

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA/ FACULDADE DE EDUCAÇÃO

ÁTOMO E CORRENTE ELÉTRICA:
IMAGENS, IMAGINAÇÕES E DEVANEIOS
EM SALA DE AULA

ANA FUKUI

Orientadora:

prof. Dr. Jesuína Lopes de Almeida Pacca

Jesuína Pacca

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Martha Kohl de Oliveira (FE- USP) *Martha Kohl de Oliveira*

Prof. Dr. Anildes Cafagne (PUC – SP) *Anildes Cafagne*

Dissertação apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de mestre em ensino de Ciências – modalidade Física.

SBI-IFUSP



305M810T3703

São Paulo – 2002

INSTITUTO DE FÍSICA

Serviço de Biblioteca e Informação

Tombo: 3703
el. 2

def. 27/06

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Fukui, Ana

Átomo e Corrente Elétrica: Imagens, Imaginações e
Devaneios em sala de aula. São Paulo 2002.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo
Instituto de Física – Departamento Física Aplicada

Orientador: Profa. Dra. Jesuína Lopes de Alm. Pacca
Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Ensino de Eletricidade;
2. Modelo de átomo;
3. Concepções espontâneas;
4. Teoria de quatro elementos;
5. Bachelard.

USP/IF/SBI-033/2002

Fotos tiradas em Bocaina de Minas, uma cidade de 3000 habitantes no meio da serra da Mantiqueira com acesso somente por estradas de terra.



AGRADECIMENTOS

Minha intenção inicial, neste espaço, era contar tudo que vivi nestes três anos e meio de estudos intensos para dizer que foi um tempo atribulado, difícil, mas acima de tudo, muito feliz. Conheci muita gente e pude, pela primeira vez na vida, defender uma idéia, minha idéia. Quanta gente quer fazer isto e não faz?

Me dei conta, no entanto, que teria que reescrever este trabalho para trazer todos os detalhes necessários. Talvez um dia eu faça isto num livro, depois que conhecer todos os cantos do mundo, mas não agora. Por ora, só posso agradecer as seguintes pessoas:

À Fundação de Amparo a Pesquisa de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento.

À professora Jesuína por dar rumo à minha inquietude, ansiedade e incertezas de forma firme e delicada, sem cortar as asas da minha imaginação e a minha liberdade de pensar. Não sei se fui uma boa orientanda, mas sei que tive uma excelente orientadora.

Aos meus colegas da pós-graduação do Instituto de Física da USP pelo apoio, companhia e entusiasmo.

Às professoras: Cristina, Rosa, Suely, José Paulo, Regina e Renata pela colaboração. (Tenho certeza que este trabalho não seria tão bom sem vocês.....). Este trabalho deveria ser **nosso** e não **meu**.

Aos meus amigos que aguentaram, aguentam e aguentarão este poço de mau humor, ranzizisse, ostracismo que só eu sei ser quando estou obsecada por uma idéia. (tenho certeza que enfimizei muito a vida de vocês.....obrigado pela comida, pelas cervejas e pela paciência).

À minha família toda, não só por ser família, mas por ter consciência disto.

Ao César, por nunca ter desistido de mim, em nenhum momento, e por ser, sempre, a minha alegria cotidiana.

RESUMO

Este trabalho é dedicado à todas as pessoas que defendem a escola pública e têm a coragem de serem bons professores.

Para discutir esta representação, observamos alguns elementos dos discursos, tais como a forma do sujeito e a estrutura da declaração. Além disso, a relação entre os dois, o poema, e como este contexto é usado para explicar a seguinte prática, também foi objeto de análise.

A definição do referencial teórico permitiu contextualizar o significado destas elaborações na sala de aula tendo como pontos de apoio a análise textual, os versos, mais especificamente, e a análise poética, baseada nos componentes, identificação e diferenciação entre imagem e imaginação.

O trabalho também a proposta metodológica por de G. Barbaud que explica os dois discursos de crítica social, mais especificamente, se propõe uma descrição de aspectos da linguagem do espírito científico e a análise dos seus elementos: o sujeito, o verbo, o objeto e a da imaginação.

RESUMO

SUMMARY

Realizou-se uma atividade de pesquisa centrada nos desenhos dos alunos de Ensino Médio sobre o átomo e a corrente elétrica. Para discutir estas representações, observou-se alguns elementos dos desenhos, tais como a forma do núcleo e a estrutura da eletrosfera. Além disto, a relação entre os dois, o átomo, e como este conceito é usado para explicar a corrente elétrica, também foi objeto de análise.

A definição do referencial teórico permitiu contextualizar o significado destas elaborações na sala de aula tendo dois pontos de apoio: a análise racional, ou seja, mais consciente, e a análise poética, traduzida pela compreensão, identificação e diferenciação entre imagem e imaginação.

O trabalho utilizou a proposta epistemológica de G. Bachelard que engloba os dois elementos descritos acima, mais especificamente, ao propor uma descrição de etapas da formação do espírito científico e a teoria dos quatro elementos (água, terra, fogo e ar) da imaginação.

SUMMARY

A research activity, centered upon the drawings of atoms and of electric currents made by pupils attending secondary school, was carried out. . In order to discuss such depictions, some aspects of the drawings, such as the form of the nucleus and the electro sphere structure, have been examined. Further, the relationship between the atoms and the manner in which the concept thereof is used to explain the electric current, have also been subjected to an analysis.

Definition of the theoretical referential has permitted placing the meaning of these elaborations into a context having two points of support: a rational analysis, meaning the more conscious one, and a poetical analysis, manifested by comprehension, identification and differentiation between an image and imagination.

The work employed the epistemological proposition of G. Bachelard, which encompasses the two above-described elements, more specifically by proposing a description of development of the scientific spirit and the theory of the four elements of imagination: water, earth, fire and air.

ÍNDICE DE FIGURAS E ARTIGOS

ÍNDICE

Apresentação	10
I. Introdução	13
II. Estudo exploratório	18
III. Imprevisto: os professores.....	31
IV. Definindo o problema: os artigos de pesquisa	39
V. Novos dados	59
VI. Análise de dados	81
VII. Conclusões e desdobramentos	87
Anexo 1.....	91
Anexo 2	93
Anexo 3	96
Anexo 4 – Descrição da atividade de pesquisa	106
Referências Bibliográficas	107

ÍNDICE DE FIGURAS DOS LIVROS E ARTIGOS

- Figura 24** – DE POSADA APARICIO, J. M. – *Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido* – Enseñanza de las Ciencias 11(1): 12-19 (1993)
- Figura 25 a 30** – HARRISON, A.G.; TREATGUST D. F. – *Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry* – Science Education 84(4): 352-381 (2000)
- Figura 31** – p.214 – MORTIMER, E. F. – **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências** – Belo Horizonte Ed. UFMG – 2000
- Figura 32** – p. 216 – MORTIMER, E. F. – **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências** – Belo Horizonte Ed. UFMG – 2000
- Figura 33** – p.271 – MORTIMER, E. F. – **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências** – Belo Horizonte Ed. UFMG – 2000
- Figura 102** – p. 21 – REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993
- Figura 103** – p. 127 – REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993
- Figura 104** – p. 145 – REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993
- Figura 105** – p. 83 – REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993
- Figura 106** – p. 17 – REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993
- Figura 107 a** – p. 18 – REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993
- Figura 107 b** – p. 107 – TOSCANO, C. e GONÇALVES FILHO, A. – **Física e Realidade** – Editora Scipione – São Paulo: 1997
- Figura 107 c** p. 105 – TOSCANO, C. e GONÇALVES FILHO, A. – **Física e Realidade** – Editora Scipione – São Paulo: 1997
- Figura 108** – p.109 – TOSCANO, C. e GONÇALVES FILHO, A. – **Física e Realidade** – Editora Scipione – São Paulo: 1997
- Figura 109 a** – p.
- Figura 109 b** – p.296 – GLEISER, M. – **A Dança do Universo: dos mitos de criação ao Big-Bang** – Editora Companhia das Letras: São Paulo – 1997
- Figura 110** – HALLIDAY, D, RESNICK R. – **Física 3** - R. Janeiro – Livro Técnicos e Científicos Editora S. A. – 4ª edição – 1983

APRESENTAÇÃO

O que acontece (ou pode acontecer) em uma aula de Física?

Esta é a pergunta que se espera responder em parte com este trabalho. Porque, desde já, sabe-se que a resposta será incompleta; o final dela não pode estar contido somente aqui, ou então estaria incorrendo no mesmo erro que tanto motivou a existência desta dissertação: ser apenas uma discussão técnica, apontar soluções ideais e desconsiderar outras dimensões do ensino de Física.

Não se tem nem a ingenuidade nem a pretensão de encontrar em um referencial neutro e a partir disto tecer toda a teia de argumentações, encaminhando uma conclusão. O que se espera é resgatar algumas questões básicas do ensino de Ciências, sob o ponto de vista do que ensinar, por que ensinar e para que ensinar e vencer a barreira do somente como ensinar. Para isto, as hipóteses iniciais são as seguintes: o espaço da escola é um espaço onde acontece uma profunda transformação do ser humano sob todos os aspectos; a sala de aula não é um “fato consumado”, mas um locus vivo, a ser feito e refeito todos os dias por seus participantes e onde se constróem relações extremamente complexas e intensas; a Física, mais especificamente a eletricidade, é um conteúdo fundamental para se entender o mundo conectado a fios em que se vive hoje: desde a rede elétrica até a rede de computadores.

Sob o ponto de vista pedagógico, a eletricidade tem uma característica que justifica tanto seu ensino como sua pesquisa: seu grau de abstração. Para perceber isto, tome-se as chamadas grandes áreas da Física presentes no Ensino Médio: Mecânica, Óptica, Fenômenos Térmicos, Ondas, Teoria dos Gases. Todas as áreas podem ser percebidas, numa aproximação ampla, pelos cinco sentidos diretamente. Discute-se, por exemplo: os movimentos de objetos (carros, trens, motos) e de planetas, forças aplicadas (quem nunca fez “força” para segurar algo?), colisões, gelo flutuando, colunas de água, mudança de temperatura, substâncias frias e quentes misturadas, som, luz, bexigas enchendo, mudança de estados físicos etc. Estes fenômenos são percebidos antes mesmo de serem racionalizados; isto é, se toma consciência de sua existência sem atribuir-lhes nenhum significado específico, como parte de um repertório cultural.

Os fenômenos elétricos são diferentes neste sentido, pois somente é possível conceber sua existência a partir de seus efeitos: imagens na televisão, aquecimento do chuveiro, música no rádio, comida esquentando no microondas, funcionamento do telefone, emissoras de rádio, bombas de água, sistema de tráfego que regula os faróis de uma cidade. Outra característica da

eletricidade bastante importante é a construção de uma relação entre os fenômenos microscópicos e não observáveis que expliquem os efeitos macroscópicos e observáveis. É esta abstração necessária de ser aprendida e ensinada.

A estrutura atômica é discutida nas aulas de Química ao se explicitar os diferentes modelos atômicos propostos e descrever o funcionamento do átomo tendo os seguintes elementos: cargas positivas (prótons) e negativas (elétrons), níveis e subníveis energéticos, existência de isótopos devido a diferenças no número de nêutrons do núcleo, o spin e a distribuição eletrônica através de orbitais.

Posteriormente, as relações entre as cargas positivas e negativas são discutidas nas aulas de Física desdobrando-se em quatro grandes temas: a interação entre as cargas somente (eletrostática), o desequilíbrio de cargas em corpos macroscópicos (eletrização), o movimento de cargas negativas (eletrodinâmica) e as relações entre as cargas elétricas e as forças magnéticas (eletromagnetismo).

Nestas aulas de Física, é feita somente uma recordação da estrutura geral do átomo já descrito e, em seguida, sua aplicação em situações físicas. Os conceitos da eletricidade tais como carga elétrica, corrente elétrica, diferença de potencial e resistência são rapidamente formalizados e transformados em relações algébricas que permitirão resolver os problemas escolares, afastando-se cada vez mais daquele átomo inicialmente modelado

É usual, cotidiano as pessoas falarem que um chuveiro elétrico “puxa muita energia” ou “puxa muita corrente” ou que uma lâmpada de 100 W “gasta mais luz” que uma lâmpada de 60 W; no entanto, o conceito de corrente elétrica dificilmente é explicitado. A pergunta: “O que é uma corrente elétrica?” – causa constantes embaraços ao mais experimentado eletricista.

Procurar explicar a corrente elétrica de forma coerente com o modelo atômico seria uma aplicação possível e desejada como evidência da compreensão destes conteúdos, no entanto, esta relação não se estabelece de forma simples e direta, mas através de intrincados processos cognitivos e aprofundamentos no conteúdo de Física Moderna. O objetivo desta pesquisa é fazer uma reflexão sobre o significado de se discutir os conceitos de átomo e corrente elétrica com os alunos, tendo como eixo condutor alguns aspectos cognitivos do sujeito. Estes tópicos foram escolhidos por introduzir de forma sistemática e declarada em sala de aula o pensamento abstrato entendido como a elaboração da teoria a partir da observação de alguns efeitos físicos indiretos da corrente elétrica explicada pelo modelo atômico. Se vê uma lâmpada acender, a água do chuveiro funcionar, mas não é possível perceber o que ocorre no interior dos fios.

O instrumento de coleta de dados deste trabalho são desenhos feitos pelos estudantes representando o átomo imaginado e explicando a corrente elétrica no interior de um circuito formado por uma lâmpada de lanterna, duas pilhas pequenas e fios de ligação. O local da pesquisa foi sempre a escola pública e a pesquisa aconteceu nos anos de 1999 e 2000 na Grande São Paulo.

Ao longo do processo (aberto) de pesquisa surgiu a oportunidade de se trabalhar com um grupo de professores de Física, o que não estava nos planos iniciais. No entanto, as contribuições foram tão significativas para compreender os modos de pensar em geral e estes professores se mostraram tão presentes ao longo da maior parte desta pesquisa que seus dados foram incorporados no capítulo III chamado de Imprevisto¹.

Optou-se pela construção deste texto final tendo como eixo uma seqüência cronológica dos acontecimentos da pesquisa. Havia algumas escolhas iniciais que nortearam o trabalho, e que também permitiram a incorporação de novos aportes ao longo do processo. Foi eleito, logo no primeiro momento, o local de pesquisa e o assunto: a sala de aula da escola pública e os conceitos relacionados a eletricidade; isto se justifica por querer trazer ao centro do trabalho os principais interessados neste processo, os alunos, e, ao mesmo tempo, tratar de questões de um mundo contemporâneo. A revolução tecnológica a que todos estamos sujeitos em maior ou menor grau tem somente um denominador comum em todas as instâncias: a utilização de energia elétrica. E, no entanto, os conceitos científicos relacionados a este assunto são pouco divulgados e discutidos pela comunidade acadêmica, adquirindo um certo aspecto de magia, de fantasia para a maioria das pessoas. Esse aspecto mágico deveria ser explorado e compreendido com um embasamento teórico epistemológico.

O foco neste trabalho foi estabelecer uma reflexão sobre o que pode acontecer em uma aula de Física; como se pode “mexer” com o aluno ao se propor discutir, de uma forma mais ampla, ciência (e, por que não, ciência contemporânea).

A preferência pela escola pública como local de pesquisa é claramente uma opção de natureza política: a defesa desta escola pública. Esta será a única referência direta a esta questão, mas ela estará permeando todo este trabalho. Acredita-se que o acesso ao ensino DE QUALIDADE E EM TODOS OS NÍVEIS é um direito fundamental do ser humano e, portanto, deveria ser assegurado por todas as instituições existentes em uma nação, não só pelo Estado.

¹ Deveria se chamar feliz imprevisto porque tenho certeza que foi a melhor contribuição que eu poderia ter recebido.

I. INTRODUÇÃO – A RACIONALIDADE E A POÉTICA

A escolha de um de referencial teórico sobre a racionalidade e a poética se dá, no primeiro momento, pela identificação do problema que motivou esta dissertação. A questão central era a percepção de que havia divergências profundas entre o universo de sala de aula cotidiano e os resultados de algumas pesquisas em ensino de Física, particularmente ligadas aos conceitos de eletricidade.

Os métodos de pesquisa utilizados (entrevistas e testes) e os resultados obtidos davam conta do aluno quanto à sua estrutura de aprendizado, apontando principalmente falhas, dificuldades e erros; ou então propunham estratégias de ensino uniformizadoras do processo de sala de aula; neste caso o professor passava a ser um “aplicador” de uma fórmula externa e quase milagrosa. Poucas pesquisas investigaram o espaço de sala de aula levando em conta toda a complexidade, tensões e possibilidades existentes. Além disto, o conceito de aprendizado, nem sempre explícito, parece considerar o aluno em um certo patamar de conhecimento com algumas características que parecem ignorar origem, local, história de cada sujeito, como se estas variáveis não pudessem influenciar todo o processo de construção do conhecimento. Costuma-se dizer que o ensino superou a visão de que o aluno é uma *tabula rasa* a ser inscrita, no entanto, pouco se fez para compreender, elucidar e incorporar o universo real do aluno nos seus aspectos mais subjetivos, individuais e pessoais.

Este era o problema colocado e que nascia de uma contraposição entre as pesquisas científicas e a vivência em sala de aula, no trabalho como professora de uma escola pública. Parecia que a forma, a dinâmica e as trocas intensas de uma aula eram dados irrelevantes no relato da maioria das pesquisas em ensino de Física. Dentre estes relatos, a exceção é o trabalho de Solomon et al (1985) realizado na Grã-Bretanha que procurou evidenciar os conceitos sobre eletricidade contidos no que os autores chamaram experiência de vida e visão de mundo de alunos entre 11 e 18 anos utilizando como metodologia de pesquisa uma pergunta aberta, cinco analogias e quatro desenhos.

As categorias de análise dos resultados da primeira questão levava em conta pelo menos um aspecto mais subjetivo do conhecimento: a idéia apresentada pelos alunos de que a eletricidade é perigosa. As outras categorias são: o uso da eletricidade, a sua geração e suprimento e os conceitos físicos apresentados. A conclusão é que existe um conhecimento comum detectado através de afirmações e de reações emocionais dos alunos. Segundo os autores, a teorização destes dados permite inferir a existência de um “social stock of life-world

knowledge”, isto é, um conjunto de saberes comuns a um grupo de pessoas que não é somente racional, mas envolve percepções e emoções a respeito do tema discutido.

Uma reflexão sobre estes resultados identifica a necessidade de um referencial teórico que permita a discussão de outras formas de saberes além da racionalidade científica plena. O que encaminha para a obra filosófica de Bachelard: a epistemologia do conhecimento científico e a poética da imaginação. Cabe salientar que esta escolha não foi feita somente por aspectos intrínsecos à pesquisa e ao problema proposto; a sedução ocorreu também pelo fato de que Bachelard foi professor de Química durante 10 anos em uma escola com alunos entre 14 e 17 anos. Ele sabia o que era a sala de aula.

Escolhido este referencial teórico, considera-se como hipótese inicial a existência de elementos fundamentais no aprendizado e na dinâmica de sala de aula que não são nem racionais e nem conscientes por parte dos participantes, mas que influenciam de maneira decisiva todo o desenvolvimento do conhecimento. Será, portanto, necessário identificar e nomear algum destes elementos. São eles: o obstáculo epistemológico, a caracterização do conhecimento pré-científico, o devaneio, a imaginação e a imagem sob o ponto de vista bachelardiano.

O primeiro livro considerado trata da epistemologia do conhecimento: **A Formação do Espírito Científico** e pode ser encarado como uma descrição dos diferentes momentos da elaboração do conhecimento científico. Seu ponto de partida são os livros dos séculos XVII e XVIII que se procuravam explicar um conjunto de fenômenos. Destas explicações Bachelard elabora características de cada momento epistemológico, associando dados racionais e também considerando outras formas de percepção do mundo. Ao falar da experiência primeira, seu exemplo é uma análise do trovão feita por um padre no século XVII não em sua causa física, mas como um elemento para falar dos diversos tipos de medo.

Muitos acontecimentos e teorias que não se encaixariam na classificação de científico são objetos de estudo minucioso de Bachelard. As concepções apresentadas sobre a digestão dos alimentos servem como explicações sobre as reações químicas atribuindo-se significados similares ao cozimento, à trituração, à assimilação, à nutrição, ao tempero dos alimentos. A alquimia usará estes conceitos tomando-os quase literalmente para construir interpretações do seu objeto de estudo.

Um outro princípio que leva a diversas interpretações é o princípio vital, a atribuição de um caráter univesal de vida, uma propriedade generalizada de vitalidade. Realizado a partir da divisão e valoração dos três reinos: o vegetal e o animal estão acima do reino mineral por

trazerem em si o fenômeno da vida. A classificação, no entanto, não é suficiente; é necessário também explicar os fenômenos físicos através de características vitais. Assim, a ferrugem passa a ser uma imperfeição com ares de doença, os fluidos elétricos são também fluidos vitais transferidos e fonte de atividade, da fermentação e do crescimento.

Esta maneira de descrever a elaboração do conhecimento científico tem como pano de fundo a noção de obstáculo epistemológico. Estes obstáculos são entendidos como lentidões e conflitos psicológicos na construção do conhecimento científico. Essa noção que se dá ao superar a visão de que todo conhecimento é adquirido por justaposição, propõe, ao contrário, que um conhecimento novo ao ser aprendido vai contra o conhecimento anterior por ter maior rigor e precisão, num verdadeiro confronto de idéias.

A descrição dos obstáculos epistemológicos e a identificação de formas de construção destes obstáculos envolvendo uma análise psicanalítica têm como objetivo calcar os erros e os equívocos em bases mais sólidas do que escolhas irrefletidas ou soluções momentâneas que perduraram; enfim, têm por objetivo assumir uma relação com a ciência que seja mais que um jogo dado por forças somente sociais, políticas e econômicas, pois depende também de escolhas influenciadas e realizadas no “âmago” do ser.

Os obstáculos epistemológicos referem-se a conceitos e noções pré-existentes e seguem a seguinte seqüência: a experiência primeira – *“a experiência colocada antes e acima da crítica”*²; o conhecimento geral – *“quase fatalmente conhecimento vago”*³; o obstáculo verbal – *“uma única imagem, ou até uma única palavra, constitui toda a explicação”*⁴; o obstáculo substancialista – *“o fenômeno imediato será tomado como sinal de uma propriedade substancial”*⁵ e o obstáculo animista – *“que quase sempre os fenômenos físicos são pensados como se fossem calcados sobre os fenômenos, mais destacados e mais ilustrados, da vida.”*⁶

Bachelard classifica seu trabalho como uma psicanálise do conhecimento objetivo e tem como trajetória a percepção, tomada como uma leitura direta do real até a construção plenamente abstrata, até o pensamento científico abstrato num processo de desobstrução do espírito, tornado-o mais leve e dinâmico.

Uma noção pouco explorada do perfil epistemológico é seu profundo vínculo com o pensamento pré-científico. Se o objetivo geral estabelecido é entender como se constrói o

² p.29 – BACHELARD, G. - **A Formação do Espírito Científico**

³ p.90 – idem

⁴ p.91 – idem

⁵ p.128 – idem

⁶ p. 189 – idem

espírito científico, é necessário também caracterizar o seu ponto de partida, seu estágio inicial, chamado de pensamento pré-científico. Para isto, Bachelard busca exemplos, estruturas de pensamento, proposições no que foi considerado ciência no passado. Seu uso da história é bastante singular ao descrever e analisar as convicções e equívocos de alguns conceitos que são entendidos não de forma puramente racional, mas como sínteses psicológicas progressivas. Seu objetivo é bastante claro – dar valor espiritual à história do pensamento científico buscando elementos relacionados à cultura de forma geral e particularmente levantando alguns mitos que sintetizam posturas e problemas epistemológicos, utilizando a estrutura e os conceitos da psicanálise freudiana. Esta abordagem será desenvolvida com mais intensidade nas obras sobre a poética da Imaginação, conhecida como Teoria dos Quatro Elementos, que procura classificar as diversas expressões da imaginação segundo associações com o fogo, a água, o ar e a terra. A partir das características metafóricas e simbólicas associadas a cada elemento se desenvolve uma doutrina filosófica da imaginação desdobrando-a em imaginação formal, imaginação material – Água, imaginação do movimento – Ar, imaginação das forças – Terra. A metáfora do fogo é a mesma de mito de Prometeu que roubou o fogo dos deuses para dar aos homens; a proposta de análise do fogo pode ser traduzida como a investigação das motivações e das necessidades que conduzem o desejo de conhecimento a *“encontrar a ação dos valores inconscientes na própria base do conhecimento empírico e científico.”*⁷

O cerne desta proposição é a redefinição da estrutura do sujeito psicanalítico com a identificação de uma “região” intermediária, entre os instintos e a consciência onde acontecem os devaneios em lugar dos sonhos. Bachelard não justapõe o devaneio ao subconsciente freudiano por estar tratando de questões relacionadas à uma característica particular do indivíduo, a estruturação de um conhecimento tido como objetivo.

O devaneio não somente influencia a elaboração do pensamento científico, mas está no cerne de sua constituição por trazer quase à tona e se apoiar em estruturas e dados muito conhecidos de cada um de nós, executando a agradável e desejada síntese da experiência única e individual com elementos aparentemente externos e formadores de uma cultura. Ao mesmo tempo em que racionaliza o percebido ao transformar em palavras a experiência vivida pelos cinco sentidos, o devaneio permite partilhar este movimento com as outras pessoas em um processo de valorização da realidade percebida, constituída, negociada e, portanto, maleável. Assim, toda experiência científica tem como contraponto concepções elaboradas por

⁷ p. 15 – BACHELARD, G – **A Psicanálise do Fogo**

racionalizações do sensível e que fornecerão a matéria-prima de construção do conhecimento científico.

Isto pode ser traduzido como um a transformação do devaneio em um conceito, traduzido em imagens que estão inicialmente muito mais carregadas de significados que os experimentos científicos; estes últimos necessitam de tempo e preparação para serem entendidos como leituras elaboradas da realidade, muito mais exigentes e trabalhosos que os devaneios, leituras imediatas da realidade.

O devaneio se coloca entre a realidade e a imaginação, permitindo a existência do diálogo de um com o outro sem que ocorram choques diretos ou aprisionamentos em qualquer das duas partes. A imaginação bachelardiana se caracteriza por se dividir em material e formal e tem uma conotação bastante diferente do conceito de imagem bachelardiano. Enquanto as imagens são realidades psíquicas ou ainda, uma percepção presente que impulsiona a ação presente e não o devaneio e o sonho; a imaginação deforma, muda as imagens e finalmente se liberta delas, sendo aberta, evasiva e sedutora, exige abandono do que se vê e do que se diz em função do que se imagina e permite que o curso ordinário das coisas seja abandonado. *“Imaginar é ausentar-se, é lançar-se a uma vida nova.”*⁸

Partindo desta perspectiva cognitiva de Bachelard procura-se compreender o que ocorre no cotidiano da sala de aula (as imagens, as representações, os comportamentos, as formas de expressão) e propor encaminhamentos que permitam evocar esse saber, expressá-lo, aplicá-lo, exercitá-lo, discuti-lo, enfim, psicanalizá-lo.

O desenvolvimento desta proposta acontece dentro da seguinte estrutura: o capítulo II e III apresentam os primeiros dados obtidos que permitiram elaborar os pressupostos desta investigação, bem como testar efetivamente o uso de desenhos como instrumento de tomada de dados e as hipóteses levantadas; capítulo IV – revisão bibliográfica; capítulo V – mais dados da sala de aula; capítulo VI – teoria, discussão e análise dos dados; capítulo VII – conclusões. Há ainda um conjunto de anexos que servem de referência às discussões realizadas ao longo do texto.

⁸ p.3 – BACHELARD, G – **A Água e os Sonhos**

II. ESTUDO EXPLORATÓRIO: A SALA DE AULA

INTRODUÇÃO

O estudo exploratório consistiu na síntese e análise de um conjunto de dados obtidos em sala de aula durante o primeiro semestre de 1999, quando atuei como professora na escola estadual Padre Manoel de Paiva em Campo Belo na cidade de São Paulo. O objetivo do trabalho foi testar algumas hipóteses para a realização da pesquisa.

Os dados foram obtidos ao longo do decorrer do semestre ao se testar diversos instrumentos em sala para a realização da pesquisa, como por exemplo, a utilização de testes sobre conceitos espontâneos⁹. Entretanto, os resultados obtidos apenas confirmavam os dados amplamente registrados na literatura. Além disso, a idéia não era obter os dados em sala de aula, mas refletir sobre o que acontece, ou pode acontecer, em uma aula de Física.

Estiveram envolvidas nove salas de terceiros anos do período matutino. Os alunos tinham entre 17 e 21 anos e muitos trabalhavam como atendentes de lanchonete ou lojas, recepcionistas e equivalentes. O grupo era bastante heterogêneo, pois numa mesma sala encontravam-se tanto alunos com perspectiva de continuar seus estudos na universidade, matriculados em cursos pré-vestibulares, como estudantes que desejavam terminar a escola e ingressar (ou permanecer) no mercado de trabalho.

Foram escolhidas 3 atividades realizadas no semestre que estavam interligadas em termos de conteúdo e de instrumento de tomada de dados (o desenho) para compor este estudo. O núcleo do debate foi a lanterna, seu funcionamento e sua estrutura.

Utilizou-se os desenhos como forma de registro dos alunos por vários motivos – a simplicidade da tarefa permite que efetivamente todos os alunos se sintam capazes de cumprir a atividade proposta e há um aspecto lúdico e motivador que dá nova dimensão ao espaço da sala de aula; o elemento surpresa, os alunos estão pouco habituados a serem solicitados em forma de desenho o que evita as respostas do tipo “que o professor quer ouvir” e, por fim, se buscou um instrumento que organizasse o pensamento do aluno, não que funcionasse como um filtro seletor de respostas.

Esta discussão foi bastante adequada para compreender as complexas relações entre o conhecimento espontâneo e o conhecimento formal. Isto ficava evidenciado principalmente no vocabulário utilizado que denotava uma confusão, ou mesmo indistinção de conceitos. Por

⁹ Este assunto será discutido de forma mais sistemática no capítulo IV

exemplo: “eletricidade”; “energia elétrica”, “luz” e mesmo “corrente” são usados como sinônimos no dia-a-dia. No entanto, fisicamente, o conceito de corrente elétrica e energia elétrica são bastante distintos.

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

A primeira atividade foi realizada no início das aulas e solicitava ao aluno o desenho individual do modelo de átomo, segundo a sua compreensão. O objetivo, para a pesquisa, era recolher as expressões dos estudantes acerca da sua compreensão do átomo e de matéria; como professora, o objetivo era trazer os conceitos a um patamar consciente, induzindo os alunos a utilizarem estes dados ao se discutir corrente elétrica e os demais conteúdos da atividade prevista. Eles já haviam estudado o modelo atômico em Química e vários outros elementos relacionados, tais como as diversas formas de representação de ligação, reações químicas, fórmulas estruturais.

Atividade 1 – “Desenhe o modelo de átomo da forma que você imagina e indique os principais elementos.”

Foram fornecidos lápis de cor, folhas de papel e caneta hidrocor.

O tema discutido ao longo do primeiro bimestre foi eletrização sendo realizada uma única atividade prática pelos alunos: observar e explicar o fenômeno de um pente atrair pequenos pedaços de papel após ser atitado com uma flanela; buscou-se sempre utilizar o modelo atômico como explicação do que estava ocorrendo, retomando em parte o que foi estudado em Química.

A atividade foi encerrada e seguiu-se um debate em que se procurava responder a seguinte questão: ***“como duas pilhas acendem a lâmpada de uma lanterna?”*** – os estudantes chegaram a um consenso de que havia eletricidade ou energia elétrica atuando, mas não houve uma descrição mais detalhada de COMO seria este fenômeno, embora se repetisse a pergunta com bastante insistência. As respostas sempre giravam em torno da idéia de eletricidade e energia, sem definir estes dois conceitos e utilizando-os quase como sinônimos ou um para explicar o outro. Com esta questão pendente foi proposta uma nova atividade com desenho.

Atividade 2 – “Desenhe e explique a corrente elétrica ao longo do fio, sob o ponto de vista atômico.”

Foi solicitado explicitamente aos alunos que recorressem ao modelo atômico já discutido para explicar o que se convencionou chamar de corrente elétrica e não mais de eletricidade ou energia elétrica.

Esta atividade foi realizada no início do segundo bimestre (última semana de abril). Os materiais utilizados foram caneta esferográfica, lápis preto e folhas de caderno. De novo, o trabalho foi realizado em grupo de 2 ou 3 alunos em sala de aula para que existisse confronto de idéias entre os participantes clareando os modelos de cada um.

Para terminar esta discussão, foi realizado um experimento que consistiu em acender uma lâmpada de lanterna utilizando apenas fios flexíveis, fita isolante e duas pilhas. Discutiu-se circuitos em série e circuitos em paralelo e realizou-se exercícios quantitativos.

O material selecionado para a pesquisa foram os desenhos das atividades 1 e 2 programadas para produzir os dados que se necessitava para explorar a imagem.

JUSTIFICANDO A ESCOLHA DOS DADOS A SEREM DISCUTIDOS

Durante o semestre os alunos produziram alguns registros escritos, mas eram esparsos e pouco sistematizados. Por outro lado, os desenhos foram realizados por todos e foram muito bem recebidos como tarefa em sala; houve um envolvimento genuíno ao se produzirem os desenhos.

A primeira reação dos alunos foi de surpresa sob dois aspectos: desenhar (eles estão acostumados a escrever) e ter que relacionar o que foi discutido com algo que já haviam aprendido. Surgiram diversas questões: *“tem que considerar aquelas particulazinhas do átomo? O que tem dentro da pilha? Tem movimento? Como é que eu represento este movimento? E a energia elétrica, é a mesma coisa que corrente? O que é MESMO eletricidade, quer dizer, aquela que chega em casa? É a mesma que esta aqui?”* Procurou-se encaminhar o debate destas questões entre os alunos, sem centralizar as respostas na figura do professor; neste momento a estrutura de grupo foi fundamental. Na medida em que perguntavam, iam desenhando. Muitas vezes bastava um esclarecimento para detonar todo o processo de criação. Havia uma discussão intensa sobre como utilizar os modelos de átomo realizados nas expressões a respeito de corrente elétrica, indicando uma busca de coerência entre os desenhos realizados por cada aluno e pelo grupo.

Nesta aparente confusão o que se destacou foi a natureza das questões apresentadas; a maioria delas remetia a um debate denso sobre conceitos relacionados à eletricidade e mesmo a questões mais amplas da Física. Conseguiu-se ultrapassar a superfície do senso comum para se mergulhar no mar de conceitos e relações da Física.

