

## **Máquinas térmicas no cinema: uma proposta para abordar a HFC e a NdC no ensino básico**

### **Heat engines in movies: a proposal to include HPS and NOS in high school education**

**Julliana Bomfim**

Instituto de Física Armando Dias Tavares – UERJ  
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-RJ  
julliana.bomfim@gmail.com

**José Claudio Reis**

Instituto de Física Armando Dias Tavares – UERJ  
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-RJ  
jclaudio@uerj.br

#### **Resumo**

Décadas de pesquisas, além de publicações de parâmetros curriculares, apontam para o uso da História e Filosofia da Ciência (HFC) como forma de contextualizar o ensino de Física e torná-lo mais significativo na educação básica. Para que o aprendizado seja relevante à cidadania dos alunos, é importante familiarizá-los também com práticas e metodologias utilizadas na construção do conhecimento científico, ou seja, com a Natureza da Ciência (NdC). Com base nesses fundamentos, o presente artigo elabora um formato básico de atividade com o objetivo de possibilitar a introdução de conceitos da termodinâmica e do funcionamento das máquinas térmicas a partir da sua relação com o contexto da Revolução Industrial. Como motivador e ponto de partida escolhemos o filme *Steamboy* (2004), do diretor Katsuhiro Otomo, que pode levar a reflexões acerca do papel da Ciência e da ética científica, desfazendo uma visão da Física como uma Ciência neutra e desvinculada da sociedade.

**Palavras chave:** ensino de física, história e filosofia da ciência, natureza da ciência, máquinas térmicas, termodinâmica, cinema.

#### **Abstract**

Decades of research and syllabus publications point to using History and Philosophy of Science (HPS) as a way to put physics teaching into context and make it more relevant in high school education. For learning to be relevant to students as citizens it's important to also familiarize them with practices and methodologies used in science, that is, with the Nature of Science (NOS). Based on these foundations, this article develops a plan for an activity that aims to introduce concepts of thermodynamics and heat engines operation drawing from its connection with the Industrial Revolution. As a motivating element and starting point, we chose the movie *Steamboy* (2004), from the director Katsuhiro Otomo, which could allow considerations on the role of science and scientific ethics, dissolving the image of physics as a neutral science dissociated from society.

**Key words:** physics teaching, history and philosophy of science, nature of science, thermodynamics, movies.

## Introdução

A Física escolar tradicional tem se baseado num modelo que enfatiza o empirismo matemático, deixando de lado os conceitos e, principalmente, a abordagem histórico-filosófica. Esse modelo, que reflete uma visão positivista da Ciência, criou uma concepção dogmático-instrumental do ensino de Física que se mantém presente nas escolas brasileiras até os dias atuais (BRAGA; GUERRA; REIS, 2008).

Dessa forma, o ensino de Física tem se caracterizado por não prover conhecimentos básicos para que os alunos possam se posicionar perante questões de cunho tecnocientífico. No entanto, o conhecimento científico se faz cada vez mais presente no cotidiano, tanto em manifestações sociais e culturais quanto em questões relativas ao desenvolvimento tecnológico e econômico (BRASIL, 2002).

Na busca de trazer o ensino para esse contexto, humanizando as aulas de Física, o uso da abordagem histórico-filosófica tem se mostrado uma boa ferramenta. Esse viés histórico-filosófico possibilitaria, assim, que os alunos entendessem a formação dos conceitos físicos a partir da evolução das ideias científicas (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; MATTHEWS, 1995), vendo o caráter temporário do conhecimento científico e suas limitações, e compreendendo que ele não é absoluto nem se desenvolve de forma neutra, isolada da sociedade.

No entanto, estudos (Abd-El-Khalick; Lederman, 2000) apontam que os alunos não conseguem articular conhecimentos sobre a Ciência de forma adequada apenas com o uso da História e Filosofia da Ciência (HFC). Para isso, seria necessário discutir, também, aspectos da Natureza da Ciência (NdC) de forma explícita.

