, a produção do conhecimento científico passa a estar associada a estruturas de poder, sigilo, controle institucional e objetivos militares.

Essa dimensão é importante porque evidencia que determinadas questões científicas são também questões políticas. O Projeto Manhattan não pode ser compreendido apenas como um episódio da história da Física, mas como um processo no qual decisões políticas determinaram prioridades científicas, recursos financeiros, organização institucional e possibilidades de aplicação tecnológica.

A discussão é aprofundada no filme pela trajetória posterior de Oppenheimer, especialmente no processo que levou à retirada de sua autorização de segurança em 1954. Esse episódio revela como as relações entre cientistas e Estado podem envolver disputas relacionadas a posicionamentos políticos, segurança nacional, interesses institucionais e conflitos pessoais. A historiografia sobre o episódio mostra que as controvérsias em torno de Oppenheimer ocorreram em um contexto marcado pela intensificação do anticomunismo e por disputas sobre a política nuclear norte-americana.

12

No âmbito do ensino de Ciências, essa dimensão oferece uma possibilidade particularmente relevante de discutir a não neutralidade da ciência. Isso não significa afirmar que os resultados científicos sejam simplesmente determinados por interesses políticos, mas reconhecer que as condições de produção, financiamento, circulação e utilização do conhecimento científico são atravessadas por relações sociais e institucionais.

A partir do filme, torna-se possível discutir, por exemplo, a seguinte questão sociocientífica: *Até que ponto o Estado deve determinar as finalidades das pesquisas científicas financiadas com recursos públicos?*

A pergunta desloca a discussão para um terreno em que conhecimentos científicos e argumentos políticos precisam dialogar. Dessa forma, o ensino de Ciências pode contribuir não apenas para compreender fenômenos físicos, mas também para analisar os processos sociais nos quais esses conhecimentos estão inseridos.

3.4 Ciência, ética e responsabilidade: o problema de quem controla os efeitos do conhecimento

Outro resultado importante foi a identificação da presença recorrente de dilemas relacionados à responsabilidade científica. O filme constrói a trajetória de Oppenheimer marcada pela tensão entre a realização intelectual associada à construção da bomba e a percepção de suas consequências destrutivas.

Essa tensão aproxima diretamente a obra da discussão sobre ética na ciência. A produção da bomba envolvia decisões nas quais os riscos potenciais eram extraordinariamente elevados. Antes do teste Trinity, por exemplo, os próprios envolvidos discutiram a possibilidade, ainda que considerada extremamente improvável, de consequências catastróficas associadas ao processo nuclear. A questão ilustra uma forma particularmente complexa de tomada de decisão científica, na qual não apenas a probabilidade, mas também a magnitude das consequências precisa ser considerada (MORENO, 2023).

A dimensão ética torna-se ainda mais evidente quando o filme apresenta o contraste entre o entusiasmo diante do sucesso tecnológico do teste e o reconhecimento posterior de que o resultado seria empregado em uma guerra. Após as explosões de Hiroshima e Nagasaki, Oppenheimer passa a demonstrar preocupação crescente com as consequências de seu trabalho e com a possibilidade de uma escalada nuclear. A literatura sobre o acontecimento destaca justamente essa tensão entre realização científica, responsabilidade e consequências políticas (CASTELVECCHI, 2023).

13

No ensino de Ciências, essa questão permite superar uma abordagem de ética baseada exclusivamente em “certo” e “errado”. A riqueza pedagógica está justamente na controvérsia. Perguntas como “O cientista é responsável pela utilização de sua descoberta?”, “Existe conhecimento científico que não deveria ser produzido?” ou “Em situações de guerra, os princípios éticos podem ser relativizados?” permitem explorar argumentos distintos e colocar em relação conhecimentos científicos, valores e decisões políticas.

Essa característica aproxima fortemente o filme das QSC. Segundo Sadler (2004) e Zeidler et al. (2005), problemas sociocientíficos apresentam justamente essa combinação entre conhecimento científico e controvérsias morais, sociais e políticas. A questão nuclear representa, nesse sentido, uma QSC particularmente complexa porque nenhum domínio isolado do conhecimento é capaz de determinar sua resposta.

3.5 Guerra, corrida armamentista e movimentos sociopolíticos

A análise também evidenciou que *Oppenheimer* possibilita discutir a transformação da ciência e da tecnologia em elementos centrais das disputas geopolíticas do século XX. O desenvolvimento da bomba marcou o início da chamada era nuclear e contribuiu para estabelecer novas formas de organização da política internacional. O próprio Departamento de Energia dos Estados Unidos destaca que o Projeto Manhattan teve influência decisiva na configuração da Guerra Fria e na forma como os conflitos posteriores passaram a ser pensados (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2018).