Os desenhos de átomo apresentados a seguir foram escolhidos entre 200 exemplares obtidos por serem os mais representativos nesta grande quantidade de trabalhos. Os desenhos de corrente elétrica representam muito particularmente algumas formas dos alunos encararem e resolverem o problema proposto. O que se destaca é a sua originalidade em relação aos modelos existentes na Física, mostrando claramente que o pensamento alternativo não é necessariamente simples e que a passagem para o conhecimento científico não tem uma via direta, mas pode ser cheia de percalços. Mesmo mostrando à primeira vista muita semelhança com figuras conhecidas do cotidiano, existem detalhes significativos nos desenhos.

RESULTADOS – ATIVIDADES 1 E 2 –

ILUSTRAÇÕES DOS ALUNOS – MODELO ATÔMICO

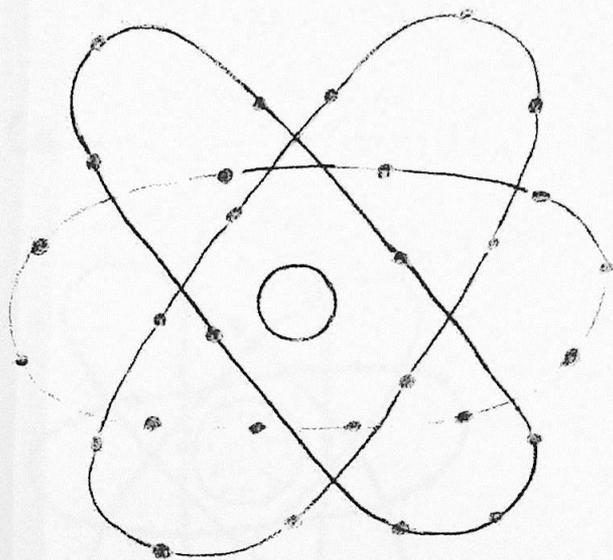


FIGURA 1

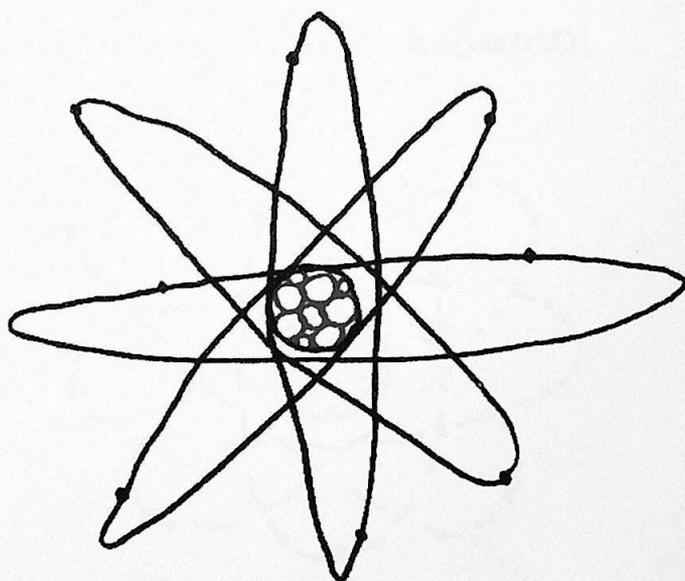
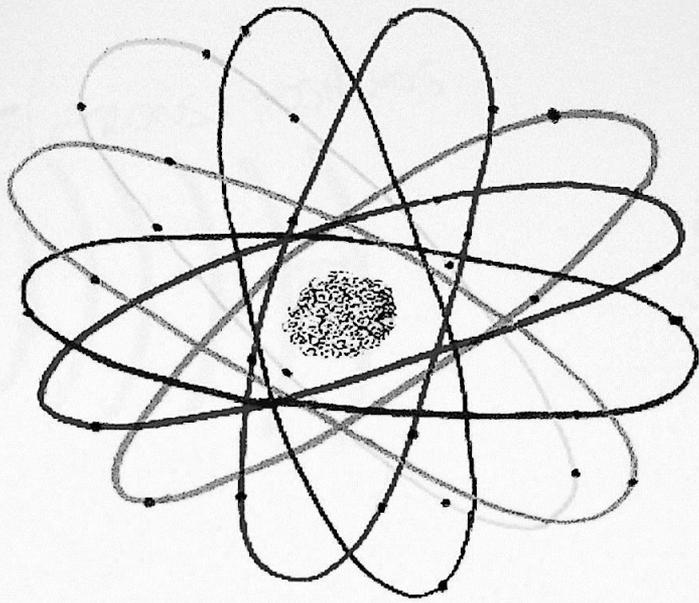


FIGURA 2



K L M N O P Q
R S T U V W X Y Z

FIGURA 3

MODELO ATÔMICO:
(QUAL A FORMA DO ÁTOMO?)

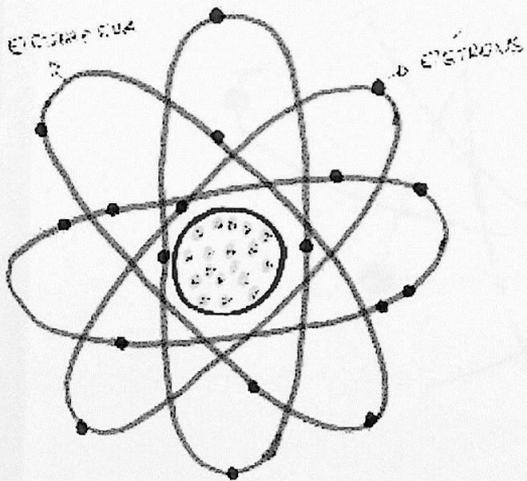


FIGURA 4

MODELO ATÔMICO.

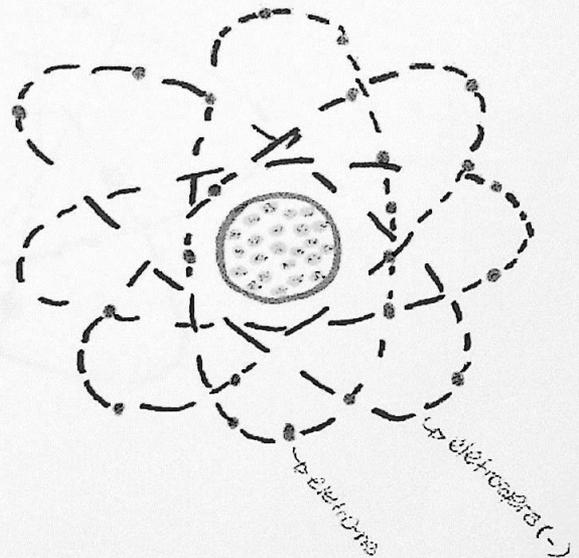


FIGURA 5

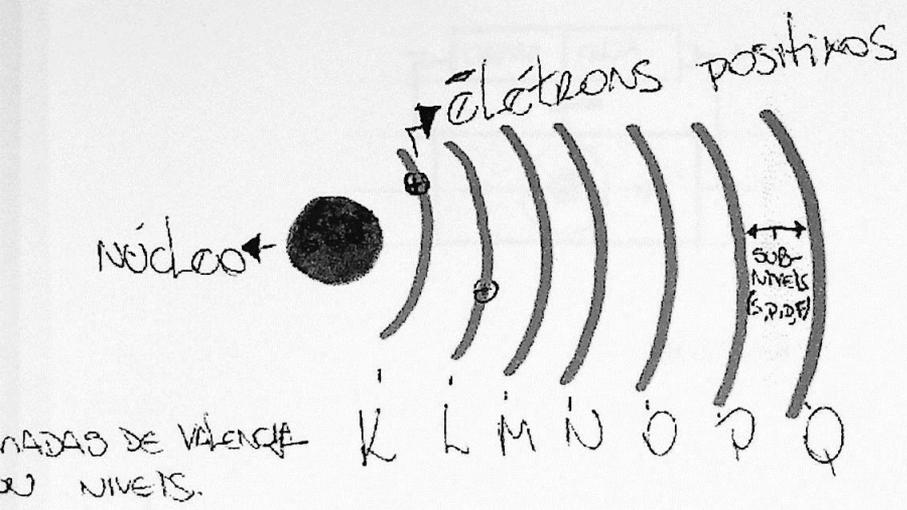


FIGURA 6

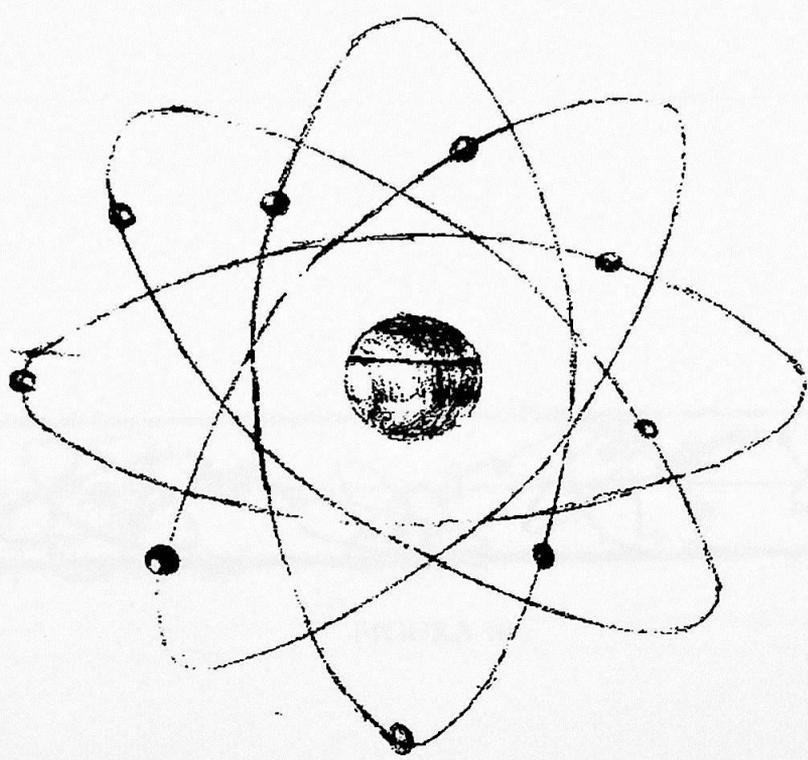


FIGURA 7

ILUSTRAÇÕES DOS ALUNOS – CORRENTE ELÉTRICA

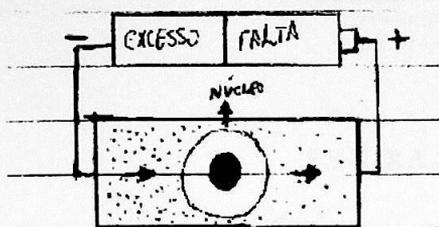


FIGURA 8

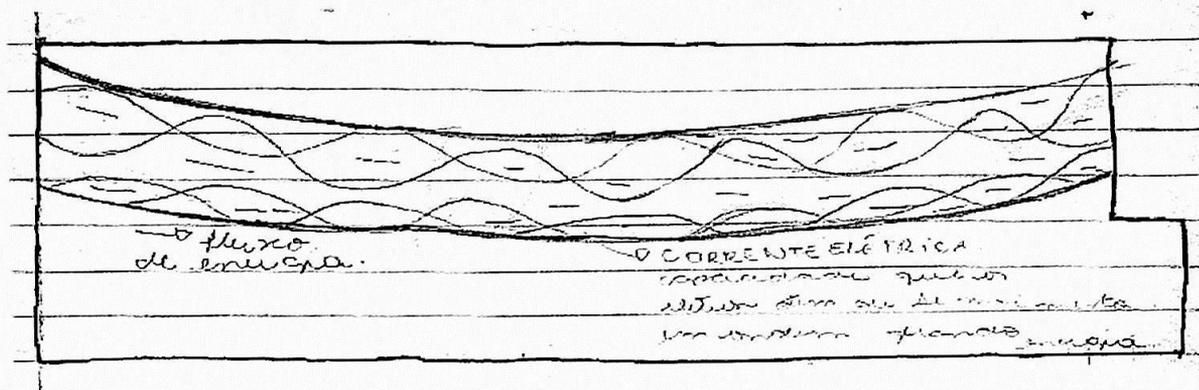


FIGURA 9

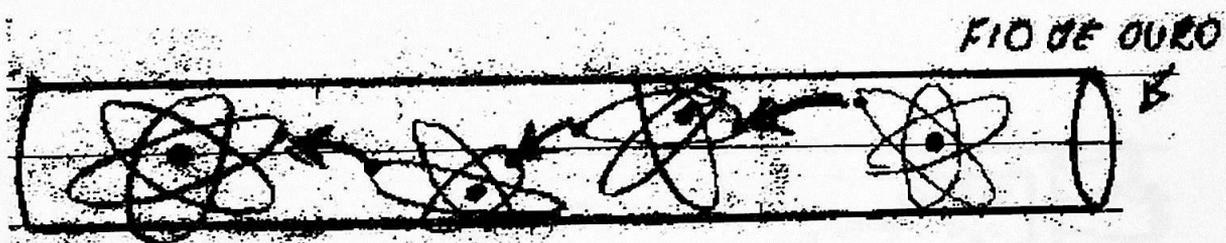


FIGURA 10

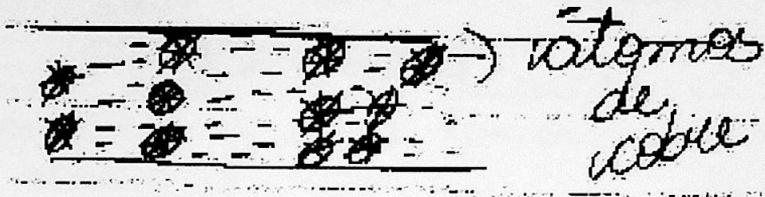


FIGURA 11

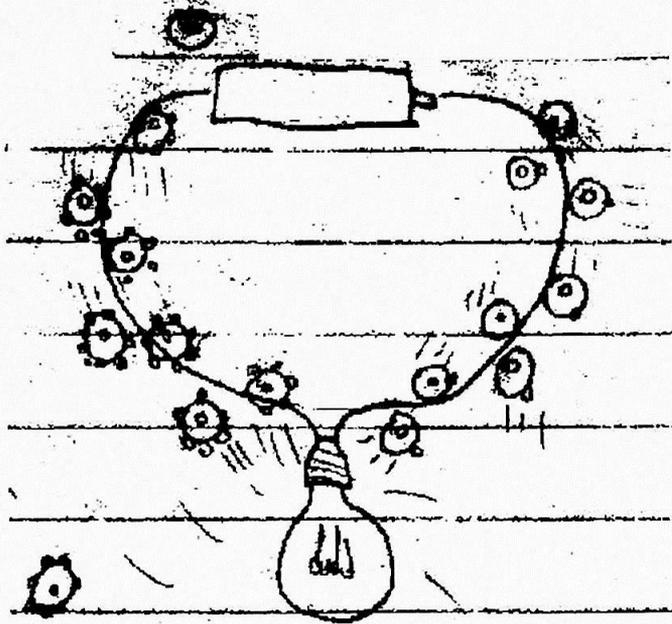


FIGURA 12

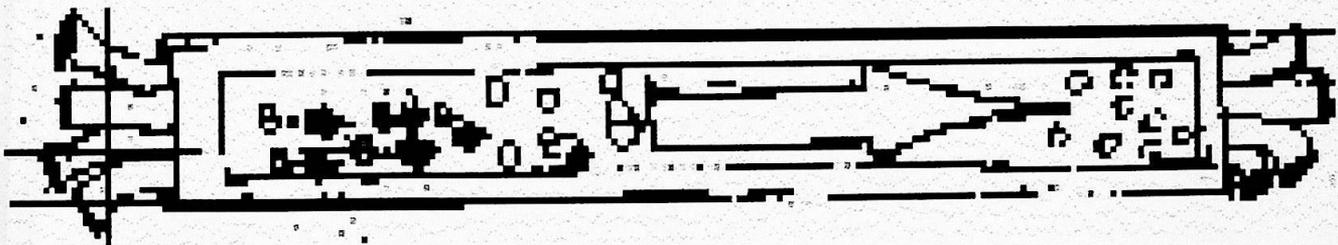


FIGURA 13

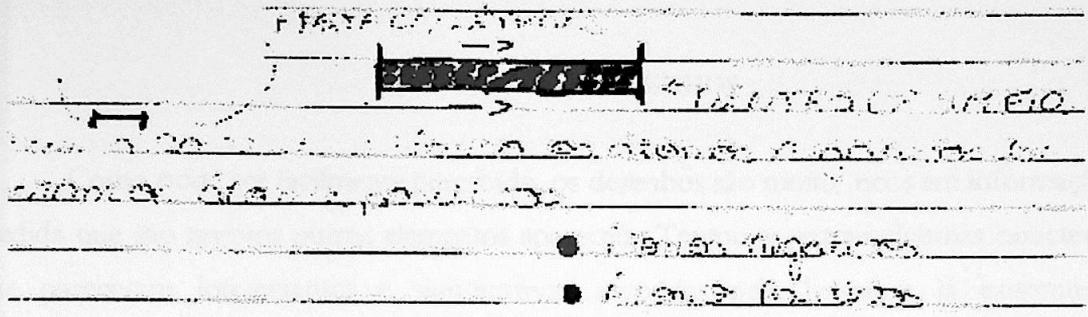


FIGURA 14

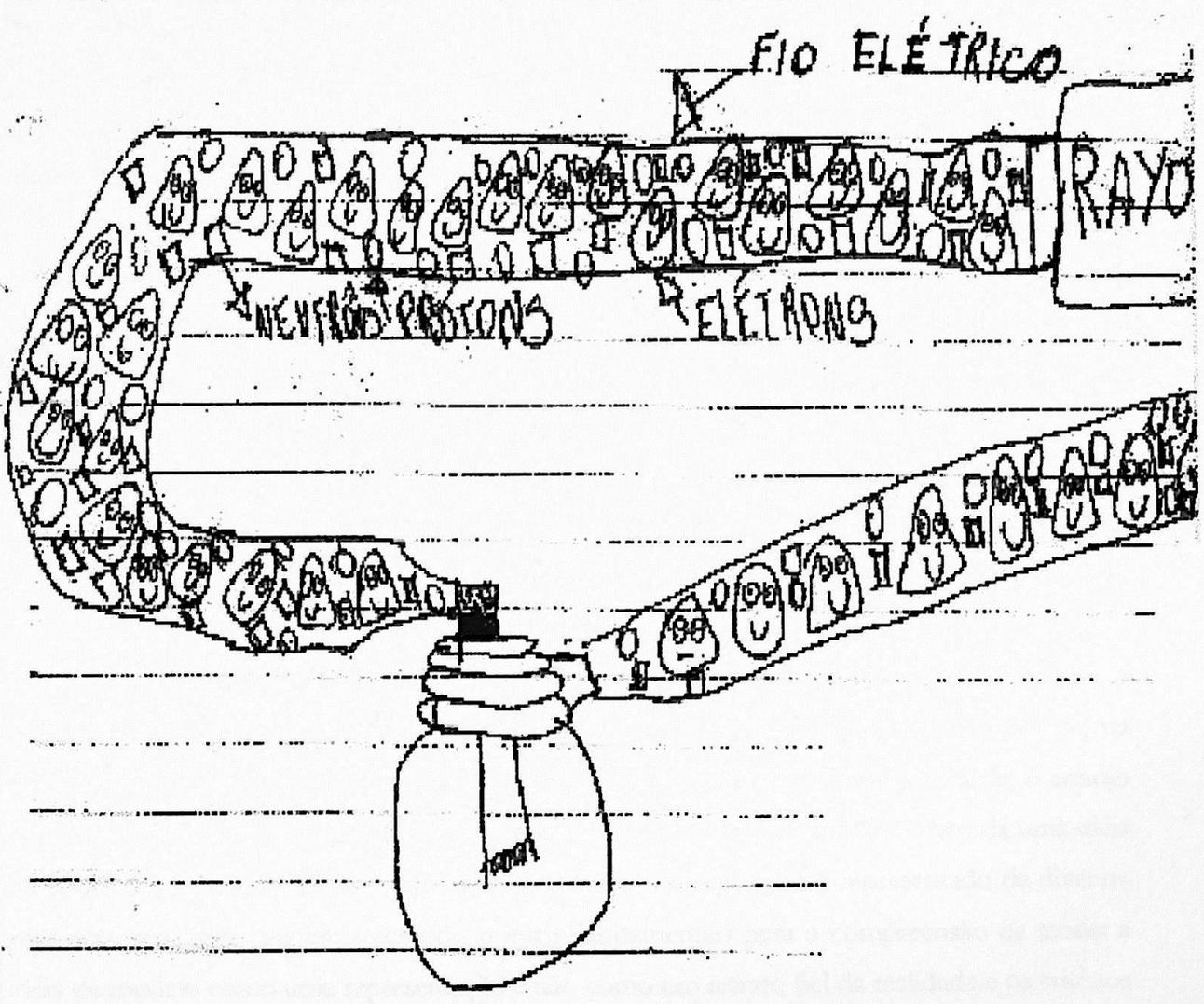


FIGURA 15

ANÁLISE DOS DESENHOS

Como pode ser facilmente percebido, os desenhos são muito ricos em informações e à medida que são revistos outros elementos aparecem. Tentou-se extrair algumas características que pareceram interessantes e significativas sugeridas pela literatura já existente, mas seguramente há muito mais a ser explorado.

Ao se observar os desenhos que tratam de átomo (1 ao 7) percebe-se que são semelhantes, porém há diferenças sutis entre eles. Todos apresentam a idéia de núcleo, embora este núcleo possa ser: maciço (figuras 6 e 7), formado por esferas (figuras 2, 3, 4 e 5) ou mesmo indefinido (figura 1); a estrutura prótons-neutrons geralmente é considerada, aparece nos desenhos 3, 4 e 5 (verificados no original).

A presença da eletrosfera também é constante e todos eles, com exceção da figura 6, apresentam os elétrons com trajetórias definidas, mas sem a divisão em níveis atômicos. Há o caminho do elétron e um ponto representando a partícula.

Na figura 6, há a presença dos níveis atômicos sem que exista nenhuma partícula e, no canto direito, um desenho representando o átomo.

Generalizando-se os resultados apresentados, vemos em torno de 95% dos desenhos realizados sobre átomo a estrutura núcleo-eletrosfera, portanto, a imagem de átomo faz parte do repertório da grande maioria dos alunos do terceiro ano do Ensino Médio.

Em todos os desenhos não existe uma correspondência entre o número de prótons do núcleo e os elétrons girando ao redor. Antes de tomar isto como um dado absoluto, ou seja, deduzir que os alunos não aprenderam esta correspondência, uma observação rápida em um livro de Química do Ensino Médio fornece alguns elementos para se pensar.

No livro de REIS¹⁰ não existe nenhuma ilustração que preserve a relação entre o número de prótons e o de elétrons e pouco se preserva da estrutura atômica. Existe, na Química, diversas formas de representação dos átomos e das moléculas¹¹: estrutural, o arranjo cristalino, a ligação covalente, a reação química, por exemplo (ver anexo 1). Isto dá uma idéia de como o conceito de átomo sofre modificações e é interpretado e representado de diversas maneiras, mas sem que esclareça dois pontos fundamentais para a compreensão da teoria: a idéia de modelo como uma representação e não como um retrato fiel da realidade e os critérios de escolha do modelo em cada situação analisada.

¹⁰REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993

¹¹ ver anexo 1 com as ilustrações

Passando aos desenhos de corrente elétrica obtidos na Atividade 2, é surpreendente perceber que o conceito de átomo se transforma radicalmente. A forma mais conhecida desaparece dando lugar a novas formas.

Os desenhos foram analisados de acordo com aqueles atributos que pareceram significativos tanto pela sua incidência como sua pertinência no contexto descritivo da Física. As formas, as densidades, os espaços ocupados, as intensidades de cores além das partículas, trajetórias e movimentos sugeridos foram os elementos observados numa análise preliminar que resultou numa sistematização dada a seguir.

QUADRO 1 – concepções dos alunos sobre o átomo

Figura	Núcleo	Elétrons
1	Indefinido.	Trajetoárias definidas; partícula.
2	Formado por esferas.	Trajetoárias definidas; partícula.
3	Formado por esferas.	Trajetoárias definidas; partícula.
4	Formado por esferas.	Trajetoárias definidas; partícula.
5	Formado por esferas.	Trajetoárias definidas; partícula.
6	Maciço	Níveis atômicos.
7	Maciço	Trajetoárias definidas; partícula.

Na figura 8 há somente um núcleo com duas camadas (interior maciço) e muitos elétrons ao redor, representados como pontos e que não parecem estar vinculados ao núcleo; o movimento é representado por duas flechas da esquerda para a direita, onde, na pilha, há um excesso do lado esquerdo e uma falta do lado direito (não se declarou do quê).

Na figura 9, há um fluxo de energia associado à corrente elétrica indicado através de ondas parecidas com as senoidais. São, no total, quatro ondas com sinais negativos ao redor.

Na figura 10, a corrente é indicada como um elétron saltando de um átomo a outro, no modelo de átomo já encontrado na primeira atividade. O material é explicitado: ouro.

Na figura 11, o átomo é identificado como sendo de cobre e desenhado como uma esfera com traços em seu interior; os elétrons não parecem estar vinculados ao átomo. Não há nenhuma indicação de movimento.

Na figura 12, os átomos estão ao redor do fio, mas não **no** fio. A identificação de movimento está nos traços atrás de cada átomo. Não há indicação do que ocorre algum fenômeno físico na lâmpada.

Na figura 14 os átomos são identificados por esferas maciças e a corrente por átomos negativos empurrando os átomos positivos.

Na figura 15, os prótons, elétrons e nêutrons estão separados, não há interação com o filamento da lâmpada. Os elétrons são maiores e são os únicos que têm rosto, podendo indicar atividade. Ainda nesta figura e na figura 12 foi desenhada a lâmpada do circuito, mas não há nada acontecendo.

Organizando um quadro em que se destaca o átomo na constituição da corrente tem-se o seguinte:

QUADRO 2 – concepções dos alunos sobre o modelo atômico e corrente elétrica –

FIGURA	MODELO ATÔMICO	CORRENTE ELÉTRICA
8	Núcleo com duas camadas, região central maciça. Elétrons como pontos	Movimento em uma direção (flechas)
9	Não existe átomo Presença de cargas negativas	Fluxo de energia Movimento ondulatório
10	Núcleo e eletrosfera	Elétron em movimento
11	Átomo de cobre como esfera Cargas negativas desvinculadas do átomo	Não está definido
12	Núcleo e elétron (não há órbitas)	Movimento dos elétrons
13	Não existe átomo, somente o elétron como esfera maciça.	Elétrons em movimento
14	Esfera maciça	Os átomos negativos empurram os átomos positivos
15	Prótons, elétrons e nêutrons sem estrutura definida	Não está definida

Sugere-se uma representação em tabelas de modo a chamar atenção para alguns elementos presentes nos desenhos, no entanto, vale destacar que a própria linguagem dos desenhos é a informação mais preciosa. Até porque as conclusões e inferências estão impregnadas da percepção da imagem que muitas vezes não chega a ser registrada nos quadros.

CONCLUSÕES

A primeira constatação é que os desenhos de átomo sofreram uma transformação radical ao serem incorporados ao fenômeno de corrente elétrica. Isto ocorre porque é necessário dar conta das características de corrente: presença de movimento, de energia. A idéia de átomo parece ser bastante comum aos alunos pesquisados de acordo com as semelhanças encontradas em seus desenhos. No entanto, a descrição e a compreensão deste modelo pelos alunos leva a diversas interpretações do conceito de corrente elétrica.

Diversas hipóteses foram levantadas pelos alunos para o conceito de corrente elétrica. Particularmente, a idéia de condução no senso comum está associado ao “ser levado”, a uma posição mais passiva que ativa e isto se reflete na relação entre as partículas do fio e da corrente: existe “algo” sendo levado, encaminhado, não se relacionando com os elementos ao redor, ou seja, a estrutura do fio. Este conceito de condução está bastante próximo do modelo de canos de água, que servem para conduzir a água até um determinado ponto, mas não interage com a estrutura ao seu redor, somente quando atinge o objeto que utiliza a corrente elétrica.

Os alunos compreenderam que a corrente está vinculada às cargas negativas; mas não preservam o modelo de átomo apresentado na primeira atividade. Examinando a relação que a Química constrói com o modelo atômico, definindo-o e depois o alterando em diversas situações, pode-se dizer que os alunos estão lidando com o problema de uma forma conhecida e não somente inventada por eles. O problema proposto remete a uma solução já vista anteriormente.

Os desenhos de corrente elétrica oscilam entre ter todo o espaço do fio preenchido (figura 14) até uma tênue linha oscilando (figura 9); a forma de se elaborar a estrutura do interior do fio acarreta em compreensões posteriores sobre conceitos de resistência, intensidade de corrente, energia e potencial.

Há duas hipóteses que podem ser levantadas a partir da figuras 12 e 15: simplesmente não se pensou no que acontece em seu interior ou a lâmpada é um elemento que modifica a proposição inicial de corrente elétrica e necessitaria mais reflexão e tempo para elaborar uma proposta por parte dos alunos, e, neste momento, foi simplesmente ignorada.

Esta análise, ancorada às imagens produzidas pelos alunos, permite fazer um conjunto de observações e hipóteses sobre as concepções alternativas. Sobre o átomo, os alunos

compreenderam a divisão núcleo-eletrosfera e têm uma imagem semelhante e bastante presente entre a maioria dos estudantes de terceiro ano.

Os conteúdos estudados em Química exercem uma influência observada das seguintes formas: na compreensão da estrutura do átomo e suas partículas e na forma de lidar com problemas que envolvem o conceito de átomo e moléculas; existe uma descrição padrão que não é usada em todas as situações dando lugar a outras formas de compreender a estrutura atômica para descrever os fenômenos, como foi o caso de reações químicas, estrutura cristalina, ligação covalente, formas estruturais etc.

Os resultados obtidos com os desenhos de corrente elétrica evidenciam esta abordagem, na resolução do problema proposto, o modelo de átomo desaparece dando lugar a novas formas: esfera oca, esfera maciça, ausência de estrutura entre as partículas subatômicas. Todos os desenhos preservam a condução elétrica realizada por cargas negativas. As diversas concepções alternativas de corrente elétrica surgem destes elementos juntos: átomos negativos empurrando átomos positivos, fluxo ondulatório de energia, movimento em uma direção, movimento em várias direções. As imagens em geral revelam algo que está na essência do pensamento no campo do inconsciente e com forte apelo ao imaginário e ao sonho. O átomo da atividade 1 não precisa corresponder ao átomo da atividade 2 porque no devaneio tudo vale...e finalmente, é para isto que este trabalho procura apontar: a possibilidade de interpretar as expressões dos alunos com outros componentes mais longe do racional.

Esta descrição das concepções dos alunos parece apontar também para uma pesquisa centrada na elaboração de estratégias de ensino-aprendizagem, valorizando o conteúdo discutido e a transformação de modelos.

III. IMPREVISTO: OS PROFESSORES

Este capítulo se chama imprevisto porque a pesquisa foi, inicialmente, dimensionada para acontecer somente com os alunos do Ensino Médio. No entanto, surgiu uma rara oportunidade de trabalhar com um grupo já organizado de sete professores de Física de escolas públicas da Grande São Paulo que estavam iniciando a discussão do Eletromagnetismo e de seu ensino.

Os objetivos do grupo eram a troca de experiências de sala de aula, a construção de um planejamento somado a atividades práticas e a discussão dos conteúdos da Física. Os encontros aconteceram a cada 15 dias na escola Padre Manoel da Nóbrega no bairro do Limão em São Paulo e duraram três horas. Foram 19 encontros durante o ano de 2000, totalizando 57 horas de trabalho; entretanto, como material de análise desta dissertação considerou-se como dados o primeiro semestre os sete encontros que aconteceram neste período.

O grupo se reunia para estudar e planejar as aulas de Eletricidade; era organizado por uma professora, que, junto com alguns dos membros, participou de cursos anteriores de aperfeiçoamento, em que os conteúdos de Mecânica e Óptica foram tratados (Pacca e Villani, 1996). Estes cursos tiveram como objetivo a discussão e mudança das concepções científicas e a transformação das idéias e práticas de ensino avaliado através da produção de um planejamento pedagógico e do desenvolvimento de atividades práticas para a sala de aula.

A partir deste momento foram organizados sete encontros: os três primeiros tinham uma estrutura e temas definidos: na primeira reunião se propôs as mesmas questões do estudo exploratório – o desenho do modelo atômico e da corrente elétrica – em seguida, se realizou a montagem e discussão de circuitos simples com foco no conceito de corrente elétrica; e a observação de uma bússola, com o objetivo de se relacionar a energia magnética à energia elétrica, tema retomado na terceira reunião com uma atividade prática. A partir do quarto encontro houve um debate sobre a forma e os temas a serem abordados.

A pesquisa em ensino tem a característica de ser bastante flexível ao mesmo tempo em que permite a mudança de rumos e a incorporação de dados não previstos no planejamento inicial, também está sujeita a se tornar uma colcha de retalhos desconexa sem que leve a uma conclusão coerente. Tendo em mente estes riscos, considerou-se neste momento que a inclusão dos dados das discussões dos professores se justificava baseado nos seguintes pontos: o tema escolhido pelo grupo – Eletromagnetismo; o fato de serem professores de escolas públicas refletindo sobre o espaço da sala de aula, a experiência anterior do grupo em cursos e

pesquisas sobre diversos temas em Física e, principalmente, acrescentar mais um elemento fundamental para discutir a aula de Física: o professor e seus pontos de vista sobre o tema estudado. De fato, após os resultados deste trabalho e de uma volta ao referencial teórico, conclui-se que os professores completavam o modelo de Bachelard.

DESENHO DE ÁTOMOS E CORRENTE ELÉTRICA REALIZADOS NA 1^A ATIVIDADE

Desenhos de átomo

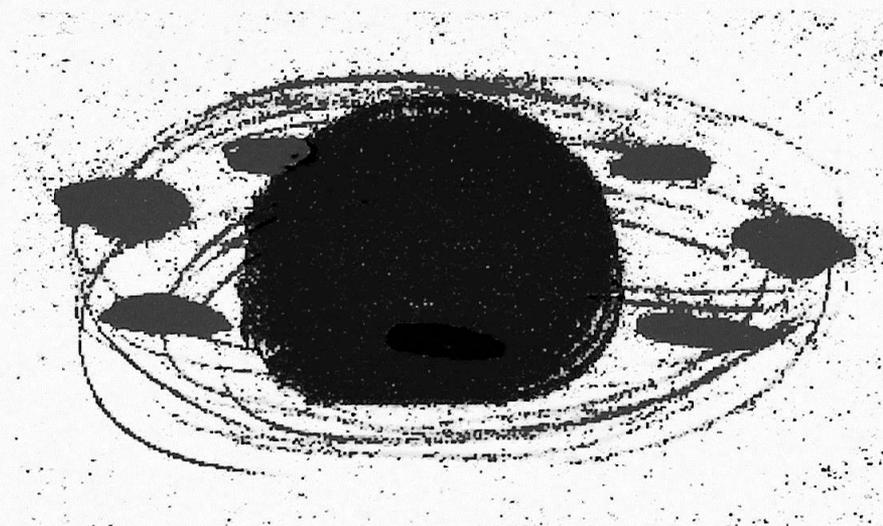


FIGURA 16

“O átomo é uma estrutura muito pequena onde temos o elétron com massa muito pequena que gira com velocidade muito grande em volta do núcleo tem carga negativa, já o núcleo temos os prótons e outras partículas onde a massa do átomo está toda concentrada e o próton tem carga positiva.