Apesar de não haver um consenso sobre uma NdC única para todos tipos de Ciência (IRZIRK; NOLA, 2010), é necessário familiarizar os alunos com uma variedade de seus aspectos para que eles sejam capazes de refletir sobre o funcionamento da Ciência e as metodologias usadas em sua construção. Com isso, há um melhor desenvolvimento no senso crítico dos alunos, capacitando-os para analisar evidências e julgar a validade do conhecimento científico que é produzido nos dias atuais – habilidades práticas e essenciais na formação cidadã do aluno de ensino básico (ALLCHIN, 2011).

Como forma de contextualizar o desenvolvimento da Física e motivar os alunos no aprendizado, o uso de filmes é uma ferramenta que tem se provado útil. O filme didático, por mais que seja pensando para esse fim, não é tão interessante aos alunos quanto o filme não didático:

[...] filmes didáticos não mobilizam a emoção da mesma forma que as narrativas romanceadas. A exatidão sem dramaticidade é algo monótono. É com personagens e suas histórias que nos identificamos e nos projetamos. (OLIVEIRA, 2006, p.137).

Tendo isso em mente, o gênero da ficção científica surge como possível elo entre o cinema e a Ciência, pois pode ser considerado uma modalidade de discurso sobre a Ciência na medida em que representa, por meio da ficção, interesses e preocupações em torno de questões científicas presentes no âmbito sociocultural de uma época (PIASSI; PIETROCOLA, 2009).

Com o intuito de explorar esse potencial de unir produção científica e cultural, e motivar os

alunos, foi desenvolvida uma atividade para turmas de ensino médio, baseada num longa metragem de ficção científica. A atividade busca sintetizar as abordagens da HFC e da NdC enquanto permite trabalhar conceitos da termodinâmica e do funcionamento das máquinas térmicas a partir do contexto da Revolução Industrial.

## O filme escolhido: *Steamboy* (2004)

O filme escolhido para atividade foi *Steamboy* (2004), do diretor Katsuhiro Otomo, um longa-metragem de animação japonesa pertencente ao gênero *Steampunk*<sup>1</sup>, do diretor Katsuhiro Otomo.

A trama se passa na Europa do século XIX, na Grã-Bretanha, onde o desenvolvimento da tecnologia permitiu incríveis máquinas movidas a vapor.

Ray Steam, um jovem inventor e operário em uma fábrica têxtil de Manchester, recebe uma estranha bola de metal de seu avô. Esta misteriosa invenção, a *steamball*, contém uma substância líquida fictícia comprimida a uma alta pressão. Quando tem sua válvula aberta, a *steamball* expele vapor de forma contínua por uma duração quase indefinida, tendo assim, a capacidade de suprir as necessidades energéticas de uma nação inteira de forma prática.

Edward, pai do protagonista (Ray), trabalha para a Fundação O'Hara e apresenta uma visão positivista, acreditando que a ciência é a salvação da humanidade e estando disposto a usar quaisquer meios necessários para alcançar seus objetivos. Lloyd Steam, avô de Ray e pai de Edward, deu início às pesquisas envolvendo a construção da *steamball*. No entanto, ao descobrir que a tecnologia estava sendo usada pela Fundação para construção de armas de guerra, Lloyd passa a sabotar o projeto e tenta convencer Ray a fazer o mesmo. Robert Stephenson é outra personagem que também pretende utilizar o poder da *steamball*, mas apresenta outra visão sobre a questão e acha que a tecnologia deve ser usada pelo bem e progresso do império britânico. Scarlett O'Hara, herdeira da Fundação, é uma menina privilegiada que representa o financiamento do projeto da *steamball* e amadurece durante os eventos do filme.

Com todas essas diferentes visões de ciência em conflito, Ray se vê obrigado a refletir sobre o papel da ciência e da ética científica na sociedade.