A partir daí, o ensino de Ciências pode abordar a ciência como parte de processos históricos mais amplos, relacionando a Física Nuclear à corrida armamentista, à dissuasão nuclear, às políticas de controle de armas e aos movimentos sociais e políticos de oposição às armas nucleares.

Essa dimensão é especialmente importante porque o desenvolvimento de tecnologias nucleares não produziu somente novas armas, mas também novos movimentos de contestação, debates públicos e propostas de desarmamento. O lançamento de *Oppenheimer*, inclusive, recolocou a questão nuclear no debate público e foi associado por pesquisadores e especialistas a uma possibilidade de renovação do interesse social por temas como desarmamento e controle de armas nucleares.

14

Nesse contexto, o filme pode funcionar como ponto de partida para ampliar a compreensão de que a ciência também participa da constituição de problemas políticos e de movimentos sociais. A discussão pode avançar da pergunta “como funciona uma bomba atômica?” para questões como: Como a existência de armas nucleares modificou as relações internacionais? Quais grupos e movimentos passaram a contestar a corrida armamentista? Que responsabilidades devem ser atribuídas aos governos, cientistas e sociedades diante da possibilidade de uma guerra nuclear?

Essas questões contribuem para aproximar a educação científica da participação social, dimensão central da perspectiva CTS (STRIEDER; KAWAMURA, 2017).

3.6 Os silêncios do filme como possibilidade pedagógica de problematização

Um resultado particularmente relevante da análise foi perceber que as potencialidades educativas de *Oppenheimer* não estão apenas naquilo que o filme mostra, mas também naquilo que não mostra.

A narrativa concentra-se predominantemente na trajetória de Oppenheimer, nos cientistas envolvidos no Projeto Manhattan, nas estruturas políticas norte-americanas e nos conflitos institucionais que marcaram sua trajetória posterior. Como consequência, as experiências das populações atingidas diretamente pela construção e utilização das armas nucleares aparecem de maneira bastante limitada. A produção cinematográfica não apresenta, por exemplo, de forma direta, as perspectivas das vítimas dos bombardeios de Hiroshima e Nagasaki, tampouco desenvolve de maneira aprofundada os impactos sofridos pelas comunidades próximas ao local do teste Trinity. Essa ausência foi destacada por análises críticas da obra.

Longe de constituir apenas uma limitação cinematográfica, esse silenciamento pode se transformar em uma importante possibilidade pedagógica. Em uma perspectiva crítica, os estudantes poderiam ser convidados a confrontar a narrativa do filme com outras fontes históricas, relatos de sobreviventes, documentos sobre Hiroshima e Nagasaki e registros relacionados às populações afetadas pelos testes nucleares.

15

Esse procedimento permitiria desenvolver uma leitura multiperspectiva da questão nuclear e problematizar uma pergunta fundamental: quem aparece quando uma história da ciência é contada e quem permanece ausente?

Essa abordagem amplia a discussão sobre a natureza social da ciência ao incorporar aspectos relacionados à produção das narrativas históricas e às relações de poder envolvidas na seleção das perspectivas que são valorizadas. Também contribui para evitar que o filme seja utilizado como uma fonte histórica autossuficiente. A obra cinematográfica deve ser compreendida como uma representação construída a partir de determinadas escolhas narrativas e perspectivas, e não como reprodução neutra do passado. Estudos recentes sobre o potencial didático de *Oppenheimer* também defendem sua utilização articulada a fontes históricas e a análises multiperspectivas justamente para ampliar a compreensão dos acontecimentos e de suas consequências.

3.7 Síntese das possibilidades pedagógicas

A partir dos eixos identificados, pode-se afirmar que *Oppenheimer* apresenta potencial para articular diferentes dimensões do ensino de Ciências, conforme sintetizado no quadro a seguir.