Quando o elétron muda de camada tembo a liberação de energia.”

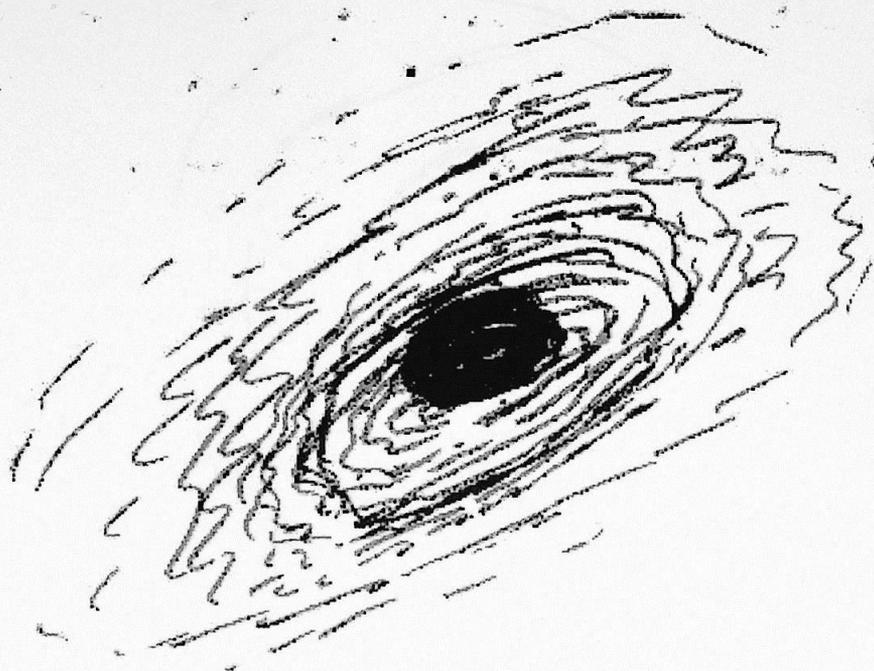


FIGURA 17

“Nunca se viu o átomo, só sabemos ou acreditamos que ele existe, através de modelos o representamos, no caso como uma nuvem. Acreditamos que tudo é constituído de átomos.”

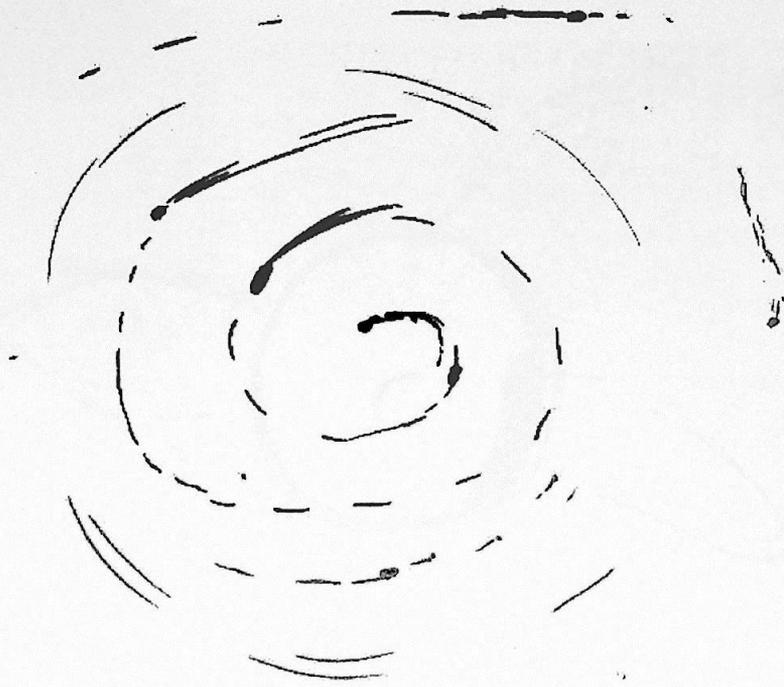


FIGURA 18

“O átomo, pequena partícula que se movimenta em órbitas de níveis de energia diferentes. São milhões se movimentando, chocando-se uns aos outros e quando possível formando novas estruturas que denominamos moléculas.

O átomo é constituído de partículas em que o elétron, o nêutron e o próton são as mais conhecidas.”

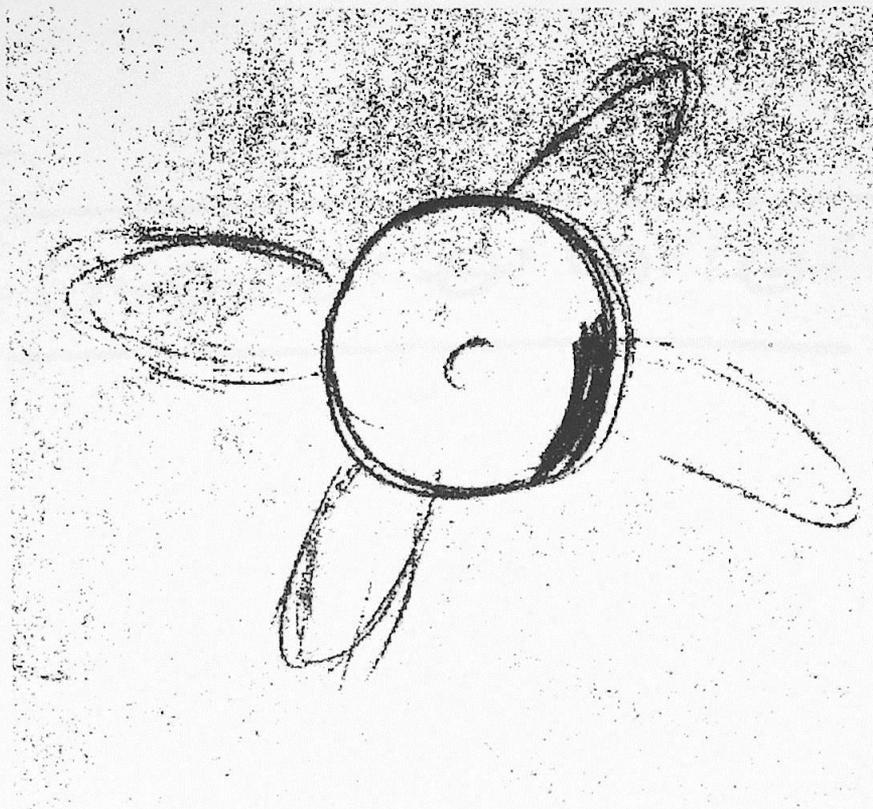


FIGURA 19

“Elétrons “girando” em torno do átomo, prótons “girando” em torno do núcleo.”

02. Desenhos de corrente elétrica

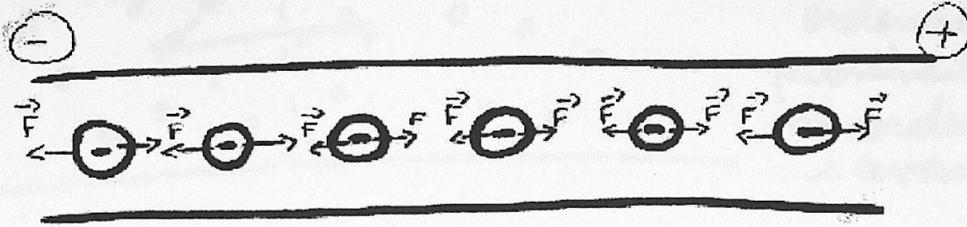


FIGURA 20

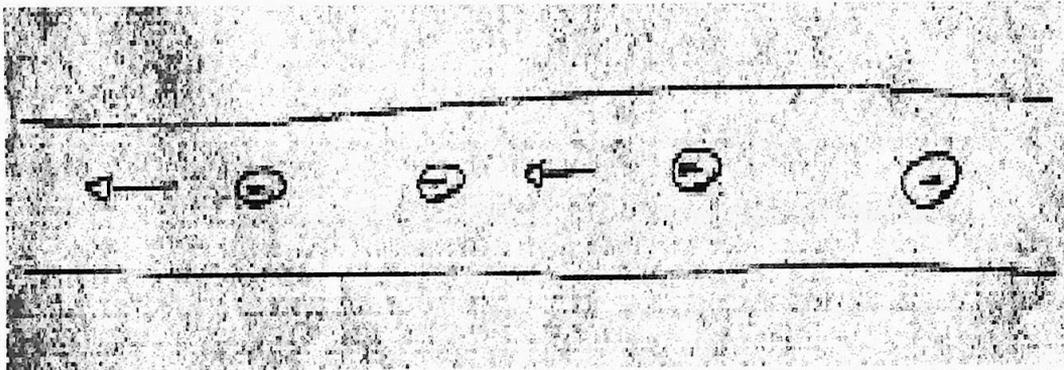
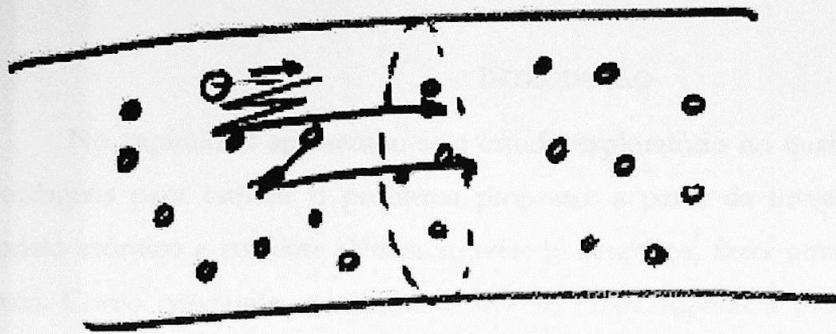


FIGURA 21



movimento
ordenado
movimento
desordenado
e avança

FIGURA 22

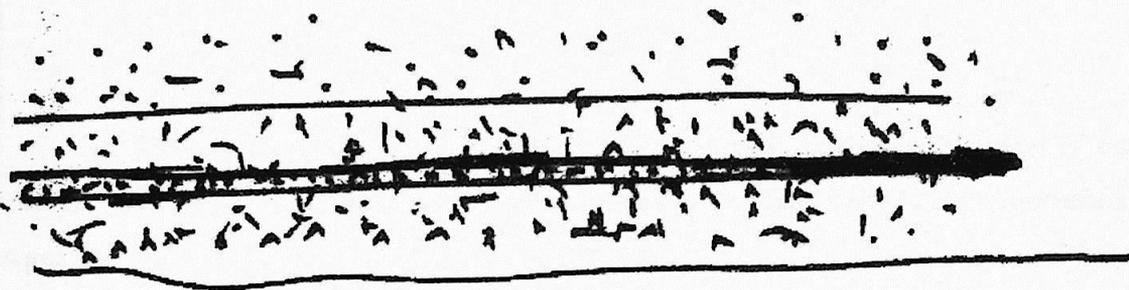


FIGURA 23

IV. DEFININDO O PROBLEMA: OS ARTIGOS DE PESQUISA

INTRODUÇÃO

No capítulo II apresentou-se o estudo exploratório no qual foram definidas algumas abordagens para estudar o problema proposto: a partir da investigação dos conceitos de modelo atômico e corrente elétrica através de desenhos, fazer uma reflexão sobre a aula de Física. Como conclusão, constatou-se que se busca superar a proposição de estratégias de ensino partindo para uma discussão do universo da sala de aula. O capítulo III surgiu de surpresa durante o trabalho de pesquisa e foi incorporado como tomada de dados por trazer mais um elemento da sala de aula para a reflexão: o professor. Como consequência, houve a mudança de foco na pesquisa: de um olhar sobre os alunos em sala passou-se a observar alguns aspectos da dinâmica de sala de aula que se constrói entre alunos e professores.

O objetivo deste capítulo é montar um quadro suficientemente abrangente e coerente que contextualize os estudos e resultados apresentados nos capítulos II e III a partir de uma revisão bibliográfica.

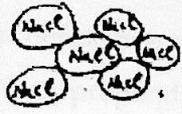
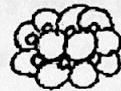
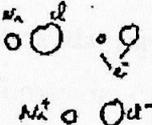
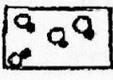
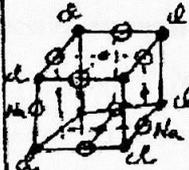
REVISÃO DA LITERATURA

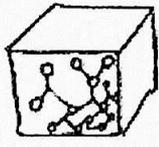
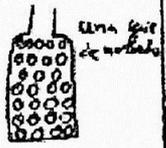
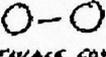
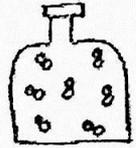
Três artigos foram escolhidos por utilizarem o desenho do modelo atômico e/ ou da estrutura da matéria como um instrumento de coleta de dados em algum momento da pesquisa.

De Posada Aparício (1993) estudou como os alunos compreendiam a estrutura da matéria e a união de suas partículas. A partir de 41 frases que relacionavam os conceitos escolhidos, o autor construiu um mapa conceitual e elaborou um conjunto de perguntas abertas, escolhendo duas questões para utilizar em sua pesquisa: a estrutura íntima do ferro, do sal e do oxigênio e os diferentes pontos de fusão das substâncias.

Cada questão foi aplicada a um grupo diferente de alunos entre 15 e 18 anos do ensino regular da Espanha; 82 alunos responderam a primeira e 171 alunos responderam a segunda questão. Na proposta se colocava claramente que seria aceito inclusive desenhos como resposta.

Os desenhos apresentados pelo artigo e denominados pelo autor como “desenhos típicos” são:

		 varias lat. partículas que se las (las) más separadas	
	$Na^+ Cl^-$ 		$NaCl$
$Na^+ \cdot Cl^-$	$Na^+ Cl^-$		

			
$O=O$			

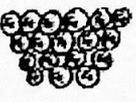
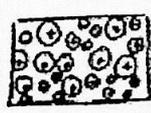
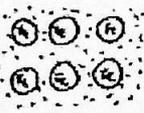
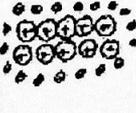
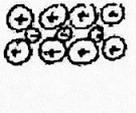
			
			

FIGURA 24

Os resultados da pesquisa indicam que a maioria dos alunos usa o esquema atomista para explicar a estrutura do oxigênio, mesmo os mais jovens (15 anos); sobre a estrutura dos sólidos (ferro e sal), um terço utiliza argumentos atomistas de forma espontânea e o estabelecimento da relação entre as propriedades físicas macroscópicas da matéria com a descrição atômica aumenta à medida que aumenta o grau de escolarização. O autor interpreta este resultado como uma evidência da superação de obstáculos epistemológicos para a aquisição da concepção atômica da matéria.

Harrison e Treatgust (1996) pesquisaram a concepção de átomo de 48 estudantes de 14 a 16 anos através de uma entrevista semi-estruturada que se iniciava entregando-se ao aluno uma folha de alumínio e um bloco de ferro e se fazia a seguinte pergunta: *"Do que você acha que estes objetos são feitos?"*. Muitos alunos tocavam no tema átomo logo no início; caso isto não ocorresse depois de quatro ou cinco perguntas, os entrevistadores introduziam o assunto. Em seguida, se solicitava que desenhasse o átomo e realizasse a sua descrição verbal. Os resultados do trabalho são apresentados em categorias de análise dos desenhos do átomo com o seguinte quadro:

QUADRO 3¹²: Freqüência das respostas dos alunos em 10 categorias conceituais relativo a atributos atômicos e moleculares (n= 10)

Critério	Atributo	Freqüência	
Átomos	Aluno introduziu o conceito de átomo voluntariamente.	33	69 %
	Foi sugerido ao estudante o conceito de átomo.	15	31 %
Tamanho dos Átomos	Átomos são visíveis ao microscópio.	24	50 %
	Átomos são muito pequenos para ver.	15	31 %
	Não foi perguntado, não respondeu.	9	19 %
Composição da Matéria	Todas as substâncias contêm átomos.	34	70 %
	Algumas substâncias são feitas de outros objetos.	7	15 %
	Não foi perguntado, não respondeu.	7	15 %
Átomos Vivos	Átomos são inanimados.	38	79 %
	Átomos são vivos, crescem e se dividem.	10	21 %
Forma dos Átomos	Átomos são bolas e esferas.	29	55 %
	Simple diagrama com núcleo e elétrons.	17	32 %
	Simple círculo em um círculo.	7	13 %
Textura dos Átomos	Átomos são como uma esfera dura de polysterene.	26	54 %
	Átomos se parecem com um pompom com centro duro.	18	38 %
	Não foi perguntado, não respondeu.	4	8 %
Camadas de Elétrons	Conhece a camada de elétrons.	13	27 %
	Não conhece a camada de elétrons.	29	60 %
	Não foi perguntado, não respondeu.	6	13 %
Nuvem de Elétrons	Conhece a nuvem de elétrons.	24	50 %
	Não conhece a nuvem de elétrons.	17	35 %
	Não foi perguntado, não respondeu.	7	15 %
Modelo Molecular	Preferência por modelos espaciais.	41	76 %
	Preferência por modelo esfera e bastão.	7	24 %

Em Harrison e Treatgust (2000) a pesquisa é realizada em forma de um estudo de caso de um aluno de 17 anos durante todo o ano letivo; tem como objetivo descobrir como os alunos desta série interpretam e usam os diferentes modelos de átomos e ligações usados na aula de Química e de se verificar se as metáforas e modelos analógicos sistematicamente

¹² p. 520 - HARRISON, A.G.; TREATGUST D. F. – *Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry* – Science Education 80(5):509–534 (1996)

utilizados contribuem para o entendimento do conteúdo. Como instrumentos de coleta de dados utilizou-se o registro escrito produzido pelo aluno em algumas situações específicas e entrevistas. Foram nove tarefas solicitadas que utilizavam como resposta os desenhos e representações gráficas.

Tem-se os seguintes desenhos:

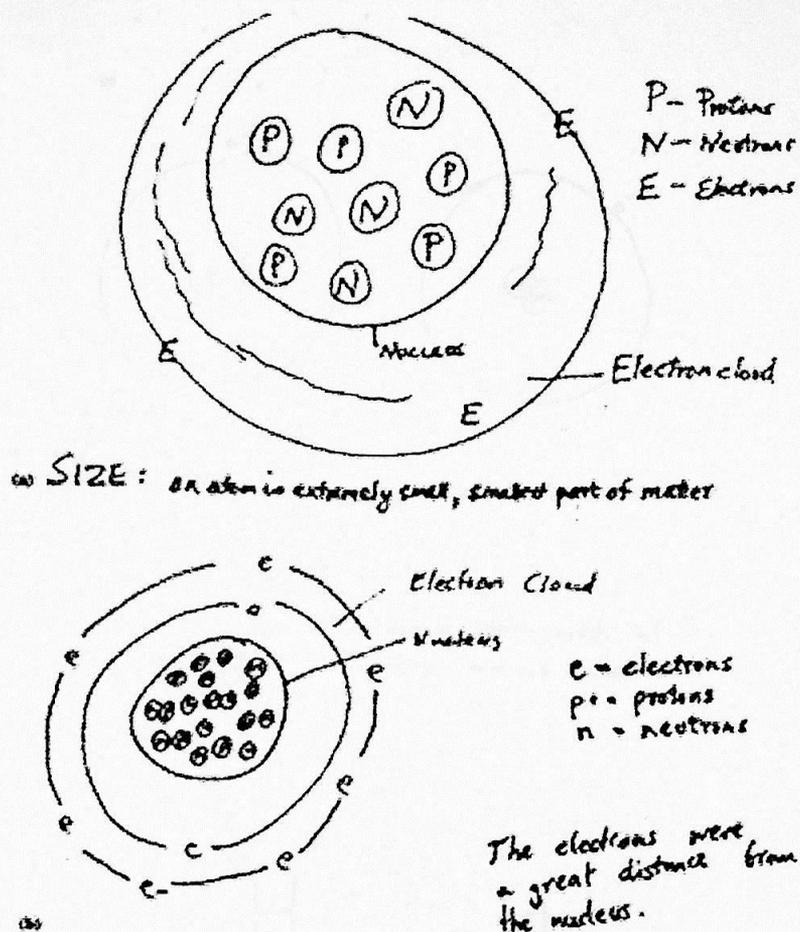


FIGURA 25 - a) Primeiro esquema do átomo - semana 2

b) Átomo de flúor - semana 4

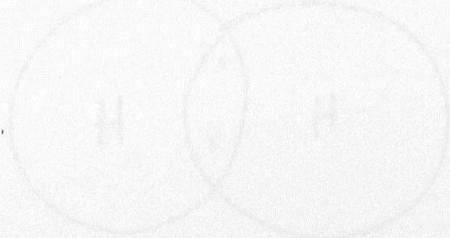


FIGURA 27 - Desenho feito no primeiro dia de aula (primeira semana) 27 = 11

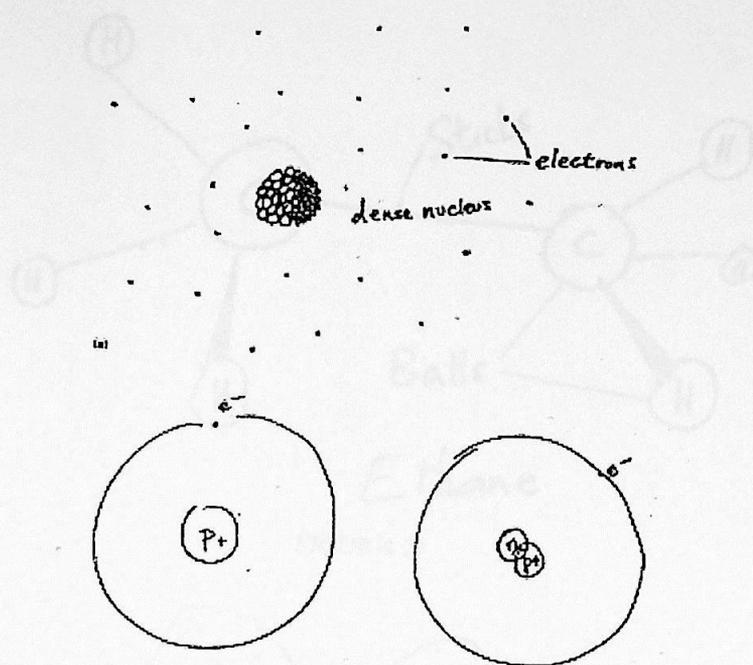


FIGURA 26 – a) Diagrama de um átomo feito no fim do primeiro semestre

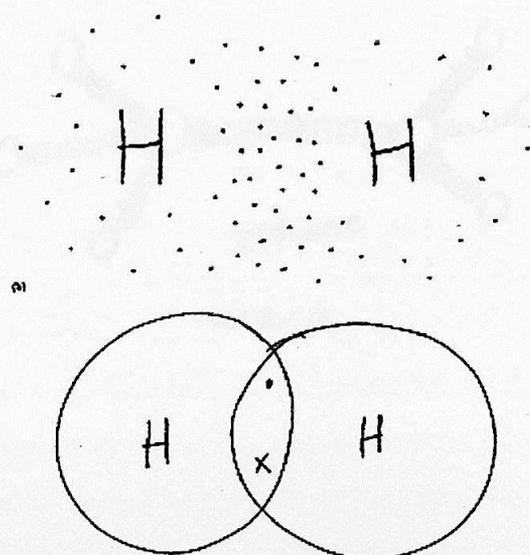
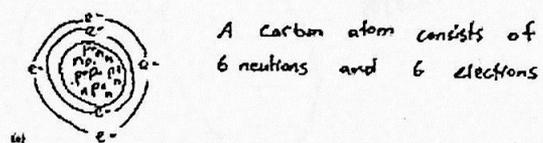
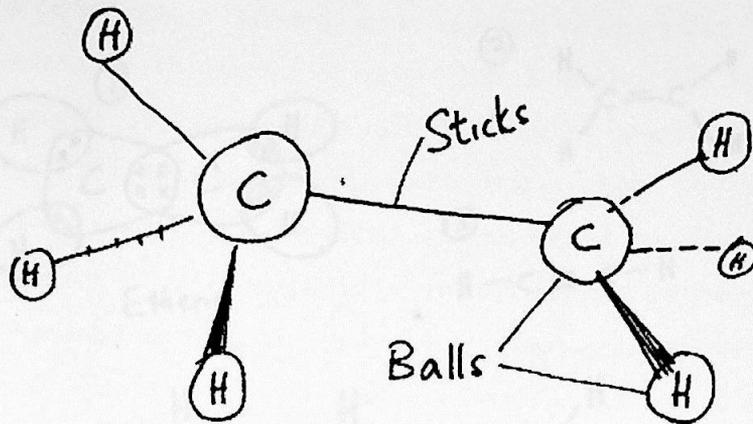


FIGURA 27 – Desenhos feitos no pré-teste de Química Orgânica – semana 27 a 33



Ethane

FIGURA 28

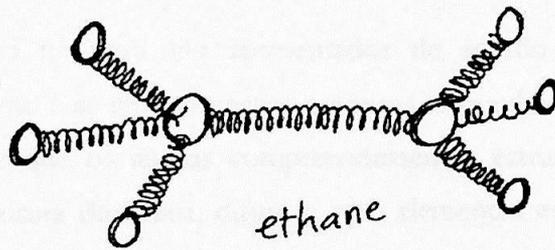
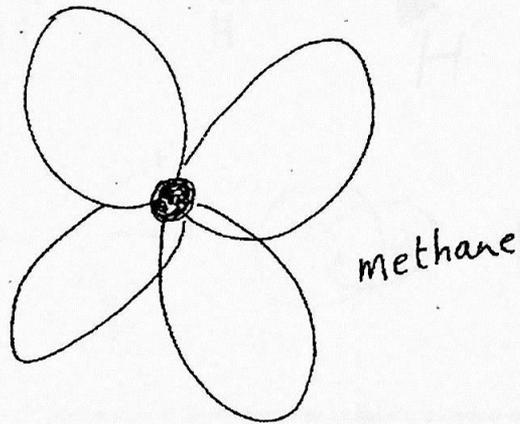


FIGURA 29

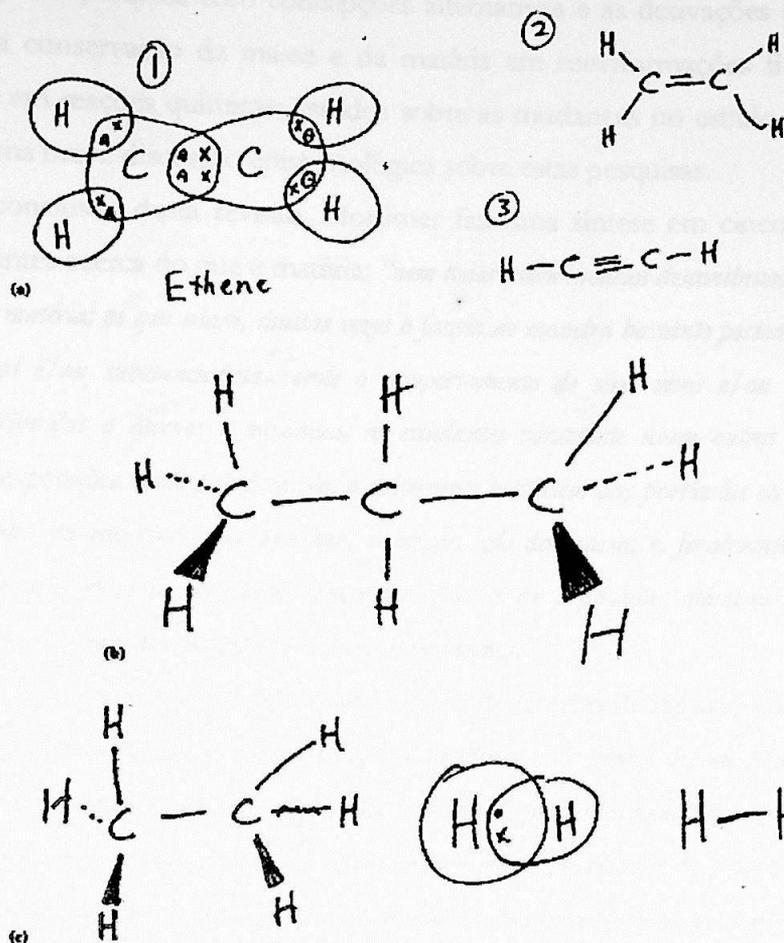


FIGURA 30 – Várias maneiras de se representar as ligações químicas na visão do aluno

Os resultados desta pesquisa são apresentados de acordo com dois referenciais distintos: o modelo de átomo e as representações químicas. Segundo os autores, no início do curso havia o objetivo de que os alunos compreendessem a estrutura atômica de modo científico, isto é, uma estrutura dinâmica, difusa e com elementos espaciais. Mas, após 100 horas de instrução (17 semanas) concluiu-se que não houve modificações significativas no modelo de átomo do aluno estudado.

Por outro lado, o aluno em questão utilizou seis modelos diferentes para descrever os atributos de moléculas orgânicas covalentes, o que os autores tomaram como indício do entendimento da idéia de modelo e da passagem de uma posição dualista (certo/ errado) para uma forma pluralista do conhecimento em que existem descrições mais ou menos adequadas a cada situação e que se aproxima de uma abordagem considerada científica.

O estudo de Mortimer (2000) tem uma extensa revisão bibliográfica sobre o tema atomismo. Inicia-se com a descrição dos trabalhos de Piaget sobre as qualidades da matéria e

que deram origem à pesquisa com concepções alternativas e as derivações destas pesquisas: estudos sobre a conservação da massa e da matéria em transformações físicas e químicas, particularmente em reações químicas; estudos sobre as mudanças no estado da matéria, além de apresentar uma breve discussão epistemológica sobre estas pesquisas.

Como conclusão desta revisão, Mortimer faz uma síntese em cinco pontos sobre a idéia dos estudantes acerca do que é matéria: *“nem todos usam modelos descontínuos para representar as transformações da matéria; os que usam, muitas vezes o fazem de maneira bastante pessoal, o que inclui o uso de idéias animistas e/ou substancialistas, onde o comportamento de seres vivos e/ou as propriedades da substância são atribuídos a átomos e moléculas; os estudantes raramente usam outros aspectos do modelo atomista em suas explicações, como por exemplo, o movimento intrínseco das partículas ou suas interações; eles mostram dificuldades em raciocínios que envolvem a conservação da massa; e, finalmente, os estudantes têm dificuldade em transitar entre as observações fenomenológicas e as explicações atomistas, ou seja, em fazer relações entre o comportamento dos materiais nos diversos fenômenos.”*¹³

O estudo foi realizado com alunos de 8ª série do Centro Pedagógico da UFMG em que o pesquisador ministrou aulas e o objetivo foi descrever *“a gênese de um modelo atomístico para explicar os estados físicos e as transformações dos materiais, particularmente as mudanças de estado e dissoluções.”*¹⁴. Os dados foram coletados através de testes escritos e da gravação das aulas em vídeo e sua transcrição. São analisados a evolução conceitual dos alunos em sala de aula e o processo de ensino baseados nas teorias de Bachelard, Vygotsky e Bakhtin.

A metodologia de pesquisa pode ser descrita da seguinte forma: aplicação de pré-teste, processo de instrução e aplicação de um pós-teste. O pré-teste consistiu em: classificação de diversas substâncias ou materiais em sólido, líquido, gasoso e outros, desenhos representando algumas substâncias como contínuas ou descontínuas, a compressão do ar em uma seringa e a transformação de estado físico da naftalina. Os desenhos selecionados são:

¹³ p.105 – MORTIMER, E. F. – **Linguagem e Formação de conceitos no Ensino de Ciências**

¹⁴ idem – p.25

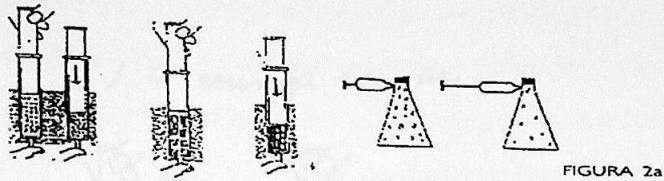


FIGURA 2a

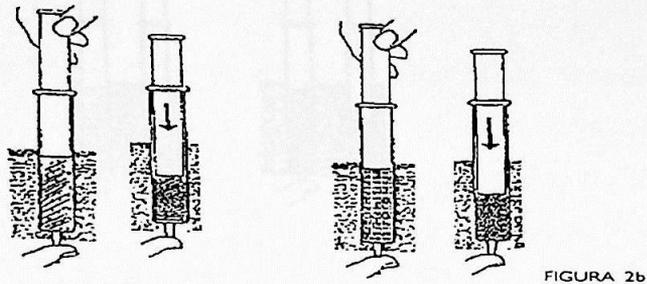


FIGURA 2b

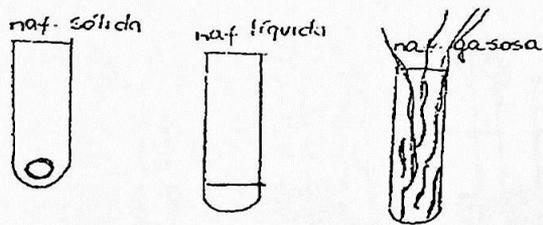


FIGURA 2c

FIGURA 31 – exemplos de representações utilizadas pelos alunos em relação à categoria continuidade/ descontinuidade

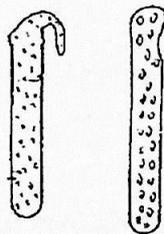


FIGURA 3a

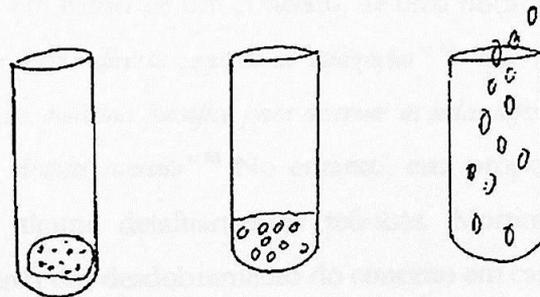


FIGURA 3b

FIGURA 32- exemplos de representações substancialistas usadas pelos alunos

1. A seringa com ar

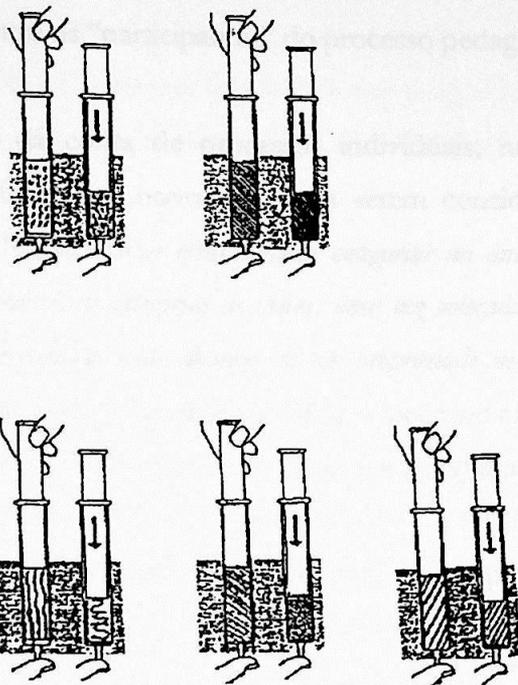


FIGURA 33 – Modelos para compressão do ar na seringa sugeridos pelos alunos no pré-teste e selecionados pelo professor para discussão em classe

A discussão da evolução conceitual inicia-se com a idéia de perfil epistemológico proposto por Bachelard em torno de um conceito, de uma noção particular – “a hierarquia dos conhecimentos se distribui de forma diversa segundo as utilizações”¹⁵ – que Mortimer interpreta como a insuficiência de “uma única doutrina filosófica para descrever as todas diferentes formas de pensar quando se tenta expor e explicar um simples conceito”.¹⁶ No entanto, esta proposta ainda permitia algumas interpretações a mais, alguns detalhamentos teóricos. Mortimer propõe então o perfil conceitual, onde acrescenta um desdobramento do conceito em características ontológicas (ser) e epistemológicas (conhecimento) dadas pelas experiências individuais de cada um. Além disso, tomar consciência do perfil por parte do aluno é parte importante do processo de aprendizado.

