

Universidade Estadual de Campinas

**Hipermídia e as Representações  
Imagéticas dos Modelos Teóricos para a  
Estrutura da Matéria**

Contribuições das novas tecnologias da comunicação para a divulgação  
de noções sobre a matéria

Alessandra Meleiro

Campinas, 1998

Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Artes  
Departamento de Multimeios

# Hipermídia e as Representações Imagéticas dos Modelos Teóricos para a Estrutura da Matéria

Contribuições das novas tecnologias da comunicação para a  
divulgação de noções sobre a matéria

Alessandra Meleiro

Este exemplar é a redação final da tese

defendida por ALESSANDRA

MELIRO

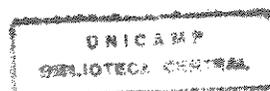
e aprovada pela Comissão Julgadora em

06/10/1998

Prof. DR. MARCIUS CÉSAR SOARES FREIRE

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Multimeios do Instituto de  
Artes da UNICAMP como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre em  
Multimeios sob a orientação do Prof. Dr.  
Marcius Cesar Soares Freire e co-orientação  
do Prof. Dr. Nelson Henrique Morgon

Campinas, 1998



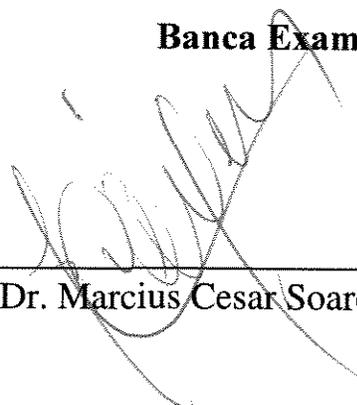
UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	M482h
V	Es
TOMBO BC/	35.918
PROC	3.951.98
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREC	R\$ 11,00
DATA	19/11/98
N.º CPU	

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA CENTRAL DA UNICAMP

CM-00118993-B

M482h	<p>Meleiro, Alessandra</p> <p>Hipermídia e as representações imagéticas dos modelos teóricos para a estrutura da matéria : contribuições das novas tecnologias da comunicação para a divulgação de noções sobre a matéria / Alessandra Meleiro. -- Campinas, SP : [s.n.], 1998.</p> <p>Orientadores : Marcius Cesar Soares Freire , Nelson Henrique Morgon.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas , Instituto de Artes.</p> <p>1.Arte e ciência. 2. CD-ROM. 3. Processamento de imagens. I. Freire, Marcius Cesar Soares. II. Morgon, Nelson Henrique. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Artes. IV. Título.</p>
-------	--

**Banca Examinadora**



---

Prof. Dr. Marcius Cesar Soares Freire

---

Prof. Dr. Gilberto dos Santos Prado

---

Prof. Dr. Luis Carlos Gomide

*Ao  
Gustavo,  
companheiro de  
viagem*

## Agradecimentos

Prof. Carlos Gomide, um sincero obrigada por incentivar as reflexões que deram origem a este trabalho

Prof. Nelson H. Morgan, pela atenciosa orientação

Prof. Marcelo Costa Souza, pela disposição constante em prestar ajuda

Prof. Gilbertto Prado, pelo olhar sensível e boas sugestões

Ao paciente Marcius Freire deixo um grande abraço pela orientação, pelo constante incentivo à concretização de novos projetos e pela possibilidade de me permitir enveredar por trilhas até tão desconhecidas

Às Instituições:

CNPq (que proporcionou dois anos e meio de bolsa)

Depto. de Multimeios - UNICAMP

CENAPAD/SP

Depto. de Documentação - TV Cultura

Universidad Pompeu Fabra - Barcelona/ Espanha

e à:

Roselaine, Andréa Mendez, Carla Alfonsina, Wilson Sukorski, Caio Barra Costa, Katia Limongelli, Marquinho Scarassatti, André Alves, Murilo, Célia Cassiano, Soraia Viana, Isabel Lopes, Aidan Boyle, Roberta Graf, Maricelma, Linda, Ermelinda, Isabela Chaves, Angela Pavan, Nádia Senna, Francisco Hernandez, Maria Lucia Bueno, José Roberto Zan, Bottesi, Paulo Bastos Martins, Fernão Ramos, Helena Junk, Paulo Teles, Carlos e Flor, Jaime Balbino, Rubens Caram, Plinio Cruz e Eduardo Mendes, Daniel, Maria Lúcia, Élcio, Jayme, Magali e Rodrigo.