## Relações com aspectos da HFC e da NdC

Para situar o contexto histórico-filosófico da construção das máquinas térmicas e da termodinâmica, é essencial para os alunos que haja uma familiarização com o evento histórico da Revolução Industrial e as mudanças que ela causou no modo de vida da sociedade em escala mundial. Assim, esse evento é chave para compreensão da lógica de construção e prática científica também na sociedade atual.

É possível estabelecer um óbvio paralelo entre o contexto histórico e o apresentado no filme. Apesar de se tratar de uma ficção científica com fatores extrapolados da ciência real, é notável que há um certo cuidado em retratar de maneira fiel a época em questão. Para explicitar esse cuidado, pode-se fazer uma relação entre as imagens de instalações desse período e àquelas expostas no filme (figuras 1 e 2):

---

<sup>1</sup> *Steampunk* é um subgênero da ficção científica que geralmente é ambientado na Era Vitoriana (meados do século XIX) onde a tecnologia a vapor se desenvolveu até níveis extraordinários.

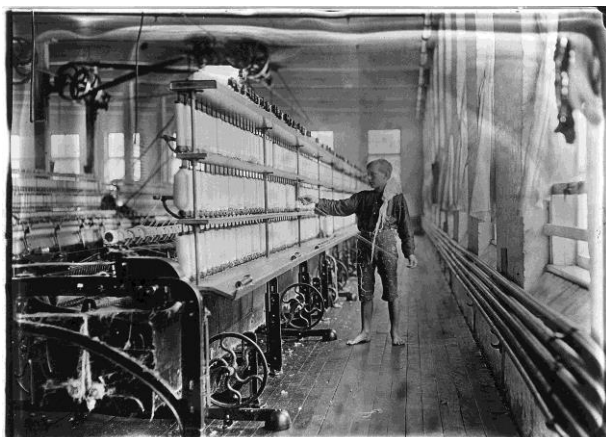


Figura 1: Uso da *spinning mule*, máquina de fiar semiautomática.



Figura 2: *Spinning mule* representada no filme.

Em uma das primeiras cenas, Manchester em 1866 é retratada como uma cidade altamente industrializada, populosa e poluída. Também se mostra a Indústria têxtil com o uso do tear automático e o uso das máquinas térmicas como fonte de energia. Ainda são ressaltadas as diferenças sociais típicas da época, como a exploração dos operários por um patrão que prefere arriscar a vida de seus trabalhadores a ter prejuízos financeiros.

Manchester foi uma das cidades mais industrializadas da Grã-Bretanha e a indústria têxtil foi o seu carro-chefe na Revolução Industrial. Podemos, assim, usar a cena inicial para estabelecer uma relação desses fatores históricos com as inovações técnico-científicas, já que essa indústria só foi tão importante por se mecanizar através do uso do tear, da lançadeira e da fiadeira automática que eram dispositivos simples, baratos e práticos de ser instalados. Além disso, também é possível discutir aspectos sobre a relação entre o capital e o trabalho, que foi completamente transformada nesse período.

Em outra cena significativa, Edward, pai de Ray, fala de seus objetivos de fornecer energia para todos e livrar os operários e camponeses do trabalho árduo e incessante. Fala, ainda, da ciência como emancipação do povo em relação ao misticismo e ao elitismo, sendo algumas vezes interrompido pela Srta. Scarlett que tenta destacar a importância do financiamento da Fundação O'Hara. Tal trecho possibilita discussões sobre diversos aspectos da NdC (ALLCHIN, 2011), como as motivações para a realização da ciência e o papel das fontes de financiamento. Há, também, uma relação com a HFC já que o financiamento para a criação de laboratórios particulares e de associações voltadas para o progresso da ciência, na época da revolução industrial, era em geral fornecido por grandes industriais (HOBSBAWM, 1996). Por esse motivo, eram menos instituições voltadas para a busca da ciência “pura” que grupos empenhados em encontrar aplicações práticas e rentáveis do seu conhecimento.