A partir destas constatações teóricas e da literatura específica, há uma organização de categorias que constituem as diferentes zonas do perfil conceitual e a identificação dos obstáculos epistemológicos e ontológicos sobre o tema em questão. Isto permitiu a entrada em

¹⁵ p.24 - BACHELARD, G. – **A Filosofia do Não**

¹⁶ p.68 – MORTIMER, E. F. – **Linguagem e Formação de conceitos no Ensino de Ciências**

sala de aula com o objetivo de *“discutir as características do processo de ensino como consequência da análise das categorias que compõem o perfil conceitual do átomo e dos estados físicos da matéria”*¹⁷. À medida que o trabalho foi sendo realizado, constatou-se a necessidade de se analisar as interações que acontecem durante a aula entre os “participantes” do processo pedagógico: alunos, professor e conhecimento.

O perfil conceitual dá conta de processos individuais; no entanto, a aula é um acontecimento social. Existe, assim, novos planos a serem considerados na análise e que propõem novas questões: *“Como aplicar essas mesmas categorias na análise de um processo social de construção de idéias? Como aplicar essas categorias as idéias, uma vez colocadas no espaço social da sala de aula, entram em processo de negociação onde deixam de ser propriedade individual, perdendo também o significado inicial?”*¹⁸. Assumir estas discussões implica a necessidade de referências teóricas diferentes do inicial, porém coerentes com estes, bem como uma articulação entre os planos social e individual.

O teórico escolhido capaz de dialogar nestes vários patamares é primeiramente Vygostky; e, em seguida, Bakhtin que permite a análise apurada de situações e diálogos particulares.

Mortimer escolhe dois elementos da teoria para desdobrar as questões propostas – a diferenciação de processos interpsicológicos e intrapsicológicos – e o conceito de zona de desenvolvimento proximal em suas várias interpretações.

E seu trabalho de pesquisa, Mortimer utilizou a gravação em vídeo e sua posterior transcrição, gerando dados que mostravam o desenvolvimento de idéias em sala, ou seja, entre os alunos participantes, caracterizando um plano interpsicológico. Este processo continua mesmo com a reelaboração das discussões e conceituações de forma individual (plano intrapsicológico), sendo avaliado pelo pesquisador através de testes ao final do processo de ensino. Num plano mais geral, Vygotsky propõe que as idéias existem primeiro num plano social, para, em seguida, ganharem a dimensão psicológica e individual. Isto se dá principalmente utilizando os mesmos mecanismos semióticos e simbólicos de mediação da ação do sujeito sobre o objeto.

A zona de desenvolvimento proximal é considerada por Mortimer de acordo com alguns teóricos onde *“os indivíduos são vistos como parte de um sistema funcional construído socialmente,*

¹⁷ p. 173 – MORTIMER, E. F. – **Linguagem e Formação de conceitos no Ensino de Ciências**

¹⁸ p. 151 – idem

nas relações interpessoais”¹⁹. São apontadas as seguintes conseqüências deste marco teórico: “...os alunos não têm a mesma representação da tarefa que o professor e podem ter diferentes representações entre si...há uma relação entre o sistema de suporte externo – apostilas, experiência, professor – e as estruturas internas.... as representações que os alunos fazem da tarefa não são estáticas nem equivalentes à representação do professor ...a quarta conseqüência é que essa variação inerente de significados, ao longo do processo de mudança, às vezes associada à criatividade e à diversidade dos alunos está sujeita ao processo social no qual são criadas alianças temporárias.”²⁰

Um dos resultados mais significativos destas hipóteses é a definição do papel do professor, que deixa de ser o porta-voz de um saber a ser transmitido ao aluno, mas passa a atuar como uma espécie de suporte ou andaime, “*ele limita a complexidade da tarefa até o nível em que a criança possa manejá-la*”²¹. Isto foi explicitado mais adiante descrevendo algumas funções do professor – “*explicitar a agenda, explicitar os obstáculos epistemológicos e ontológicos, chamando a atenção para como eles contradizem as características dos conceitos científicos a serem aprendidos; generalizar as novas idéias e dar ao estudante a oportunidade de generalizá-las por si próprio; chamar a atenção dos estudantes para refletirem sobre suas próprias idéias e compará-las com as idéias científicas; estar atento ao desenvolvimento das idéias na sala de aula.*”²²

A conclusão do trabalho fornece dois planos de compreensão de construção do conhecimento – o intuitivo, que pode ser descrito pelas hipóteses e teorias de equilíbrio piagetianas; e o contra-intuitivo, centrado no reconhecimento e discussão dos obstáculos epistemológicos e ontológicos, na utilização dos suportes culturais, nas negociações ao redor de idéias e argumentos, na intervenção do professor com um porta-voz do conhecimento científico.

Esta discussão é ampliada de forma a pensar as relações entre ciência e senso comum. Para o autor, a diferença significativa entre os dois é: “*as teorias científicas prevêm resultados experimentais, podendo ser, no momento cultural específico em que foram previstos, contra-intuitivos mesmo para a cultura científica*”²³. E os elementos responsáveis para superar a falha da intuição e a barreira epistemológica ou ontológica são os diversos elementos culturais existentes em uma época e lugar.

¹⁹ p. 155 – MORTIMER, E. F. – **Linguagem e Formação de conceitos no Ensino de Ciências**

²⁰ p.156 – *ibidem*

²¹ p. 158 – *ibidem*

²² p. 267 – *ibidem*

²³ p. 351 – *ibidem*

Nos desenhos apresentados por De Posada Aparício (Figura 28) pode-se observar que o sal é representado primeiramente como partículas sem forma definida encaixadas umas às outras como um quebra-cabeças (primeira ilustração à esquerda, no alto), mas pode ser descrito também como esferas de NaCl encostadas umas as outras, como esferas organizadas a uma certa distância, como dois círculos de tamanhos diferentes colados entre si, somente com o símbolo e a indicação de carga, ou ainda como uma estrutura cúbica.

Nos desenhos representando o oxigênio não existe nenhuma alusão à carga elétrica e todas as representações utilizam círculos sozinhos, colados ou ligados por uma ou duas linhas.

Nos desenhos representando o ferro aparece novamente a idéia de círculos aglomerados ou então a presença de cargas positivas juntas com elétrons dispostos de várias formas diferentes ou mesmo a ausência destas duas cargas.

Este artigo traz ainda como resultado que a maioria dos alunos respondeu que o oxigênio é formado por átomos (os desenhos só mostravam o oxigênio como esferas simples, sem carga), enquanto que no sal e no ferro apenas um terço das respostas tocou na idéia de átomo como explicação da estrutura da matéria.

Na pesquisa seguinte, Harrison e Treatgust (1996), os alunos pesquisados tinham a mesma faixa etária dos alunos pesquisados por De Posada Aparício, e o resultado diverge bastante, ou seja, 69% dos alunos responderam que o ferro e o papel alumínio eram formados por átomos, introduzindo este conceito espontaneamente. Outros resultados desta pesquisa que merecem destaque são: 24% dos entrevistados acham que o átomo é visível ao microscópio, 7% acham que algumas substâncias são feitas de outra coisa que não átomos, 10% acreditam que o átomo é vivo, cresce e se divide. Em relação à forma do átomo, há uma correspondência entre a idéia de que os átomos são bolas e esferas e a afirmativa de não conhecer a camada de elétrons (ambas as respostas com 29%).

No trabalho de Harrison e Treatgust (2000) a representação do modelo atômico do aluno permanece a mesma ao longo de todo o ano. No entanto, os conceitos da Química tais como ligação covalente e suas analogias, fórmulas estruturais são representadas nas atividades aplicadas, mostrando uma compreensão da idéia de modelo e de seus vários significados.

No estudo realizado por Mortimer, os desenhos são utilizados como ponto de partida para se conhecer a concepção dos alunos (figura 35 e 36), são instrumentos de apoio para a

discussão realizada em sala (figura 37) e servem como dado no pós-teste a ser complementado por textos escritos pelos alunos.

Estes trabalhos foram selecionados por discutirem o modelo atômico e utilizarem o desenho dos alunos com um dado de pesquisa. Todos eles tomam estes desenhos comparando-os com representações já existentes na ciência e o avaliam por estes parâmetros, isto é, a partir de modelos já existentes. Além disto, os desenhos são discutidos como um dado de pesquisa igual ao texto escrito ou mesmo às explicações verbais, realizadas através da palavra. Imagem e palavra são equivalentes nos casos apresentados, tendo significados iguais a respeito da compreensão dos alunos sobre o tema.

PESQUISAS SOBRE CIRCUITOS E CORRENTE

São chamados de concepções espontâneas os conceitos e explicações dos alunos relacionados a fenômenos físicos e que divergem da teoria científica. Podem ser levantados com entrevistas, observações de aula e testes específicos, que têm sido um instrumento eficaz de trabalho por possibilitarem uma análise detalhada da compreensão de conteúdos da Física e o envolvimento de um número de sujeitos da ordem de algumas dezenas até o primeiro milhar.

O tema eletricidade se desdobra principalmente na compreensão dos fenômenos de corrente contínua em circuitos de diversos tipos. Com isto, os conceitos de corrente elétrica, tensão, resistência e circuito são discutidos sob vários pontos de vista. Este foi o critério de seleção dos testes e da análise a serem considerados nos trabalhos de: Fredette e Lochhead (1980), Cohen, Eylon e Ganiel (1983), Dupin e Joshua (1987), Shipstone (1988), Silveira, Moreira e Axt (1989) e Gravina e Buchweitz (1994).

O artigo de Evans (1978) descreve uma proposta de ensino de eletricidade a partir de experimentos com pilhas, fios e lâmpadas. Teve como objetivo construir um modelo explicativo de eletricidade tanto qualitativo como quantitativo. Esta forma de trabalho surgiu ao constatar que o ensino deste tema na escola e na universidade tinha ênfase no formalismo, deixando de lado a discussão de problemas mais práticos.

O desenvolvimento do modelo qualitativo se iniciou com atividades práticas que procuravam discutir o conceito de circuito, os materiais condutores ou isolantes e a descrição minuciosa dos materiais utilizados, com ênfase na lâmpada e suas conexões. Os estudantes eram encorajados a formular conceitos e hipóteses com o vocabulário conhecido, sem a

introdução dos termos técnicos da física. Isto facilitou não só a colocação e o esclarecimento das idéias debatidas, mas também a maior participação de todos os alunos.

Esta forma mais aberta de trabalho permitiu ao autor a identificação de dois pontos que seriam cruciais nas pesquisas posteriores: a constatação de que existem conceitos que transbordam a ciência formal e fazem parte de um repertório cultural e que os alunos agiam/pensavam conduzidos também por conhecimentos prévios.

As pesquisas seguintes utilizaram diversas formas para a obtenção de dados: testes escritos, entrevistas estruturadas e semi-estruturadas, resolução de problemas propostos algumas vezes associando duas formas diferentes de coleta de dados. Uma boa parte das pesquisas, no entanto, parte de testes com uma pergunta e quatro ou cinco respostas fechadas. Foram realizadas em diversas fases de escolarização; desde a pré-escola até o terceiro grau, e em diversos países.

Fredette e Lochhead (1980) trabalham com os mesmos materiais de Evans; no entanto, seu objetivo é investigar como os alunos resolvem individualmente o problema de acender a lâmpada. A pesquisa foi realizada com 57 estudantes de um curso universitário em forma de entrevistas gravadas em videotape. A seqüência de atividades foi: questionário com desenho, acender a lâmpada com pilhas e fios e discussão com os entrevistadores.

Os resultados apresentados mostram que 31,5% responderam as duas questões corretamente. Os autores interpretam este resultado como má-compreensão da questão proposta ou uma concepção espontânea relativa a natureza do fluido elétrico – baseada em diferentes noções de circuito que os alunos trazem como repertório e que foi chamada de escoamento elétrico.

O termo circuito está associado a idéia de caminho, de ligação com duas conexões: entrada e saída. O termo escoamento corresponde a somente uma entrada de fluxo (ou somente à saída). Os entrevistados tendem a encarar alguns elementos como circuito (bateria) e outros como escoamento.

O artigo de Cohen, Eylon e Ganiel (1983) investiga como os estudantes conceituam a diferença de potencial (d.d.p.) e a corrente elétrica e como isto afeta a análise de circuitos simples. A amostra é 145 alunos de 15 a 18 anos e 21 professores. Foi realizado um teste escrito com 10 questões de múltipla escolha e 4 exercícios com resolução numérica. Segundo os autores, algumas questões deste teste *“eram qualitativas e procuravam ter contexto dinâmico: um circuito é apresentado, então uma modificação é introduzida (isto é, conexão de um resistor adicional).* O

*estudante (ou professor) teriam que dizer o novo valor da corrente, tensão, etc. em relação à situação anterior (mais que, igual, menos que).*²⁴ Além disto, foram realizadas 14 entrevistas com alunos.

A partir destes testes chegou-se às seguintes conclusões: 70% dos estudantes sabem a definição formal de diferença de potencial; um terço dos pesquisados acreditam que a corrente é um conceito primário e uma bateria fornece uma corrente constante; 25% interpretam resistência como sendo um obstáculo; o conceito de resistência interna é bastante problemático, causando várias confusões. De maneira geral, se percebeu uma ênfase no conceito de corrente em relação ao conceito de d.d.p., inclusive na resolução dos exercícios numéricos.

Em Dupin e Joshua (1987) a investigação se dá através de questionários exclusivamente. São aplicados testes a 920 sujeitos na França, a partir dos 12 anos até o 4º ano universitário. O objetivo do estudo é identificar concepções que permanecem e concepções que se transformam ao longo do processo de escolarização e avaliar os tipos de argumentação para resolver problemas clássicos de eletricidade.

Há duas hipóteses que fundamentam este trabalho: algumas concepções ou obstáculos são situações onde há um verdadeiro confronto das construções cognitivas dos alunos com situações físicas aparentemente complexas e existe uma “metáfora do fluido em movimento” – a corrente é considerada um tipo de fluido encerrado em tubos, cuja natureza é ambígua. descrita de um ponto de vista físico, o fluido tem aspecto “material” e “energético”. O fluido “material” flui a uma taxa constante (ou seja, é a mesma corrente em cada ponto do circuito) enquanto que a o fluido de energia é consumido.

O teste se compõe de 44 questões onde há exercícios onde o aluno escolhe a alternativa que está de acordo com sua opinião e exercícios onde se aplicam os conceitos de forma a realizar cálculos de grandezas físicas no circuito.

Os resultados são obtidos através de análise direta das respostas e comparações entre elas e através de uma análise de implicações. De forma geral são:

A noção de fluido de corrente em um circuito fechado é relativamente fácil de ser adquirida bem como a idéia de consumo de corrente que permanece ainda nos alunos universitários, sendo ambas claramente reforçadas pelo ensino; em contrapartida, a noção de tensão parece muito mais difícil de se adquirir, especialmente ao ser debatido separadamente

²⁴ p.414 - COHEN, R.; EYLON B.; GANIEL U. – *Potencial difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts* – American Journal of Physics 51(5): 407-412 (1983)

da metáfora de fluido – e está muito próxima da noção de corrente. A análise de circuitos em série não teve muitas implicações na pesquisa, no entanto, a análise de circuitos em paralelo permitiu diferenciar os alunos que possuíam um modelo correto.

Segundo os autores, os erros clássicos podem ser identificados – a existência de corrente em circuito aberto, a diferença de potencial ser zero em um circuito aberto, a bateria fornecendo uma diferença de potencial variável.

Shipstone (1988) descreve a aplicação e os resultados de um mesmo teste sobre circuitos elétricos realizados nos seguintes países: Inglaterra, França, Irlanda, Suécia e Alemanha Oriental com alunos de 15 a 17 anos, num total de 1250 sujeitos. O teste se compunha de 13 itens (falso/verdadeiro e múltipla escolha) e teve como objetivo identificar diferenças significativas que ocorriam devido às várias metodologias de ensino. Isto é apresentado de forma detalhada através de uma tabela comparativa com a análise de questões país a país. A conclusão deste trabalho aponta que a noção de corrente consumida atrai os alunos de forma geral, já conceito de tensão e corrente não é diferenciado por eles.

Silveira (1989) aplica um teste a 121 alunos no início do curso universitário com 14 itens de 3 alternativas dentre as quais uma está coerente com concepções científicas e as outras duas estão de acordo com as concepções alternativas. O tema é corrente elétrica e o trabalho tem objetivo construir e validar testes de papel e lápis para ser usado pelo professor em sala de aula a fim de que se promova efetivamente a mudança conceitual. A hipótese de trabalho dos autores é que *“quando não há uma intenção explícita de promover a mudança conceitual, não se deve esperar que ela ocorra naturalmente.”*²⁵

O artigo de Gravina e Buchweitz (1994) apresenta os resultados de uma pesquisa que identifica as concepções espontâneas através de testes (21 questões) e entrevistas clínicas, testa um conjunto de atividades e avalia o resultado da instrução com a aplicação do teste no fim do processo. São avaliados 12 alunos universitários que cumpriram a proposta na íntegra. Há a descrição das concepções espontâneas identificadas pelos questionários e a avaliação das mudanças conceituais dos alunos ao longo de todo o processo.

²⁵ p.1129 - SILVEIRA, F. F.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. – *Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica* Ciência e cultura 41(11):1129 – 1133 (1989)

OBJETIVOS DA PESQUISA PRELIMINAR E A REELABORAÇÃO DA INTERPRETAÇÃO

Os trabalhos realizados sobre atomismo se desdobram em: estudos sobre a compreensão dos estados da matéria (sólido, líquido e gasoso), e formulações de reações químicas sob o ponto de vista estrutural e fenomenológico, na compreensão das propriedades da matéria (volume, massa, peso). Utilizam a concepção de átomo para formular explicações para um conjunto de fenômenos ligados muito mais ao ensino da Química que da Física no Ensino Médio e para estudar a formação da estrutura cognitiva da criança segundo um referencial construtivista.

Os desenhos realizados no trabalho de De Posada Aparício (1993) e Harrison e Treatgust (2000) são mais uma fonte de dados para averiguar se o modelo descrito/utilizado pelo aluno se aproximava de imagens cientificamente aceitas, isto é, similares aos livros didáticos.

Em nenhum momento há uma discussão do significado destas imagens ditas científicas dentro do contexto de uma dada cultura, como se elas fossem absolutas e desprovidas de qualquer outra significação ou interpretação possível. O primeiro objetivo desta dissertação é contextualizar a produção de imagens sob uma abordagem pedagógica dentro da teoria sócio-interacionista do sujeito, isto é, mostrar de que forma está se interferindo na construção cognitiva de um aluno ao se realizar desenhos na aula de Física.

No trabalho de Harrison e Treatgust (1996), o desenho do átomo passa a ser um elemento central, uma vez que são construídas formas de interpretá-lo. No entanto, não se investigou quais seriam as conseqüências destas concepções no aprendizado dos diversos temas que utilizariam o conceito de átomo.

Por outro lado, nas pesquisas sobre circuitos, não se leva em consideração a existência do modelo de átomo permeando toda a discussão. O pressuposto destes trabalhos é a constatação de fenômenos macroscópicos que necessitam de uma explicação causal.

O segundo objetivo desta pesquisa parte destas constatações para propor sua abordagem: investigar como os alunos relacionam o modelo atômico e a corrente elétrica em um contexto de sala de aula. O instrumento central de aquisição destes dados será o desenho dos alunos inseridos em um conjunto de atividades.

A escolha de utilizar desenhos se deve ao fato de que os testes apresentam um conjunto de respostas prontas e o aluno deve somente fazer uma escolha. Os testes induzem o

aluno a uma atitude muito mais passiva do que ativa frente ao problema proposto, impondo e definindo um universo possível de respostas, sem considerar a hipótese de que é possível haver propostas do estudante que não estejam contempladas e que também podem ser significativas. O estudo exploratório fornece indícios de que a forma do aluno pensar supera de longe os modelos descritos, com riqueza de detalhes e formulações elaboradas. Espontâneo ou alternativo não significam necessariamente simplistas.

A partir desta nova forma de olhar para a atitude dos alunos em sala, menos passivos e mais produtores e portadores de um saber, se constitui como um terceiro objetivo desta pesquisa uma reflexão sobre o espaço da sala de aula como um espaço vivo, onde aconteçam verdadeiras trocas em diversos níveis entre os participantes, e não um espaço de mero reprodutivismo escolar, validando um conjunto de saberes desprovidos de sentido.