Quadro 1 – Eixos temáticos e possibilidades pedagógicas identificados em *Oppenheimer*

Eixo	Possibilidades de discussão científica	Possibilidades sociopolíticas
Ciência e produção do conhecimento	Física nuclear; natureza da ciência; pesquisa científica	Ciência como prática coletiva e historicamente situada
Ciência e tecnologia	Fissão nuclear; reação em cadeia; tecnologia nuclear	Finalidades da tecnologia; interesses que orientam seu desenvolvimento
Ciência e Estado	Pesquisa científica e infraestrutura tecnológica	Financiamento público; segurança nacional; relações de poder
Ciência e ética	Risco; energia nuclear; armas nucleares	Responsabilidade científica; limites éticos da pesquisa
Guerra e sociedade	Física das armas nucleares	Segunda Guerra Mundial; Guerra Fria; corrida armamentista
Movimentos sociopolíticos	Tecnologias nucleares e seus efeitos	Desarmamento; movimentos antinucleares; controle de armas
Silenciamentos da narrativa	Conhecimento histórico e científico sobre os efeitos nucleares	Hiroshima, Nagasaki e comunidades afetadas pelos testes

Fonte: Elaborado pelos autores

A síntese evidencia que a utilização pedagógica do filme pode ocorrer em diferentes níveis de aprofundamento. Em uma abordagem mais tradicional, *Oppenheimer* pode funcionar como contextualização para conteúdos de Física Moderna. Em uma perspectiva CTS, entretanto, suas possibilidades são ampliadas, uma vez que os conceitos científicos passam a ser relacionados aos processos sociais e políticos nos quais adquirem significado. Quando articulado às QSC, o filme pode ainda constituir um ponto de partida para controvérsias que demandam posicionamento, argumentação e consideração de diferentes perspectivas.

Nesse sentido, a principal contribuição pedagógica identificada não está em transformar o cinema em um mecanismo para “facilitar” conteúdos científicos, mas em utilizá-lo como

artefato cultural capaz de tensionar concepções sobre ciência, tecnologia, poder e sociedade. A partir de *Oppenheimer*, a Física Nuclear deixa de aparecer exclusivamente como um conjunto de princípios e equações e passa a ser relacionada a uma história concreta de decisões humanas, conflitos políticos e consequências sociais.

Esse resultado encontra respaldo em discussões contemporâneas acerca do potencial do filme para o ensino de Ciências. Estudos e análises desenvolvidos após o lançamento da obra têm destacado precisamente a possibilidade de utilizar *Oppenheimer* para discutir a não neutralidade da ciência, a responsabilidade científica e as relações entre ciência e política. A contribuição deste trabalho consiste em sistematizar essas possibilidades a partir de uma perspectiva integrada de CTS e QSC, deslocando o foco de uma simples utilização ilustrativa do filme para uma proposta de problematização das relações entre conhecimento científico, tecnologia, poder e participação política.

Por fim, a análise sugere que a utilização de *Oppenheimer* deve ser acompanhada de mediação pedagógica e de contextualização histórica. O filme apresenta escolhas narrativas próprias e, embora se aproxime de diversos acontecimentos históricos, também incorpora simplificações, omissões e recursos dramáticos. Assim, não deve ser utilizado como substituto de fontes históricas ou científicas. Pelo contrário, sua maior potência educacional parece residir justamente na possibilidade de colocá-lo em diálogo com outras fontes, permitindo confrontar diferentes perspectivas e transformar a narrativa cinematográfica em objeto de questionamento.

17

Dessa maneira, os resultados indicam que *Oppenheimer* pode ser compreendido como um recurso particularmente fértil para uma educação científica que reconheça a inseparabilidade entre conhecimento científico e vida social. A obra permite articular conteúdos de Física a questões relacionadas à ética, à política, às relações de poder, à guerra, à responsabilidade científica e aos movimentos de contestação social, contribuindo para uma concepção de ensino de Ciências que ultrapasse a transmissão de conceitos e incorpore a reflexão sobre os usos, as finalidades e as consequências do conhecimento científico e tecnológico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida neste artigo permitiu evidenciar que *Oppenheimer* apresenta potencialidades que ultrapassam significativamente sua utilização como recurso ilustrativo para o ensino de conteúdos de Física Nuclear. A obra cinematográfica possibilita estabelecer relações

entre conhecimentos científicos, desenvolvimento tecnológico, interesses estatais, conflitos políticos, dilemas éticos e consequências sociais, constituindo, assim, um artefato cultural particularmente fértil para abordagens fundamentadas na perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e nas Questões Sociocientíficas (QSC).

Os resultados indicaram que a narrativa permite discutir a ciência como uma prática histórica, coletiva e socialmente situada. A trajetória de Oppenheimer e a constituição do Projeto Manhattan evidenciam que a produção do conhecimento científico depende de condições materiais, instituições, recursos financeiros e interesses que ultrapassam o espaço dos laboratórios. Essa compreensão aproxima-se das discussões sobre a Natureza da Ciência, segundo as quais a atividade científica deve ser compreendida em sua dimensão histórica, social e humana, evitando representações que a reduzam a um processo linear e neutro de produção de verdades (LEDERMAN; ANTINK; BARTOS, 2014).

