

**A PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DE JAMES PRESCOTT JOULE: UMA
LEITURA A PARTIR DA EPISTEMOLOGIA DE LUDWIK FLECK**
(A technical-scientific production of James Prescott Joule: a reading from the epistemology of
Ludwik Fleck)

Wellington Pereira de Queirós [Wellington_fis@yahoo.com.br]

Roberto Nardi [nardi@fc.unesp.br]

Universidade Estadual Paulista (UNESP-Bauru), Faculdade de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência. Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Bairro Vargem Limpa Bauru, São Paulo.

Demétrio Delizoicov [demetrio.neto@ufsc.br]

Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Campus Universitário Trindade-Florianópolis, Santa Catarina.

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo analisar epistemologicamente a tentativa de James Prescott Joule em substituir o motor a vapor pelo elétrico. Nesta análise histórica, utilizamos as categorias epistemológicas: *estilo de pensamento*, *coletivo de pensamento*, *circulação intercoletiva de idéias e práticas* e as *conexões ativas e passivas* de Ludwik Fleck. Joule e os demais técnicos de Manchester receberam incentivos financeiros de governos e industriais para substituírem o motor a vapor pelo elétrico, uma vez que havia em Manchester, naquela época, uma cultura da técnica e da busca da exatidão e precisão, na qual Joule estava imerso, o que nos permitiu identificar, inicialmente, estilos de pensamento tecnicista e de eficiência experimental. Entretanto, Joule não conseguiu substituir o motor a vapor pelo elétrico; e a consciência dos problemas enfrentados por ele, na tentativa de fazer tal substituição, levou-o a buscar, por meio da circulação intercoletiva de ideias e práticas, como o estudo dos trabalhos de Faraday e de Jacobi, uma reorientação de suas pesquisas. A partir de nossa análise, o que ocorreu foi uma mudança de estilo de pensamento do tecnicista para o científico. Nesse sentido, Joule passou a investigar questões de cunho científico, como o *efeito Joule* e o *equivalente mecânico do calor*, que contribuiu significativamente para o estabelecimento do *princípio da conservação da energia*. Apontamos, aqui, as contribuições desta análise epistemológica para a discussão de questões da natureza da ciência no ensino básico e na formação de professores de Física.

Palavras-chave: Ensino de Física; Filosofia; História e Sociologia da Ciência; Ludwik Fleck; James Prescott Joule.

Abstract

This paper aims an epistemologically analysis of the attempt of James Prescott Joule to replace the steam engine by the electric one. In this historical analysis, we use the epistemological categories: style of thinking, collective thinking, intercollective circulation of ideas and practices, Joule and other technicians in Manchester received in that time financial incentives from governments and industry to replace the steam engine by the electric one, since it was in Manchester a culture of the technique of the accuracy and precision in which Joule was immersed, which allowed us to initially identify the styles of techniques thinking and experimental efficiency. However, Joule could not replace the steam engine by the electric; and the awareness of the problems faced by him, in the attempt to make such a substitution, led him to seek, through an intercollective circulation of ideas and practices, such as the studies of Faraday and Jacobi, a change of direction in his researches. According to our analysis, what happened was a change of style from a technical to a scientific thinking. In this sense, Joule began to investigate issues of a scientific nature, as the *Joule's effect* and the *mechanical equivalent of heat*, which contributed significantly to the establishment of the *principle of conservation of energy*. We present here the contributions of

this epistemological analysis to the discussion of questions of the nature of science in the basic education and for the training of physics teachers.

Keywords: Physics Teaching; Philosophy; History and Sociology of Science; Ludwik Fleck; James Prescott Joule.

Introdução

As pesquisas na área de ensino de Ciências, em geral, têm mostrado que estudantes, livros didáticos, meios de comunicação e a formação de professores apresentam uma visão de Ciência que se mostra isenta das influências econômicas, políticas, sociais e culturais. Nesta perspectiva, o principal objetivo dos cientistas parece ser descobrir leis naturais e verdades constituídas de teorias absolutas, isoladas do contexto externo. No entanto, tais pesquisas vêm mostrando, também, através de estudos históricos e a utilização de referenciais da filosofia contemporânea, que essa visão de Ciência é equivocada (Preto, 1995; Harres, 1999; Gil-Perez, et al., 2001; Massoni & Moreira 2007; Silva & Moura, 2008).

Nesse sentido, o presente artigo pretende fazer uma análise histórico-epistemológica dos trabalhos técnico-científicos iniciais de Joule, por meio da epistemologia de Ludwik Fleck. Especificamente, visa analisar o processo de tentativa de Joule em substituir o motor a vapor pelo motor elétrico, que era uma demanda dos Monarcas e empresários, na época da revolução industrial. Tal tentativa culminou com o estudo aprofundado do desenvolvimento do fenômeno, conhecido como efeito Joule e do equivalente mecânico do calor, que contribuiu relevantemente para a formulação do princípio da conservação da energia.

Essa análise nos ajuda a problematizar os seguintes aspectos sobre a natureza do conhecimento científico: 1) A tese empirista, que apesar de suas várias vertentes defendem em comum que a gênese do conhecimento científico está na observação e experimentação; 2) A visão hierárquica de que a tecnologia é somente aplicação da Ciência; 3) A concepção individualista e neutra do sujeito que, através de dados experimentais e sua descrição lógico-matemática, descobre as leis da natureza e 4) A visão descontextualizada e neutra da Ciência.

Alguns desses aspectos da natureza da Ciência foram explicitados por meio de estudos realizados, utilizando a epistemologia fleckiana, na análise de episódios científicos, tais como: Leite, Ferrari & Delizoicov (2001) que estudou as leis de Mendel; Castilho, Carneiro & Delizoicov (2004) sobre o movimento do sangue no corpo humano; Sheid, Ferrari & Delizoicov (2005) a história da proposição do modelo do DNA; Flôr (2009) um estudo sobre a comunicação das ideias e produção e síntese de elementos transurânicos no contexto do projeto Manhattan; Heidrich & Delizoicov (2009), sobre a diabete Mellitus e Insulina.

Para fazer a análise do processo laborioso de Joule, na tentativa de substituição do motor a vapor pelo elétrico, realizamos uma pesquisa histórica, por meio de fontes secundárias e primárias. As fontes secundárias principais utilizadas foram: James Joule: A biography de Cardwell (1989); James Prescott Joule and the concept of energy de Steffens (1979). Utilizamos como fontes primárias, os artigos originais de Joule da sua coletânea de artigos reunidos no: Scientific Pappers of James Prescott Joule, volumes I e II. A partir do estudo dessas fontes, realizamos uma análise histórico-epistemológica, utilizando como referencial teórico a epistemologia de Ludwik Fleck.

Filho de família judia, Fleck nasceu em 1896, em Lwów, que hoje faz parte da Ucrânia. Sua teoria do conhecimento é contemporânea a de filósofos como Popper, Bachelard, assumindo uma posição contra o empirismo lógico do Círculo de Viena. É considerado pioneiro na Europa, na abordagem sociológica do conhecimento. A primeira versão do seu livro em 1935 "*Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen tatsache*" ("A Gênese e o desenvolvimento de um fato

científico”) teve pouca repercussão, possivelmente, devido à perseguição nazista, que era crescente na época.

Na teoria do conhecimento de Fleck (2010), a gênese dos fatos científicos dá-se por uma relação dialética entre os elementos histórico-socioculturais e os fatores lógicos, experimentais e conceituais. Neste sentido, introduz os conceitos de Coletivo de Pensamento (CP) e Estilo de Pensamento (EP). Em seu livro, aparecem vários sentidos para a categoria estilo de pensamento, como: um corpo de conhecimentos e práticas, memória social, linguagem específica, etc. O estilo de pensamento é caracterizado pelas condições sociais, culturais de uma época, que é definido como o “estado de conhecimento”, o terceiro elemento na relação sujeito-objeto na teoria do conhecimento de Fleck. Uma das definições que o autor apresenta é:

Podemos, portanto, definir estilo de pensamento como percepção direcionada em conjunção com o processamento correspondente no plano mental e objetivo. Esse estilo é marcado por características comuns dos problemas, que interessam a um coletivo de pensamento; dos julgamentos, que considera como evidentes e dos métodos, que aplica como meios do conhecimento. É acompanhado, eventualmente, por um estilo técnico e literário do sistema do saber. (Fleck, 2010, p. 149).