V. NOVOS DADOS

Categoria 1. Ponto

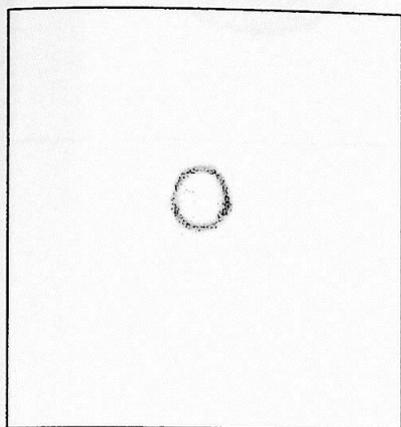


FIGURA 34

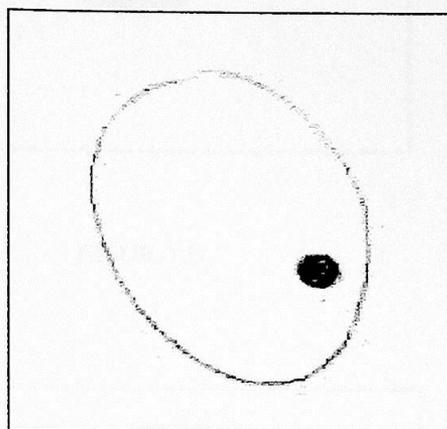


FIGURA 35

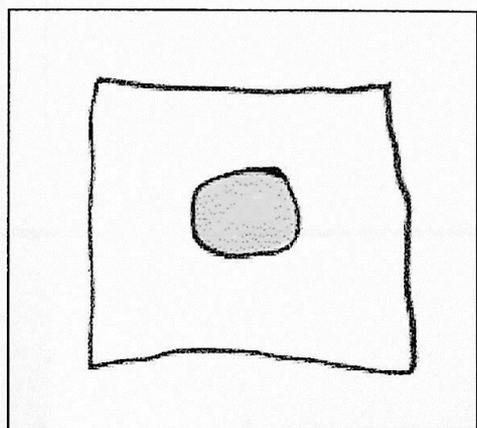


FIGURA 36

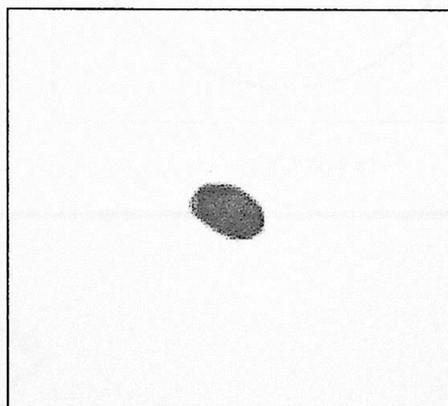


FIGURA 37

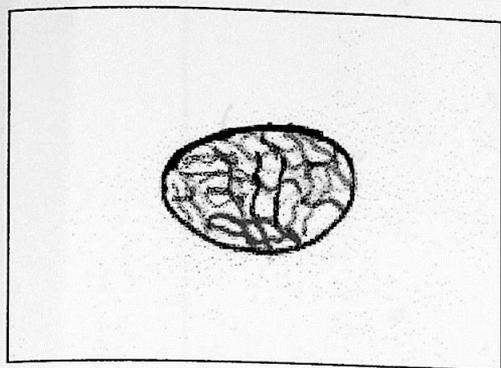


FIGURA 38

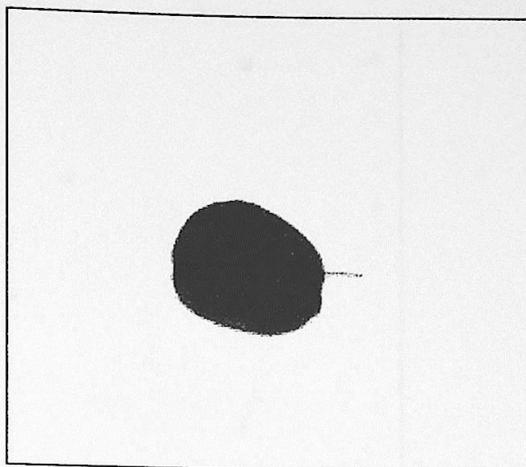


FIGURA 39

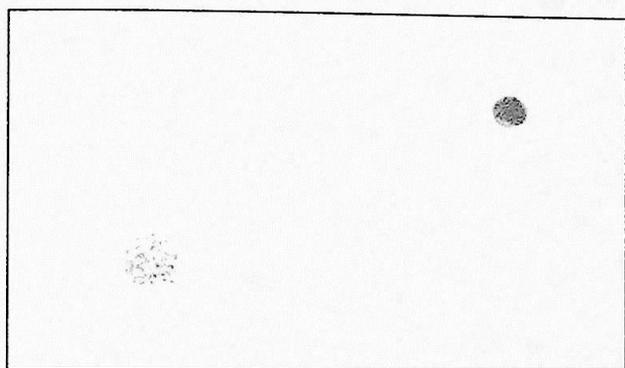


FIGURA 40

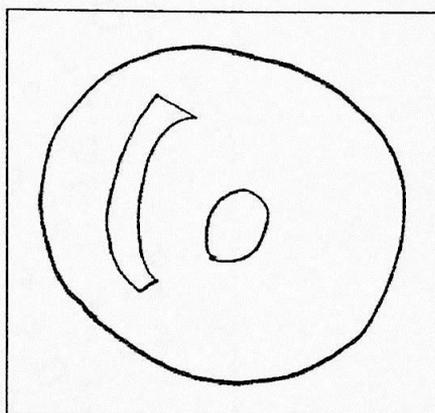


FIGURA 41

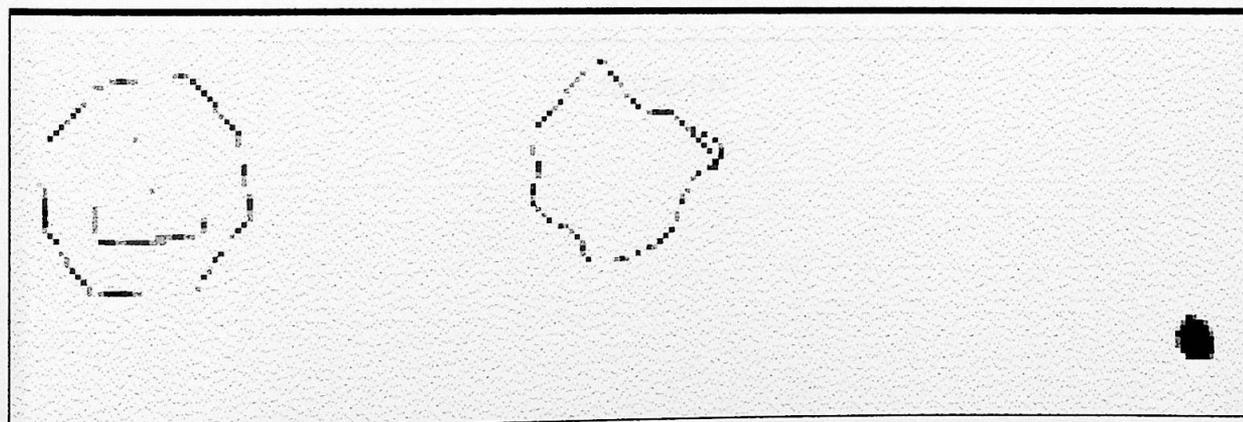


FIGURA 42



FIGURA 43

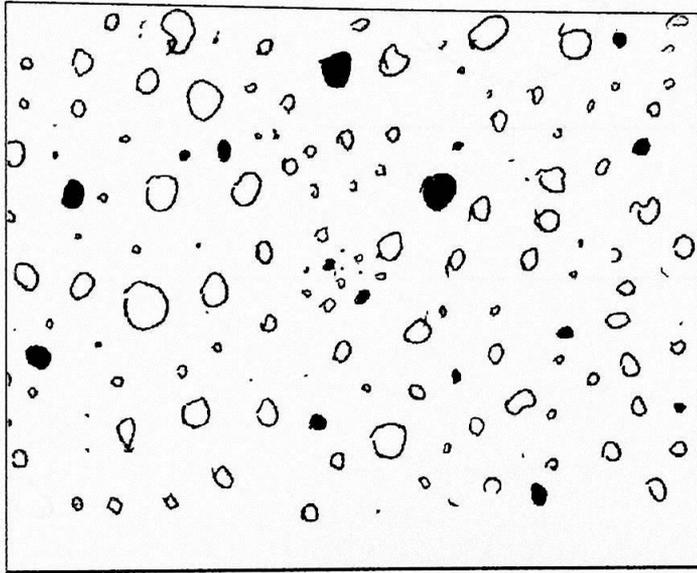


FIGURA 44

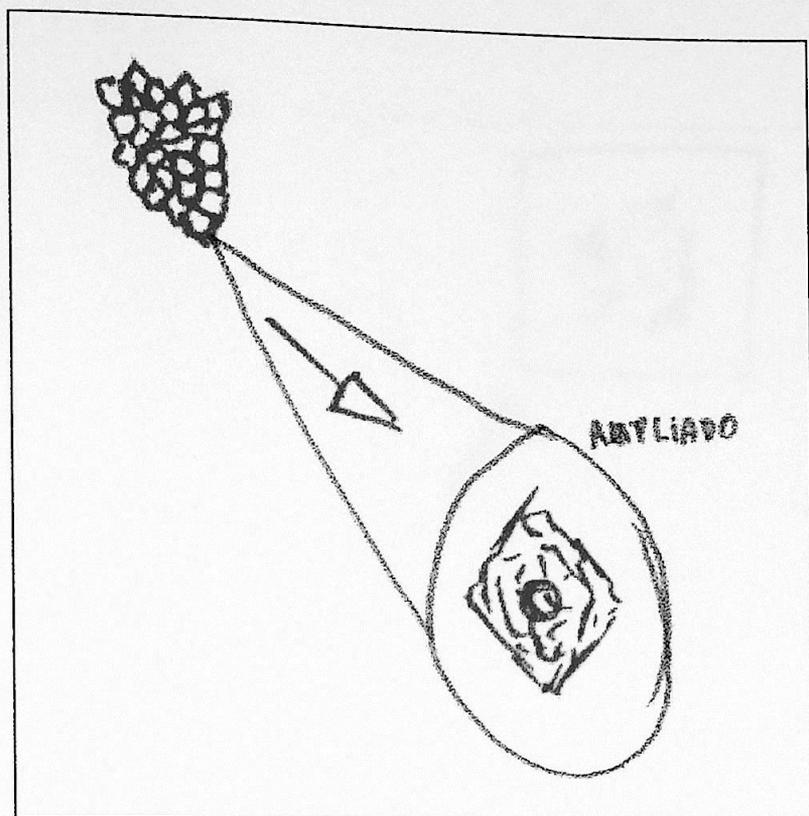


FIGURA 45

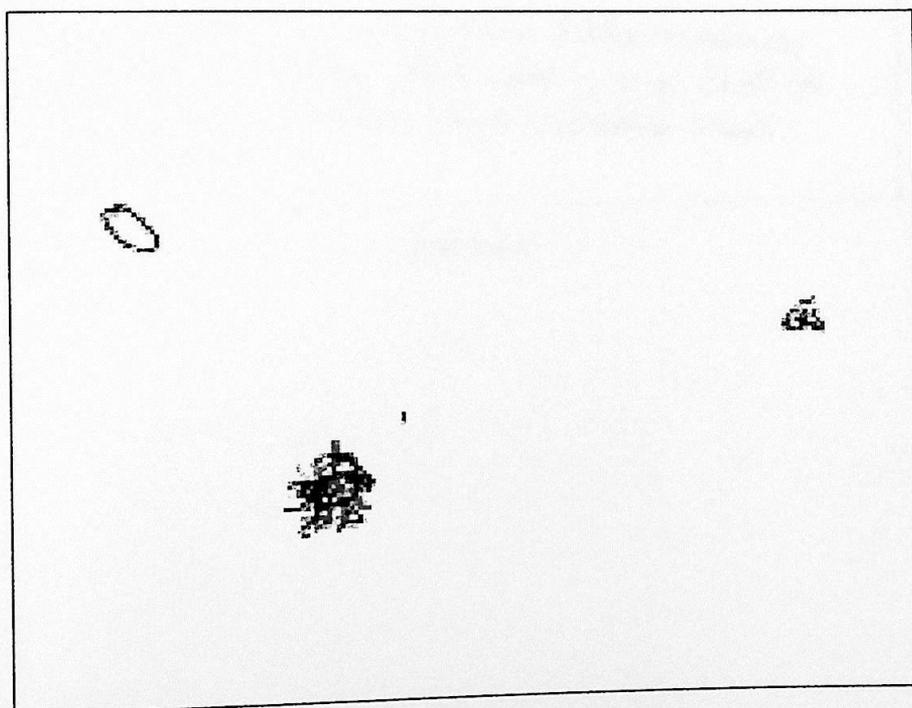


FIGURA 46

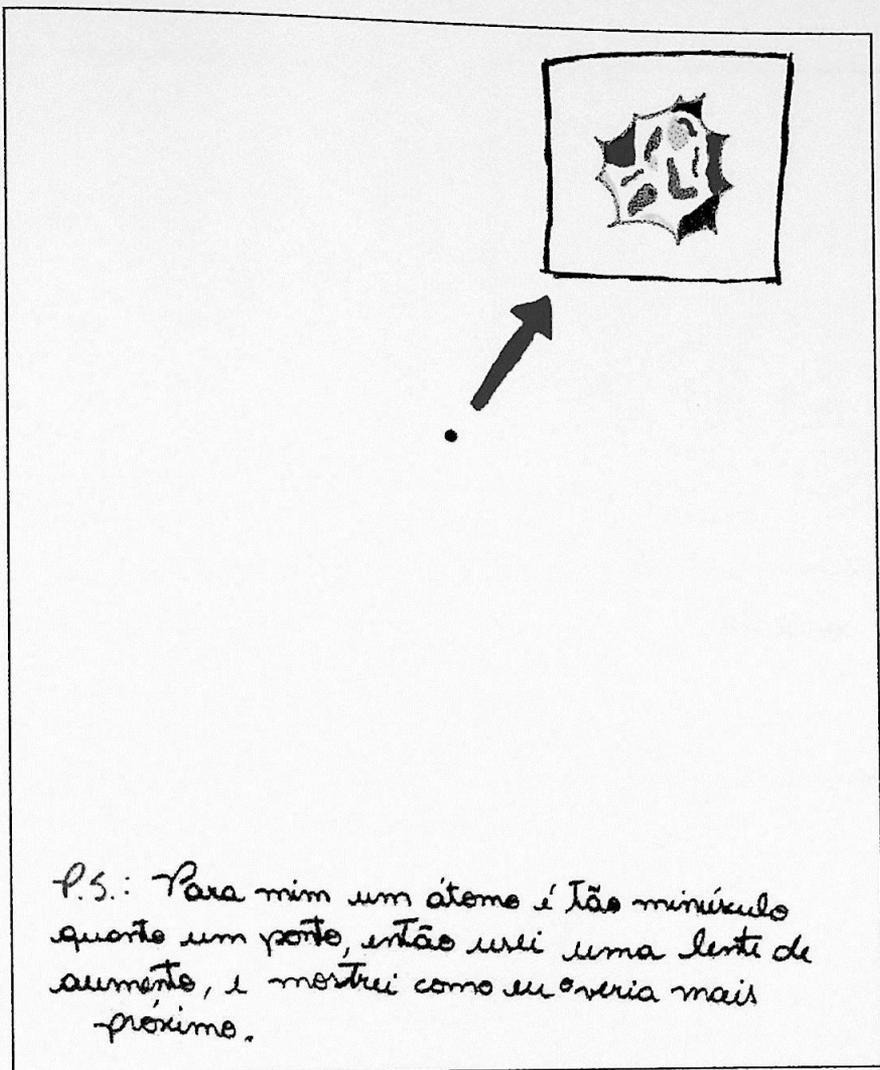


FIGURA 47

Categoria 2. Pudim com Passas

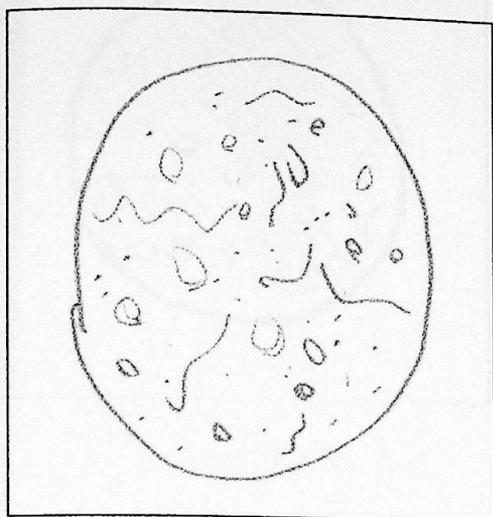


FIGURA 48

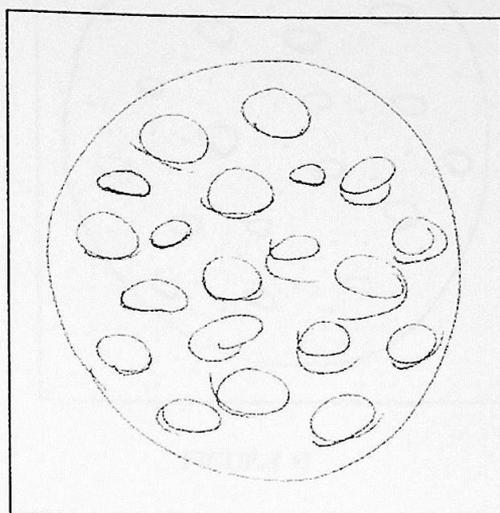


FIGURA 49

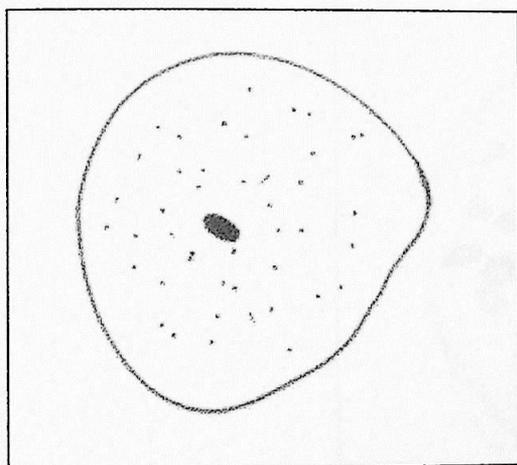


FIGURA 50

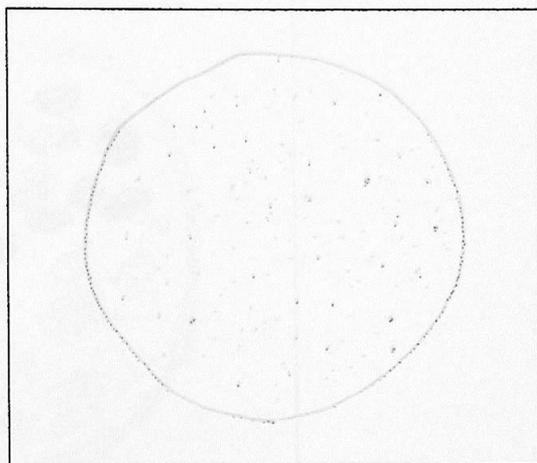


FIGURA 51

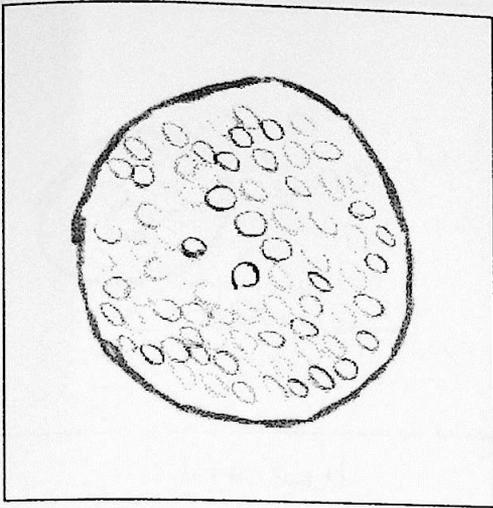


FIGURA 52

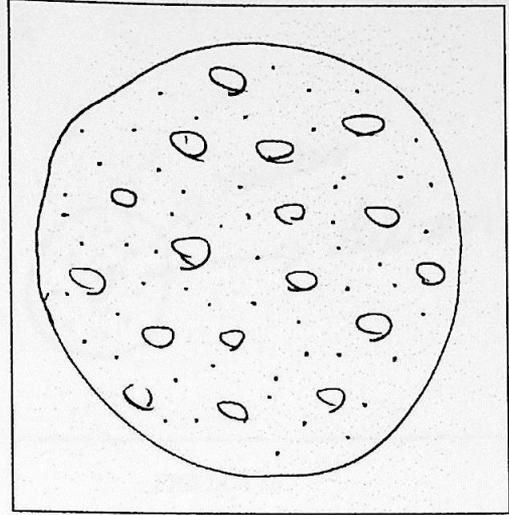


FIGURA 53

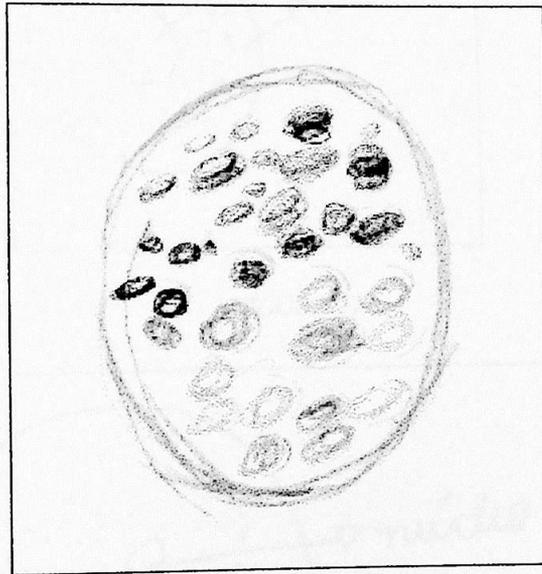


FIGURA 54

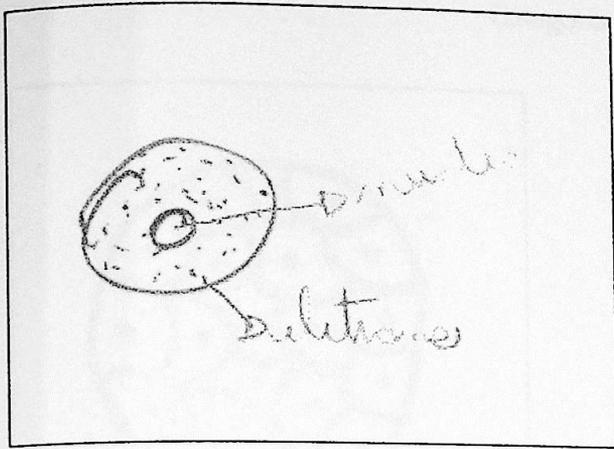


FIGURA 55

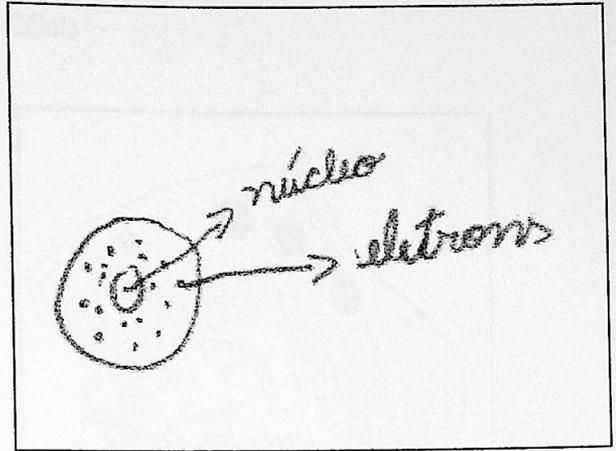


FIGURA 56

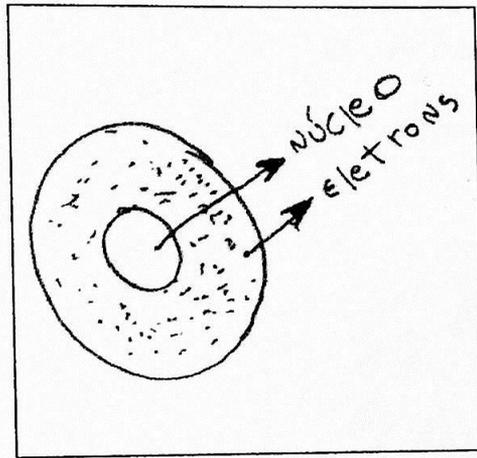


FIGURA 57

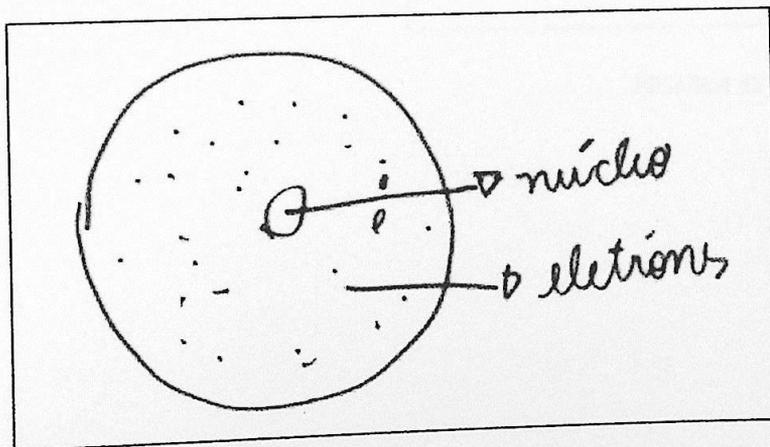


FIGURA 58

Categoria 3. Célula

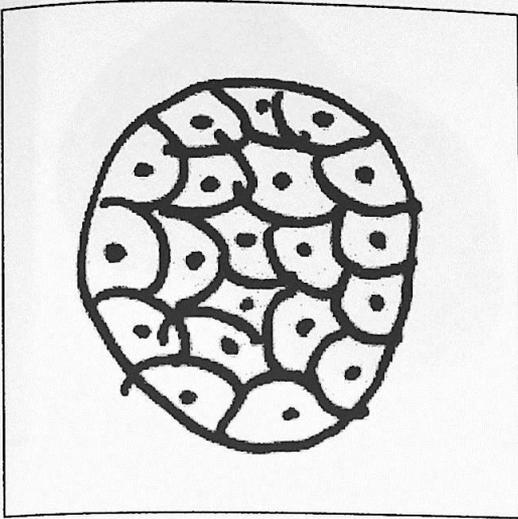


FIGURA 59

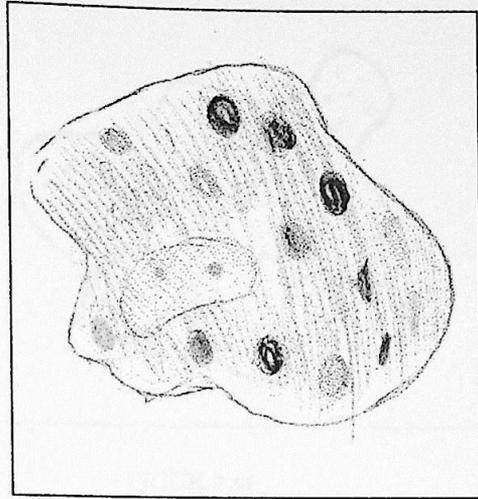


FIGURA 60

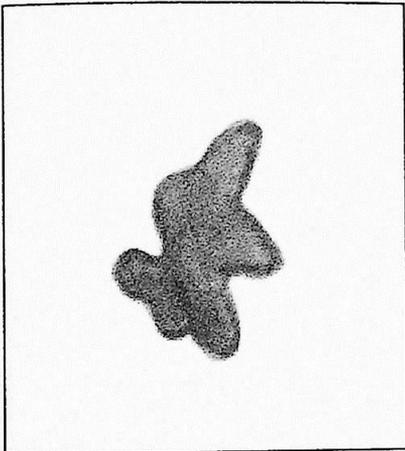


FIGURA 61

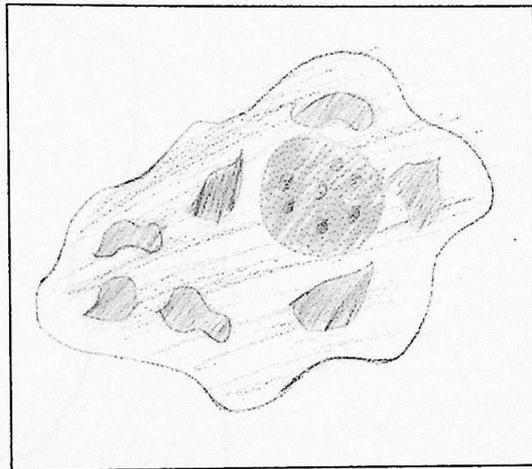


FIGURA 62

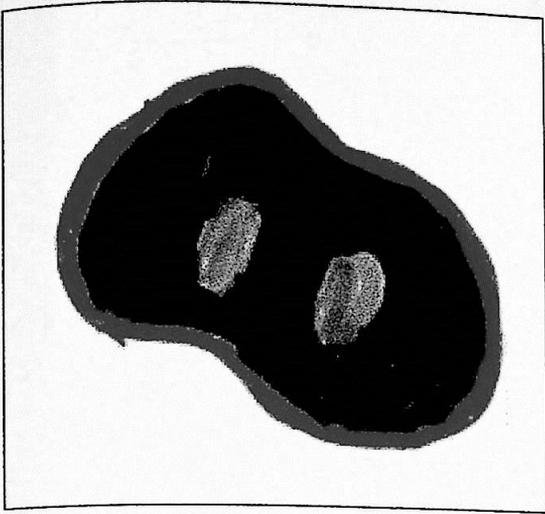


FIGURA 63

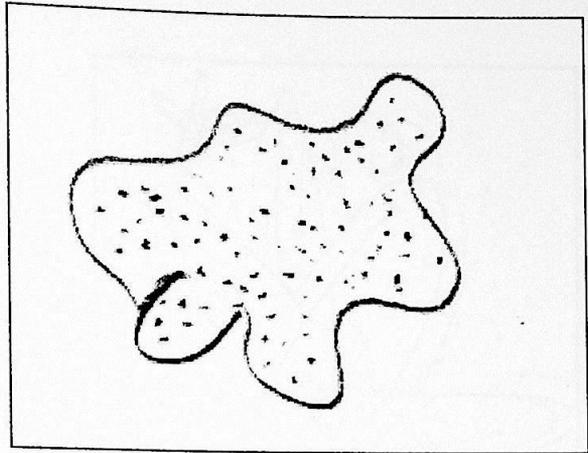


FIGURA 64

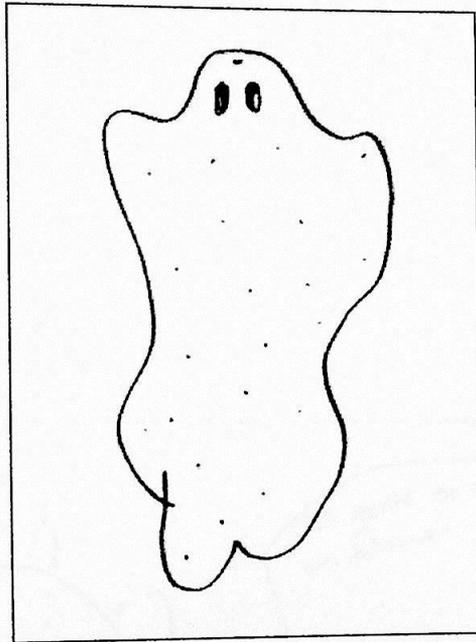


FIGURA 65

Categoria 4. Átomo

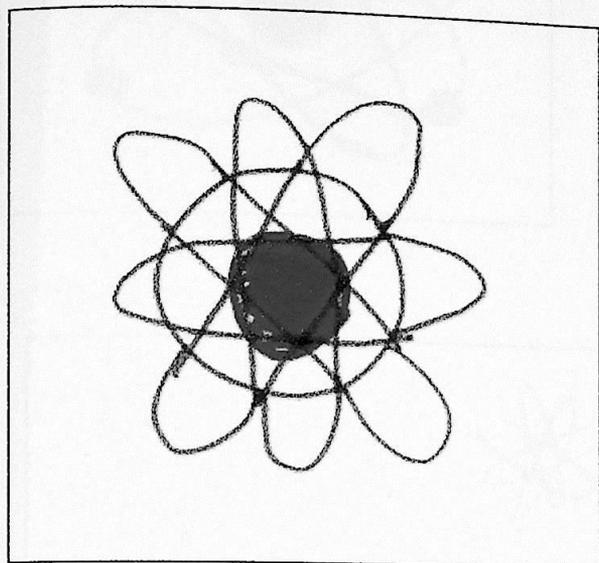


FIGURA 66

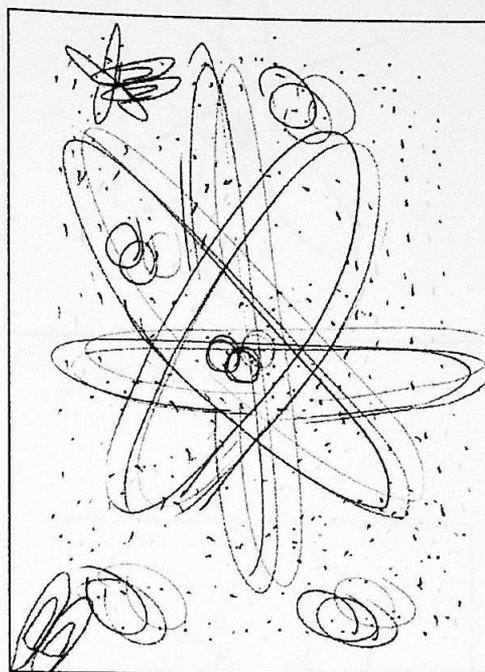


FIGURA 67

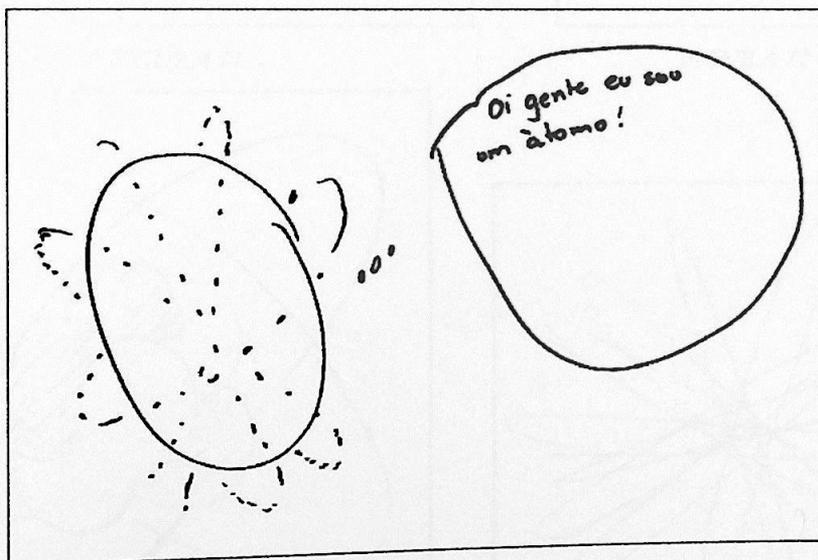


FIGURA 68

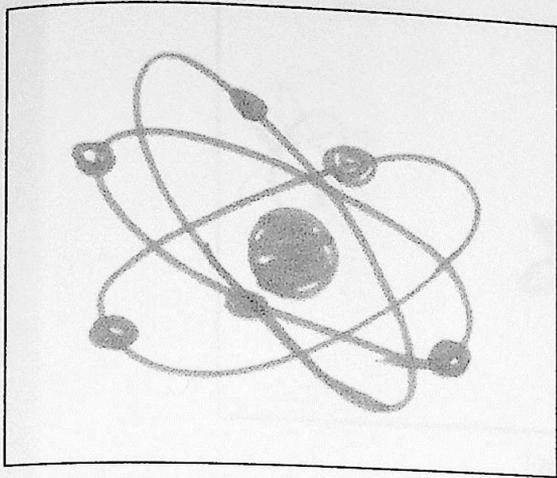


FIGURA 69

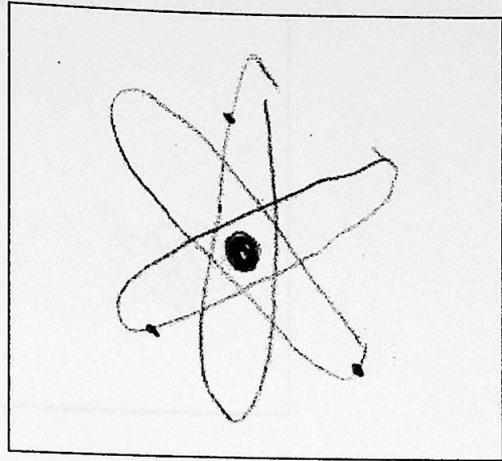


FIGURA 70

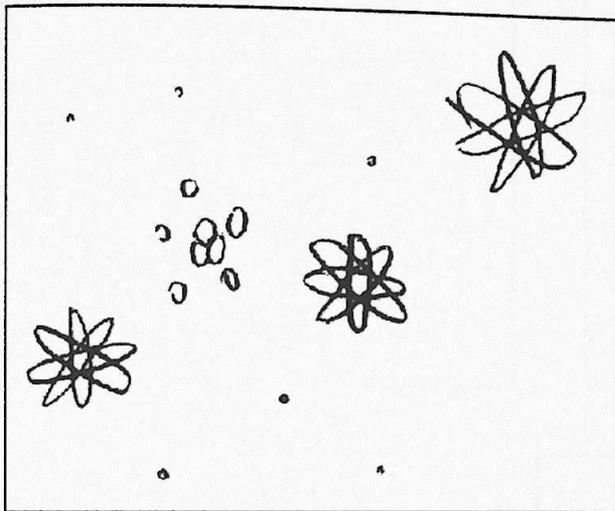


FIGURA 71

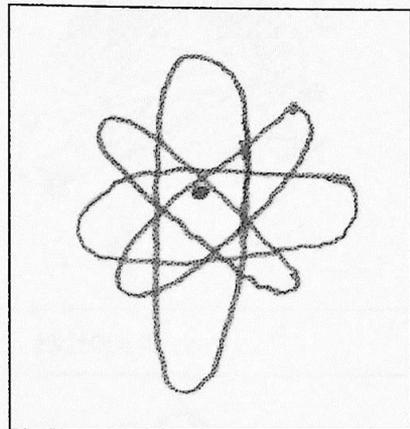


FIGURA 72

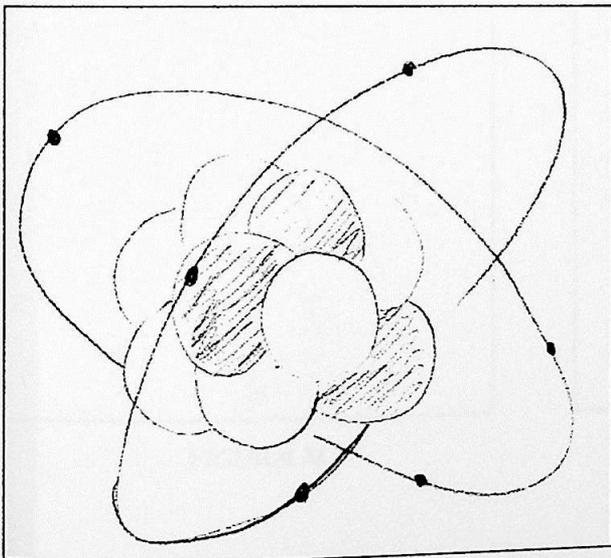


FIGURA 73

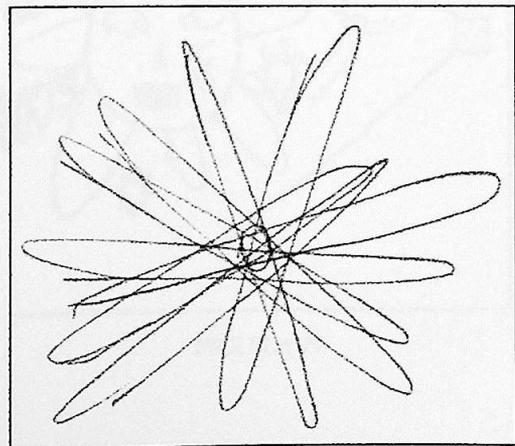


FIGURA 74

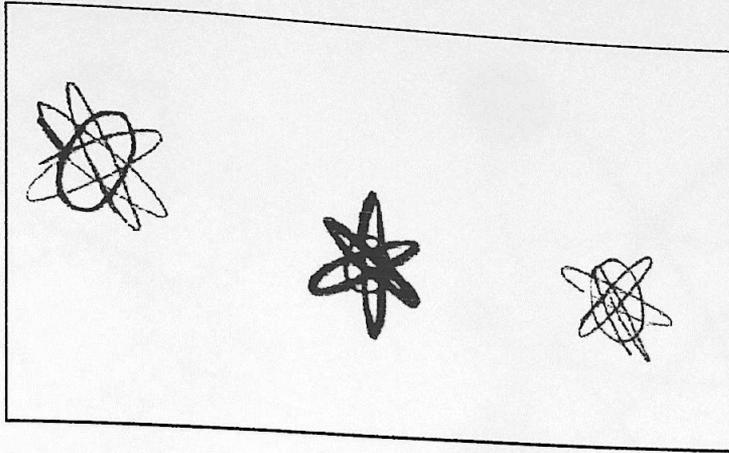


FIGURA 75

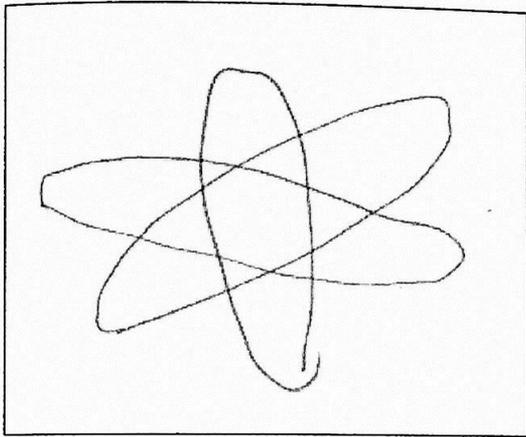


FIGURA 76

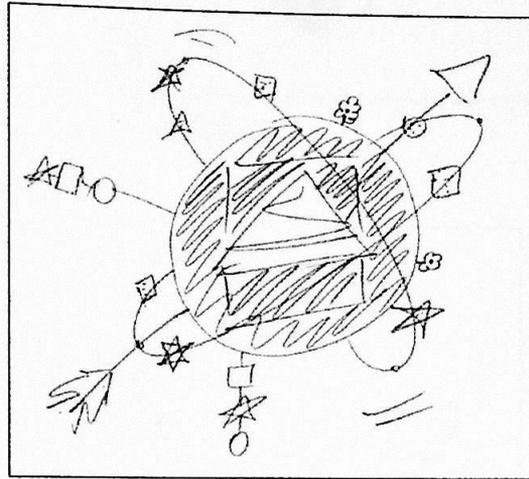


FIGURA 77

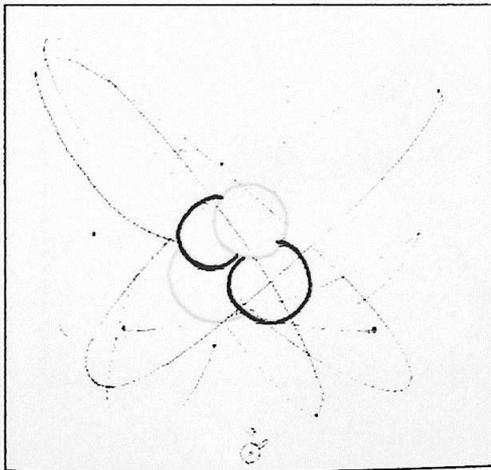


FIGURA 78

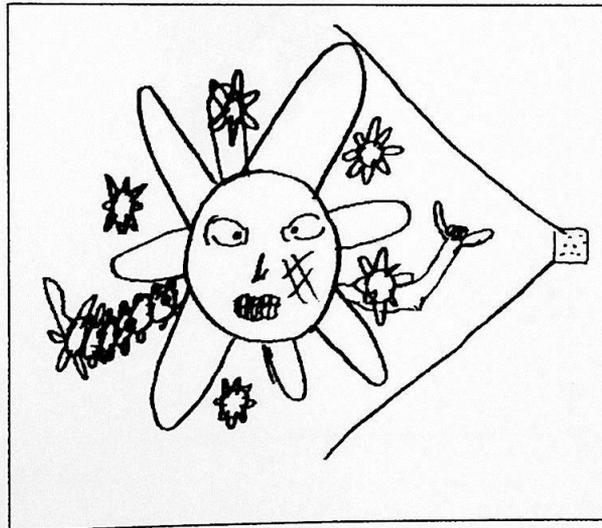


FIGURA 79

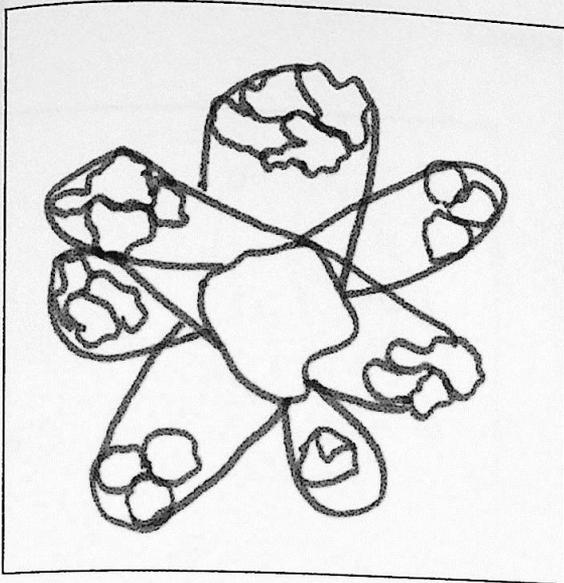


FIGURA 80

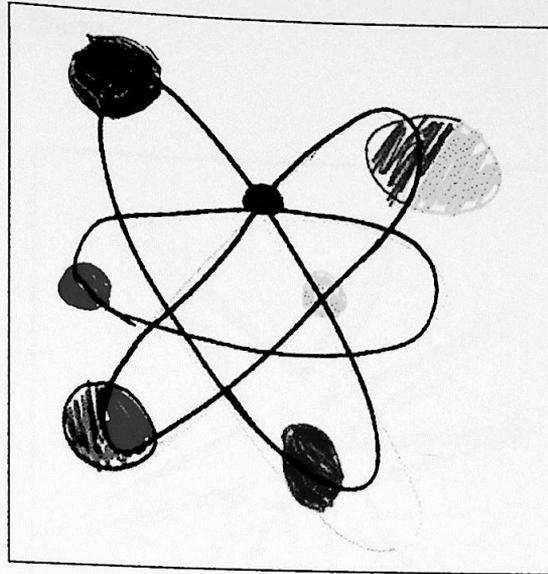


FIGURA 81

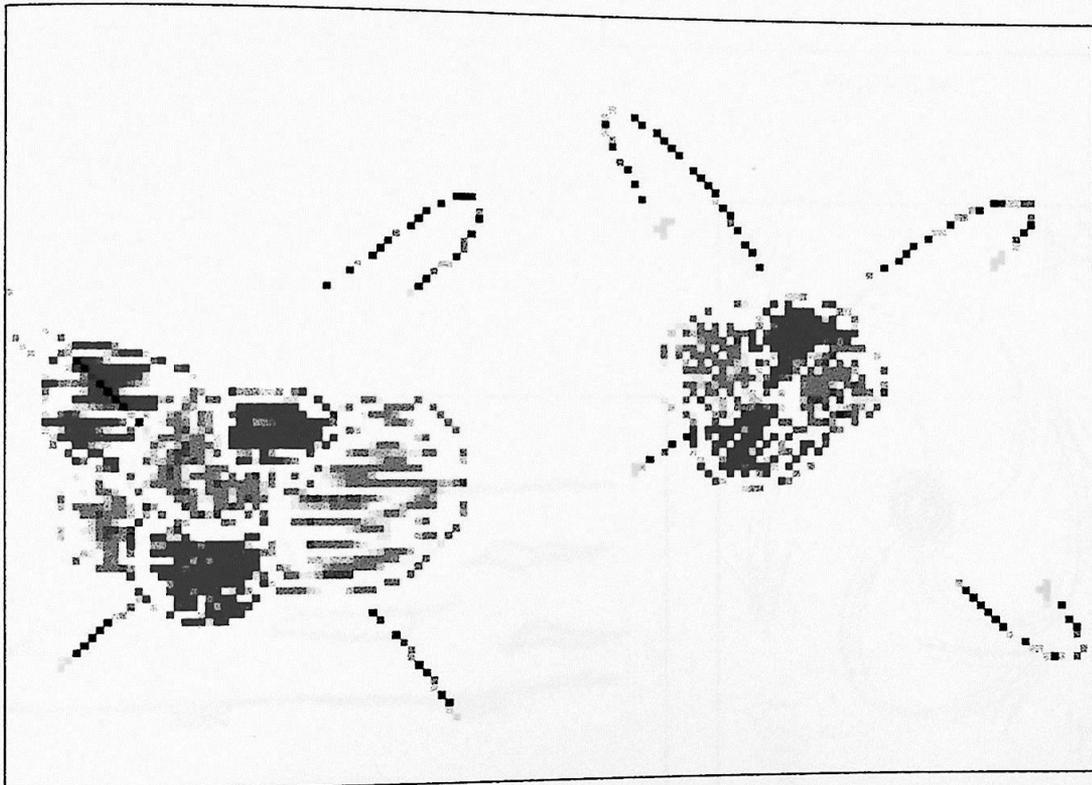


FIGURA 82

Categoria 5. Outros

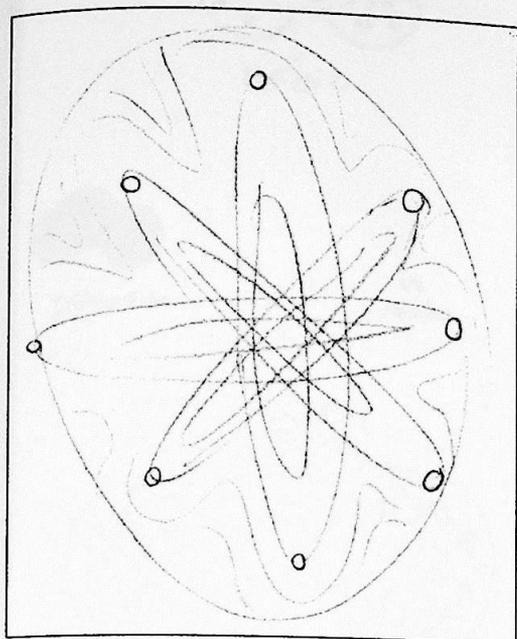


FIGURA 83

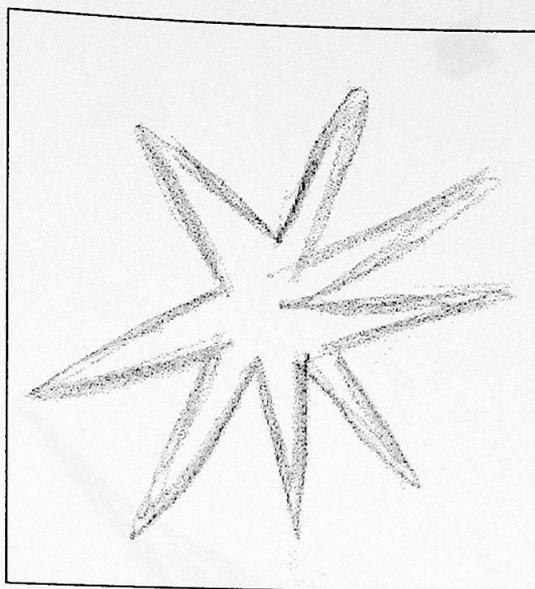


FIGURA 84

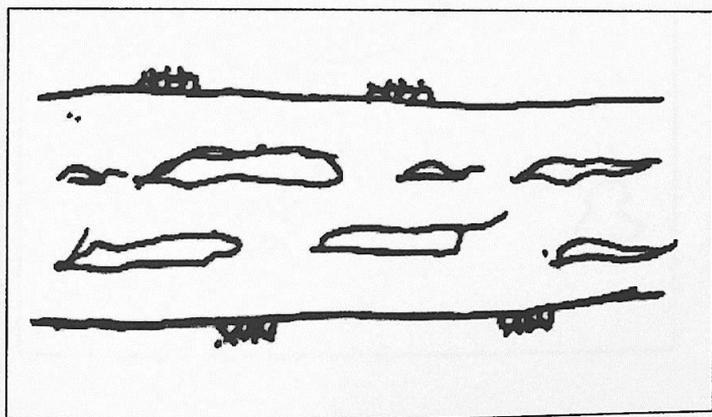


FIGURA 85

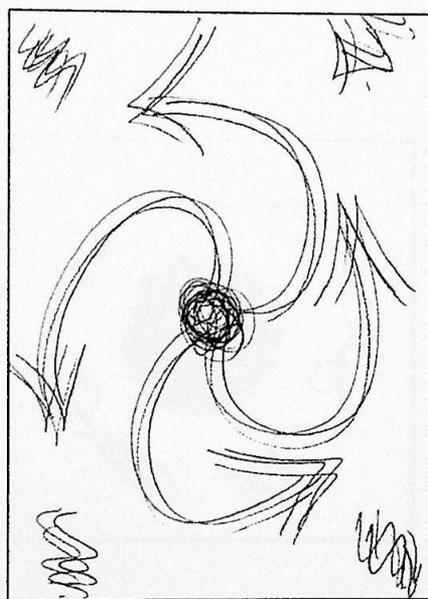


FIGURA 86

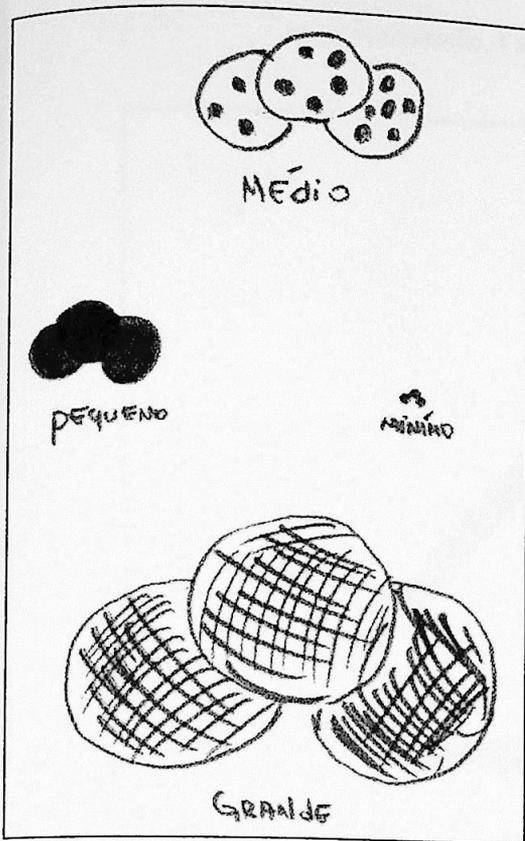


FIGURA 87

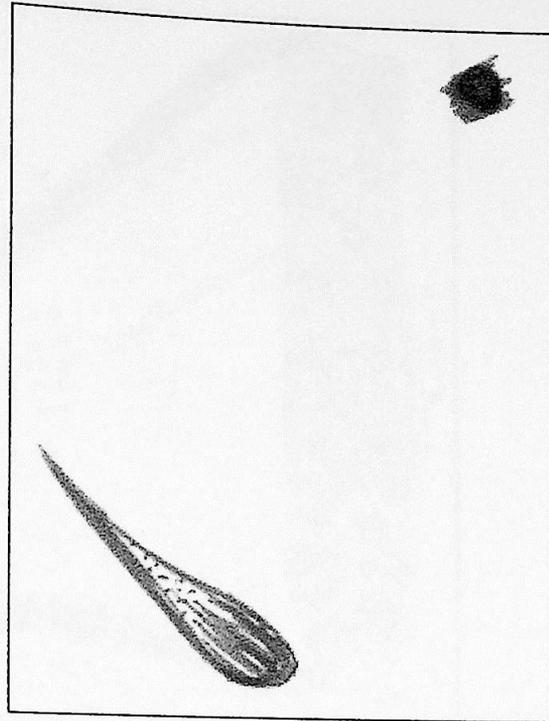


FIGURA 88

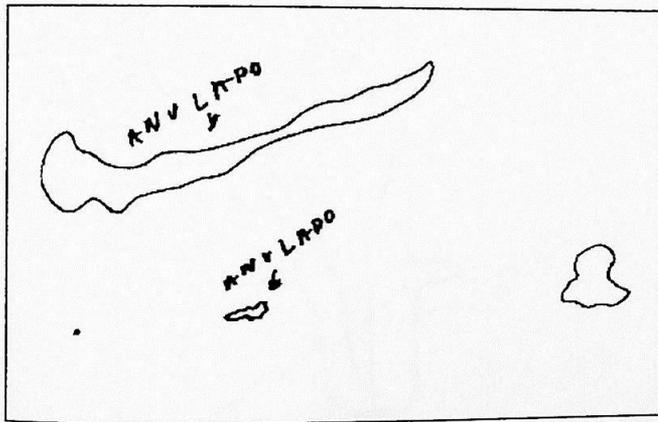


FIGURA 89

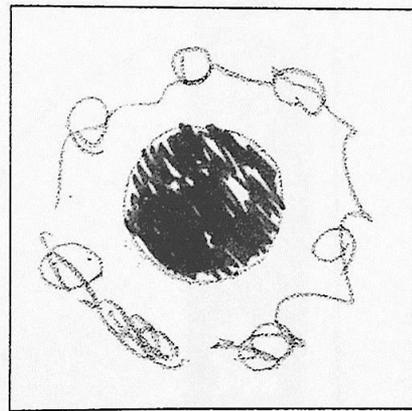


FIGURA 90

Resultado. Desenhos de corrente elétrica

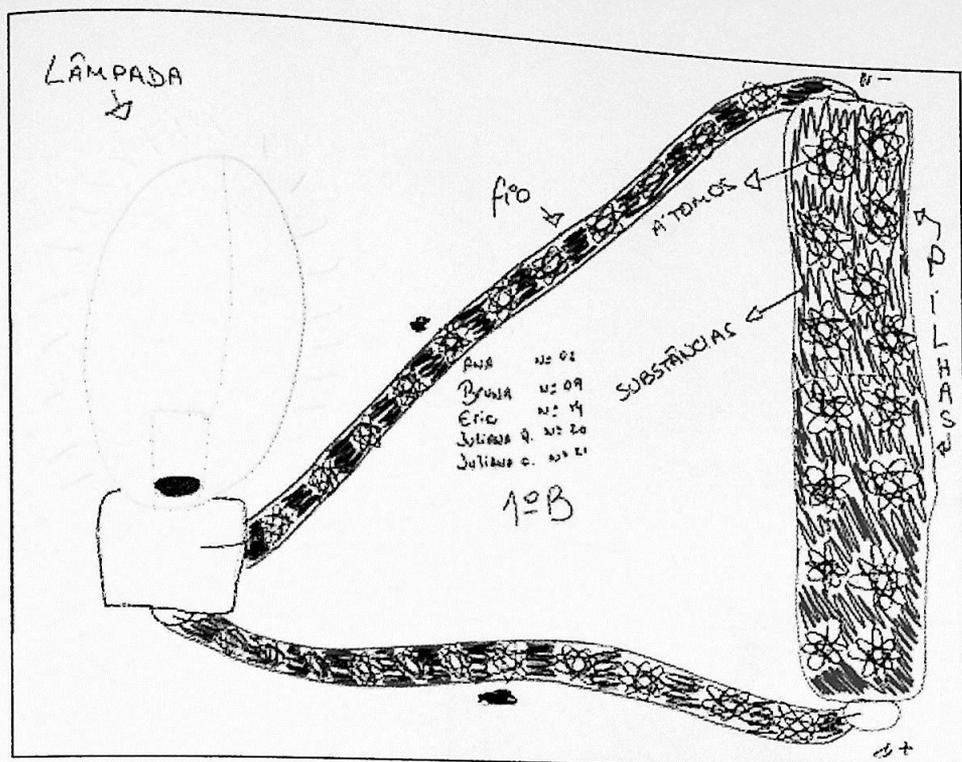


FIGURA 91

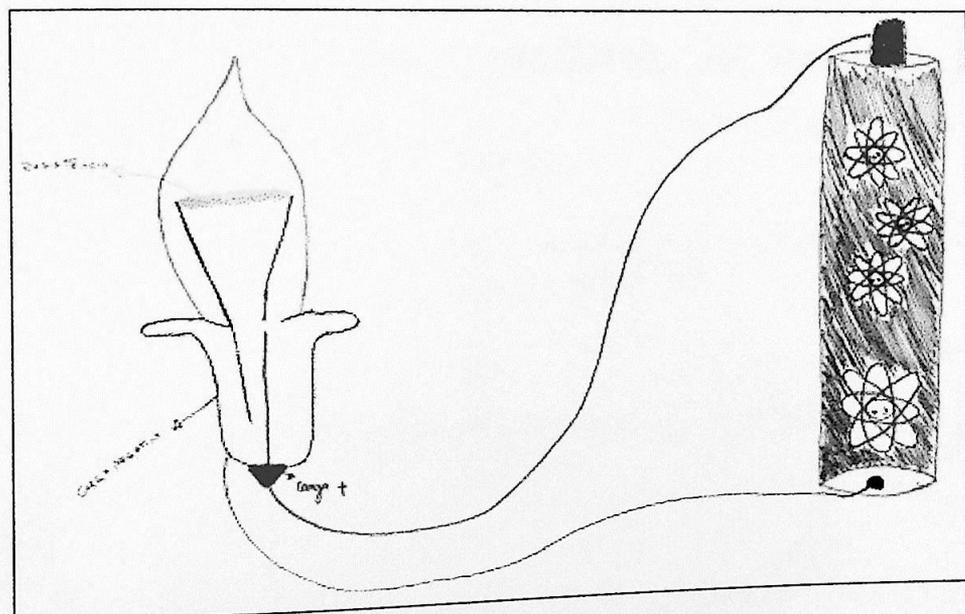


FIGURA 92

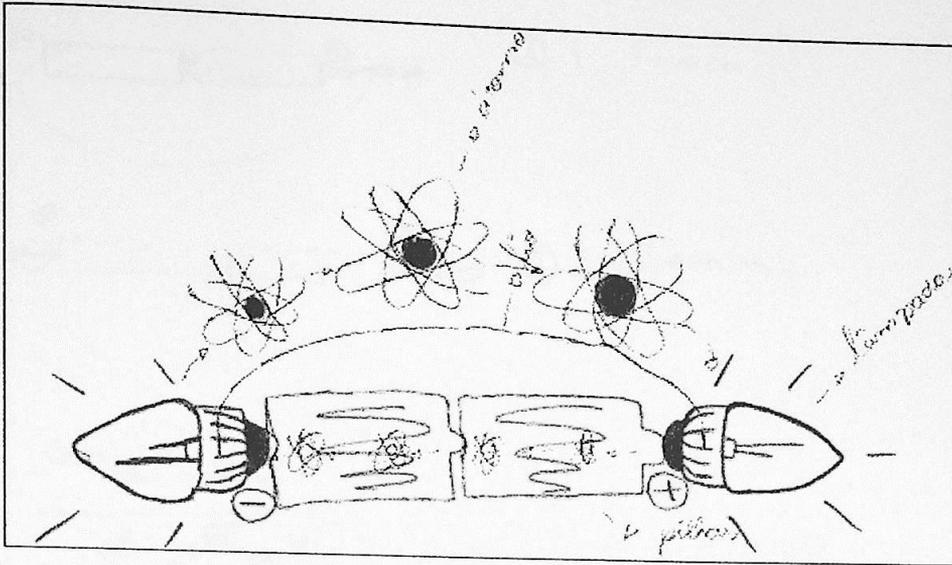


FIGURA 93

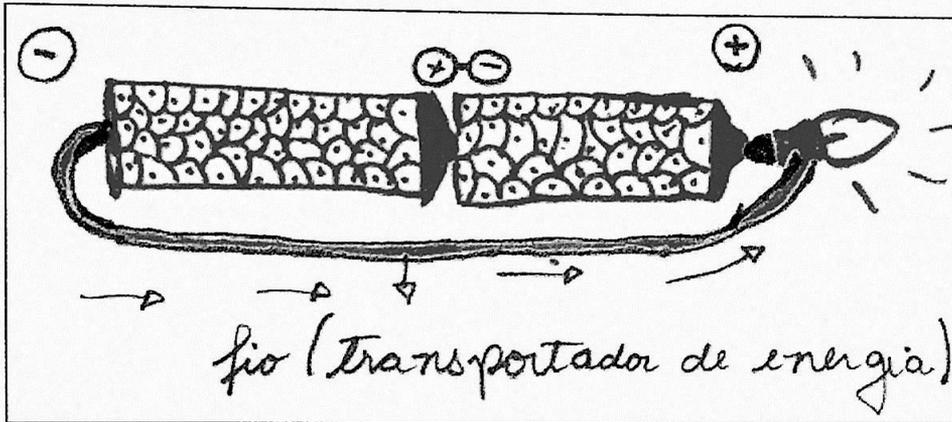


FIGURA 94

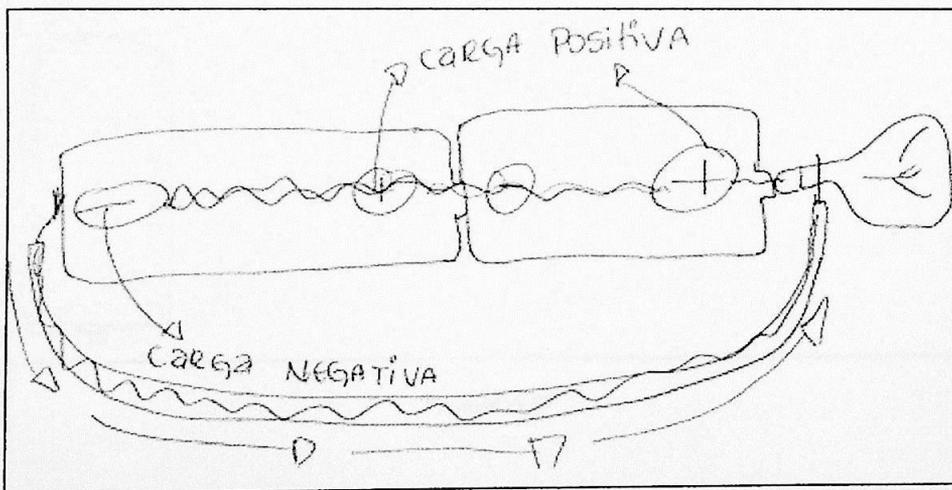