Também se verificou que o filme permite problematizar a relação entre ciência e tecnologia. A construção da bomba atômica constitui um exemplo histórico no qual conhecimentos científicos foram mobilizados e transformados em um empreendimento tecnológico vinculado a objetivos militares e estratégicos. Essa relação oferece possibilidades para superar uma concepção linear segundo a qual a tecnologia seria apenas uma aplicação automática de conhecimentos científicos, favorecendo uma compreensão mais ampla das relações entre ciência, tecnologia e sociedade, conforme defendido pela educação CTS (AIKENHEAD, 2002; STRIEDER; KAWAMURA, 2017).

18

Outro aspecto central identificado foi a dimensão política da produção e utilização do conhecimento científico. O filme evidencia a participação direta do Estado na organização, financiamento e direcionamento das pesquisas relacionadas ao Projeto Manhattan, assim como apresenta conflitos posteriores envolvendo segurança nacional, poder institucional e posicionamentos políticos. Tal dimensão permite reconhecer que determinadas questões científicas e tecnológicas são simultaneamente questões políticas, na medida em que envolvem interesses coletivos, decisões institucionais, distribuição de recursos e diferentes concepções sobre os usos socialmente desejáveis da ciência.

A dimensão ética também se mostrou particularmente significativa. As tensões relacionadas à responsabilidade dos cientistas diante das consequências de suas produções constituem uma possibilidade privilegiada para a abordagem de questões sociocientíficas.

Conforme discutido por Sadler (2004) e Zeidler et al. (2005), as QSC envolvem problemas nos quais conhecimentos científicos se articulam a valores, interesses e controvérsias sociais, não havendo necessariamente uma resposta única que possa ser determinada exclusivamente por conhecimentos técnicos. Nesse sentido, *Oppenheimer* oferece um contexto particularmente expressivo para discutir questões como a responsabilidade científica, os limites da produção tecnológica e a legitimidade do desenvolvimento de determinadas tecnologias.

A análise permitiu identificar, ainda, possibilidades de discutir a ciência em relação a processos políticos e movimentos sociopolíticos mais amplos. A questão nuclear não se restringiu ao desenvolvimento da bomba, mas contribuiu para transformações profundas nas relações internacionais, para a corrida armamentista e para o surgimento de movimentos de contestação e de defesa do desarmamento nuclear. Assim, a abordagem do filme pode favorecer uma compreensão ampliada da ciência como componente de processos históricos e políticos, contribuindo para uma educação científica comprometida com a participação social (STRIEDER; KAWAMURA, 2017).

Um aspecto particularmente relevante diz respeito aos silenciamentos presentes na narrativa. A concentração da obra na perspectiva de Oppenheimer e dos atores diretamente envolvidos no Projeto Manhattan abre espaço para o confronto com outras fontes e perspectivas históricas, especialmente aquelas relacionadas às populações atingidas pelos bombardeios de Hiroshima e Nagasaki e pelos efeitos dos testes nucleares. Do ponto de vista pedagógico, essas ausências podem deixar de ser compreendidas apenas como limitações da obra e passar a constituir oportunidades de problematização. A utilização crítica do filme pressupõe, portanto, que ele seja colocado em diálogo com documentos históricos, relatos, produções científicas e outras formas de representação, evitando sua utilização como fonte histórica única.

Dessa forma, considera-se que a principal contribuição de *Oppenheimer* para o ensino de Ciências está menos na possibilidade de apresentar conceitos científicos de maneira mais atrativa e mais na capacidade de produzir um contexto de problematização sobre a ciência e seus usos sociais. A obra pode contribuir para deslocar o ensino de Física Nuclear de uma abordagem predominantemente conceitual para uma abordagem na qual os conteúdos científicos sejam articulados às condições históricas de sua produção, aos interesses que orientam suas aplicações e às consequências sociais e políticas de seu desenvolvimento. Esse movimento está em sintonia com propostas de educação CTS que defendem uma compreensão contextualizada da ciência e

da tecnologia e sua articulação com processos de participação e tomada de decisão (SANTOS; MORTIMER, 2000; AIKENHEAD, 2002).

É importante destacar, contudo, que o potencial pedagógico identificado não significa que o filme, por si só, produza uma formação crítica ou uma compreensão adequada das relações entre ciência e sociedade. A utilização de uma obra cinematográfica exige mediação pedagógica, contextualização histórica e confronto com diferentes fontes. Nesse sentido, *Oppenheimer* deve ser compreendido como ponto de partida para a problematização, e não como substituto do conhecimento científico ou histórico.