Assim, o EP condiciona os diferentes CP. Ambos estruturam-se em círculos esotéricos concêntricos, cuja solidez se mantém mais intensa, interagindo com os círculos, que lhes são exotéricos. O significado dos *círculos esotéricos e exotéricos é relativo*. Podemos ter um grupo de físicos da matéria condensada, interagindo com outro grupo de físicos da matéria condensada, o que forma assim um círculo esotérico, pertencente ao coletivo de pensamento dos físicos da matéria condensada. De modo semelhante, um coletivo de pensamento de pedagogos constitui um círculo esotérico, mas este mesmo círculo é exotérico em relação aos físicos da matéria condensada e, assim da mesma forma, os físicos em relação aos pedagogos.

Um ponto relevante é que nem sempre essa relação de círculos esotéricos e exotéricos ocorre entre grupos de diferentes especialidades. Podemos ter círculos exotéricos formados por pessoas leigas. Um exemplo seria os estudantes do Ensino Médio (círculo exotérico de leigos) e círculos exotéricos de leigos formados, como professores de Física do Ensino Médio, que podem ser considerados como pertencentes ao círculo exotérico do coletivo de pesquisadores em Física da matéria condensada, desde que não sejam pesquisadores, mas com estes compartilham, por exemplo, conceituação, modelos e teorias físicas, dada a sua formação universitária em Física. Já os estudantes do Ensino Médio constituiriam uma porção mais externa do círculo exotérico ao interajam com os professores de Física do Ensino Médio.

A interação entre os círculos esotéricos e exotéricos ocorre, respectivamente, através da circulação intracoletiva e intercoletivas de ideias e práticas. A primeira acontece quando especialistas de um mesmo círculo compartilham entre si o seu EP; a segunda, por sua vez, quando há interação entre coletivos com EPs distintos. Deste modo, para Fleck o saber é uma atividade social, cuja dinâmica da produção do conhecimento científico ocorre por meio da circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias e práticas, pois há a instauração, a extensão e a transformação do EP e fato científico, quando enfrentam determinados problemas, caracterizados por Fleck, como *complicações*.

Nesse processo de instauração e extensão de EP, cabe ressaltar o papel das conexões ativas e passivas. Quando o sujeito ou o coletivo observa determinado objeto, há pressupostos iniciais compartilhados que são chamados, por Fleck, de conexões ativas e daí, devido à coerção do EP, o sujeito, junto ao coletivo, tende a elaborar um consenso sobre o objeto, o que possibilita a efetivação de conexões passivas, compartilhadas pelo coletivo, surgindo assim um fato científico, conforme analisa (Fleck, 2010).

No processo dinâmico em que se constitui essa compreensão para a produção de conhecimento, as conexões passivas, assim originadas, incorporam-se ao EP, tornando-se, portanto,

elementos datados, que estabelecerão mais conexões ativas compartilhadas, mediadoras de interações com outros objetos a serem conhecidos, que por sua vez possibilitarão o estabelecimento de novas conexões passivas. Esta característica processual da produção seria infinita, na argumentação de Fleck (2010) e exigiria, nos momentos de enfrentamento das complicações, transformações no EP. É significativa a seguinte afirmação de Fleck (2010, p. 110), que sintetiza esse entendimento: “não há, provavelmente, um fim do desenvolvimento do saber. Trata-se, unicamente, de mostrar que até mesmo o saber especializado não apenas **aumenta**, mas também passa por **mudanças** fundamentais.” (grifo do autor).

O trabalho Técnico-Científico de Joule

Joule nasceu e cresceu em uma época de conflitos sobre o calórico. De acordo com essa teoria, os fenômenos térmicos deveriam ser atribuídos à presença e ação de um “fluido sutil” chamado “calórico”. Da mesma maneira, a eletricidade foi considerada fluido. Essas teorias foram plausíveis para a época, como a ideia de que a eletricidade poderia ser armazenada em uma garrafa (a chamada garrafa de Leyden) e vários esforços foram feitos para encontrar uma ligação entre os fluidos de calor e eletricidade.

No final do século XVIII, Benjamim Thompson (conde de Rumford) alegou ter eliminado a teoria calórica, mostrando que uma quantidade aparentemente ilimitada de calor pode ser gerada pelo atrito metálico. Thompson detecta a produção de calor na perfuração dos canos para canhões (calor gerado pela fricção). Este comportamento não podia ser explicado pela teoria do calórico. Se o calor constituísse um fluido, seria consumido muito depressa, mas o calor gerado pelo atrito continuava a ser liberado, enquanto os canos estavam sendo perfurados. Thompson chegou a conclusão de que o calor deveria ser uma forma de movimento. Outras tentativas para estabelecer uma teoria dinâmica do calor foram observadas, mas não foram aceitas pela comunidade científica, que continuou a aceitar a teoria calórica, a mais plausível. Em uma leitura fleckiana, Joule nasceu em um momento de resistência e complicações da teoria dominante, no caso, o calórico.

Para Kuhn (1977), existem dois momentos fundamentais para a elaboração do princípio da conservação da energia: um entre 1800 e 1842, em que o princípio de convertibilidade das várias forças¹, em especial, de calor em trabalho, era compartilhado por vários pesquisadores da época (C. F. Mohr, William Grove, Faraday e Liebig) sem, contudo, envolver a ideia de conservação. Esta “força” mais tarde viria a ser chamada pelos cientistas de energia. O outro momento ocorre entre 1842 e 1847, em que há a “descoberta” simultânea do princípio da conservação da energia; este período é marcado pela “generalidade na formulação” e “aplicações quantitativas concretas”, características que fizeram do princípio da conservação da energia, uma das descobertas mais importantes da história da Ciência (Kuhn, 1977).

No caso particular de Joule, ele participou desses dois momentos no processo de construção do princípio da conservação da energia. Segundo Cardwell (1989), as principais motivações de Joule eram técnicas e econômicas, sobre as quais discorreremos ao longo deste artigo. As investigações de Joule foram o marco principal de como os processos de conversão demarcaram a base experimental da conservação da energia e possibilitaram os laços fundamentais entre os vários cientistas, principalmente, os da engenharia do vapor. Em 1838, Joule estava preocupado com os motores elétricos e em 1840, o seu estudo sobre os motores, em termos de trabalho e funcionamento, aproxima-o dos investigadores das máquinas a vapor: Carnot, Séguin, Hirn e Horltzmann.

¹ Naquela época, o que conhecemos hoje como *energia*, era chamado de *força*.

Essa preocupação de Joule é reflexo da grande euforia elétrica que varreu a Europa e os Estados Unidos. Monarcas e ministros financiaram os inventores entusiasmados. Os motores eram feitos para conduzir todos os tipos de máquinas, bombas, barcos nos rios e lagos. Como parte desta euforia elétrica, sociedades foram criadas, como a *Sociedade Elétrica de Londres* para promover o estudo da eletricidade. Por volta de 1836, surgem os primeiros periódicos a se preocuparem com os estudos de eletricidade, como os *Anais de Eletricidade* e o *Guardian de Química e Ciências Experimentais*. Outros jornais foram lançados: os *Transactions of the London Electrical Society* e os *Archives d'Electricité*. Os *Anais* eram um periódico interessante e seus dez volumes, 1836-1843, abrangeram o ponto alto da euforia elétrica, nos quais os primeiros trabalhos de Joule foram publicados (Cardwell, 1989).

Os dois pesquisadores que forneceram aspectos importantes, na formação de Joule em eletricidade, foram Michael Faraday e William Sturgeon. Os trabalhos de Sturgeon sobre o eletroímã de núcleo de ferro, em 1825, e sua invenção do comutador em 1836, abriram um vasto e novo campo de experimentação. O comutador despertou o interesse imediato, em motores magnetoelétricos, “dínamos” e “motores elétricos”; Faraday começou sua famosa série de pesquisas experimentais de eletricidade em 1831. Joule foi um leitor atento dos *Anais de Eletricidade* de Sturgeon, a partir do aparecimento do primeiro volume em 1838 e a interrupção por dificuldades financeiras em 1843. William Sturgeon foi um amigo da família de Joule e em 1840, tornou-se superintendente da Royal Victoria Gallery of Practical Science in Manchester.

Manchester era um lugar que despertava grandes interesses, devido à inovação tecnológica e implicação prática do discurso científico. Joule foi diretamente exposto à tecnologia e a ciência em seus contatos com Sturgeon, com amigos da família de seu pai, como John Dalton, presidente da Sociedade Literária e Filosófica de Manchester. Joule manteve um relacionamento agradável com a sociedade, foi eleito membro em 25 de janeiro de 1842, e posteriormente, tornou-se bibliotecário em 1844, secretário honorário em 1846, vice-presidente em 1851 e presidente da sociedade em 1860. Seus interesses iniciais e seu trabalho científico continuaram mostrando as influências do ambiente de Manchester (Cardwell, 1989).