## Resumo

Este trabalho pretende, através de um suporte informático, disponibilizar uma ferramenta útil para a divulgação dos modelos teóricos propostos para a estrutura da matéria no decorrer da história da ciência, contribuindo tanto para o ensino formal quanto informal de nosso objeto de estudo. Seguindo a evolução da ciência ocidental centramo-nos no estudo e criação das imagens referentes aos modelos teóricos para a estrutura da matéria, no estabelecimento de analogias entre imagens próprias do mundo das artes e modelos científicos propostos para a explicação do universo atômico-molecular e na pesquisa da iconografia científica contemporânea gerada por *softwares* de visualização.

Buscamos a compreensão de conceitos utilizados para a explicação de fenômenos da matéria através da visualização dos modelos científicos e através de conexões entre o familiar e o desconhecido, ou seja, através de analogias imagéticas. Pretendemos, desta forma, oferecer um espaço novo para a projeção do imaginário e, para isso, utilizamos o potencial das novas tecnologias da comunicação, especificamente, o CD-ROM. No material hipermídia desenvolvido procuramos contemplar um bom fluxo de informações e um forte apelo estético, já que muitas vezes traçamos paralelos entre arte e ciência.

# Índice Analítico

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1: PENSAMENTOS SOBRE O ÁTOMO</b> .....	<b>14</b>
1.1. DOS GREGOS À ATUALIDADE.....	23
1.2. O ATUAL UNIVERSO DO MICRO.....	48
1.2.1. <i>Partículas Elementares</i> .....	55
<b>CAPÍTULO 2:NOVOS MODOS DE REPRESENTAÇÃO PARA A ESTRUTURA DA MATÉRIA</b> .....	<b>59</b>
2.1. ANALOGIAS IMAGÉTICAS E O MUNDO ATÔMICO-MOLECULAR.....	67
MATISSE E ESTRUTURA MOLECULAR.....	73
ESCULTURA E ESTRUTURA MOLECULAR.....	74
DESENHOS ISLÂMICOS E ESTRUTURA MOLECULAR.....	75
MATISSE E A PSEUDO-ROTAÇÃO DA MOLÉCULA DE CICLOPENTANO.....	76
DEGAS E O ISOMERISMO.....	78
ANTONI TÀPIES E ORBITAIS MOLECULARES.....	79
DESENHO ISLÂMICO E SIMETRIA MOLECULAR.....	79
ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DE PARES DE ELÉTRONS EM UMA MOLÉCULA DE $BeCl_2$ .....	80
MODELOS DE REPULSÃO DE PARES DE ELÉTRONS NA CAMADA DE VALÊNCIA E A GEOMETRIA DE FRUTOS NA NATUREZA.....	81
TEXTURA DE IMAGENS NAS ARTES E NA CIÊNCIA.....	83
LITERATURA E OS FLOCOS DE NEVE: ORDEM E LIBERDADE NA NATUREZA.....	84
QUIRALIDADE.....	87
2.2. NOÇÕES CIENTÍFICAS SOBRE A MATÉRIA E A CRIAÇÃO ARTÍSTICA.....	88
<b>CAPÍTULO 3: IMAGENS VIRTUAIS NAS CIÊNCIAS</b> .....	<b>96</b>
3.1. COMPUTAÇÃO GRÁFICA: ESCOLHA POR IMAGENS SINTÉTICAS.....	97
3.2. VISUALIZAÇÃO DO ATUAL MODELO TEÓRICO PARA A ESTRUTURA DA MATÉRIA.....	101
<b>CAPÍTULO 4:PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ELABORAÇÃO DO HIPERMÍDIA</b> .....	<b>105</b>
4.1. O HIPERMÍDIA.....	106
4.1.1- <i>Desenvolvimento da experiência</i> .....	114
4.2. GERAÇÃO DE IMAGENS A PARTIR DE BASES PURAMENTE MATEMÁTICAS.....	123
<b>CAPÍTULO 5: SISTEMAS DIDÁTICOS EM HIPERMÍDIA</b> .....	<b>134</b>
5.1. VANTAGENS.....	138
5.2. DESVANTAGENS DE SUA UTILIZAÇÃO EM SALA DE AULA.....	140
5.3. EXPERIÊNCIAS DO USO DA HIPERMÍDIA COMO RECURSO DIDÁTICO.....	142
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>147</b>
<b>ÍNDICE DAS IMAGENS UTILIZADAS NO CD-ROM</b> .....	<b>152</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>156</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>167</b>