As possibilidades apresentadas neste artigo também permitem pensar uma utilização do cinema em que a dimensão científica e a dimensão política não sejam tratadas como campos separados. Ao discutir fissão nuclear, por exemplo, torna-se possível discutir simultaneamente as condições que possibilitaram sua aplicação tecnológica, os interesses que orientaram essa aplicação, as decisões políticas envolvidas e suas consequências sociais. Essa articulação corresponde justamente à perspectiva de educação científica defendida pelas abordagens CTS e pelas QSC, nas quais os conhecimentos científicos são mobilizados em situações socialmente significativas e controversas (SADLER, 2004; ZEIDLER et al., 2005).

Como limitação, destaca-se que o presente estudo se restringiu à análise documental e bibliográfica do filme e, portanto, não permite afirmar quais efeitos concretos sua utilização produziria sobre estudantes ou professores. Não foram investigados processos de aprendizagem, mudanças de posicionamento, argumentação ou apropriação dos conteúdos científicos em situações reais de sala de aula. Tais dimensões constituem possibilidades para pesquisas futuras, inclusive por meio de estudos empíricos que investiguem como estudantes interpretam a obra e quais posicionamentos constroem a partir das problemáticas nela apresentadas.

Como desdobramento, pesquisas posteriores poderão comparar *Oppenheimer* com outras produções cinematográficas que apresentam diferentes relações entre ciência, tecnologia e sociedade, como *Interestelar*, permitindo investigar como distintas representações cinematográficas da atividade científica podem favorecer diferentes formas de problematização no ensino de Ciências. Também podem ser desenvolvidos estudos voltados à análise de sequências didáticas, materiais curriculares e propostas pedagógicas construídas a partir dessas obras.

Conclui-se, portanto, que *Oppenheimer* constitui um artefato cultural com significativo potencial para uma educação científica que reconheça a inseparabilidade entre ciência, tecnologia, sociedade e política. Sua utilização pedagógica pode possibilitar que conteúdos de Física sejam articulados a questões relacionadas ao poder, à guerra, à ética, à responsabilidade científica, às decisões estatais e aos movimentos sociopolíticos. Mais do que ensinar sobre a bomba atômica, trabalhar pedagogicamente com *Oppenheimer* pode criar condições para discutir como a ciência é produzida, quem define suas finalidades, quais interesses atravessam suas aplicações e quais responsabilidades emergem de seus usos. Nessa perspectiva, o filme pode contribuir para um ensino de Ciências comprometido não apenas com a compreensão de conceitos, mas também com a formação de sujeitos capazes de interpretar criticamente as relações entre conhecimento científico, tecnologia e sociedade.

REFERÊNCIAS

Aikenhead, G. S., and S. T. S. Education. "A rose by any other name." A vision for science education: Responding to the work of Peter J. Fensham (2002): 59-75.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais cujos procedimentos metodológicos envolvam a utilização de dados diretamente obtidos com os participantes ou de informações identificáveis ou que possam acarretar riscos maiores do que os existentes na vida cotidiana. Brasília, DF, 2016.

CASTELVECCHI, Davide. Why Oppenheimer has important lessons for scientists today. *Nature*, v. 620, n. 7972, p. 16-17, 2023.

FREITAS, Alexander de; COUTINHO, Karyne Dias. Cinema e educação: o que pode o cinema? *Educação & Filosofia*, Uberlândia, v. 27, n. 54, p. 477-494, jul./dez. 2013.

LEDERMAN, Norman G.; LEDERMAN, Judith S.; ANTINK, Allison. Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, v. 1, n. 3, p. 138-147, 2013.

MORENO, Jonathan D. Oppenheimer's nuclear value judgment wasn't the first. *The Hastings Center*, 2023.

NOLAN, Christopher. *Oppenheimer*. Estados Unidos: Universal Pictures, 2023. Filme.

SADLER, Troy D. Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, v. 41, n. 5, p. 513-536, 2004.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2000.

STRIEDER, Roseline Beatriz; KAWAMURA, Maria Regina. Educação CTS: parâmetros e propósitos brasileiros. *Alexandria: revista de educação em ciência e tecnologia*, v. 10, n. 1, p. 27-56, 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. Manhattan Project National Historical Park: brochure. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2018.

VANOYE, Francis; GOLIOT-LÉTÉ, Anne. Ensaio sobre a análise fílmica. Tradução de Marina Appenzeller. Campinas, SP: Papirus, 1994.

ZEIDLER, Dana L. et al. Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science education*, v. 89, n. 3, p. 357-377, 2005.