Em meados do filme, o personagem se vê obrigado a refletir sobre visões conflitantes acerca dos fins de se fazer Ciência. Seu avô, Lloyd, tenta sabotar o projeto da *steamball*, a obra de sua vida, porque não está satisfeito com o uso que será feito de suas invenções. Explicita para Ray que as coisas não são tão simples como Edward havia falado e que, apesar do sonho de ajudar a população, a *steamball* seria usada apenas para o lucro dos acionistas da Fundação O'Hara e, em última instância, para máquinas de guerra que seriam vendidas irresponsavelmente à nação que fizesse o maior lance.

É possível, através desse impasse, promover uma discussão acerca da responsabilidade ética e social dos cientistas. Questionamentos podem ser levantados sobre a diferença entre as posições defendidas pelo pai e avô de Ray sobre o papel da Ciência na sociedade. Ao fim dessa discussão, pode-se pedir que os alunos julguem as informações conhecidas e se posicionem criticamente, apresentando soluções alternativas para os problemas. Indagações como “Os fins justificam os meios?” ou “Vale a pena permitir que a tecnologia seja usada para a guerra se ela também será usada para fins “nobres?”” podem ser apresentadas para fomentar o debate.

Um personagem, particularmente interessante do ponto de vista histórico, parece ter sido inspirado no homônimo engenheiro inglês Robert Stephenson (1803-1859) que trabalhou na construção de diversas linhas ferroviárias e ficou famoso com um dos maiores engenheiros de sua época (CANNON, 2002). Essa relação poderia ser usada para inserir, nas discussões com os alunos, figuras históricas e suas contribuições nos avanços tecnológicos que possibilitaram a revolução nos transportes. Além disso, ao mostrar figuras históricas com contribuições mais pontuais e práticas, desfaz-se a ideia de que a Ciência e a tecnologia são construídas apenas por grandes gênios teóricos, uma vez que esse desenvolvimento técnico gradual, sem muitas bases teóricas, é justamente uma das características principais da Ciência do período da Revolução Industrial.

## Relações com conceitos físicos

No filme, a *steamball* é apresentada como um dispositivo que contém uma nova substância capaz de suportar altas pressões. Para melhor definir esse dispositivo fictício adotamos a categorização de elementos da ficção científica de Piassi e Pietrocola (2009), em que são estabelecidas categorias para elementos de ficção científica e sugeridas diferentes formas de explorá-las no ensino de Física. Seguindo sua taxonomia, a *steamball* seria um elemento extrapolativo (PIASSI, PIETROCOLA, 2009, p.531), ou seja, um objeto baseado no conhecimento científico real que projeta quais seriam os próximos avanços técnicos envolvidos em sua construção. Também se caracteriza por sua natureza inusitada, ainda que possível, mesmo dentro do universo ficcional.

Sabendo dessas características podemos pensar no tipo de questionamento que um elemento desse posse suscitar. O filme traz algumas explicações sobre a *steamball*, mas deixa muitos aspectos em aberto, criando espaço para uma discussão especulativa com os alunos com questões como “Esse dispositivo poderia existir?”, “Como ele se integraria a uma máquina térmica?”, “Quais seriam outros pontos positivos de seu uso?” ou “Que tipo de substância seria essa dentro da *steamball*?”.

Poderiam ser explorados até mesmo conteúdos da física moderna e contemporânea, trazendo a possibilidade do líquido dentro da *steamball* ser algo como o Hélio num estado superfluido. Uma substância nessas condições se pudesse ser facilmente estabilizada e manipulada, se expandiria rapidamente quando exposta à temperatura ambiente – características apresentadas pelo líquido fictício. Esse tipo de reflexão poderia servir como

introdução para os conceitos de trabalho, potência e rendimento nas máquinas térmicas (tabela 1).