Por ser uma das principais cidades onde ocorreu a gênese da Revolução Industrial, Manchester teve um grande desenvolvimento tecnológico que, de certa maneira, exerceu influência sobre Joule desde sua infância, dos dias em que ele e seu irmão costumavam assistir aos primeiros trens correndo entre Liverpool e Manchester e, provavelmente, a partir das conversas dos visitantes geralmente técnicos à casa de Joule (Queirós, 2012). Trabalhos de Joule mostram, claramente, certo grau de competência e familiaridade com termos de engenharia. Seu aparelho, no Science Museum, em Manchester, confirma suas habilidades técnicas. Ele cita com aprovação, a aptidão mecânica de seus conhecidos como Ash Arstall, John Frederick Dancer, fabricante de instrumento e inventor de microfotografia, que se casou com a prima de Joule. William Sturgeon foi um amigo da família apoiante de Joule e, em 1843, Eaton Hodgkinson era um engenheiro líder em Manchester. Joule, em suma, estava no ápice da pirâmide social, que tinha em sua fundação, instaladores, desenhistas, mecânicos e técnicos (Cardwell, 1989).

Dessa forma, o sujeito Joule cognoscente, na sua relação cognitiva com o objeto Motor, do ponto de vista da teoria do conhecimento de Fleck, estava inserido no “estado” de conhecimento da época, seja o do ambiente tecnicista e industrial de Manchester, a cidade onde Joule nasceu e cresceu, cujos conhecimentos e práticas dominantes possibilitaram a concepção, construção e uso do motor a vapor, seja pelo desafio da substituição do motor a vapor com o incentivo econômico e político.

Assim, para Fleck o estilo de pensamento não é caracterizado somente pelos elementos lógicos (atemporais) do conhecimento, mas também é caracterizado pelo Estado de conhecimento de uma determinada época, ou seja, os fatores temporais são também elementos determinantes na relação sujeito-objeto no processo de construção do conhecimento:

A teoria comparada do conhecimento não deve considerar o processo do conhecimento como uma relação binária entre sujeito e objeto, entre o ator do conhecimento e algo a ser conhecido. O respectivo estado do saber, enquanto fator fundamental de cada conhecimento novo deve entrar como o terceiro elemento nessa relação. Caso contrário, não haveria como entender de que maneira se chega a um sistema de opinião fechado e conforme a um estilo e por que se encontram predisposições para um determinado saber no passado que não eram legitimadas por razões “objetivas” (pré ideias) (Fleck, 2010, p. 81).

Entretanto, considerando que Fleck (2010, p.154) designou “o portador comunitário do estilo de pensamento como coletivo de pensamento”, podemos identificar o coletivo de técnicos, do qual Joule participou e com o qual foram estabelecidas circulações de idéias, conhecimentos e práticas. Joule, desde os tempos em que esteve sob orientação de Dalton, teve contato com outros estudantes, que deram contribuições tecnológicas importantes, como o filho de William Henry, William Charles Henry; o engenheiro Eaton Hodgkinson; o engenheiro e inventor do contador de gás Samuel Clegg; o médico e historiador Samuel Hibbert Ware; Richard Potter professor de Filosofia natural e Bennet Woodcroft, o qual, mais tarde, estabeleceria o museu de Ciências de Londres.

Em uma leitura a partir de Fleck (1986), esse seria o coletivo, do qual Joule participou e que, possivelmente, influenciou o seu trabalho: em sua maioria com uma formação técnica, que propiciou a formação de um CP de técnicos. O que podemos dizer dessa época é que houve uma quantidade grande de homens que elaboravam técnicas de maneira artesanal, ou seja, muitos artefatos que foram construídos, não foram no meio acadêmico, e sim, por pessoas da sociedade da época, como industriais e inventores, principalmente, os cervejeiros de Manchester. Assim, em uma leitura fleckiana, houve a formação de um coletivo de técnicos, do qual Joule fez parte e que estaria no círculo exotérico, em relação ao círculo esotérico dos cientistas de Londres.

Esse coletivo de técnicos do qual Joule fez parte em especial os da cervejaria exerceu influência no trabalho de Joule, principalmente no processo de fabricação de instrumentos como os termômetros. O fato é que o mundo da cervejaria, na época vitoriana, era considerado em grande parte uma cultura oral, em que os saberes eram compartilhados pelo exemplo e pela prática, já que os cervejeiros e produtores de malte não sabiam ler e nem escrever. Para se ter uma idéia de como isso era feito, durante o processo de preparação da cerveja, o cervejeiro mastigava um pouco de malte com a finalidade de estabelecer a cor para saber a quantidade de calor que o malte podia receber. Com o aprofundamento do processo de industrialização e a exigência dos governantes em fabricar instrumentos de medida cada vez mais precisos, a fim de aumentar a arrecadação de impostos, a cervejaria muda seu ritmo de um trabalho artesanal para o industrial (Sibum & Morel, 1998).

Joule esteve presente nesses dois momentos da indústria cervejeira, pois seu pai Benjamin Joule era dono de uma cervejaria que havia sido instalada no fim do século XVIII pelo seu avô William Joule. Joule usava as dependências da cervejaria para executar seus projetos científicos e realizar diversas experiências com o objetivo de aperfeiçoar as técnicas da cervejaria. Juntamente com o instrumentador John Benjamin Dancer e os trabalhos sobre o termômetro de Lyon Playfair, Joule trabalhou no aperfeiçoamento do termômetro para a cervejaria. Assim, o ambiente cultural da cervejaria ofereceu um leque de modelos para Joule, que influenciou diretamente nas suas pesquisas sobre o calor, ou seja, a forma de trabalhar dos velhos cervejeiros e por outro lado, na transição do trabalho artesanal para o industrial, no aperfeiçoamento das técnicas de medidas, uma demanda exigida pela Indústria e os Governos da época (Sibum & Morel, 1998). Assim, Joule fez parte de um EP tecnicista e participava de um coletivo de investigadores exotéricos, em relação ao círculo esotérico dos cientistas de Londres. Tal interpretação está de acordo com a definição de Fleck (2010, p.110) sobre EP,

O estilo de pensamento não é apenas esse ou aquele matiz dos conceitos e essa ou aquela maneira de combiná-los. Ele é uma coerção definida de pensamento e mais: a totalidade das

disposições mentais, a disposição para uma e não para outra maneira de perceber e agir. Evidencia-se a dependência do fato científico em relação ao estilo de pensamento.

Diante do exposto, podemos dizer a partir de uma leitura fleckiana que Joule passou por um processo de coerção de pensamento das pessoas do ambiente em que vivia. O ambiente industrial de Manchester, a convivência com amigos da família que tinham um conhecimento técnico, a sua infância e adolescência na cervejaria do pai, o patrocínio de industriais e governantes aos inventores foram fatores coercitivos e abriram uma disposição mental para que tivesse um interesse econômico e um EP tecnicista.

O primeiro artigo de Joule foi curto; nele, descreveu algumas melhorias que fez no projeto do eletromagneto, a partir do motor que estava construindo. Concentrou o assunto sobre os problemas da construção de eletroímãs, pesquisando sobre o melhor arranjo dos ímãs para garantir uma melhor eficiência do motor. Este interesse de Joule pelo aperfeiçoamento do motor, veio dos investimentos dados pelos governantes da época, que conduziram vários pesquisadores a estudarem o aperfeiçoamento e até mesmo a substituição do motor a vapor. Este era o problema a ser resolvido que levou o coletivo de técnicos a se debruçar em tentativas e a publicarem artigos nos *Anais de eletricidade*. As primeiras pesquisas de Joule foram diretamente inspiradas no trabalho de Sturgeon com motores elétricos. Ele queria construir um motor melhor que qualquer outro que havia sido construído antes. A fim de fazê-lo, concentrou-se sobre os problemas da construção de melhores eletroímãs e sobre o arranjo mais eficaz dos ímãs.