## ***INTRODUÇÃO***

*Ah! Tudo é símbolo e analogia!  
O vento que passa, a noite que esfria  
São outra coisa que a noite e o vento  
Sombras de vida e de pensamento*

Fernando Pessoa

A pesquisa e a transmissão de conhecimentos nas ciências naturais passam necessariamente pela utilização de modelos, analogias, símbolos, fórmulas, equações, enfim, vários caminhos de *representação* visando a compreensão do real, uma vez que a representação da realidade é muito mais fácil de se apreender do que a realidade propriamente dita.

Ao analisarmos o histórico das noções sobre a compreensão da matéria, incluindo estrutura e propriedades, percebemos que os seus estudiosos dispuseram-se, em sua grande maioria, a desvendar seus segredos através de modelos representacionais imagéticos. No atual entendimento dos cientistas da estrutura da matéria (físicos e químicos) existe um grande distanciamento entre as teorias propostas para o entendimento do mundo real e as imagens familiares à percepção humana, sendo grande a dificuldade para a representação livre das imagens relativas aos modelos. Por isso, esses modelos imagéticos não são *criação de imagens* puramente imaginárias e sim, imagens geradas a partir de artifícios matemáticos (operações analógicas). Este processo difere profundamente quando voltamos atenção aos cientistas da Antigüidade: estes formalizavam suas concepções sobre a constituição da matéria através de uma estreita correspondência entre modelos

imaginários e entidades reais, pois tinham apenas a lógica e a intuição como ferramentas.

Devido à crescente dificuldade representacional dos fenômenos naturais, notamos que a inserção de instrumentais técnico-iconográficos torna-se extremamente enriquecedora por permitir a tradução de conceitos e teorias abstratos em imagens familiares. *Softwares* de modelagem molecular utilizados por químicos teóricos com interfaces gráficas e matemáticas e vários outros *softwares* de visualização em química permitem a obtenção de imagens de moléculas e suas estruturas eletrônicas. Permite também animações e possíveis interações das moléculas, possibilitando a visualização de um conjunto de *modelos* e *teorias* sobre fenômenos da natureza que seriam difíceis de serem compreendidos em sua totalidade sem a utilização desse instrumental.

A função dos modelos é então servir como facilitador do entendimento de fenômenos naturais. Enfocaremos a importância dos modelos na química, assim como sua representação através de imagens sintéticas no capítulo 3 “Imagens Virtuais nas Ciências”. Ainda como elementos facilitadores, analogias e metáforas aproximam-se das ciências, elevando-se ao patamar de importância daqueles ocupados pelos modelos científicos, como abordaremos no capítulo 2 “Novos Modos de Representação para a Estrutura da Matéria”.

Nossa proposta de dissertação, ao incorporar recursos hipermédia como o CD-ROM, possibilita não só a visualização do mundo atômico-molecular, objeto de estudo de físicos e químicos, como abre novos espaços de investigação e divulgação sobre este objeto. Dessa forma, sua função como instrumento didático. Acreditamos ainda que contribuições do campo artístico, tais como suporte, técnicas, e até mesmo pressupostos estéticos devam ser incorporados na geração e no tratamento de imagens científicas, visto que os atuais estudiosos das ciências exatas necessitam de instrumentais gráficos para potencializar a fidelidade da representação visual dos fenômenos estudados.

Não podemos ver, ouvir ou tocar os átomos. As hipóteses a respeito de sua configuração diferem muito da noção imediata gerada por nossos órgãos do sentido e não podem ser submetidas à inspeção direta. A *imagem* da matéria é nosso objeto de estudo: não a macroscópica que desperta nossos sentidos, e sim sua porção íntima, suas propriedades e forma estrutural, vistas sob o paradigma científico contemporâneo. Para implementar esse estudo buscaremos retomar os modelos teóricos que remontam à Antigüidade, sempre tendo em vista que o termo mental ou signo-pensamento “matéria” que representa uma realidade externa (o real) possui um *símbolo* equivalente, que passou da forma teórico-conceitual até alcançar a forma simbólica atual, resultante de algoritmos matemáticos que permitem visualizá-los.