FIGURA 95

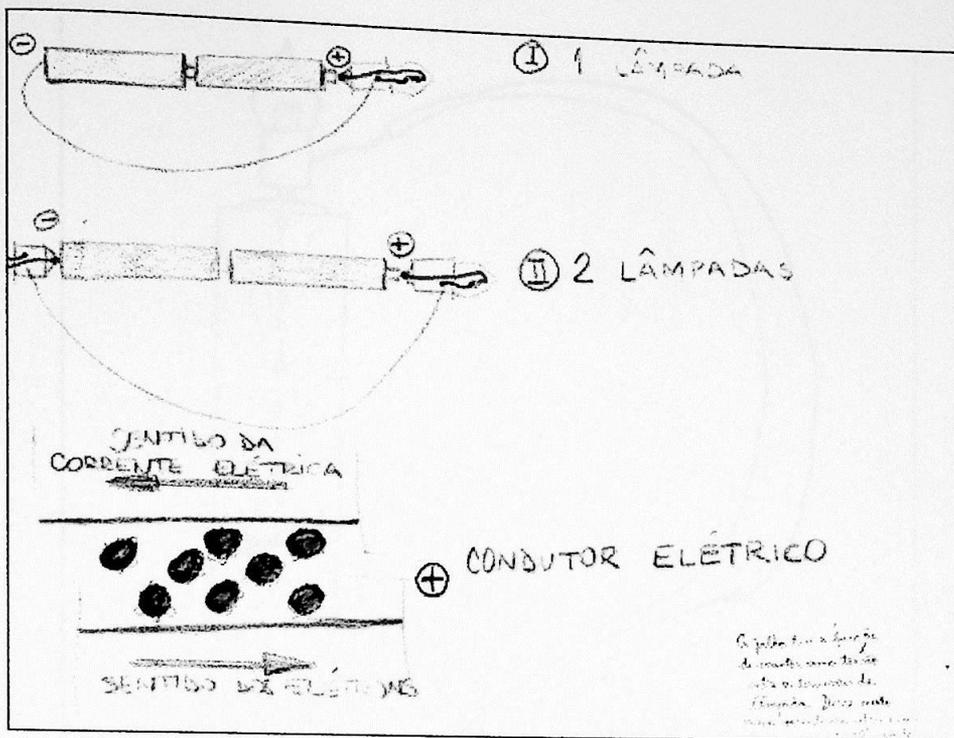


FIGURA 96

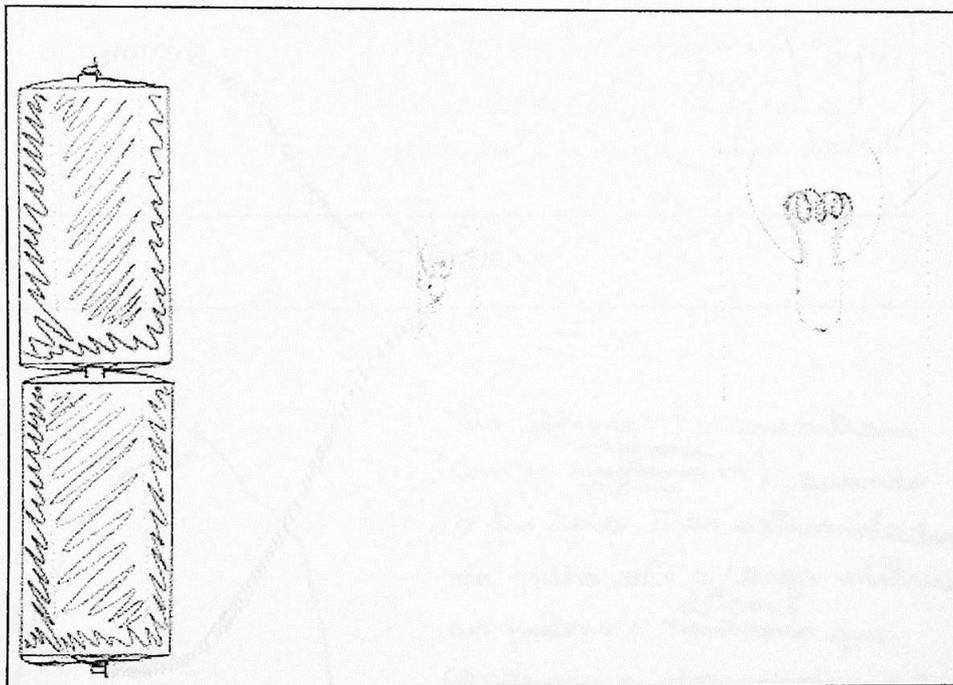


FIGURA 97

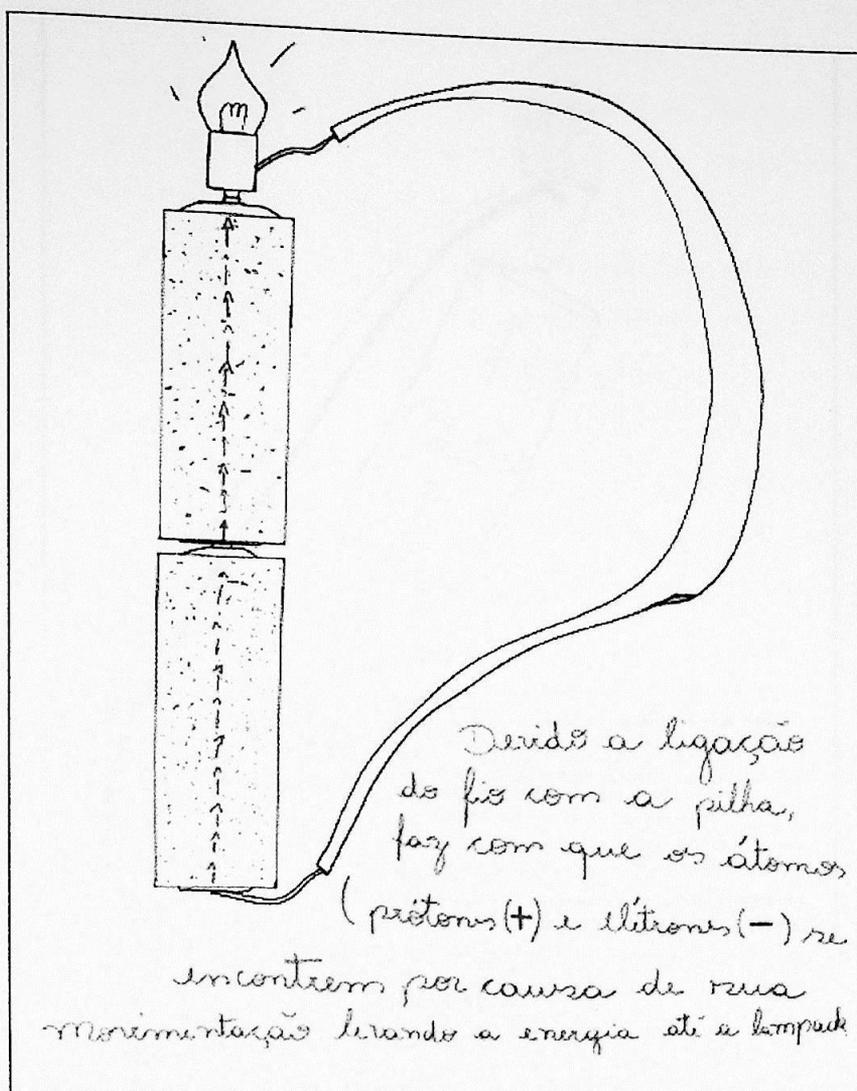


FIGURA 98

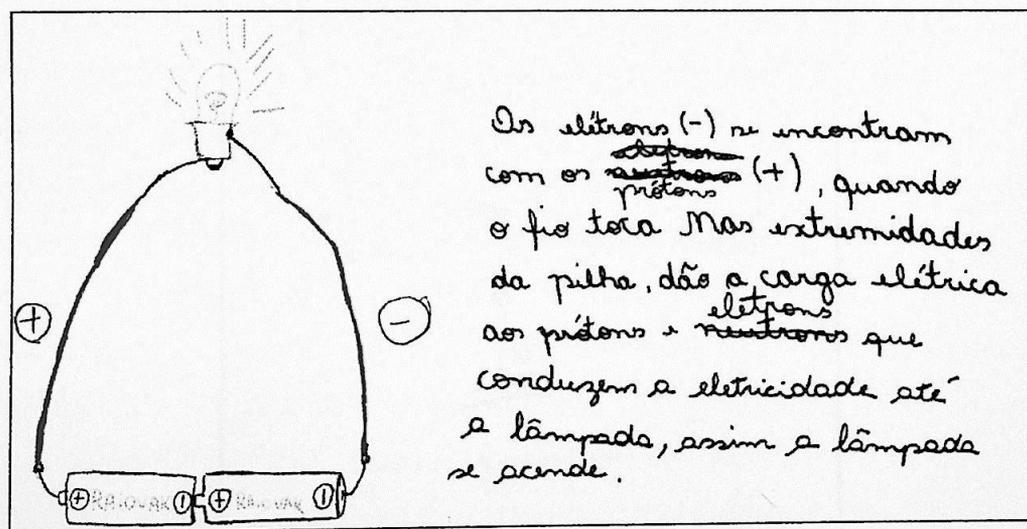


FIGURA 99

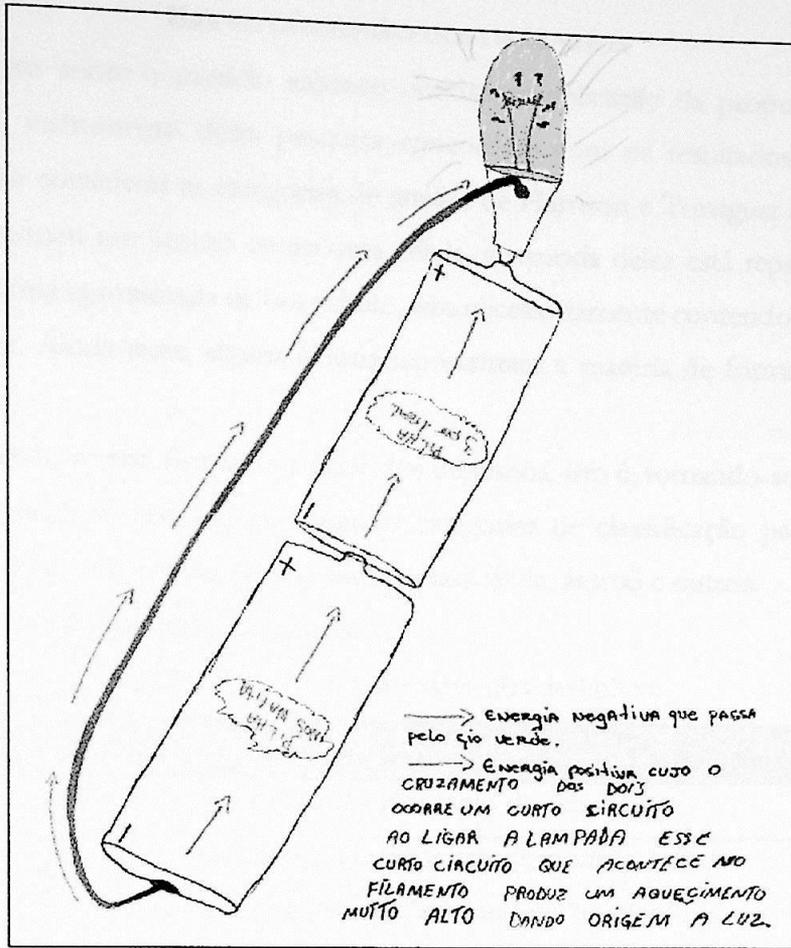


FIGURA 100

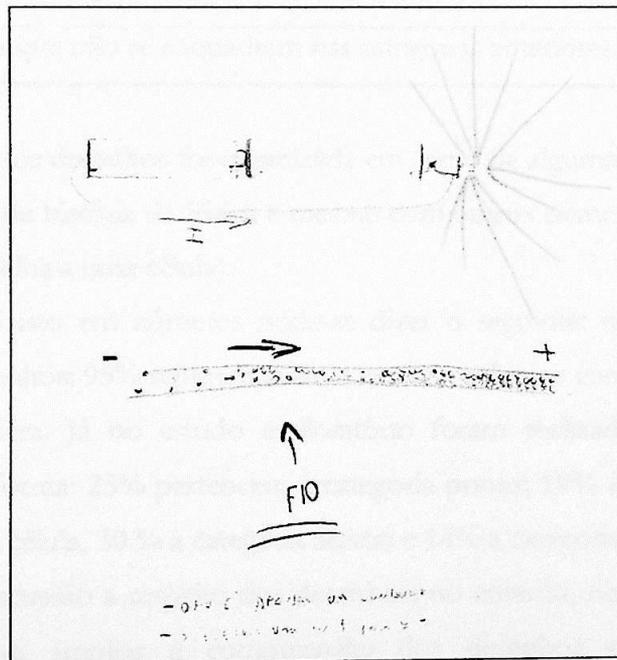


FIGURA 101

BREVE DISCUSSÃO DOS DESENHOS

As imagens sobre o modelo atômico obtidas na aplicação da proposta de trabalho elaborada como instrumento desta pesquisa concordam com os resultados das pesquisas, principalmente ao considerar as categorias de análise de Harrison e Treatgust (1996)²⁶. Alguns desenhos representam um átomo como uma célula, a maioria deles está representado como uma esfera ou forma aproximada de um círculo, não necessariamente contendo cargas ao redor e em seu interior. Ainda mais, alguns alunos representam a matéria de forma contínua, sem vazios interiores.

Continuando-se esta forma de análise dos desenhos, isto é, tomando-se somente o que está desenhado, pode-se elaborar as seguintes categorias de classificação para os desenhos (figuras número 39 a 105): ponto, pudim com passas, célula, átomo e outros.

Um quadro sintetiza estas categorias.

QUADRO 4 – classificação dos desenhos:

Categorias	Elementos de Destaque	Incidência
Ponto	Círculos ou esferas, agrupamento de pontos	25%
Pudim com passas ³	Círculo com “coisas” em seu interior: traços, pontos, esferas menores, presença da palavra “elétron” ou “núcleo”.	19%
Célula ²⁷	Formas com aspecto de amebas, círculo preenchido.	12%
Átomo	Representação núcleo-eletrosfera.	30%
Outros	Formas que não se enquadram nas categorias anteriores.	14%

A classificação dos desenhos foi organizada em torno de algumas propostas de átomos apresentados ao longo da história da Física e mesmo com outros elementos da ciência (o caso do átomo que se assemelha a uma célula).

Transformando isto em números pode-se dizer o seguinte: no estudo exploratório foram obtidos 250 desenhos; 95% representaram o modelo atômico como o modelo de átomo com núcleo e eletrosfera. Já no estudo exploratório foram realizados 57 desenhos e se dividiram da seguinte forma: 25% pertencem à categoria ponto; 19% à categoria pudim com passas, 12% à categoria célula, 30% à categoria átomo e 14% a categoria outros. Esta forma de análise não esgota a discussão a respeito dos desenhos; no entanto, necessita-se do apoio do referencial teórico para ampliar a compreensão dos desenhos e de seu significado.

²⁶ Ver quadro 2 na página 42

²⁷ Ver anexo sobre os modelos de átomo nos livros

VI. ANÁLISE DOS DADOS

O recorte feito na proposição teórica de Bachelard considera a epistemologia e a poética como duas formas de se interpretar o mesmo objeto em questão: o conhecimento. Para atingir este objetivo, Bachelard desenvolve toda sua reflexão filosófica considerando a epistemologia do conhecimento científico, isto é, uma reflexão sobre a natureza, a forma e a estruturação deste conhecimento e a poética da imaginação, uma descrição sobre os componentes da imaginação: as formas e as “substâncias”, as forças e as interações responsáveis por sua elaboração. No entanto, ainda que exista uma separação bastante significativa entre as duas abordagens, as colocações do autor ao longo dos seus escritos evidenciam muitas junções entre as duas formas de pensamento e descortina um pensamento filosófico com elementos, colocações e aberturas tanto do racional como do poético.