Assim, mediante um problema - a substituição do motor a vapor pelo elétrico - ocorreu a circulação intercoletiva de ideias e práticas, através da influência pessoal de Sturgeon, por meio da leitura dos artigos dos *Anais de eletricidade* e dos trabalhos de Faraday. Sturgeon, mais tarde, relatou que, embora Joule não tenha mencionado no artigo, ele queria aplicar este motor para a propulsão de barcos e locomotivas. Isto demonstra o interesse econômico e técnico de Joule (Cardwell, 1989) e reforça, numa leitura fleckiana, que Joule estava imerso em um EP, aqui caracterizado e denominado como *tecnicista* desenvolvido no processo de industrialização do século XIX. No segundo artigo: “*Descrição de um motor eletromagnético com experimentos*”, Joule conseguiu construir um motor e testou o seu poder de elevação, cuja taxa de peso capaz de levantar fora muito lenta:

[...] pesa sete libras e meia e é o maior poder que eu tenho sido capaz de desenvolver com uma bateria de Wollaston quarenta e oito placas de quatro polegadas era levantar 15 libras pês por minuto, em que estimam o atrito do trabalho das partes, que foi muito importante, era considerado como a carga. O resultado mostra que as vantagens de um acordo final de eletroímãs não são como eu previa (Joule, 1838, p.4).

Para Joule, a velocidade de rotação do motor era muito lenta, apenas 3,5 m/s e concluiu que a suscetibilidade do núcleo magnético foi um fator que interferiu na velocidade e eficiência do motor. Tal suscetibilidade estava diretamente ligada à resistência que se opunha ao ferro para a indução instantânea de magnetismo. A partir disto, Joule voltou suas investigações para o núcleo do eletroímã, estudando as propriedades magnéticas do ferro em suas várias formas e a corrente que flui nos fios sobre o núcleo.

De dezembro de 1838 a março de 1839, Joule realizou experimentos com o uso de eletroímãs de vários tipos de núcleos de ferro, aço e com os núcleos ocos. Tanto as capacidades de atração à distância e levantamento dos ímãs com cada um dos núcleos diferentes foram testados. A conclusão foi que, na maioria dos casos, as modificações no núcleo do eletroímã não poderiam aumentar, substancialmente, o desempenho do motor: “É evidente a partir deste que o ímã oco tem a maior força de atração. Mas a diferença entre os dois é, penso eu, dificilmente seria suficiente para contrabalançar as vantagens práticas que pertencem ao sólido eletroímã se usado no motor” (Joule, 1839, p.9).

Concluído o estudo do núcleo, o próximo passo seria o estudo da corrente sobre o núcleo. Para testar este efeito, Joule construiu um galvanômetro e, em seguida, determinou a quantidade de eletricidade indicado pela graduação do galvanômetro. A quantidade de eletricidade foi uma medida crucial para Joule, já que a fonte de sua corrente fora uma bateria e, somente esta era de importância direta para a consideração das características dos eletroímãs. A quantidade de eletricidade forçou a atenção de Joule, porque a produção da corrente necessitava absorver os componentes de sua bateria. Ele fez uma avaliação do funcionamento das baterias que usava, pois além de tomar cuidado para fornecer uma corrente constante, tinha que resolver os problemas para encontrar metais adequados para seus eletrodos e de organizá-los para produzir a polaridade desejada.

Joule realizou uma série de experimentos em relação aos efeitos de várias correntes sobre a capacidade de elevação de cinco diferentes eletroímãs e compilou os resultados em uma tabela. Para completar seu estudo de todos os possíveis fatores que poderiam afetar o desempenho de um eletroímã, ele construiu dez ímãs adicionais. Estes possuíam núcleos de mesma área transversal, como aqueles previamente testados, mas usando duas vezes o comprimento de fio encapado. Os testes sobre estes ímãs também foram resumidos em uma tabela.

Essas experiências iniciais que Joule realizou em eletroímãs e correntes voltaicas muito avançadas mostrou sua habilidade, tanto como um experimentador, como um cientista. Um fator relevante a destacar no trabalho de Joule é que antes de realizar os seus experimentos, ele tinha suas concepções teóricas, pois realizava todo um planejamento dos experimentos, com a finalidade de testar as suas especulações teóricas:

Acho que o plano que eu tinha proposto para um novo motor deve ceder às visões ditadas pelas experiências acima. Tanto quanto eu vejo no momento, eu acho que vai ser melhor usar apenas dois, e estes muito grandes eletroímãs e concentrar-se-lhes toda a força da corrente elétrica que pode comandar (Joule, 1839, p. 14).

Acreditava, desde o início, que era possível substituir o motor a vapor pelo elétrico e que podia construir um motor melhor que qualquer outro que existisse na época. Assim, pegou como exemplo, alguns motores elétricos feitos por Sturgeon, que na interpretação, a partir da epistemologia fleckiana, seria uma conexão ativa, pois parte de algo já preconcebido e tenta modificar e aperfeiçoar o motor por meio do estudo de melhores eletroímãs, arranjo dos ímãs e as correntes elétricas que passam no núcleo do eletroímãs.

Assim, como resultado desse planejamento, com a finalidade de testar as suas especulações teóricas acerca dos eletroímãs para o aperfeiçoamento do motor, por meio do uso de seu próprio galvanômetro, ele aprendeu a importância da medição delicada e cuidadosa. Neste caso, o papel das medidas e a exatidão são também elementos teóricos, que faziam parte do trabalho de Joule, pois queria antes de fazer uma simples medida, fazer uma medida a mais precisa possível.

Apesar de Joule contar com ajuda de alguns instrumentadores, como Dancer, muitos instrumentos utilizados por Joule eram produzidos por ele mesmo, como o termômetro e o galvanômetro, que procurava aperfeiçoá-los a fim de obter resultados os mais precisos possíveis. Para Koyré (s.d., p. 75-82) a ideia de se criar e aperfeiçoar os instrumentos está diretamente relacionada a exatidão e a precisão, que são alguns dos elementos teóricos que motivaram a criação de tais instrumentos.

Assim, seria um equívoco pensarmos que as conclusões de Joule eram somente baseadas em suas medidas experimentais, pois antes de realizar seus experimentos, ele fazia todo um planejamento (conexões ativas) com a finalidade de construir e aperfeiçoar os instrumentos para alcançar medidas cada vez mais precisas e exatas. De acordo com Fleck (2010), a perspectiva empirista-indutivista é uma ingenuidade e que, psicologicamente, não ocorre uma observação pura, isto é, sem pressuposições, mas que seria possível em termos lógicos, sendo até mesmo necessária

para a legitimação de um saber, enquanto construção posterior. Em outras palavras, as conexões ativas (elementos teóricos) são inseparáveis das conexões passivas (medidas experimentais).

Outra característica importante foi a matematização, pois Joule compartilhava do pensamento da ciência moderna e este processo de matematização foi apreendido ainda quando era aluno de Dalton. Assim, a partir destes elementos teóricos, oriundo do CP que compartilhava e das suas motivações pessoais em construir o melhor motor elétrico é que Joule procurou estabelecer, intencionalmente, por meio de relações (conexões ativas) entre as grandezas envolvidas e medidas por ele (conexões passivas), uma lei geral sobre o comportamento dos eletroímãs, em relação a sua corrente:

Os experimentos parecem indicar uma importante lei, que pode ser expressa da seguinte forma: - A força atrativa de dois eletroímãs para o outro é diretamente proporcional ao quadrado da força elétrica para o qual o ferro é exposto: ou, se E denotar o corrente elétrica, W o comprimento do fio, e M a atração magnética, então $M = E^2W^2$ (Joule, 1839, p.13).

...Eu mal posso duvidar de que o eletromagnetismo acabará por ser substituído por vapor para impulsionar máquinas. Se a potência do motor é proporcional à força de atração dos seus ímãs e se esta atração é o quadrado da força elétrica, a economia será a razão direta da quantidade de eletricidade e o custo do trabalho do motor pode ser reduzido ad infinitum. É, no entanto, ainda a ser determinado em que medida os efeitos da eletricidade magnética pode desapontar estas expectativas (Joule, 1839, p. 14).

Seu raciocínio era simples. A “economia” do motor era o trabalho realizado, dividido pela quantidade de combustível consumido ao mesmo tempo: o carvão, no caso de uma máquina a vapor e o zinco, no caso de um motor eletromagnético. Faraday mostrou que a quantidade de zinco consumido em uma bateria era proporcional à energia gerada, por isso a economia do motor era proporcional ao trabalho realizado, dividido pela quantidade de eletricidade, ou simplesmente, à quantidade de eletricidade. Portanto, quanto maior a corrente, maior o trabalho. Ele acrescentou com cautela que esta expectativa otimista se realizaria (Cardwell, 1989, p. 32).

O que podemos dizer da tentativa de Joule em construir o melhor motor para a época é que, mediante o problema de substituir o motor a vapor por outro melhor, ele interagiu com membros do CP de técnicos, principalmente na figura de Sturgeon, que o levou a fazer constatações novas a respeito do eletroímã. A partir de uma leitura fleckiana, podemos dizer que o ato de conhecer de Joule está diretamente ligado à constatação de resultados inevitáveis sob determinadas condições dadas:

Estas condições correspondem aos acoplamentos² ativos, formando a parte coletiva do conhecimento. Os resultados inevitáveis equivalem aos acoplamentos passivos e formam aquilo que é percebido como realidade objetiva. O ato da constatação compete ao indivíduo (Fleck, 2010, p. 83).