Procuraremos ainda focar as antigas concepções atomistas elaboradas por cientistas da Antigüidade, como Platão e Demócrito, analisando sua evolução até

chegarmos ao atual modelo proposto pela teoria quântica. Este estudo estará centrado na elaboração de um material hipermídia, construído a partir de imagens de vídeo, digitalização de imagens referentes à modelos atômicos e produção de imagens digitais de tais modelos, através de *softwares* de computação gráfica e *softwares* específicos de visualização científica. Impresso em CD-ROM e objetivando servir de instrumento catalisador no processo de aprendizagem de temas relacionados à estrutura da matéria, o hipermídia desenvolvido utiliza-se, em sua essência, de elementos lúdicos com o intuito de acender o imaginário e o potencial criativo do usuário.

A construção de representações imagéticas nesta dissertação, tem por objetivo salientar a concordância/discordância conceitual de ambos os modelos (atual e antigo) na análise de fenômenos químicos. Serão escolhidas situações que permitam identificar a validade de um modelo sobre o outro, bem como situações-problema insolúveis no âmbito de ambos os modelos. Pretendemos, portanto, salientar o fato de que a ciência atual não é uma forma aperfeiçoada e moderna das idéias e práticas do passado, como bem nos resume T.S. Kuhn no ensaio *What are Scientific Revolutions?*: "Não se pode passar do antigo para o novo simplesmente por adição do que já era conhecido".<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> T.S. Kuhn no ensaio *What are Scientific Revolutions*, citado por Ana Maria Goldfarb em *Da alquimia a Química*, EDUSP, São Paulo, 1988, p.34

Ao lançar mão da comparação de tais modelos ressaltamos que a compreensão da mudança de cosmovisão passa a ser o fundamental, em detrimento a valiação do grau de verdade ou superioridade de uma teoria sobre a outra.<sup>2</sup>

Consideramos que as representações imagéticas destes modelos teóricos para a estrutura da matéria contribuirão para uma melhor compreensão e estudo dos fenômenos da natureza, tanto do passado, quanto do presente, além de:

- a) enfatizar a importância da utilização de imagens sobre modelos científicos como instrumental a ser explorado nos processos científicos e educativos;
- b) evidenciar as diferenças de paradigmas científicos ao confrontar modelos imagéticos em diferentes períodos da história;
- c) proporcionar uma visualização imagética do atual modelo teórico para a matéria para que melhor se compreenda os processos naturais que, em sua totalidade, se dão através de interações químicas;
- d) criar um instrumento a partir das novas tecnologias da informação e comunicação para que possa ser utilizado na comunicação, divulgação e ensino da ciência da matéria.

---

<sup>2</sup> A.M. Goldfarb, *Da alquimia a Química, Op. Cit.*, pp.34

*CAPÍTULO 1*

*PENSAMENTOS SOBRE O ÁTOMO*

A física, assim como a química, procura a compreensão do real através de representações iconográficas, isto é, procura descrever a natureza utilizando-se muitas vezes de imagens. O que tentarei descrever aqui é a mudança do tipo de representação das imagens no que diz respeito à constituição da matéria. Esta mudança que se processou no início do século, passou das imagens “de objeto” para imagens “de ação”<sup>3</sup>, como discutiremos mais adiante. Disto resulta um incrível aumento da adaptação à realidade, mas também, um aumento na dificuldade de representação tanto mental quanto imagética, pois, de certa forma, estas mudanças nas formas de representação iconográfica da matéria, ao abandonar as imagens “de objeto” nos distancia do campo das dimensões que nos são familiares.