Isto será percebido em **A Psicanálise do Fogo**, livro no qual o objeto de estudo são os diversos elementos psicanalíticos relacionados com o conhecimento objetivo e empírico - *“um exemplo desta psicanálise especial que julgamos útil na base de todos os estudos objetivos. É a ilustração das teses gerais defendidas num livro recente sobre a formação do espírito científico”*.²⁸

Uma interpretação possível ao se justapor duas obras de Bachelard: **A Formação do Espírito Científico** (obra diurna – epistemológica) e **A Psicanálise do Fogo** (obra noturna – poética) ajuda a cercar ainda mais o problema do objeto de análise dos estudos bachelardianos.

O primeiro livro em questão faz uma descrição detalhada das diversas etapas até se atingir uma alma verdadeiramente científica, descrevendo os obstáculos e procurando identificar exemplos ao longo da história da ciência. Em nenhum momento há uma preocupação com a forma de superação ou mesmo com a justificativa da existência destes obstáculos. Esta tarefa será realizada na **Psicanálise do Fogo** ao definir as motivações da busca de uma alma científica. Para isto, os conceitos psicanalíticos serão o principal ponto de apoio, ao mesmo tempo em que são revistos, tornando-se mais leves e dinâmicos.

Adiante em **A Água e os Sonhos** Bachelard afirma que - *“Já escrevemos um livro inteiro para tentar separar as condições do devaneio e as condições do pensamento. Agora nossa tarefa é inversa: queremos mostrar como os sonhos se associam aos conhecimentos, queremos mostrar que o trabalho de combinação que a imaginação material realiza entre os quatro elementos fundamentais”*²⁹ - este trecho

²⁸ p. 7 - BACHELARD, G. - **A Psicanálise do Fogo**

²⁹ p.99 - BACHELARD, G - **A Água e os Sonhos**

reforça ainda mais a interpretação colocada de que os aspectos diurnos e noturnos são faces do mesmo objeto – o conhecimento – abordado de duas formas diferentes ao longo da construção da obra filosófica.

O primeiro dado relevante para esta análise é a postura dos alunos durante as atividades realizadas. Em nenhum momento houve a colocação dos alunos perguntando: “Para que serve isto? Qual o objetivo desta discussão?” Ao contrário, todos se mostraram atentos e participativos nas três situações de pesquisa realizadas. Isto foi percebido pelo envolvimento dos alunos ao realizarem as tarefas propostas, na discussão entre eles, na apresentação dos resultados e inclusive perguntando posteriormente o que foi feito “daquele trabalho que a gente fez todos juntos”. Os alunos reivindicavam o retorno do pesquisador com respostas aos problemas propostos. As atitudes dos alunos se contrapunham à freqüente afirmação de que não há interesse em aprender e a escola atualmente é mais um espaço de convívio social do que de aprendizado.

Bachelard utiliza a metáfora do fogo para pensar nas motivações do desejo de uma alma científica, interpretando estas tendências com o nome de complexo de Prometeu, uma impulsão que leva as pessoas a quererem saber tanto quanto os pais ou os mestres. “O complexo de Prometeu é o complexo de Édipo da vida intelectual”.³⁰ Ou seja, o desejo de saber faz parte do ser, e mais especificamente, faz parte dos alunos na escola. Numa esfera primordial, se vai à escola para se satisfazer este desejo de conhecimento e necessidade de superação das figuras familiares; na convivência escolar a família é substituída pelo professor que possui o conhecimento desejado pelo aluno.

A preocupação da pesquisa neste momento foi documentar esta atitude dos alunos em vez de se ater às falas relacionadas ao conteúdo específico; isto é, havia uma situação de sala de aula em que a elaboração do conhecimento científico estava acontecendo e isto era perceptível todo o tempo, mas, junto com estes dados indicativos de obstáculos epistemológicos, havia também uma manifestação dos alunos tão importante quanto as perguntas sobre o conteúdo; foi real a necessidade de pensar sobre as questões propostas e obter respostas com significados que foram muito além do cumprir tarefas escolares de forma burocrática. Aconteceu, ao mesmo tempo, um desejo de superação entre as teorias apresentadas no grupo de alunos e um desejo de saber tanto quanto o pesquisador ou o professor. Esta espécie de contrato inicial desenvolvido entre os participantes foi fundamental para envolver os alunos na tarefa proposta e obter os resultados apresentados. Todo o trabalho se desenvolveu permeado por este acordo

³⁰ p.19 – BACHELARD, G. – **A Psicanálise do Fogo**

motivado por desejos comuns de todos: ouvir e ser ouvido; ter espaço para especular e debater, questionar, discordar verdadeiramente.

As imagens têm meios próprios de discussão e análise – a arte, a semiótica e a psicologia são alguns do saberes que teorizam sobre as representações visuais. Contar a história das imagens, contextualizar em uma dada época, discutir as correntes de pensamento existentes, os significados declarados e ocultos, as convenções, os símbolos, os signos, as interpretações pessoais e sociais, as imagens dinâmicas, os ritmos, as transposições, a associação com a palavra escrita e falada, com os sons, com os outros quatro sentidos – estas seriam apenas algumas das possibilidades de se teorizar as imagens.

Os artigos apresentados descartam qualquer destas abordagens para tomá-las da forma mais pragmática possível: um acessório da palavra, complementando as respostas, ou como uma inferência de um modelo mais ou menos semelhante às figuras existentes nos livros.

Retomando-se os questionamentos realizados nos artigos, tem-se que De Posada Aparício (1993) apresenta “desenhos típicos” sem explicar se a caracterização do típico ocorre por ser o que se esperava como resposta dos alunos ou porque apresenta semelhanças com as descrições e ilustrações dos livros ou mesmo com modelos existentes na história da Ciência.

Em Harrison e Treatgust (1996) é realizada uma entrevista perguntado-se pela estrutura atômica de um bloco de ferro e em determinado momento, solicita-se que o aluno desenhe o átomo e o descreva verbalmente – a imagem como fonte de inspiração à palavra.

Em Harrison e Treatgust (2000) os desenhos de átomo realizado pelo aluno permanece quase sem modificações durante o ano letivo, mas o conceito da ligação covalente é representado de várias formas a partir das metáforas e modelos discutidos na aula. A pergunta inevitável é: por que isto não se deu também com o modelo atômico? Os autores reconhecem um certo engessamento neste conceito mas não discutem as hipóteses disto acontecer. A idéia de ligação como modelo e representação ficou bastante claro para o aluno, mas por que isto não pôde ser realizado à mesma medida para o conceito de átomo? Será que a justificativa de que não houve uma instrução adequada é suficiente?

A partir da teoria de Bachelard procura-se dar um significado para a imagem de uma forma que leve em consideração alguma de suas especificidades, particularmente seu processo integrador entre a percepção do real e a elaboração pela imaginação. A partir do átomo e do que ele procura explicar, os alunos criam diversas representações (desenhos) utilizando o que foi definido como devaneio, uma percepção expressa em torno de um conceito fundindo o

que se acredita (o que se imagina) e o que está posto, representado pelo professor e, mais amplamente, pela instituição escolar. O devaneio articula este diálogo entre o universo pessoal interior e os dados de uma realidade posta e plural. Neste processo, há um pensamento acontecendo mediado por diversos patamares cognitivos: história de vida, crenças, valores, conhecimentos anteriores, sentimentos, sensações, emoções e um conjunto de dados “exteriores” que não podem ser ignorados, o real.

No processo de escolarização esta mudança pode ser compreendida como a transformação da imaginação (representação pessoal) em imagens, que, para Bachelard são as representações dos saberes instituídos e documentados. Os dados obtidos apontam nesta direção ao serem interpretados da seguinte forma: os desenhos de átomo das figuras 34 a 90 foram realizados por alunos do último ano do ensino fundamental e dois anos iniciais do Ensino Médio e apresentam uma diversidade de representações muito maior que os desenhos do estudo exploratório (alunos do último ano do Ensino Médio – figuras 1 a 7), que tiveram sua matriz básica em torno do conceito de núcleo-eletrosfera; estes desenhos estão muito mais próximos do que se apresenta nos livros didáticos e de divulgação científica como átomo. Ou seja, os alunos do último ano do Ensino Médio possuíam um conceito de átomo comum e de acordo com as representações didáticas nos livros que foi incorporado ao longo do processo escolar vivido, sem nenhuma ação específica que o imponha para superar a imagem pessoal do átomo, somente a prática escolar como um todo.

De acordo com estes dados estão também os desenhos dos professores (figuras 16 a 19) que preservam a divisão núcleo-eletrosfera e trazem outros elementos significativos da discussão sobre o modelo de átomo, como a superação da proposta de que o elétron é um ponto e órbita ao redor do núcleo.

O professor tem o duplo papel de servir como modelo e como obstáculo; o conhecimento que o professor possui é objeto de desejo do aluno, levando a um processo de identificação; por isto, de uma certa maneira, os desenhos de ambos têm semelhanças profundas. Sem levar ao extremo de estabelecer uma relação do tipo causa e efeito, os desenhos dos alunos são influenciados pelo desenho dos professores, que representam o “discurso oficial” da ciência na escola. No entanto, a todo aluno cabe a vontade de questionar o professor e descobrir o limite de seu conhecimento para buscar a superação. Os desenhos de átomo trazem isto claramente dadas sua estrutura básica de núcleo e eletrosfera. Os desenhos de corrente elétrica, todavia, mostram caminhos bastante diferentes.

A corrente elétrica, a eletricidade não tem uma forma definida mas todos sabem empiricamente o que é. As pessoas lidam todo o tempo com tomadas, fios, conexões, disjuntores, fusíveis, lâmpadas, chuveiros. Qualquer explicação dada que além de “conectar o preto com preto e o vermelho com vermelho” parece estar complicando um objeto extremamente simples e acessível. É uma leitura imediata da realidade. Ao se pensar o que está ocorrendo no interior dos fios acontece um devaneio puro e dinâmico se articulando à imaginação. Percebe-se que os acontecimentos elétricos são explicados pela corrente elétrica sem que se obtenha o fenômeno puro, mas somente seus efeitos; há emissão de luz pelo filamento de tungstênio da lâmpada, o aquecimento, mas é impossível observar a corrente *per se* ao longo do circuito. Existe o valor numérico obtido com um instrumento de medida para este fim, o amperímetro. No entanto, longe de dar à corrente uma imagem, esta medida contribui com o processo de devaneio, pois evidencia a ocorrência de um fenômeno que inclusive pode ser medido, mas não observado diretamente. É um efeito percebido de diversas formas sem ser visualizado em nenhum momento. Além disto, associou-se a esta descrição o conceito de átomo como um elemento necessário à explicação/visualização do conceito de corrente elétrica.

Os desenhos de corrente elétrica apresentados superaram quaisquer expectativas iniciais desta pesquisa. Esperava-se uma confirmação dos resultados descritos na literatura dos modelos alternativos de corrente. De uma certa maneira isto está presente, mas os desenhos apresentam muito mais dados que uma descrição mais detalhada das concepções alternativas de corrente elétrica. As pesquisas analisadas focalizavam separadamente as concepções sobre a estrutura da matéria e a descrição das formas de pensar a corrente elétrica. Nesta pesquisa pediu-se aos alunos especificamente que relacionassem o conceito de átomo com suas idéias de corrente elétrica, acrescentando dados novos às concepções de corrente documentadas.

A teoria física prevê uma relação entre o conceito de átomo e o conceito de corrente elétrica (o anexo 2 traz a definição do livro de Física); a proposta teórica é que uma das partículas que compõem o átomo, o elétron, sofre ação externa na forma de um campo elétrico e propaga este efeito ao longo do meio condutor. No entanto, existe uma distância bastante grande entre esta explicação e o fato das pessoas lidarem no seu cotidiano com a eletricidade. Não é preciso saber a teoria física para lidar com os fenômenos elétricos, inclusive observando a necessidade de dois fios, a presença de pólos positivo e negativo nas pilhas e baterias, as descargas elétricas, os trovões e os choques. Todos estes dados do dia-a-dia induzem uma concepção sobre a eletricidade bastante diversa da teoria científica.

Um dado significativo sobre este tema vem do estudo exploratório; embora os alunos tenham o conceito de átomo baseados na idéia de núcleo-eletrosfera, este átomo conhecido desaparece ao lidar com a corrente elétrica dando lugar às novas propostas (figuras 8 a 15 e quadro 1). O átomo, na corrente elétrica passa a ser um grande núcleo com pontos ao redor (figura 8), deixa de existir para ser uma oscilação com cargas negativas ao redor (figura 9), é um círculo com traços em seu interior e cargas negativas ao redor (figura 11), são esferas com esferas em volta (figura 12), esferas em movimento (figura 13), esferas negativas empurrando esferas positivas (figura 14) ou partículas dispersas ao longo do fio, sem estrutura definida (figura 15).

O segundo grupo de desenhos de corrente elétrica considerados utiliza a representação atômica núcleo-eletrosfera (figuras 91, 92 e 93), pontos em movimento (figuras 96, 98, 101 e 102), “ondas” contínuas (figuras 95 e 97), a célula (figura 98) ou ignora a visão microscópica do problema no desenho, descrevendo sua concepção em palavras (figura 99). Estas representações apareceram nos desenhos de átomo somente e são aplicadas para explicar o conceito de corrente elétrica.

Foram estas considerações que permearam a atividade de desenho da corrente elétrica procurando integrar o conceito de átomo. A comparação dos desenhos de corrente elétrica do estudo exploratório (figuras 8 a 15) com os desenhos de corrente elétrica do estudo posterior (figuras 91 a 102) indica que no estudo exploratório acontece mais que uma junção de conceitos e sim uma interpretação da idéia de átomo incorporando aspectos fundamentais ao conceito de corrente elétrica, como a idéia de movimento; o átomo tem que fazer parte da estrutura explicativa de corrente elétrica, ainda que perdendo sua forma original. Por outro lado, os desenhos do estudo posterior não incorporam o modelo de átomo de fora tão central, preservando a forma original do átomo individual funcionando a partir de características conhecidas da corrente elétrica, como movimento e pólos positivos e negativos.

Com relação ao desenho dos professores de corrente elétrica tem-se uma franca aproximação às ilustrações dos livros didáticos. A discussão sobre a estrutura do átomo é abandonada e se coloca os modelos mais comuns existentes.

VII. CONCLUSÕES E DESDOBRAMENTOS

Este trabalho nasceu muito mais de uma inquietação, de um desconforto com o meu papel de professora do que uma indagação de natureza científica, acadêmica.

Este sentimento pode ser resumido da seguinte forma: por que o ensino de Física costuma ser tão árduo e árido para professores e alunos no Ensino Médio ao mesmo tempo em que exerce um papel extremamente sedutor fora dos bancos escolares? Ou seja, o “trauma” da Física só passa quando as pessoas começam a ler os livros de divulgação científica, as notícias das descobertas da ciência, e associar idéias ousadas ao conhecimento físico, tais como as descrições da Relatividade e da Mecânica Quântica. Será que a aula de Física escolar não poderia ser menos torturante e incorporar parte desta sedução?

O levantamento bibliográfico sobre as pesquisas de corrente elétrica evidenciavam ainda mais a aridez da Física ao reduzir as inúmeras possibilidades de abordagem dos problemas a um conjunto semelhante de questões e respostas. Foi necessário constatar isto para se buscar um caminho diferente de trabalho: o desenho. Este instrumento de coleta de dados englobava ainda o pressuposto metodológico de que todos os participantes tinham contribuições significativas para a pesquisa, de forma a reproduzir uma situação similar à sala de aula, onde o professor tem que interagir com todos os alunos e não só com alguns “eleitos”. O resultado imediato desta postura foi a participação efetiva de todos, tanto na produção dos desenhos como no debate e na interação com os outros participantes. Com isto, de maneira irremediável e sem que fosse previsto, apareceram pessoas com histórias para contar, com teorias elaboradas sobre o átomo e a corrente elétrica, no lugar de alunos dispersos e pouco interessados.

Este contexto definiu dois objetivos: a contextualização da produção e utilização de imagens na aula de Física e, a partir da elaboração e teorização deste instrumento, discutir as concepções de modelo atômico e corrente elétrica do aluno.

Se, no primeiro momento os desenhos funcionaram como evidências do objeto considerado, a epistemologia e a poética do imaginário bachelardiano deslindaram os caminhos explicativos reinterpretando alguns conceitos da psicanálise e aplicando-os a situações específicas. Dentro deste contexto, e não por acaso, o primeiro dado da análise realizada são as atitudes dos alunos, ou seja, o envolvimento, participação e postura dos alunos na escola e perante o conhecimento.

Fala-se muito em atitude dos alunos sem especificar o que é esta atitude; muitas vezes significa um bom ou um mau comportamento dentro de um padrão preestabelecido. Para superar esta leitura dicotomizada, é necessário interpretar toda ação de um aluno como uma manifestação do desejo de conhecimento, seja ela qual for, pois faz parte de um desejo maior de tornar-se humano. Esta ação individual prescinde de regras e traz manifestações que estão além da consciência imediata, mas sim da expressão de uma necessidade posta e urgente. Com esta interpretação se coloca claramente qual o papel da escola, um dos locais para se tomar posse do que é entendido como cultura e para entrar em um processo imprescindível de transformação: o aprender.

O envolvimento dos alunos dá uma pista de como superar a aparente apatia que os alunos apresentam na escola; com alguns instrumentos simples e com aberturas suficientes é possível realizar ações pedagógicas efetivas, isto é, que levem o aluno a adotar uma postura ativa e crítica em sala de aula e não somente passiva, funcionando como um depositário de conhecimento. Isto se dá principalmente por trazer à aula o que eles são e pensam, ao se tratar os alunos como seres pensantes; além disso, o apelo à imaginação permite aberturas inéditas.

A partir da compreensão da escola e das atitudes dos alunos define-se o papel do professor como um representante do saber científico e institucionalizado; mas ainda assim, incompleto e falho, elaborado não só por instrumentos racionais mas sujeito à considerações de outra natureza. Os desenhos de alunos e professores presentes neste trabalho serviu para evidenciar muito mais semelhanças do que diferenças profundas e inconciliáveis entre os dois. O entendimento desta situação, desta identificação entre os envolvidos perante o conhecimento pode tornar o trabalho em sala de aula muito mais rico, prazeroso e leve pois existe um ponto comum para a discussão e, a partir dele, inicia-se uma negociação de saberes e proposições em vez de se ter uma atitude impositiva e dogmática da ciência.

O reconhecimento e a identificação da imaginação e do devaneio em sala de aula fornecem os argumentos teóricos e práticos para o desenvolvimento deste trabalho. Mais do que isto, trazem a possibilidade de incorporar de forma mais sistemática o sujeito com toda sua bagagem de forma real e não somente como um discurso metodológico. Também colocam de forma irrevogável a necessidade de se levar em conta que a ciência é uma elaboração humana, portanto sujeita a incertezas, imprecisões e falhas, além da influência de nossas partes ligadas à alma e não só ao pensamento racional.

Os resultados obtidos dos desenhos de átomo podem ser interpretados como de acordo com o obstáculo epistemológico do “horror ao vácuo”, isto é a dificuldade de se aceitar que a matéria é formada por partículas distantes entre si e que não existe nada entre elas, relatados em pesquisas sobre a estrutura da matéria. Ao mesmo tempo, estes resultados sugerem que uma forma de superação do obstáculo epistemológico acontece no processo de escolarização sem que seja necessária uma intervenção específica neste sentido. Isto é, ao longo do Ensino Médio, as disciplinas ligadas à Ciência (Física, Química e Biologia) assumem a existência do vazio como condição necessária à compreensão do conteúdo científico. Assim sendo, os alunos do estudo exploratório têm mais tempo de escolarização (estavam no último ano do Ensino Médio) que os alunos do estudo posterior e conviveram mais tempo com esta hipótese de lacunas na matéria, incorporando este dado profundamente às suas concepções; ou seja, se a matéria é descontínua, isto tem que fazer parte das representações. Para os alunos com menos tempo de escolarização o conceito de descontinuidade é conhecido intelectualmente, racionalmente, mas ainda não foi integrado de maneira a se refletir nas formas mais profundas de elaboração do conhecimento.

Além disto esta incorporação traduz uma entrada em uma cultura comum a um grupo, fazendo parte muito mais do senso comum do que da ciência especificamente. Isto pode explicar porque o desenho do átomo permanece de acordo com um padrão existente e parece enrijecer em um determinado momento no desenvolvimento intelectual do aluno. Ele atingiu um patamar comum aos participantes daquela cultura e este seria um elemento que induz muito mais uma rigidez que uma vontade de transformar. Precisamos de pontos de apoio em várias coisas e com certeza o modelo atômico é um deles para as pessoas se sentirem compartilhando um conhecimento científico.

Estes dados servem como um esboço para defender os três anos do Ensino Médio como uma necessidade real de aprendizado para a vida, portanto obrigatório a todos, e não só um direito adquirido por mérito acadêmico nos oito anos básicos de escolarização. Se estes oito anos iniciais garantem um acesso à leitura e à escrita de forma plena, estes três anos finais garantiriam uma espécie de alfabetização científica e tecnológica, tão necessária para compreender e deslindar o mundo em que vivemos. No entanto, necessita-se de um estudo mais sistematizado para elaborar os argumentos necessários para defender esta hipótese.

Dos esboços apresentados pelos alunos, os desenhos de célula demandam uma discussão a ser realizada a partir de um conjunto de artigos que apresenta este resultado em diversos momentos e da caracterização do obstáculo epistemológico animista descrito na proposição teórica.

Este trabalho não teve por objetivo discutir concepções de ensino e aprendizagem mas sim de fornecer elementos para se repensar esta estrutura de forma mais maleável e menos determinista, isto é, sem que se procure problemas e soluções, técnicas e abordagens, mas sim dados que permitam descrever e principalmente, incluir o ser humano em sua complexidade e riqueza. Rejeita-se uma aula sisuda, árida e cansativa, com todos os elementos de um racionalismo exacerbado e valoriza-se a aula leve, múltipla, permeada por erros “alegres” – que levam a uma incorporação profunda e verdadeira do conhecimento científico e de sua essência transformadora. Dentro desta proposta existe a necessidade de uma elaboração teórica de fôlego aproximando o pensamento de Bachelard com a reflexão pedagógica.

Uma abordagem bastante indicada seria a teoria sócio-interacionista de Vygotsky. A aproximação destes autores permitiria diversos desdobramentos: desde o ponto de vista metodológico até uma discussão mais ampla sobre qual é o papel do ensino da ciência na escola sob um ponto de vista sócio-cultural; não só como Mortimer realizou ao perceber a construção coletiva de significados racionais, mas também se estendendo para os outros aspectos cognitivos individuais menos objetivos, menos explícitos tais como o desejo e a apreciação do conhecimento, os mitos subjacentes, o significado da subjetividade e a sua contribuição para o aprendizado.

As questões metodológicas discutidas por Vygotsky para a pesquisa em psicologia são válidas também para o questionamento da aplicação de testes sobre conceitos espontâneos em Física, permitindo compreender melhor inclusive as visões de ensino e aprendizagem que estes trabalhos apresentam de forma implícita.

ANEXO 1:
AS FORMAS DE REPRESENTAÇÃO DE MOLÉCULAS E ÁTOMOS
UTILIZADOS PELA QUÍMICA

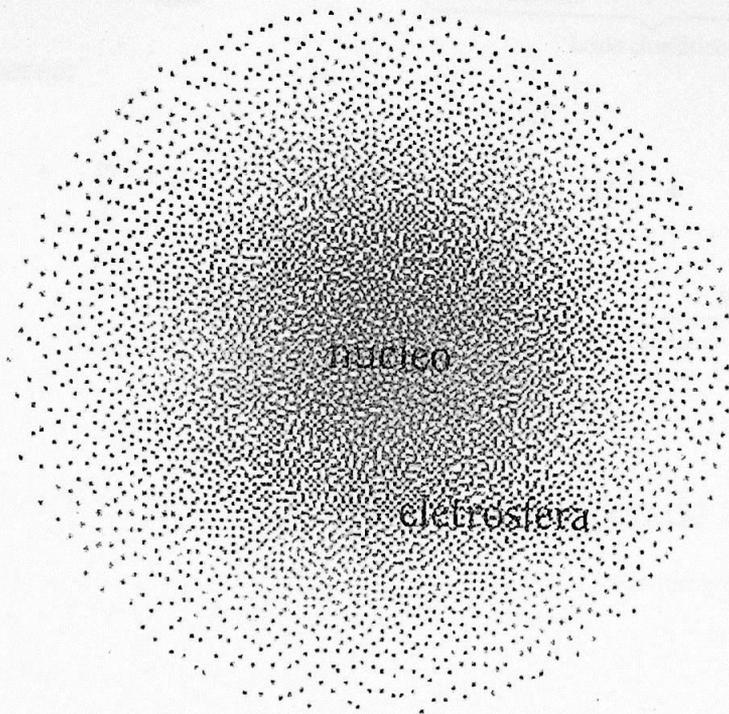


FIGURA 102 p.21 – Estrutura atômica básica para a Química

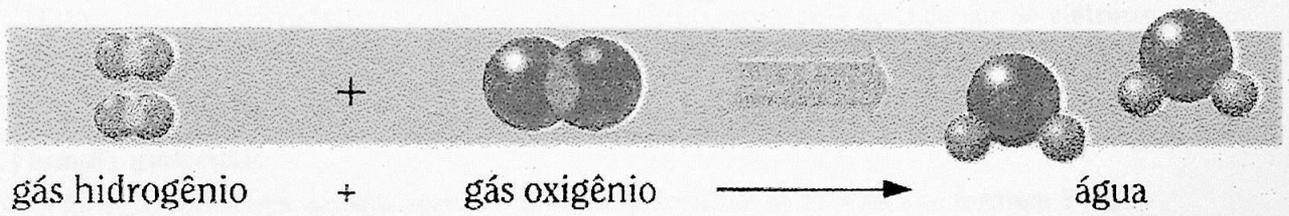


FIGURA 103 - p. 127 – reação química

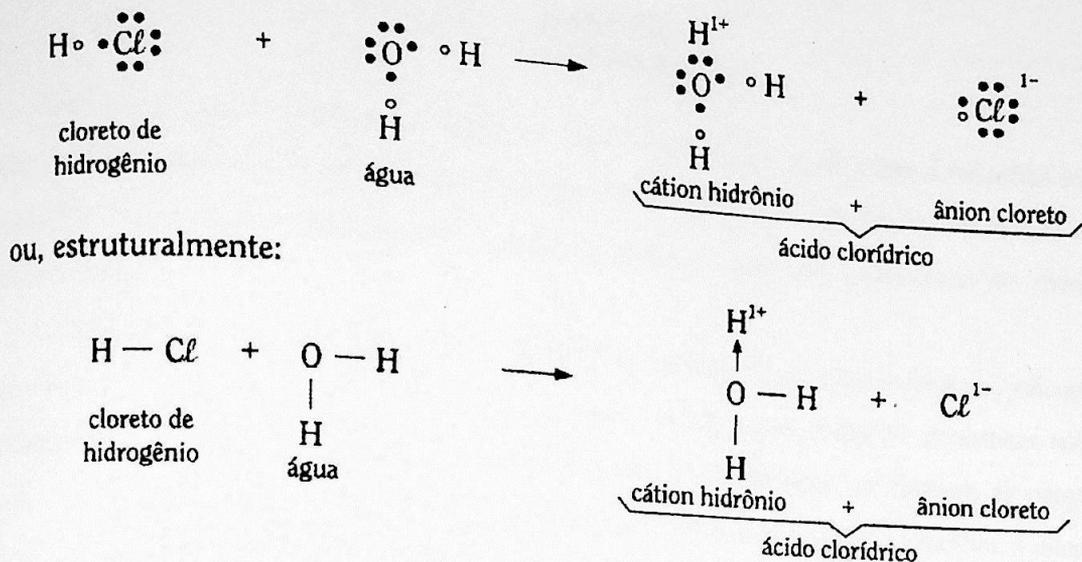


FIGURA 104 p.145 – reação química

Fórmulas que representam a formação de moléculas

Podemos representar a ligação covalente entre os átomos e a formação de moléculas através de 3 fórmulas diferentes: eletrônica, estrutural e molecular.

1. Fórmula eletrônica ou fórmula de Lewis

Representamos, ao redor do símbolo de cada átomo envolvido na ligação, todos os elétrons da última camada, colocando lado a lado os elétrons que estão sendo compartilhados.

Exemplos: $\text{H} \cdot \cdot \text{H}$ ou $\text{H} \cdot \cdot \text{H}$; $\text{H} \cdot \cdot \text{Cl} \cdot \cdot$ ou $\text{H} \cdot \cdot \text{Cl} \cdot \cdot$

2. Fórmula estrutural

Esta fórmula evidencia a estrutura da ligação. Nela, representa-se cada par de elétrons compartilhados por um traço.

Exemplos: $\text{H} - \text{H}$; $\text{H} - \text{Cl}$

3. Fórmula molecular

A fórmula molecular mostra apenas o tipo e a quantidade de átomos que formam 1 molécula. De um modo geral, é montada da seguinte maneira:

- ♦ escrevemos os símbolos dos átomos em ordem crescente de eletronegatividade (o menos eletronegativo primeiro);
- ♦ cada símbolo é seguido de um índice escrito à sua direita, indicando o número de átomos de cada elemento na molécula;
- ♦ o índice 1 não precisa ser escrito.

Exemplos: H_2 , HCl

FIGURA 105 p.83 – fórmulas que representam a formação de moléculas

ANEXO 2: OS LIVROS DE FÍSICA

Discute-se o que é átomo no contexto da Física a partir de diversas ilustrações existentes nos livros didáticos e de divulgação científica. O objetivo é ter um ponto de referência neste trabalho sobre como este conceito chega às pessoas que não pertencem ao campo dos especialistas.

O átomo é um modelo. Para Alves (1981), um modelo “*é um artefato construído pelo cientista*”³¹ que tem como instrumentos conceitos e permite simular o que deverá acontecer sob certas condições para fazer previsões e ajustes. As pesquisas científicas confirmam as proposições dos modelos; quando isto não ocorre, os cientistas procuram ajustar o modelo à situação ou constroem um novo modelo.

O conceito de átomo como se conhece hoje tem uma história longa e complexa, marcada por muitas evidências experimentais, muito trabalho árduo, interpretações diversas e vários pesquisadores. Optou-se por apresentar os modelos atômicos presentes nos livros didáticos e de divulgação científica por se tratar das obras que os alunos e professores têm acesso e, portanto, fazendo parte, em algum momento, do contexto de sala de aula.

Um pouco de história chegando até o começo do século com a chamada Física Moderna:

a) átomo de Dalton (1808): todas as formas de matéria eram redutíveis a um número finito de espécies atômicas e que poderia haver diferença de tamanho (massa) entre as partículas. Isto é, os átomos diferiam essencialmente em massa, não eram esferas iguais; o número deveria ser limitado e a combinação entre estes números seria constante.

Esta teoria foi confirmada imediatamente nos anos seguintes, ao se observarem que a relação quantidade de reagentes sempre permanecia constante em diversas reações químicas (por exemplo, o mercúrio com o enxofre).

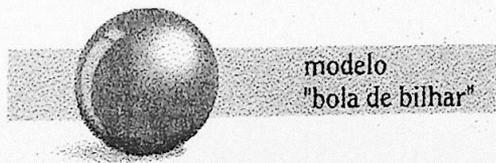


FIGURA 106 – ilustração do modelo de Dalton

³¹ p.59 - ALVES, R. – **Filosofia da Ciência: introdução ao jogo e suas regras** – S.Paulo – ed. Brasiliense -1981

b) o átomo de Thomson – “pudim com passas” (1902): existência de cargas negativas na matéria, percebidas somente em algumas situações particulares, os elétrons. Para que os corpos se apresentem neutros é necessário que haja algum tipo de compensação, as cargas positivas. Toda massa era elétrica em sua origem e que organizavam como as cascas de uma cebola; os espaços vazios eram, na realidade, positivos, em um modelo que ficou muito mais conhecido como pudim com passas.

A matéria podia ser dividida, rompia-se o átomo.

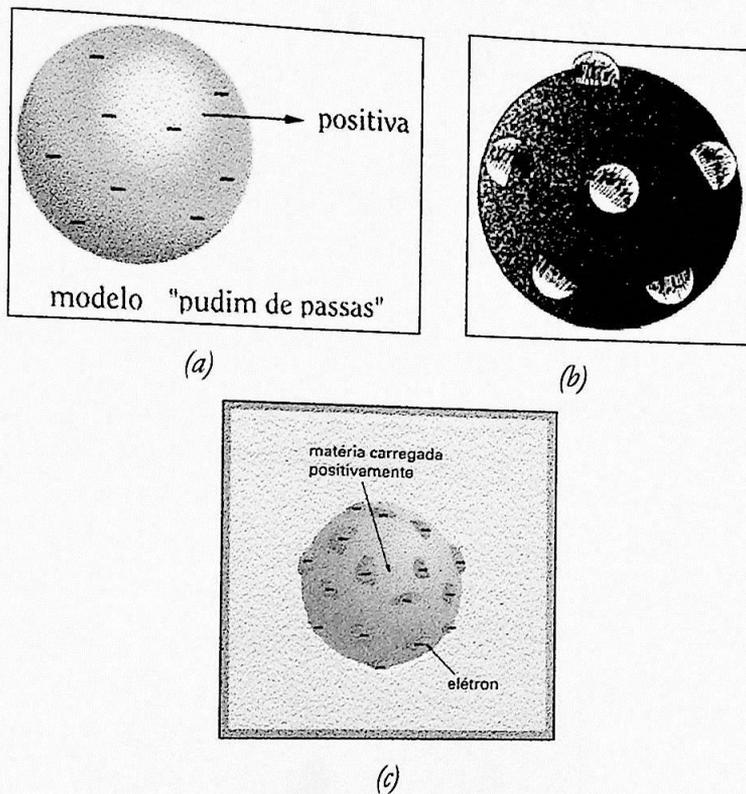


FIGURA 107 – Representações do modelo de Thomson

c) o átomo de Rutheford (1911): cargas positivas estavam concentradas numa região central, chamada de núcleo e os elétrons estariam ao seu redor girando em órbitas, numa clara associação com o modelo planetário.³²

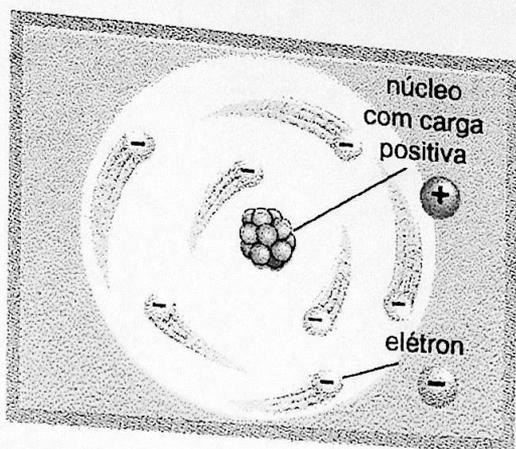
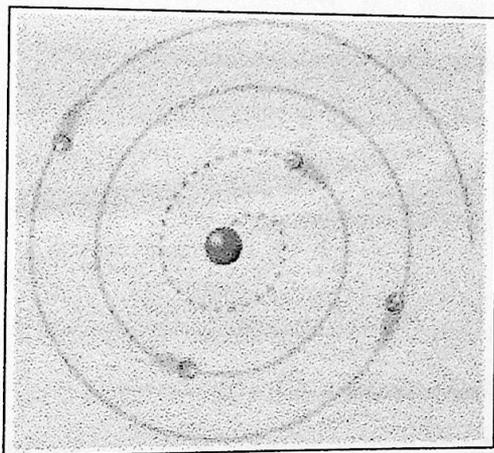


FIGURA 108 – modelo de Rutheford

d) átomo de Bohr (1915): os elétrons são confinados em órbitas estáveis onde não há perda de energia. Para mudar de órbita, era necessário ganhar ou perder quantidades definidas de energia, chamadas de fótons. As órbitas eram circulares.