Parece que Joule nutria grandes esperanças de que substituiria o motor a vapor pelo elétrico, quando a alta pressão dos motores a vapor tinha sido introduzida no início do século. A pressão do vapor aumentava muito mais rapidamente do que a temperatura, o que podemos chamar de conexões passivas, e isto o levou a ter esperança de que o trabalho do motor e a alta pressão a vapor poderiam ser melhorados indefinidamente, o que conduziu Joule a fazer várias tentativas sobre a construção dos eletroímãs, que chamamos de conexões ativas. Uma pequena quantidade de combustível poderia gerar uma enorme pressão de vapor e, portanto, foi sugerido que se pudesse realizar uma quantidade imensa de trabalho (conexões ativas).

² O livro de Fleck (2010) traduzido para o português traz o termo acoplamento, no entanto no decorrer do artigo utilizamos o termo conexões oriundo da tradução do seu livro em espanhol, Fleck (1986). No presente texto os dois termos têm o mesmo significado.

Esse trabalho trouxe a Joule várias conclusões novas. Sua lei dos fatores que regulam a atração de eletroímãs a uma distância convenceu-o de que deveria abandonar o plano inicial de melhorar o motor elétrico, reorganizando a colocação de seus eletroímãs e a variação de seus núcleos. Sua nova lei indicava que as melhorias notáveis poderiam ser alcançadas, simplesmente, através do aumento da corrente. Todos os seus trabalhos anteriores tinham sido suficientes para convencê-lo de que só pequenos ganhos poderiam ser obtidos, através da modificação do núcleo ou da reorganização dos eletroímãs. Todas estas constatações sobre o motor anteriores feitas por Joule, nomeamos, em uma leitura fleckiana, de conexões ativas.

O objetivo dos experimentos de Joule permaneceu o mesmo: a intenção de construir um motor eletromagnético que substituiria o motor a vapor, mas o caminho para atingir este objetivo era, decisivamente, alterado pela sua nova lei. Sua atenção estava dirigida à corrente nos fios dos eletroímãs e, portanto, da necessidade de conhecimento para as características das baterias diferentes em uso no tempo. Um novo campo de investigação foi aberto para seus experimentos (Steffens, 1979, p. 7-8).

Steffens (1979) não concorda com a opinião de que, pelo fato de Joule considerar o custo de um motor trabalhar ser *ad infinitum*, frequentemente citado, não demonstra que não compreendia as limitações apresentadas pelo atrito da máquina ou até mesmo que tivesse posições muito próximas à aceitação do movimento perpétuo. De acordo com o autor, o conceito de movimento perpétuo teve pouco significado para o efeito Joule, mas foi extremamente importante, na medida em que o relacionava com as ideias de convertibilidade das forças. A declaração de Joule sobre a redução *ad infinitum* de custos na gestão de uma máquina, pode ser atribuída a razões positivas, ao invés da idéia negativa, já que não conseguira realizar as restrições contra o movimento perpétuo.

Essas razões positivas foram sentimentos de entusiasmo de Joule por ter detectado uma nova lei e sua suposição baseada em seu conhecimento incompleto e a experiência com baterias, de onde qualquer quantidade de eletricidade desejada poderia ser obtida. O fato é que Joule reconheceu as dificuldades apresentadas pelo simples atrito e isto ficou claro, em seu segundo artigo, publicado nos Anais de Eletricidade (Joule, 1838, p.4). Os problemas do atrito da máquina foram corrigidos e nesta direção, a declaração do infinito, parece apenas excessivamente entusiástica de um jovem, com a esperança de encontrar um motor que iria superar o motor a vapor.

Depois dos trabalhos de 1838 e 1839, ele publicou uma série de trabalhos sobre as forças eletromagnéticas, cuja preocupação principal era investigar a natureza da atração eletromagnética e do magnetismo em metais. Nestas investigações, expandiu o interesse para incluir a sua fonte de corrente elétrica: a ação química da bateria. Joule, brevemente, considerou a natureza da atração magnética e desenhou um diagrama para mostrar que um eletroímã atrai outro à distância, pelas atrações combinadas das partículas magnéticas de um ímã para as partículas magnéticas do outro e vice-versa. Ele também qualificou sua lei da atração de dois eletroímãs, ao mencionar o fenômeno da saturação magnética e as propriedades indutivas do núcleo. Joule estabeleceu a sua lei de forma mais explícita, como se segue:

A perda do poder de atração em consequência do comprimento pode ser facilmente verificada, mas nem isso nem a difusão de polaridade afeta a principal conclusão a que cheguei no que diz respeito às leis sob as quais a atração magnética, como aplicável à produção de força motriz é desenvolvida pela eletricidade, que a atração dos dois eletroímãs para o outro em qualquer caso é representado pela fórmula $M = W^2E^2$, onde M denota a atração magnética, W o comprimento do fio e E a quantidade de eletricidade produzida por este fio em um determinado período de tempo, uma fórmula modificada pelo simples efeito da saturação, o poder indutor do ferro e a distância dos núcleos das bobinas da superfície do ferro (Joule, 1840, p. 21).

Essa foi certamente uma apresentação mais sofisticada. Joule também tinha começado uma nova série de experimentos, utilizando o seu galvanômetro e vários eletroímãs dispostos para testes em seu motor experimental. Joule fez uma série de pressupostos importantes sobre o atrito, trabalho e corrente elétrica. Infelizmente, não foi bastante claro. Concluiu que o atrito é estimado como parte do trabalho e ainda utilizou-o para calcular a força que envolvia outras quantidades de corrente elétrica; além disso, encontrou a quantidade de corrente elétrica capaz de superar exatamente a mesma quantidade de atrito.

É muito tentador dizer que Joule detectou a equivalência entre a corrente elétrica e a força produzida de um sistema de motor elétrico. Mas, uma profunda reflexão sobre o artigo vai mostrar que isto não seria totalmente verdade. O que deve ser ressaltado é que em março de 1840, Joule tinha todos os elementos teóricos e experimentais necessários para concluir que houve um equivalente exato, um equivalente mecânico entre a quantidade de corrente elétrica e a quantidade de força produzida em qualquer máquina elétrica. Ele ainda estendeu esta equivalência para usar o termo "trabalho", quando calculado o dever do motor, em termos de efeito de uma libra de zinco, levantando pesos para uma determinada altura, já que um quilo de zinco produzia uma quantidade determinada de eletricidade para uma determinada máquina e o seu circuito; isto foi o mesmo que dizer que uma determinada quantidade de corrente produzia uma determinada quantidade de trabalho em termos de libras levantadas para uma altura em metros.

Essa equivalência recém-descoberta, vista pela epistemologia fleckiana, é uma conexão passiva e não constituiu interesse principal de Joule na época; havia, na verdade, várias ambiguidades na apresentação dos seus resultados. Ele nunca descreveu exatamente o que entendia por atrito, nem como relacionou atrito e trabalho. O atrito, simplesmente, representou um obstáculo para a ação e não estava relacionado às perdas de calor. Seu interesse principal estava fixado, em vez disso, no desempenho geral da máquina elétrica. Os dados sobre o trabalho e suas experiências com a fricção e os valores de corrente foram apenas um meio para julgar o desempenho da máquina. Ele ainda estava concentrado em seu objetivo de desenvolver um motor elétrico para substituir o motor a vapor (Steffens, 1979, p. 11-12).

O EP tecnicista de Joule impediu-o de ver qualquer coisa além daquilo que estava procurando, no caso, a substituição do motor a vapor pelo elétrico. O que em uma leitura, a partir de Fleck (1986, p. 139), o EP é direcionador da pesquisa, e em alguns casos, não permite ao pesquisador ver outras formas além daquela que o direciona que é o componente principal do EP, pois permite a evolução de um determinado conhecimento. Neste momento, para Joule os processos de conversão ainda não eram o foco de sua pesquisa.