No desfecho da narrativa, há uma cena em que uma grande torre levanta voo, movida pelo vapor da *steamball*, o que causa o congelamento as águas do mar ao seu redor. O personagem Sr. Stephenson explica o fenômeno afirmando que o vapor comprimido a baixas temperaturas e altas pressões absorve calor do ambiente quando é liberado. Essa cena permite discutir conceitos físicos relacionados à primeira lei da termodinâmica e transformações de gases ideais: se supormos que o líquido dentro da *steamball* mudou para a fase gasosa quase instantaneamente, a transformação em questão poderia ser considerada uma expansão isotérmica; então não haveria variação de energia interna e o trabalho que o gás executa para se expandir seria equivalente ao calor que ele absorve do meio. Nesse caso, tanto seria possível partir dessa cena para introduzir, posteriormente, os conceitos em questão, quanto requisitar que os alunos tentassem identificar que transformação é essa a partir de discussões prévias.

Por último, seria possível, ainda, explorar o conceito de calor latente, relacionando a quantidade de energia com o estado da matéria como na habilidade listada na tabela 1. Ao longo do filme, diversos personagens sofrem queimaduras com o vapor. Podemos relacionar essas cenas com experiências cotidianas dos alunos, visando construir a ideia de que certa massa de uma substância, na forma de vapor, pode carregar uma quantidade de energia térmica muito maior do que no estado líquido.

## Estrutura da atividade

Sabemos que o uso de atividades na prática, depende de diversos fatores relacionados ao contexto do professor, da escola e da turma. Não pretendemos, assim, que essa atividade seja aplicada sempre num mesmo modelo rígido, mas que sirva como uma base adaptável em função de diferentes circunstâncias.

A atividade poderia seguir a sequência de etapas indicada na tabela 1. A tabela mostra, também, o possível desenvolvimento de algumas habilidades e competências listadas no PCN+: Física (BRASIL, 2002) e no Currículo Mínimo do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2012).

Por ser um filme com mais de duas horas, talvez não seja possível sua projeção em uma aula. Nesse caso, o professor pode disponibilizar o vídeo para que os alunos assistam em casa ou passá-lo em mais de uma aula.

Então, seria feita uma discussão com os alunos, em sala, visando a uma reflexão direcionada para relações como as que foram destacadas no tópico anterior e para as habilidades e competências listadas na tabela 1.

Na última etapa, os alunos se organizariam em grupos para produzir um material que dialogue com o filme a com as reflexões, sendo exposto a turma em um formato multimídia – um curta-metragem, um telejornal, um júri encenado, etc. – utilizando, para enriquecer a apresentação, personagens históricos ou fictícios, e seguindo uma das temáticas propostas::

- A ciência no mundo pré-revolução industrial;
- Revolução Industrial e mecanização da produção;
- Uso social das máquinas térmicas: produção de energia;
- Perigos e vantagens no uso das máquinas térmicas;

- Novas fronteiras: transportes a vapor.

Como é possível notar pelos temas, alguns envolvem conhecimentos mais aprofundados de Física térmica. Assim, as apresentações referentes a esses temas seriam feitas em um momento adequado no desenvolvimento desse conteúdo. O filme seria usado como motivador inicial, de modo que os alunos possam revisitar seus questionamentos depois de familiarizados com novos conceitos e modelos explicativos no decorrer das aulas.

Atividade	Habilidades e competências
Projeção do filme	Refletir sobre as origens, motivações, os usos das máquinas térmicas.
Discussão em sala	Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social (RIO DE JANEIRO, 2012); Relacionar o surgimento das primeiras máquinas térmicas na Inglaterra no século XVIII com a Primeira Revolução Industrial (RIO DE JANEIRO, 2012); Compreender que o surgimento das máquinas térmicas provocou profundas mudanças na sociedade da época (RIO DE JANEIRO, 2012); Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos (RIO DE JANEIRO, 2012); Identificar a participação do calor e os processos envolvidos no funcionamento de máquinas térmicas de uso doméstico ou para outros fins, tais como geladeiras, motores de carro etc., visando sua utilização adequada (BRASIL, 2002); Compreender os conceitos de trabalho e potência a partir de uma máquina térmica (RIO DE JANEIRO, 2012);
Produção dos alunos	Identificar o calor como forma de dissipação de energia e a irreversibilidade de certas transformações para avaliar o significado da eficiência em máquinas térmicas (BRASIL, 2002); Compreender a relação entre variação de energia térmica e temperatura para avaliar mudanças na temperatura e/ou mudanças de estado da matéria, em fenômenos naturais ou processos tecnológicos (RIO DE JANEIRO, 2012); Acompanhar a evolução da produção, do uso social e do consumo de energia, relacionando-os ao desenvolvimento econômico, tecnológico e à qualidade de vida, ao longo do tempo (BRASIL, 2002).