A imagem “de ação” possui a vantagem de poder ser transportada para outras dimensões menos familiares a nós sem perder sua eficácia. As imagens “dos objetos”, entretanto, são menos facilmente exportáveis, e quando isto ocorre, expõe os ‘equivocos’ das teorias e modelos que a geraram, como é o caso da idéia do elétron como uma esfera. Estes “objetos” estariam circulando em órbita ao redor do átomo, porém, com o advento de uma nova teoria da luz (eletrodinâmica baseada nas equações de Maxwell), constatou-se que estes “objetos” (elétrons) não permaneceriam em órbita e sim, se precipitariam sobre o núcleo, destruindo o átomo. O acúmulo desses ‘equivocos’ no estudo do mundo atômico, foi responsável pelas grandes revoluções científicas do século XX, que culminou no surgimento da mecânica quântica. Estas imagens (ou representações), no entanto, têm o mérito de

---

<sup>3</sup> Hubert Reeves, “Imagens de ação na Física”, in *A Ciência e o Imaginário*, Brasília, Ed. UnB, 1994, pp.13-26

levantar questões que ilustram o “beco sem saída” que às vezes acometem as pesquisas científicas e aqui especificamente, o estudo da matéria. Na busca pelo entendimento da realidade é fundamental que a pesquisa científica lance mão dos aspectos titubeantes das incursões do pensamento humano como parte de seu processo de descoberta. Nesse sentido, atentamos para a história do atomismo assim como para a análise das noções de matéria da ciência contemporânea. Sem retomar-lhe a gênese, procuramos mostrar quando e como o conceito de átomo se impôs de maneira irrefutável e com que conseqüências inéditas sobre o pensamento físico. Não nos importamos aqui em revelar a totalidade das concepções dos atomistas antigos; consideramos apenas um certo número de noções atomistas na medida em que ainda persistem no pensamento contemporâneo, e não as teorias antigas consideradas em suas diversidades ou em suas oposições. Tomamos como essência o estabelecimento de paralelismos entre as hipóteses atomísticas do pensamento científico em diversas épocas.

A especulação sobre a constituição da matéria e a existência dos átomos vem de muitos séculos. Notamos que a busca por um ‘algo’ não visível, transparente, teve sempre como motivação a compreensão da realidade. As questões levantadas sobre sua constituição tornaram-se tão enigmáticas quanto é enigmática a realidade que, sempre com certa distorção e ambigüidade, elas tentam representar.

A hipótese, ou ainda melhor, a intuição atomista se baseia na idéia de que todos os corpos materiais são constituídos de elementos, de partículas elementares,

de unidades fundamentais que se combinam diversamente entre si. Enunciada primeiramente pelos antigos filósofos gregos<sup>4</sup>, é interessante notar que, das hipóteses atomísticas pré-científicas dos materialistas gregos àquela do átomo físico, e mesmo dos *quarks* da contemporaneidade (a última divisão da matéria até o momento), existe uma mesma intuição, ligada a um princípio explicativo unitário que se fundamenta em paradigmas imagéticos. Para a Antigüidade, assim como para a Física clássica newtoniana<sup>5</sup>, este paradigma está na idéia da dualidade "cheio"/"vazio" (matéria/espaço), enquanto que para a idade contemporânea o paradigma inicial é representado pela dualidade onda/partícula para o comportamento dos objetos sub-atômicos<sup>6</sup>.



Estas dualidades citadas são dimensões de uma mesma e única realidade complexa, o que não deve ser confundido com dualismo<sup>7</sup>. A hipótese da dualidade está de acordo com o caráter físico dos objetos sub-atômicos, embora tenha chocado, de início, o senso comum por seu grau de abstração. Porém, ao permitir o inter-

---

<sup>4</sup> Existem relatos que atestam a existência de hipóteses atomistas em outras culturas simultaneamente àquelas elaboradas pelos gregos, como é o caso das concepções jainistas da Índia, que remontam ao século V a.C. (M. Paty, *A Matéria Roubada*, EDUSP, São Paulo, 1995, pp. 74). Não realizei este estudo, embora o julgue interessante, pois as bases para a ciência ocidental remontam à filosofia grega do séc. VI a .c. e não, à filosofia do Oriente (embora existam autores que atestam a proximidade entre a ciência ocidental e aspectos do misticismo oriental).

<sup>5</sup> A diferença básica entre o atomismo de Demócrito e o de Newton é que Newton incluiu em seus estudos uma descrição precisa da força que age entre as partículas materiais, sólidas e indestrutíveis.