Joule estava esperançoso, neste momento, de encontrar melhorias na construção do motor, para aumentar a sua eficácia. Ele concluiu seu artigo, como era de costume, indicando o curso de suas próximas pesquisas: planejava descobrir as maneiras para aumentar a condutividade das bobinas dos eletroímãs e aumentar a suavidade do núcleo de ferro. Também planejou encontrar formas de aumentar a intensidade dos elementos da bateria, pois seus experimentos mostraram que a intensidade maior levou a um aumento do lado direito do motor (Steffens, 1979, p.12). O segundo artigo de Joule de (1840), intitulado "Sobre Forças Eletromagnéticas", estabelecia normas gerais a serem observadas na construção de eletroímãs para obter maior poder de elevação:

Tentarei neste artigo lançar alguma luz sobre o assunto (fabricação de eletroímãs) e descrever uma construção que apresente resultados superiores que até agora têm sido alcançados. Era meu desejo de fazer minhas experiências tão exatas quanto possível, e como eu desejo a relação deles para ser claro e definido, vou começar com algumas observações sobre a medida da corrente elétrica indicada pelo galvanômetro, um instrumento útil, mas não só essencial em uma investigação como a seguinte. A grande dificuldade, senão a impossibilidade de experimentos de compreensão e compará-los com uma outra surge em geral a partir de descrições incompletas de aparelhos e dos números de

forma arbitrária e imprecisa que são utilizados para caracterizar as correntes elétricas. Tal prática pode ser tolerada nos primórdios da ciência, mas em seu estado atual de avanço, maior precisão e propriedade são demandados. Tenho, portanto, determinado pela minha parte abandonar meus números quantidade e de expressar os meus resultados na base de uma unidade que deve ser ao mesmo tempo científico e conveniente (Joule, 1840, p. 27).

Essa citação do artigo de Joule mostra mais uma de suas pré-concepções teóricas no planejamento para a melhoria do motor. Como afirmamos anteriormente, a busca de exatidão, nas medidas dos experimentos realizados, é um elemento teórico do ponto de vista epistemológico e, de certa forma, fazia parte da atmosfera da época do coletivo de técnicos, do qual Joule interagiu. Havia também interesses econômicos do governo inglês em obter medidas cada vez mais precisas, em vários ramos da indústria inglesa, sobretudo, na cervejaria, onde Joule atuava. Então, podemos dizer que esta busca da exatidão, além de ser um elemento teórico-lógico, era também uma influência econômica e política no trabalho de Joule, principalmente, porque a sua motivação inicial em construir o melhor motor foi devida aos investimentos do governo, na época, para os inventores. Inclusive, existiu uma política pública de criação de laboratórios de instrumentação e no investimento em inventores, no aperfeiçoamento e construção de instrumentos com melhor precisão das medidas.

Um olhar, a partir da epistemologia de Fleck, tanto os elementos lógicos da busca da exatidão - o processo de fabricação de instrumentos e os elementos não lógicos como a exigência econômica e política pela busca da exatidão - constitui que a relação sujeito-objeto é condicionada socialmente e por elementos apriorísticos, ou seja, as conexões ativas constituídas historicamente do conhecimento científico. Destaca-se, então, que os pressupostos teóricos, sociais e históricos do sujeito dentro de um EP são denominados de conexões ativas e as características, assim, captadas do objeto pelo sujeito são chamadas conexões passivas. Ambas as conexões não podem ser vistas de forma separadas, nem lógica e nem historicamente, pois estão presentes uma na outra. Isto, de certa forma, mostra a relação dialética entre os elementos históricos sociais e os fatores lógicos na formulação de um conceito científico.

Essa insistência na exatidão e comparabilidade dos resultados experimentais foi um aspecto muito importante do trabalho científico de Joule. Bem desenvolvida até o verão de 1840, esta insistência pode ser considerada um fator fundamental no tipo de trabalho científico, que mais tarde, Joule viria a realizar. Sua ênfase na precisão e comparabilidade torna imprescindível para o desenvolvimento dos seus padrões de medida, incentivando-o a procurar equivalências entre os resultados experimentais. Seu trabalho com eletroímãs levou-o a estabelecer comparações entre os diversos fatores que regem o desempenho do imã: a corrente, os fios do núcleo, poder de elevação e assim por diante. Ele não só desenvolveu uma lei para a “força de atração” entre eletroímãs, mas percebeu que uma determinada quantidade de corrente foi sempre necessária para superar o “atrito” do motor eletromagnético.

No artigo de agosto de 1840, Joule reconheceu que a medida da corrente daria os meios mais precisos de comparar suas informações sobre o desempenho dos motores. Além disso, a consciência da necessidade de rigor na investigação científica, preocupação que ele havia adquirido na sua interação com Dalton, esteve relacionada com o reconhecimento (principalmente o resultado de seus trabalhos “sobre as forças eletromagnéticas”).

Joule nos forneceu o primeiro indício importante direto para sua formação intelectual, quando descreveu a unidade de eletricidade para servir como base para seus cálculos. Ficou claro que havia lido, no verão de 1840, as partes e talvez todas as pesquisas experimentais em eletricidade de Michael Faraday. Sua leitura de pesquisa, provavelmente, estimulou um novo zelo de Joule para a exatidão (conexão ativa) da ciência experimental (conexão passiva). Certamente, o trabalho de Faraday foi o melhor exemplo disponível para completar, precisar e inspirar as pesquisas experimentais.

O grau preciso de inspiração que Joule recebeu do exemplo de Faraday é difícil de determinar, mas não há dúvida de que se beneficiou muito do conteúdo concreto do trabalho deste, em química e eletricidade. Ele não só ampliou seu conhecimento de experimentos elétricos, mas também passou a aceitar as leis de Faraday da eletrólise como verdades fundamentais e como base para todos os seus cálculos e experimentos nos três anos seguintes. Joule invocou unidades de energia elétrica para as unidades de seus cálculos e aceitou as leis de Faraday da eletrólise, como fundamental para a comparabilidade e precisão de seus resultados. Vejamos como Joule assumiu as unidades propostas por Faraday:

Que (unidade de medida), proposto pelo Dr. Faraday é creio eu, o único padrão do tipo que tem sido sugerido. Sua descoberta da quantidade determinada de eletricidade associada com os átomos ou equivalentes químicos das massas tinha induzido ele a usar o voltímetro como um medidor e propor que a centenária parte do centímetro cúbico de gases misturados formando água deve constituir um diploma. [Pesquisas Experimentais, série 7 (736)]. Não pode haver dúvida de que este sistema poderia oferecer grandes vantagens para o pesquisador, em alguns casos, como eu não estou ciente de que tem sido utilizado em pesquisas de qualquer eletricitista, sem excetuar as do próprio Faraday, eu não hesitaria em fazer avançar o que eu penso mais adequado, bem como geralmente vantajoso. Portanto, simplesmente declarou: 1. Um certo grau de eletricidade estática é a quantidade que é apenas capaz de decompor nove grãos de água. 2. Certo grau de eletricidade atual é a mesma quantidade propagada durante cada hora. 3. Onde ambos o tempo e o comprimento de condução são elementos, como em eletrodinâmica, um grau de força elétrica, ou de impulso eletromomento, é indicado por essa mesma quantidade (um grau de eletricidade estática) propagado por todo o comprimento de um pé em um tempo de uma hora (Joule, 1840, p. 28).

Joule assumiu as unidades de medida expostas no trabalho de Faraday e indicou que a unidade de um grau elétrico seria muito útil nos cálculos de decomposição eletroquímica, desde que os pesos equivalentes fossem conhecidos. Joule ampliou seu conhecimento sobre todos os tipos de fenômenos elétricos, lendo as experiências de Faraday e adquirindo com isto um conhecimento profundo da eletrólise.

Fazendo uma análise do trabalho de Joule, quanto às suas interações com Dalton e Faraday, o que notamos é a circulação intracoletiva e intercoletiva de idéias e práticas de Joule com estes cientistas; o primeiro por meio da tutoria, o segundo por meio da leitura dos artigos. Além disso, neste processo de interação, percebemos a formação de coletivos momentâneos. O que Fleck (2010) define é que sempre há um CP, quando duas ou mais pessoas trocam idéias, sendo coletivos casuais de pensamento, que aparecem e desaparecem a cada momento. Entretanto, eles podem fornecer uma coerção de pensamento ou uma predisposição peculiar. No caso de Joule, o que há em comum na interação com esses dois homens de ciência (Dalton e Faraday) e que influenciou a maneira de conduzir as suas pesquisas experimentais é a constante busca para a exatidão das medidas, o que, conseqüentemente, conduziu Joule a um *EP*, que vamos denominar de *eficiência experimental*.