Tabela 1: Sequência da atividade e as algumas habilidades e competências que poderiam ser desenvolvidas.

## Considerações finais

A atividade proposta proporciona uma estrutura base para a introdução de conceitos da termodinâmica e das máquinas térmicas, a partir da projeção de um filme romanceado. Diversos questionamentos ricos do ponto de vista da NdC e da HFC podem ser levantados como: Que fatores histórico-filosóficos estão presentes na sociedade no período da construção das máquinas térmicas e da Termodinâmica? Qual o papel da Ciência na sociedade? Qual o papel da ética na construção da Ciência?

Atualmente, a atividade foi adaptada e encontra-se em fase de aplicação em sala de aula. Resultados preliminares mostram que a grande maioria dos alunos se interessou pelo filme, inclusive se surpreendendo e motivando com o fato de ser uma animação japonesa. Além

disso, a turma conseguiu identificar no filme diversos elementos relevantes do contexto histórico da Revolução Industrial na Grã-Bretanha como: a produção em massa de bens de consumo, a forte presença da indústria têxtil, o trabalho infantil e a poluição do meio ambiente. Assim, o filme cumpre seu papel como motivação para os alunos e como forma de contextualizar a produção científica do período em questão.

## Agradecimentos e apoios

Agradecemos à Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pela bolsa de Iniciação à Docência concedida, a qual tornou possível a elaboração do presente trabalho. Agradecemos também à CAPES pela bolsa de mestrado que possibilitou a aplicação da atividade proposta.

## Referências

- ABD-EL-KHALICK, Fouad; Lederman, Norman G. The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, [S.l.], v. 37, n. 10, p.105-1095, jul. 2000.
- ALLCHIN, Douglas. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Education**, [S.l.], v.95, n. 3, p.518-542, maio 2011.
- BRAGA, Marco; GUERRA, Andreia; REIS, José Claudio. O Papel dos Livros Didáticos Franceses do Século XIX na Construção de uma Concepção Dogmático-instrumental do Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.l.], v. 25, n. 3, p. 507-522, dez. 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ - Ensino Médio: Física**, Brasília, 2002.
- CANNON, John. **Robert Stephenson. The Oxford Companion to British History**. Oxford: Oxford University Press, 2002. Disponível em: <[http://www.encyclopedia.com/topic/Robert\\_Stephenson.aspx#2](http://www.encyclopedia.com/topic/Robert_Stephenson.aspx#2)>. Acesso em: 27 out. 2014.
- FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de Aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 27-59, jul. 2011.
- HOBBS, Eric. **A Era das Revoluções: 1789 – 1848**. 1ª Edição. Nova Iorque: Vintage Books, 1996.
- IRZIK, Gürol; NOLA, Robert. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, [S.l.], vol. 20, n. 7-8, p. 591–607, jul. 2011.
- OLIVEIRA, Bernardo Jefferson de. Cinema e Imaginário Científico. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.13, supl. p. 133-150, out. 2006.
- PIASSI, Luís Paulo; PIETROCOLA, Maurício. Ficção Científica e Ensino de Ciências: para Além do Método de 'Encontrar Erros em Filmes'. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v.35, n.3, p.525-540, set./dez. 2009.
- RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Educação. **Currículo Mínimo 2012: Física**. Rio de Janeiro, 2012.
- STEAMBOY. Direção de Katsuhiko Ohtomo. [S.l.]: Triumph Films, 2004. (126 min.), DVD, son., colorido. Legendado.