<sup>6</sup> Expressa pela relação matemática  $\lambda = h/p$

<sup>7</sup> O dualismo vê os pares como realidades justapostas, isto é, coloca *ou* onde a dualidade coloca *e* entre as partes.

relacionamento dos elementos do modelo, o caráter dualístico adquire um outro patamar de abstração, mais distante do 'intuitivo', ao poder ser representado imagetivamente.

As hipóteses atômicas surgem para tentar explicar o visível através da complexidade do invisível. Para esse processo é necessária uma inteligência intuitiva, muito mais que uma indutiva, o que ressalta a importância da abstração. Os átomos, desde suas primeiras formulações, para serem compreendidos, necessitam de uma mediação e tradução das impressões perceptivas do mundo fenomênico em padrões aos quais são conferidos significados, construindo-se um mundo de imagens reconhecíveis.<sup>8</sup> No entanto, cientistas já no início do século perceberam que a linguagem comum mostrava-se imprecisa para descrever a realidade atômica e sub-atômica. A teoria quântica (um dos pilares da física moderna) acentuou essa realidade, como afirma Heisenberg:

*O problema mais difícil [...] no tocante à utilização da linguagem surge na teoria quântica. Aqui, não nos deparamos de início com qualquer guia simples que nos permita correlacionar os símbolos matemáticos com os conceitos da linguagem usual [...]*<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Embora os estudos em ciência cognitiva não expliquem em profundidade qual a relação entre imagens mentais e pictóricas, estes sugerem que as imagens mentais representam aproximadamente do mesmo modo que as figuras gráficas representam.

<sup>9</sup> W. Heisenberg, *Physics and Philosophy*, pp. 177; citado por Fritjof Capra em *O Tao da Física*, Ed. Cultrix, São Paulo, 1983, pp. 42

Assim, os modelos atômicos visualizados mentalmente, fora do mundo aparente ou sensível, tendem a ser melhor comunicados quando devidamente representados graficamente<sup>10</sup>.

Podemos admitir que o processo de pesquisa científica desdobra-se em quatro etapas:

- 1) reunião das evidências empíricas sobre o fenômeno estudado;
- 2) fatos experimentais são correlacionados com simbologia matemática (elaboração de um modelo matemático ou teoria);
- 3) formulação em linguagem verbal dos esquemas matemáticos desenvolvidos;
- 4) verificação da validade do modelo que explique o fato experimental (o observado).

Este modo de fazer com que todas as teorias se apoiem firmemente sobre os experimentos é conhecido como método científico<sup>11</sup>. A filosofia grega era fundamentalmente diferente a esse respeito. No passado, as qualidades atribuídas aos átomos muitas vezes eram inferidas por *analogia*, o que se mostrava suficiente enquanto método descritivo (os gregos obtinham seus modelos de forma dedutiva, a

---

<sup>10</sup> Segundo W.T. Mitchell, as imagens se diferenciam umas das outras com base nas fronteiras entre discursos institucionais diferentes, assim, a imagem poderia ser dividida em: gráfica (figuras, design), mental (idéias, sonhos), perceptiva (dados dos sentidos, aparências), verbal (metáforas, descrição) e ótica (projeções, espelhos). Tanto as representações gráficas e óticas, quanto as mentais e verbais devem ser consideradas igualmente *imagens*, pois estão num mesmo patamar, isto é, todas envolvem uma distorção ideológica em relação ao real. (L. Santaella, *Palavra, imagem & enigmas*, Revista USP, pp. 38)

<sup>11</sup> Na prática, as quatro etapas não se encontram nitidamente separadas, podendo ocorrer em outra seqüência.

partir de algum axioma ou princípio fundamental), estando ausentes procedimentos como o “indutivo” para a obtenção de um modelo, procedimentos estes que atualmente são acompanhados de observação e de estruturas matemáticas<sup>12</sup>.

Não podemos dizer que temos um entendimento *objetivo* do mundo atômico, se partirmos do princípio de que este adveio de um modelo abstrato. Os padrões que os cientistas observam na natureza estão intimamente ligados aos seus conceitos, pensamentos e valores, como atesta Heisenberg ao afirmar que: “o que observamos não é a natureza propriamente dita, mas a natureza exposta ao nosso método de questionamento”.<sup>13</sup> Embora grande parte das pesquisas não seja explicitamente dependente de um sistema de valores, a estrutura mais abrangente dentro da qual essas pesquisas são efetuadas nunca será independente deles.