Joule continuou a encontrar maneiras de melhorar os motores elétricos, variando os arranjos dos ímãs, dos eletroímãs e testando-os com várias correntes; fez, também, algumas melhorias em uma bateria de células, construídas em ferro fundido de um modelo sugerido por William Sturgeon. Em suas pesquisas com eletroímãs, constatou que a potência máxima de elevação destes é proporcional à área de seção transversal do circuito magnético e, ao mesmo tempo, apontou o método pelo qual uma atração magnética muito grande poderia ser produzida entre as massas de ferro de magnitude considerável. Ele mesmo desenhou um novo tipo de eletroímã com um poder de elevação jamais alcançado; todas estas melhorias tinham como objetivo substituir o motor a vapor (Joule, 1841, p.42-46).

Antes de fevereiro de 1841, Joule sentiu que precisaria mudar o seu objetivo, pois começou a perceber que já estava no limite da eficácia de seus motores eletromagnéticos. As mudanças

ocorreram quando tomou conhecimento da autoindução do motor eletromagnético, fenômeno estudado por Jacobi³. Joule fez uma breve apresentação de sua mudança de opinião, em uma palestra na Galeria de Victoria, em Manchester, em 16 de fevereiro de 1841. Algumas de suas novas experiências na autoindução convenceram-o de que sua meta de melhorias não poderia ser atingida. Com estas palavras, Joule disse à sua audiência:

Somos gratos ao professor Jacobi pela exposição do principal obstáculo para a perfeição do motor eletromagnético. Ele tinha mostrado que a ação elétrica produzida pelo movimento das barras opera contra a corrente da bateria, e desta forma reduz o magnetismo das barras, até que, a certa velocidade, as forças de atração tornaram equivalentes à carga sobre o eixo, e em consequência o movimento deixa de ser acelerado. Jacobi não tinha, porém, dado detalhes precisos sobre o lado direito do seu aparelho, nem tinha, então, determinado as leis do motor. Eu estava, portanto, induzido a construir um motor adaptado para experimentar (Joule, 1841, p.47).

Por meio da circulação intercoletiva de idéias e práticas de Jacobi para Joule, em que Jacobi participa do coletivo dos cientistas e Joule do coletivo dos técnicos, possibilitou-lhe, em sua palestra, expressar o início da tomada de consciência de uma complicação (o fenômeno da autoindução) no processo de substituição do motor a vapor. Joule, no seu primeiro trabalho “sobre as forças eletromagnéticas”, tinha notado este efeito, mas viu o problema como uma simples resistência a ser resolvida, se possível, melhorando a capacidade de condução das bobinas de ferro e o encontro de núcleos mais suaves de eletroímãs.

O trabalho de Jacobi fez Joule perceber que o problema era mais do que uma simples resistência; inicialmente, ele não aceitou prontamente o trabalho de Jacobi, mas construiu alguns aparatos para testar o fenômeno. Primeiro, detectou que a magnetoresistência elétrica para a corrente da bateria era proporcional à velocidade das barras. Este foi um resultado decisivo, porque a potência do motor dependia em larga medida da velocidade de rotação que poderia ser alcançada. Fez também avaliações cuidadosas do trabalho das baterias que usava e de sua resistência interna (Steffens, 1979).

Em uma leitura fleckiana, esta não aceitação parcial de Joule do fenômeno da autoindução detectado por Jacobi, é concebida da seguinte maneira:

[...] O pesquisador fica tateando: tudo cede, não há nenhuma referência firme. Tudo é percebido como efeito artificial que obedece à própria vontade: cada formulação se dilui no próximo teste. Ele procura a resistência, a coerção de pensamento, em relação às quais ele poderia se sentir em uma posição passiva. Da lembrança e da educação surgem ajudantes: no momento da procriação científica, o pesquisador personifica a totalidade de seus ancestrais físicos e mentais, de todos os amigos e inimigos, que favorecem e bloqueiam suas atividades. O trabalho do pesquisador consiste em diferenciar, no meio da confusão incompreensível, no caos que enfrenta entre aquilo que obedece à sua vontade e aquilo que resulta de si mesmo e que resiste à sua vontade (Fleck, 2010, p. 144).

Joule se mostra resistente às investigações de Jacobi, mas resolve investigar e realizar medidas, contrapondo as suas convicções com aquilo que resiste a sua vontade. O resultado de todas as suas experiências sugeriu que por causa da magnetoresistência e do consumo de líquidos de zinco e bateria, o motor elétrico nunca seria capaz de superar o motor a vapor. Joule fez os cálculos, detalhando a eficiência de cada motor. Ele encontrou que:

Cada quilo de zinco consumido em uma bateria de Grove produziu uma força mecânica (fricção incluída) igual a um aumento de peso de 331.400 libras à altura de um pé, quando os ímãs girando estavam se movendo a uma velocidade de 8 metros por segundo. Agora, o dever do melhor motor a vapor da Cornuália é de cerca de 1.500.000 libras elevado à altura

³ Moritz Von Jacobi (1801-1874) físico e engenheiro alemão de origem Judaica, irmão do famoso matemático Carl Gustav Jacob Jacobi (1804-1851) desenvolveu projetos com o motor elétrico, eletrotipografia com destaque nos estudos de galvanoplastia.

de 1 pé pela combustão de um quilo de carvão, que é quase cinco vezes o dever extremo que eu era capaz de obter do meu motor eletromagnético através do consumo de libras de zinco. Esta comparação é tão desfavorável que eu confesso que quase desespero do sucesso de atrações eletromagnéticas como uma fonte de poder econômico (Joule, 1841, p. 48).

Joule admitiu que seus motores, apesar das melhorias em relação aos construídos antes, ainda eram imperfeitos. Concluiu que o motor comum eletromagnético poderia ser considerado útil, apenas em circunstâncias muito especiais. A partir de uma leitura fleckiana, a dinâmica de transformação e produção do conhecimento ocorre fundamentalmente por meio de dois elementos principais: um problema que se torna uma complicação dentro de um determinado EP e a circulação intercoletiva de ideias e práticas, que se tornam eficazes, quando ocorre a conscientização da complicação do problema. No caso de Joule, a transformação e produção do conhecimento foram encontradas por meio da circulação intercoletiva, ao estudar o artigo de Jacobi e começar a perceber um problema (conexões ativas) que foi o fenômeno da magnetoresistência estudado por ele. Mediante isto, realizou várias medidas (conexões passivas), adquirindo a consciência da complicação e a consequente busca da solução do problema, além de concluir que, até aquele momento, o motor elétrico nunca poderia substituir totalmente o motor a vapor. O resultado desta circulação intercoletiva tem como consequência para Fleck (2010, p.161):

[...] Qualquer tráfego intercoletivo de pensamentos traz consigo um deslocamento ou uma alteração dos valores de pensamento. Do mesmo modo que a atmosfera comum dentro do coletivo de pensamento leva a um fortalecimento dos valores de pensamento, a mudança de atmosfera durante a migração intercoletiva provoca uma mudança desses valores em toda a sua escala de possibilidades: da pequena mudança matizada, passando pela mudança completa do sentido até a aniquilação de qualquer sentido do novo coletivo, que surge mediante o entrelaçamento com seus conceitos. Essa alteração do estilo de pensamento-isto é, a alteração na disposição à percepção direcionada oferece novas possibilidades de descobertas e cria fatos novos.

Esse processo de conscientização e resolução do problema por meio da circulação intercoletiva de ideias teve como consequência uma mudança de EP tecnicista para um EP científico. Isto ocorreu quando Joule concluiu que, até aquele momento, era impossível substituir o motor a vapor pelo elétrico e decidiu mudar o rumo de suas pesquisas, mas não desistiu da ideia inicial de tentar substituir o motor a vapor pelo elétrico; nesta nova fase, ele começou a se preocupar com questões mais teóricas, que nos ajuda a caracterizar a sua transição do EP Tecnicista para o EP científico.

Durante e depois do processo de transição do EP tecnicista para o EP científico, Joule ainda não tinha desistido de substituir o motor a vapor pelo elétrico. Nesta nova fase, porém, passou a ter como uma das preocupações teóricas a investigação das relações de calor e eletricidade, que lhe possibilitaram um estudo mais aprofundado das relações entre calor e eletricidade, que culminou em um novo conhecimento, que conhecemos, hoje, como “Efeito Joule” e, posteriormente, os estudos sobre o equivalente mecânico do calor.

Considerações Finais

Essa análise dos trabalhos técnico-científico de Joule, a partir da epistemologia de Fleck, contribuiu para problematizarmos as questões de natureza da Ciência, propostas no início deste artigo. Primeiramente, a contestação da visão individualista e neutra de Ciência, pois Joule estava imerso em uma visão de mundo tecnicista, proporcionada pelo “Estado de Conhecimento”: o ambiente industrial e técnico de Manchester, onde viveu e cresceu. Joule foi influenciado por um coletivo de pensamento tecnicista representado por: John Dalton, William Sturgeon, Michael Faraday, Ash Arstall, John Frederick Dancer que conduz a um estilo de pensamento tecnicista, que consequentemente, abriu uma disposição para que tivesse um estilo de pensamento tecnicista.