(a)

³² p.90 – SERWAY, R. A. – Física 4 - Rio de Janeiro Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. –1992

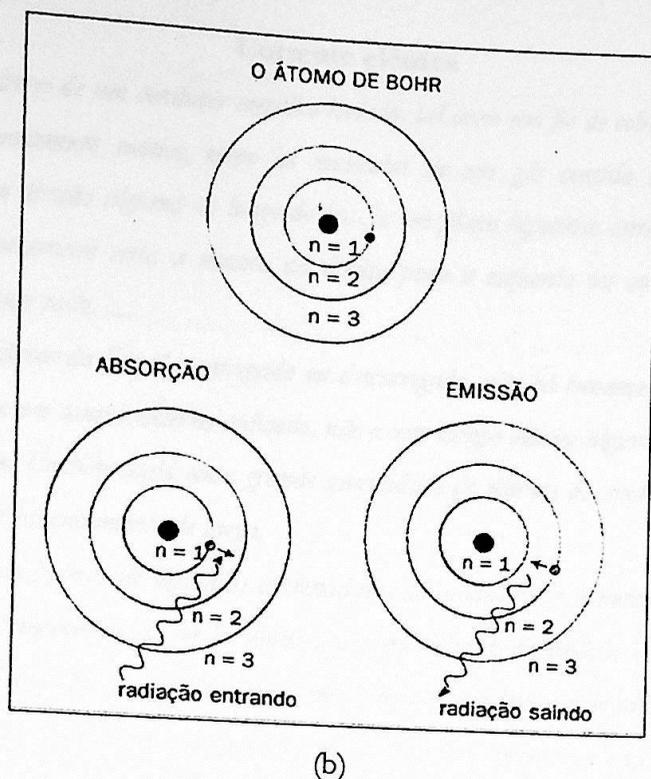


FIGURA 109

Estes modelos apresentados acima aparecem nos livros didáticos e de divulgação científica discutindo alguns fenômenos associados: eletrização, radioatividade, carga elétrica, eletromagnetismo e funcionam muito mais como uma ilustração, um diagrama sem maiores conseqüências, de forma que, muitas vezes, o texto aborda o assunto tratado de forma totalmente independente da ilustração. Além disto, não há nenhuma conexão entre a estrutura mostrada e a estrutura de sólidos, líquidos e gases.

Nos livros de Física, a história do átomo se encerra com Bohr. Os modelos e discussões posteriores são excluídos, assim como todo o restante da Física do século XX. Nos livros de Química alguns temas desta Física Contemporânea são apresentados rapidamente e resumidamente; em 10 páginas do livro consultado³³ se discute: os níveis e subníveis de energia na eletrosfera, idealizados a partir do átomo de Bohr; o conceito de orbital a partir do Princípio de Incerteza de Heisenberg; a noção de spin, a proposição da forma geométrica dos orbitais, os quatro números quânticos, o diagrama de Linus Pauling e camadas de valência em orbitais.

³³ p.32 a 42 - REIS, M. - **Química Integral** - volume único - Editora FTD - S.Paulo - 1993

Corrente elétrica

“ Os elétrons livres de um condutor metálico isolado, tal como um fio de cobre de um certo comprimento (Fig. 1a), estão em movimento caótico, como as moléculas de um gás contido num recipiente. Não têm deslocamento líquido em direção alguma ao longo do fio. Se um plano hipotético cortasse o fio, a frequência com que os elétrons o atravessariam seria a mesma da direita para a esquerda ou ao contrário; seu fluxo total através do plano seria, pois nulo.

Estando o condutor da Fig. 1a carregado ou descarregado, não há escoamento líquido de carga no seu interior. Na ausência de um campo externo aplicado, não existe campo elétrico algum no interior do condutor ou paralelo à sua superfície. Embora haja uma grande quantidade de elétrons de condução disponíveis, nenhuma força atua sobre eles nem há escoamento de carga.

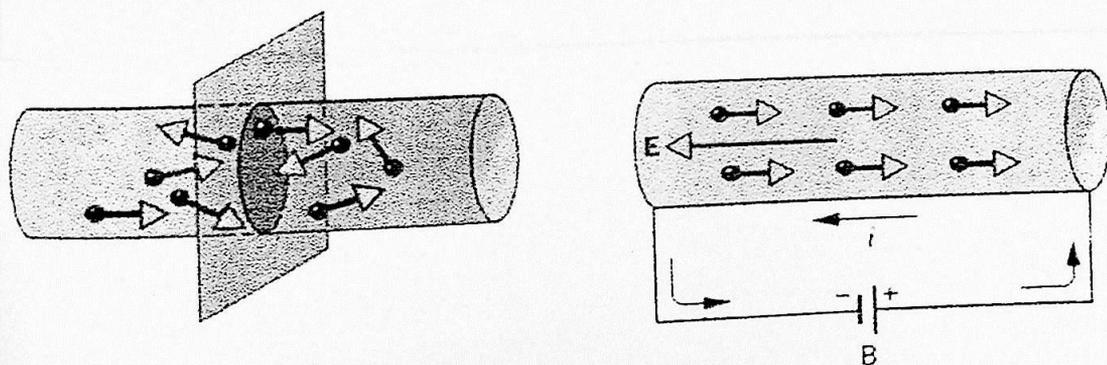
Na fig. 1b, uma bateria foi ligada às extremidades do condutor. Se a bateria mantiver uma diferença de potencial V e o comprimento do fio for L , então um campo elétrico de módulo V/L será criado dentro do condutor. Este campo elétrico E atuará sobre os elétrons, imprimindo-lhes um movimento resultante no sentido oposto a E . Se a bateria pudesse manter a diferença de potencial, então as cargas continuariam a circular indefinidamente.

Se uma carga líquida dq passa através de qualquer superfície num intervalo de tempo dt , dizemos que foi estabelecida uma corrente elétrica, onde

$$i = dq / dt$$

Para uma corrente em um fio, dq é a carga que passa através de uma seção transversal em um tempo dt .

Note que é necessário que exista o escoamento de uma carga resultante dq para que se estabeleça uma corrente. Na fig. 1a, um número igual de elétrons atravessa o plano em ambas as direções; embora possa haver um número considerável de elétrons passando através do plano, a corrente é zero.”



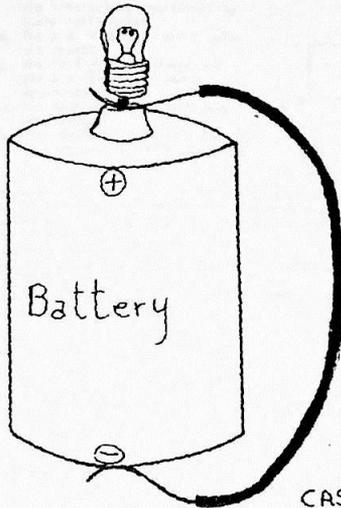
(a)

(b)

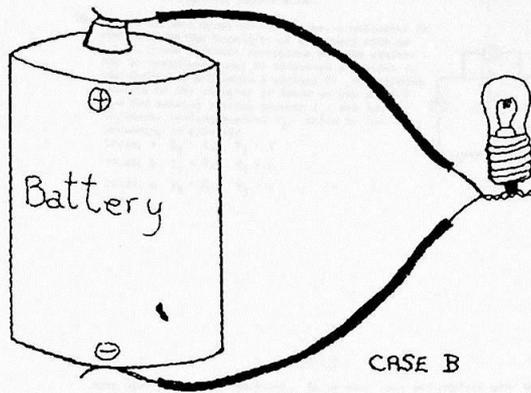
FIGURA 110. 1 (a) Em um condutor isolado, os elétrons estão em movimento aleatório. O fluxo resultante da carga através de um plano arbitrário é zero. (b) Uma bateria B ligada aos extremos do condutor

ANEXO 3: OS TESTES DE ELETRICIDADE

Teste 01 - FREDETTE, N. E LOCKHHEAD - "Student conceptions of simple circuits" - The Physics Teacher
18(3):194-198 (1980)



CASE A



CASE B

The Questionnaire

The sketches shown above are two possible ways to connect a light bulb to a battery. For each case, describe whether the bulb will light or not and explain your answer.

Case a) Will it light? Why?	Yes	No
Case b) Will it light? Why?	Yes	No

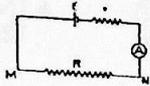
The results of the checked-off responses were as follows:

The bulb of case a will light	The bulb of case b will light	Both will light	Neither will light	No response	Total
5	19	12	18	3	57

Part A

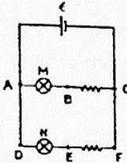
This part contains 10 multiple-choice questions. After each question a number of answers are given, but only one is correct. Throughout the questionnaire potential difference is abbreviated by p.d. Mark the correct answer.

1. In the circuit given in the figure, the reading of the ammeter is I . An additional resistance R' is connected, in parallel with R , between M and N . Consequently:
- 26(5) a. The reading I does not change, and the currents in R and R' are inversely proportional to their resistances.
- 20(24) b. The p.d. between M and N does not change.
- 30(52) c. The reading I increases and the p.d. between M and N decreases.
- 7(5) d. The heat developed in R does not change.
- 37(14) e. The reading I increases and the p.d. between M and N increases.

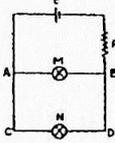


2. The electricity supply to our homes is a voltage source of 110 volts. Two light bulbs are connected to this source in series. Both are designed for use with the domestic voltage, one for 15W and the other for 150W. Consequently:
- 13(0) a. The 15W bulb will burn out.
- 29(38) b. The 15W bulbs will light dimly, the 150W will light strongly.
- 35(20) c. Both bulbs will light dimly.
- 33(42) d. The 15W bulb will light almost normally, while the 150W bulb will hardly light at all.

3. The voltage source \mathcal{E} in the figure has no internal resistance. Both bulbs M and N are lit. N is removed from its socket. Consequently:
- 25(9) a. The bulb M will light more strongly.
- 45(29) b. The p.d. between D and E will become zero.
- 20(48) c. The p.d. between D and E will not change.
- 10(4) d. The p.d. between D and E will increase.

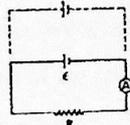


4. The voltage source \mathcal{E} in the figure has no internal resistance, and both bulbs M and N are lit. N is removed from its socket. Consequently:
- 35(2) a. The bulb M will light more strongly.
- 35(10) b. The p.d. between C and D will become zero.
- 24(47) c. The p.d. between C and D will not change.
- 6(22) d. The p.d. between C and D will decrease.

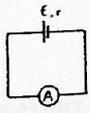


5. The p.d. between the ends of a resistor in which current flows is determined by:
- 22(10) a. The current which flows through it.
- 6(14) b. The heat dissipated in it.
- 77(28) c. The difference in energy between the charges moving at its two ends.

6. The ammeter reading in the circuit drawn in the figure indicates a certain current. The battery has no internal resistance. A second battery, identical to the first, is connected in parallel to it, as indicated in the drawing. Consequently:
- 25(28) a. The ammeter reading will increase.
- 15(0) b. The p.d. across the resistor R will increase.
- 31(43) c. The current flowing through the first battery will decrease.
- 29(29) d. The current flowing through the first battery will not change.

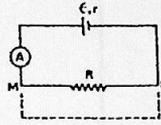


7. In the circuit drawn in the figure, the ammeter has no resistance, and the battery has an e.m.f. \mathcal{E} and an internal resistance r . Which of the following is correct?
- 9(5) a. The current flowing through the ammeter is zero.
- 56(40) b. The p.d. across the ammeter is zero.
- 11(5) c. The potential drop inside the battery is zero.
- 24(12) d. The energy dissipated in the whole circuit is zero.

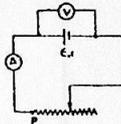


8. A resistor R is connected in series to a source which has no internal resistance. A second resistor, identical to the first, is connected to it in series. Consequently:
- 18(5) a. The p.d. between the terminals of the battery increases.
- 7(0) b. The p.d. between the terminals of the battery decreases.
- 35(24) c. The rate of heat dissipation, in the two resistors together, is double the rate at which heat was dissipated previously in the single resistor.
- 38(7) d. The rate of heat dissipation, in the two resistors together, is half the rate at which heat was dissipated previously in the single resistor.

9. A resistor is connected, through an ammeter, to a battery which has an e.m.f. \mathcal{E} and internal resistance r (see figure). Now the points M and N are connected using a short, thick piece of copper wire. Consequently:
- 9(5) a. The current flowing through R does not change significantly.
- 4(5) b. The current flowing through the wire is very small, because the p.d. across it is very small.
- 37(24) c. The current flowing through the ammeter does not change, but the current in the copper wire flows mainly through the copper wire.
- 55(62) d. The current flowing through the ammeter increases, and most of the current in the circuit flows through the copper wire.



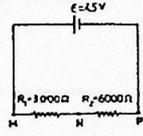
10. In the circuit drawn in the figure, a voltmeter is connected to the terminals of a battery with an e.m.f. \mathcal{E} and internal resistance r . The ammeter has no resistance, and it indicates a current I . The voltmeter indicates a voltage V . The sliding contact of the rheostat is moved to the point P . Now the ammeter reading becomes I_1 , and the voltmeter reading becomes V_1 , which of the following is correct?
- 22(28) a. $I_1 > I$, $V_1 > V$
- 32(48) b. $I_1 > I$, $V_1 = 0$
- 14(24) c. $I_1 = 0$, $V_1 = \mathcal{E}$



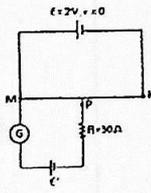
Part B

This part contains 4 questions. Solve each one, and explain your solution.

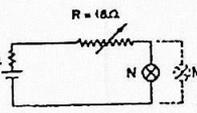
11. Two resistors, R_1 and R_2 , are connected in series to a battery which has no internal resistance and an e.m.f. of $\mathcal{E} = 4.5$ V. (see figure)
- a. What is the p.d. between points M and N , and what is the p.d. between points N and P ?
- b. A voltmeter with a total range of 3 V is connected between M and N , and it reads 0.9 Volt. What is the p.d. between points N and P now? Why are these values different from those you have calculated in (a)?



12. In the figure, MN is a uniform wire which has a resistance of 20Ω and is 1 meter long. When the sliding contact P is at a distance of 60 cm from M , the galvanometer G indicates zero current. What is the e.m.f. \mathcal{E} , and what is the voltage across the resistor R ?



13. In the circuit drawn in the figure, a bulb M is connected through a rheostat R to a battery which has an internal resistance $r = 2\Omega$. When the rheostat is set at a resistance of 1Ω , the bulb is lit normally. Now a second bulb N , identical with M , is connected in parallel to it. The rheostat is readjusted so that both bulbs (M and N) are lit at the same intensity as M had previously. To what resistance must the rheostat be adjusted?



14. Two resistors, R_1 and R_2 , with resistances 3Ω and 6Ω , respectively, are connected in parallel to a source with an e.m.f. $\mathcal{E} = 12$ V, and 2Ω internal resistance (see figure). What is the current through each resistor?

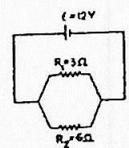
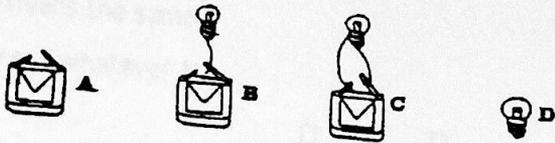


TABLE II
Is there a current? Is there a voltage?

I - QUESTION: Look at the four figures below A, B, C, D.



Read each sentence below and put a cross in the box if you think the sentence is true. If you do not know, put a cross in the corresponding column.

	A	B	C	D	I don't know
1) The bulb is alight in the Figure	<input type="checkbox"/>				
2) There is an electric current in	<input type="checkbox"/>				
3) There is a voltage in the figure	<input type="checkbox"/>				

(taken from Maichle, 1981)

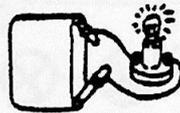
(correct answers C1 ; C2 ; A3, B3, C3)

TABLE III
What is consumed?

I - QUESTION

The bulb is connected to the battery. It is lit.

Say what you think of the following sentences :



	True	False	I don't know
3) The bulb consumes part of the energy of the electric current	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) The bulb consumes part of the electric current	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(correct answers : 3, true ; 4, false)

INSTITUTO DE FÍSICA

Serviço de Biblioteca e Informação

Tombo: 3703

ex. 2

1 - QUESTION

Say what you think of the following sentences :

	True	False	I don't know
1) A battery delivers the same electric current whatever the circuit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) A battery delivers the same voltage whatever the circuit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

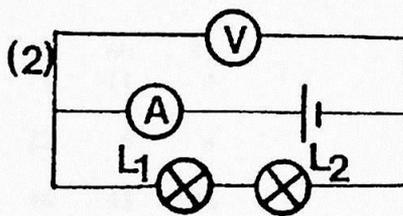
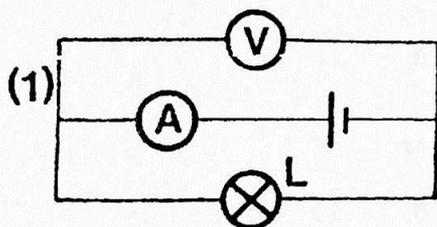
(correct answers : 1, false ; 2, true)

Current and potential in the operational situation

(This question and the following were not given to grade 8 BT)

1 - QUESTION

In the two following electric diagrams, all the components are identical (batteries, voltmeters, ammeters, bulbs)

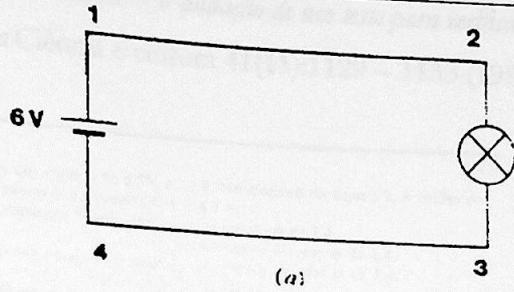


What do you think of the following sentences :

	True	False	I don't know
1) The voltmeter measures a lower potential difference in circuit (2) than in circuit (1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Bulb L_2 shines less brightly than bulb L_1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Bulbs L_1 and L_2 shine less brightly than bulb L	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) The current measured by the ammeters is less in (2) than in (1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(correct answers : 1, false ; 2, false ; 3, true ; 4, true)

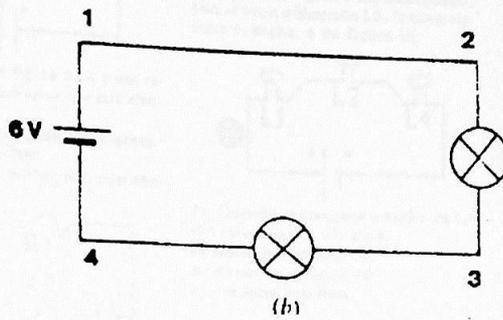
Look at the following circuit:



Insert the values of the voltages across the points

1 and 2: V, 2 and 3: V, 3 and 4: V.

Now a second bulb of the same type is added between the points 3 and 4:



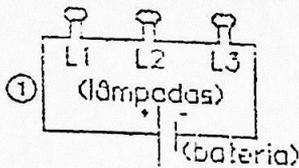
Insert the values of the voltages in the circuit with two bulbs across the points

1 and 2: V, 2 and 3: V, 3 and 4: V

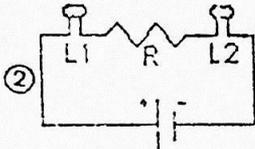
	S	F	NL	BW	H	E
(a) Values 0/6/0 (Correct)	14	52	25	34	8	4
Values 6/6/6	61	0	45	42	60	55
No response	2	9	9	7	11	4
(b) Values 0/3/3 (Correct)	10	35	22	22	6	4
Values 6/6/6	54	0	35	34	43	48
No response	2	12	11	8	15	7

Em todas as questões deste teste, admite-se que as lâmpadas representadas sejam iguais. O brilho das lâmpadas varia com a intensidade da corrente elétrica que as atravessa. A bateria representada tem resistência elétrica desprezível.

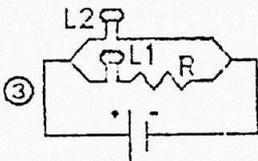
113



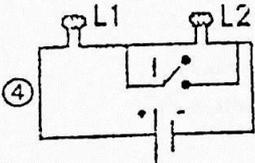
1. No circuito da figura 1, pode-se afirmar que:
- L1 brilha mais do que L2, e esta mais do que L3.
 - L3 brilha mais do que L2, e esta mais do que L1.
 - as três lâmpadas têm o mesmo brilho.



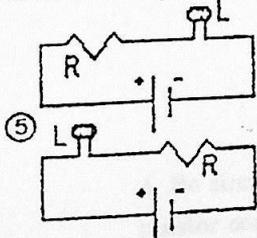
2. No circuito da figura 2, R é um resistor. Nesse circuito:
- L1 e L2 têm o mesmo brilho.
 - L1 brilha mais do que L2.
 - L2 brilha mais do que L1.



3. No circuito da figura 3, R é um resistor. Nesse circuito:
- L1 tem o mesmo brilho que L2.
 - L2 brilha mais do que L1.
 - L1 brilha mais do que L2.

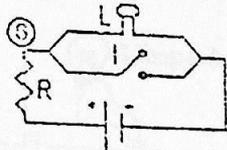


4. No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:
- aumenta o brilho de L1.
 - o brilho de L1 permanece o mesmo.
 - diminui o brilho de L1.

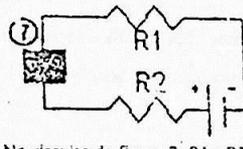


5. Nos circuitos das figuras 5a e 5b, a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nessas condições:

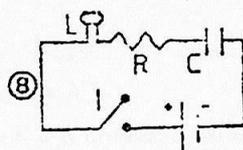
- L brilha mais no circuito da figura 5a.
- L brilha igual em ambos circuitos.
- L brilha mais no circuito da figura 5b.



6. No circuito da figura 6, R é um resistor e I é um interruptor que está aberto. Ao fechá-lo:
- L continua brilhando como antes.
 - L deixa de brilhar.
 - L diminui seu brilho, mas não apaga.

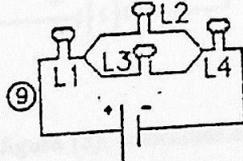


7. No circuito da figura 7, R1 e R2 são dois resistores e a caixa preta que nele aparece pode conter resistores, baterias ou combinações de ambos. Para que a corrente em R1 fosse igual à corrente em R2, a caixa preta poderia conter em seu interior *somente*:
- resistores conectados de qualquer modo.
 - uma bateria.
 - qualquer tipo de combinação de resistores e baterias.



8. No circuito da figura 8, L é uma lâmpada, R é um resistor, C é um capacitor descarregado e I um interruptor aberto. Ao se fechar o interruptor:
- L começa a brilhar e continua brilhando enquanto estiver fechado o interruptor.
 - L não brilhará enquanto o capacitor não estiver totalmente carregado.
 - L brilhará durante parte do processo de carga do capacitor.

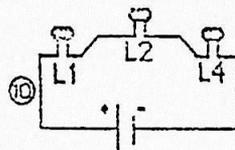
As questões 9 e 10 referem-se ao circuito da figura 9. (Adaptadas de Closset, p. 118-121)



9. No circuito da figura 9, o brilho de L1 é:
- igual ao de L4.
 - menor do que o de L4.
 - maior do que o de L4.

10. No circuito da figura 9, o brilho de L2 é:
- igual ao de L4.
 - maior do que o de L4.
 - menor do que o de L4.

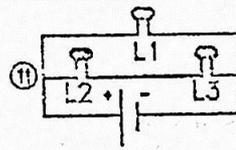
O circuito da figura 9 foi modificado, pois se tirou a lâmpada L3. O novo circuito é, então, o da figura 10.



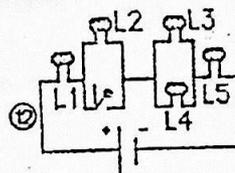
11. Quando se compara o brilho de L1 nos circuitos 9 e 10, ele é:
- maior no circuito 10.
 - menor no circuito 10.
 - o mesmo nos dois.

12. Quando se compara o brilho de L4 nos circuitos 9 e 10, ele é:

- maior no circuito 10.
- menor no circuito 10.
- o mesmo nos dois.



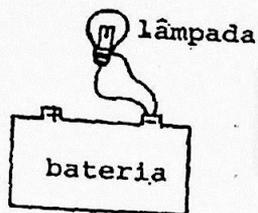
13. No circuito da figura 11:
- L1 brilha mais do que L2 e do que L3.
 - L1 e L2 têm o mesmo brilho, que é maior do que o de L3.
 - L1, L2 e L3 brilham igualmente.



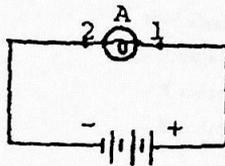
14. No circuito da figura 12, quando o interruptor I é aberto, as lâmpadas L3 e L4 deixam de brilhar, embora L2 brilhe. O que acontece com as lâmpadas L1 e L5? (Adaptada de Steffani *et al.*, p. 14).
- Nem L1 nem L5 brilham.
 - L1 brilha mas L5 não.
 - L1 e L5 brilham.

Tarefas propostas nas entrevistas

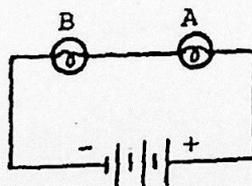
1. A lâmpada ligada a bateria, conforme a figura, irá acender ou não?



2. (a) Explique porque a lâmpada acende. (b) A corrente elétrica em (1) é maior, menor ou igual a corrente elétrica em (2)?

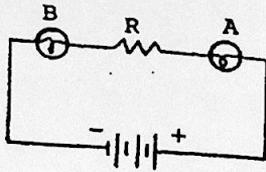


3. No circuito da figura (2) colocamos uma outra lâmpada B idêntica a A.
(a) As lâmpadas A e B brilham igualmente ou diferentemente?
(b) Compare o brilho da lâmpada A neste circuito, com o o brilho de A no circuito da figura (2).

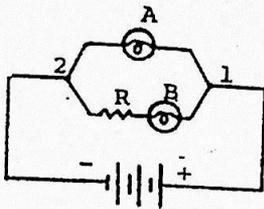


4. No circuito da figura (3), colocamos entre A e B um resistor com resistência R.
(a) As lâmpadas A e B brilham igual ou diferentemente?

(b) A lâmpada A neste circuito brilha mais, menos ou igual ao que brilhava em (3)?

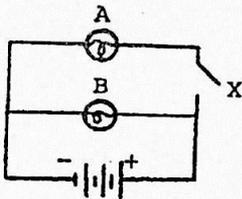


5. No seguinte circuito as lâmpadas A e B brilham com intensidade igual ou diferente?

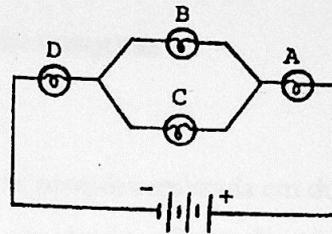


6. No seguinte circuito a chave interruptora X está inicialmente aberta.

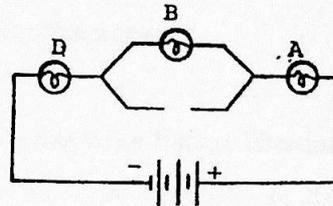
- A lâmpada A brilha ou não?
- E a lâmpada B? - Ao fecharmos a chave, o brilho da lâmpada B se altera ou não?



7. No seguinte circuito, compare o brilho das lâmpadas A, B, C e D.



8. Se retirarmos a lâmpada C, sem nada colocarmos em seu lugar, o brilho da lâmpada A se altera ou não?

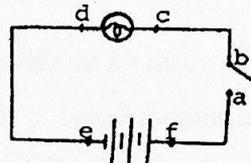


9. No seguinte circuito a chave interruptora está inicialmente aberta.

- Existe diferença de potencial entre os pontos a e b ou não?
- E entre c e d?
- E entre e e f?

Se fecharmos a chave:

- Existe diferença de potencial entre a e b?
- E entre c e d?
- E entre e e f?



ANEXO 4: DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DE PESQUISA

INTRODUÇÃO

O objetivo deste anexo é apresentar a atividade de pesquisa realizada em duas escolas e os resultados em forma de desenhos individuais e em grupo. Estes desenhos estão já organizados em categorias ao longo do texto.

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DE PESQUISA

A atividade de pesquisa aconteceu duas vezes: a primeira na Escola Estadual Manoel da Nóbrega, no bairro do Limão, cidade de São Paulo, no dia 27 de setembro de 2000 das 14:00 às 17:00 horas e na Escola Estadual Felício Laurito, Ribeirão Pires, município da Grande São Paulo, no dia 18 de outubro de 2000 no mesmo horário.

Desta atividade participaram, no total das duas escolas, cerca de 60 alunos do Ensino Médio, sem a distinção de séries (1º, 2º ou 3º ano) e consistiu em:

Aquecimento: fazer um desenho individual com uma única cor, fazer um desenho utilizando, pelo menos três cores.

1ª Atividade de coleta de dados: desenhar o seu modelo de átomo.

Debate: Sensibilização aos conceitos de eletricidade – como funciona uma lanterna?

Discussão das questões: Quais são as partes da lanterna? – O que faz com que a lâmpada acenda? O que está acontecendo no interior da lâmpada? Da pilha? Do fio?

Fornecimento de 2 lâmpadas de 3 volts, pilhas e fios para cada grupo de 3 ou 4 alunos. E foi pedido que cada grupo acendesse uma lâmpada e depois duas lâmpadas.

2ª atividade de coleta de dados:

“ Agora vou induzir vocês e sei disso. O desafio é o seguinte: como representar o que está acontecendo no interior de cada uma destas partes utilizando aquele modelo de átomo desenhado agora a pouco? Façam um desenho desta situação debatendo com o grupo que está trabalhando com vocês.”

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. – **Filosofia da Ciência: introdução ao jogo e suas regras** – S.Paulo – ed. Brasiliense -1981
- BACHELARD, G. – **A Filosofia do Não** – São Paulo: Abril Cultural (1978) – (coleção Os Pensadores)
- BACHELARD, G – **A Formação do Espírito Científico** – Rio de Janeiro – ed. Contraponto -1996
- BACHELARD, G. – **A psicanálise do fogo** - S. Paulo - Martins Fontes Editora – 1994
- BACHELARD, G. – **A água e os sonhos: ensaio sobre a imaginação da matéria** - S. Paulo - Martins Fontes Editora – 1989
- BACHELARD, G. = **O ar e os sonhos: ensaio sobre a imaginação do movimento** - S. Paulo - Martins Fontes Editora – 1990
- BACHELARD, G. – **A terra e os devaneios da vontade: ensaio sobre a imaginação das forças** - S. Paulo - Martins Fontes Editora – 1991
- BACHELARD, G. = **A terra e os devaneios do repouso: ensaio sobre as imagens da intimidade** - S. Paulo - Martins Fontes Editora – 1990
- BASSALO, J.M.L. – **Nascimentos da física: 3500 a C – 1900 a D** – Belém – EDUFPA – 1996
- COHEN, R.; EYLON B.; GANIEL U. = *Potencial difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts* – American Journal of Physics 51(5): 407-412 (1983)
- DE POSADA APARICIO, J. M. – *Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido* – Enseñanza de las Ciencias 11(1): 12-19 (1993)

- DUPIN, J.J. E JOSHUA, S. – “*Conceptions of french pupils concerning electric circuits: structure e evolution*” – J. of Research in Science Teaching 24(9): 791-806(1987)
- EVANS, J. “*Teaching electricity with batteries and bulbs*” – The Physics Teacher 16(1):15-22 (1978)
- FREDETTE, N. E LOCKHEAD = “*Student conceptions of simple circuits*” = The Physics Teacher 18(3):194 -198 (1980)
- GLEISER, M. – **A Dança do Universo: dos mitos de criação ao Big-Bang** – Editora Companhia das Letras: São Paulo - 1997
- GRAVINA, M.H. E BUCHWEITZ, B. “*Mudanças nas concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade*” – Revista Brasileira de Ensino de Física 16(1-4):110-119 (1994)
- HALLIDAY, D, RESNICK R. – **Física 3** - R. Janeiro – Livro Técnicos e Científicos Editora S. A. – 4ª edição – 1983
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE K. S. = **Física 3** = R. Janeiro = Livro Técnicos e Científicos Editora S. A. – 4ª edição – 1992
- HARRISON, A.G.; TREATGUST D. F. – *Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry* – Science Education 80(5):509 –534 (1996)
- HARRISON, A.G.; TREATGUST D. F. = *Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry* – Science Education 84(4): 352-381 (2000)
- MORTIMER, E. F. – “**Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**” – Belo Horizonte Ed. UFMG - 2000
- PACCA, J.L.A.. Y VILLANI, A. = *Un curso de actualización y cambios conceptuales en profesores de Física* Enseñanza de las ciencias 14(1):25-33 (1996)
- REIS, M. – **Química Integral** – volume único – Editora FTD – S.Paulo – 1993

SERWAY, R. A. – **Física 4** – Rio de Janeiro Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.. – 1992

SHIPSTONE, D. M. – *A study of students' understanding of electricity in five European countries*
International Journal of Science Education - 10(3): 303 – 316 (1988)

SILVEIRA, F. F.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. – *Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica* Ciência e cultura 41(11):1129 – 1133 (1989)

SOLOMON et al – *The pupil's view of electricity* European Journal of Science Education 7(3):281-294 (1985)

TOSCANO, C. e GONÇALVES FILHO, A. – **Física e Realidade** – vol.3 – Editora Scipione – São Paulo: 1997