Os elementos lógicos do conhecimento, como a relação entre a experimentação e a matematização na busca pela exatidão e precisão dos seus trabalhos técnico-científicos, características que estavam contidas no coletivo de pensamento momentâneo (Dalton e Faraday), permitiram caracterizarmos os estilos de pensamento tecnicista e de eficiência experimental. A exatidão e precisão, além de serem elementos lógicos do conhecimento, tiveram um papel fundamental para o enfrentamento do desafio, daquele momento histórico, ou seja, o da substituição do motor a vapor, que representava uma demanda político-econômica. Isto, juntamente com as práticas tecnicistas em Manchester, serve como um bom exemplo da dialeticidade entre os elementos lógicos do conhecimento (atemporais) e os elementos Histórico-socioculturais (temporais), que exercem coerção no trabalho técnico científico do indivíduo e do coletivo.

Por outro lado, essa análise histórico-epistemológica possibilita contribuições interessantes no processo educativo no ensino de Física. Para a compreensão de professores de diferentes níveis e estudantes da escola básica sobre a natureza do conhecimento científico, no que diz respeito à relação de mão dupla entre os elementos teóricos e histórico-sociais, que influenciou o trabalho técnico-científico de Joule que, em consequência, é um exemplo para demonstrar que a Ciência não é uma atividade neutra.

Esses elementos teóricos do trabalho de Joule, como o planejamento de seus experimentos, a busca da exatidão e precisão, os modelos de motor de outros técnicos como o de Sturgeon e as pesquisas experimentais de Faraday que serviram de base inicial para a tentativa da substituição do motor a vapor pelo elétrico, formam as conexões ativas. Já as constatações e formulações de Joule dos fenômenos estudados, como o efeito da corrente elétrica e a disposição dos ímãs formam as conexões passivas, conforme interpretação, a partir da epistemologia fleckiana. Isto contribui para o entendimento de que a teoria precede a observação, ou seja, é necessário romper com a visão de que o conhecimento nasce somente de uma base observacional e experimental.

Outro aspecto importante da análise do trabalho técnico-científico de Joule é que foi possível explicitar a relativa interdependência genética, que pode ocorrer, entre os conhecimentos técnico e científico. No caso aqui, Joule parte de um motor já preconcebido - o motor de Sturgeon, para tentar substituir o motor a vapor. No entanto, enfrenta vários problemas e não consegue obter um motor elétrico e muda o rumo de suas pesquisas, conduzindo-o ao estudo de questões científicas de outros fenômenos, como o efeito Joule e o equivalente mecânico do calor, que, posteriormente, forneceram base para obtenção de outras tecnologias, como máquinas industriais e eletrodomésticos.

Esta interdependência entre ciência e tecnologia no trabalho de Joule é uma contraposição da visão hierárquica entre ciência e tecnologia que existe na formação de professores e nos livros didáticos do Ensino Médio de Ciências (Amorim, 1998). Tal concepção pressupõe que a existência e o progresso da tecnologia são dependentes de um conhecimento prévio construído pela Ciência.

Apesar dessa concepção não ser totalmente errônea, o fato é que ela é inadequada para descrever todas as relações entre ciência e tecnologia, além disso, a adoção desse modelo contribui para uma visão da natureza da ciência e da técnica, em que dificilmente as questões econômicas, políticas e ideológicas são abordadas, reforçando uma concepção de Ciência de caráter neutro e a-histórico que, atualmente, influencia a sociedade como um todo, inclusive a escola (Amorim, 1998).

A consciência dos problemas enfrentados por Joule na tentativa de substituir o motor a vapor levou-o a buscar, por meio da circulação intercoletiva de ideias e práticas, como por exemplo, o estudo dos trabalhos de Faraday e de Jacobi, uma mudança em suas pesquisas. O que, a partir de nossa análise, aconteceu a mudança de estilo de pensamento do tecnicista para o científico. Do ponto de vista educacional, este processo de mudança de estilo de pensamento é um bom exemplo para contrapor a visão linear de Ciência, de que um fato científico surge simplesmente porque se quer descobrir tal fato - o que nem sempre é verdade.

Para o processo educativo, essa análise é interessante porque contribui para mostrar que Ciência não é uma construção linear, pois, nem sempre um interesse inicial de pesquisa pode levar a algum resultado satisfatório. A contribuição de tal processo pode permitir a reflexão de grupos de docentes sobre a natureza da construção da Ciência, no sentido de que a dinâmica do conhecimento científico pode ocorrer através de problemas, assim como Joule queria substituir o motor a vapor e não conseguiu, no entanto, a mudança de direção da pesquisa, oriunda da consciência dos problemas encontrados nas intenções iniciais, levou-o a buscar novos caminhos de pesquisa para tentar substituir o motor a vapor pelo elétrico.

Essa mudança levou Joule a se preocupar com elementos mais teóricos do conhecimento científico e sua persistência em substituir o motor a vapor pelo elétrico, direcionou-o a estudar outros fenômenos como o “efeito Joule” e, em seguida, o equivalente mecânico do calor. Tais estudos, posteriormente, contribuíram significativamente para o estabelecimento do Princípio da conservação da energia.

Assim, o presente estudo pode contribuir, de forma significativa, para uma discussão de aspectos da natureza da Ciência em sala de aula, seja no Ensino Médio, ou nos cursos de formação de professores de Física em disciplinas de: História, Filosofia e Sociologia da Ciência, disciplinas específicas de Física, ou, em componentes curriculares integradoras de metodologia e prática de ensino de Física.

Referências

- Amorim, A. C. R. (1998). *Biologia, tecnologia e inovação no currículo do ensino médio*. *Investigações em Ensino de Ciências*, Acesso em 04 jun., 2013, http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol_3/n1/v3_n1_a1.htm.
- Cardwell, D. S. L. (1989). *James Joule: a biography*. Manchester: Manchester University Press.
- Castilho, N., Carneiro M. H. S & Delizoicov, D. (2004). O movimento do sangue no corpo humano: do contexto da produção do conhecimento para o do seu ensino. *Ciência & Educação*, 10 (3), 443-460.
- Fleck, L. (1986). *La Génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Madrid: Alianza Editorial.
- Fleck, L. (2010). *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum editora.
- Flôr, C. C. (2009). A história da síntese de elementos transurânicos e extensão da tabela periódica numa perspectiva fleckiana. *Química Nova na Escola*, 31(4), 246-250.
- Gil-Pérez D., et al. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125-153.
- Harres, J. B. S. (1999). *Concepções de professores sobre a Natureza da Ciência*. (Tese de Doutorado em Educação, Faculdade de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul).
- Heidrich, D. N. & Delizoicov, D. (2009). Fleck e a construção do conhecimento sobre diabetes mellitus e insulina: contribuições para o ensino. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(2).
- Joule, J. P. (1963). *The scientific papers of James Prescott Joule*, Vols I, II Dawson's, London.

Koyré, A. [s.d]. *Galileu e Platão*. Lisboa: Gradiva, [s.d].

Kuhn, T. S. (1977). *A tensão essencial*. Lisboa: Edições 70.

Leite, R. C. M., Ferrari, N. & Delizoicov, D. (2001) A história das leis de Mendel na perspectiva fleckiana. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(2), 97-108.

Massoni, N. T. & Moreira, M. A. (2007). O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física para futuro professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, Acesso em 20 abril., 2009, http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol12/n1/V12_n1_a1.htm.

Pretto, N. L. (1995). *A ciência nos livros didáticos*. Campinas: Unicamp; Salvador: EDUFBA.

Queirós, W. P. (2012). *A articulação das culturas humanística e científica por meio do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora*. (Tese de Doutorado em Educação para a Ciência, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista)

Scheid, N. M. J., Ferrari, N. & Delizoicov, D. (2005). A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. *Ciência & Educação*, 11(2), 223-233.

Sibum, H. O. & Morel, G. (1998) Les gestes de la mesure: Joule, les pratiques de la brasserie et la science. *Annales Histoire, Sciences Sociale*, 53 (4/5), 745-774.

Silva, C. C. & Moura, B. A. (2008). A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30 (1), 1602-1610.

Steffens, J. H. (1979). *James Prescott Joule and the concept of energy*. New York: Dawson Science History Publications.

Recebido em: 15.10.13

Aceito em: 28.10.14