As leis, axiomas e proposições que demonstram nossos conceitos do mundo sub-microscópico, ao serem válidos somente em relação ao experimento do qual foram gerados atestam o caráter *relativo* desse entendimento, pois temos uma situação onde os métodos adotados para a experimentação ‘criam’ as formas perceptíveis da aparência do real.

---

<sup>12</sup> Alguns filósofos gregos, como Lucrecio, invocavam a matemática para descrever o universo de uma forma muito superficial; não utilizavam um pensamento matemático *para* a abstração.

<sup>13</sup> W. Heisenberg, *Op. Cit.*, pp. 58

A partir da mecânica quântica as explicações científicas do universo físico separaram-se definitivamente de todas as imagens familiares às nossas percepções, como W. Heisenberg, autor do Princípio da Incerteza, afirma:

*De acordo com nossa intuição, nós atribuímos aos elétrons a mesma espécie de realidade dos objetos de nosso mundo cotidiano [...] Com o passar do tempo esta representação tem provado ser falsa porque o elétron e o átomo não possuem nenhum grau de realidade física direta como os objetos de nossa experiência diária.<sup>14</sup>*

Enquanto os antigos ‘filósofos-cientistas’<sup>15</sup> tinham apenas a intuição e a lógica como ferramentas de modelagem do mundo (em um entendimento muito mais sensível que racional), os modernos experimentalistas criaram um outro estado de realidade, onde só se conhece aquilo que sua própria mente criou através de formulações matemáticas, isto é, muitos cientistas ainda acreditam que a realidade possa ser inteiramente pensada, como se, para citarmos Hegel, o “real fosse racional”. Ora, pensar que cada termo e cada relação no raciocínio matemático tenha necessariamente uma transcrição física, é “colocar em princípio que as entidades matemáticas são mais reais que a própria realidade física [...] e considerar que a lógica tem, por si mesma, esse poder de engendrar novas propriedades dos objetos

---

<sup>14</sup> “According to our customary intuition [we attributed to the electrons the] same sort of reality as the objects of our daily world... In the course of time this representation has proved to be false [because the] electron and the atom possess not any degree of direct physical reality as the objects of daily experience.” W. Heisenberg ; *Quantenmechanik*, “Die Naturwissenschaften”, 1926, citado por A. Miller em *Imagery in Scientific Thought*, 1987, pp. 02

<sup>15</sup> Esse termo foi utilizado pois sabemos que a ciência nasceu da filosofia, e que resulta de um questionamento comum. M. Paty nos coloca o ponto de intersecção entre filosofia e ciência: “Embora surja das perguntas do conhecimento científico, nem por isso a filosofia sai assim diretamente de números medidos ou de dados experimentais, mas de um terreno que é o substrato de uma problematização e de uma atividade, estreitamente mescladas e tributárias e, na verdade, indistintas na origem.” M. Paty, *A Matéria Roubada*, Op. Cit. pp. 24

físicos”.<sup>16</sup> O conhecimento racional e as atividades racionais constituem, por certo, a parcela mais significativa da pesquisa científica, porém, não a esgotam, como Einstein percebera com muita propriedade:

*Por si só, o pensamento lógico não pode nos fornecer conhecimento sobre o mundo da experiência: tudo o que conhecemos da realidade vem da experiência e nela resulta. Proposições puramente lógicas são completamente vazias em relação à realidade.*<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> M. Paty, *A Matéria Roubada*, *Op. Cit.*, pp. 255

<sup>17</sup> Albert Einstein, *On the Method of Theoretical Physics*, Herbert Spencer Lecture, Oxford, 1933

## 1.1. Dos Gregos à Atualidade

A tese sobre a existência de átomos vem do conceito de matéria dos filósofos da Antigüidade Clássica.

O atomismo dos antigos gregos se apóia num raciocínio lógico de acordo com o que se observa da natureza: os gregos não se preocupavam em ver os átomos - no sentido de testar-lhes os efeitos - ao menos não faziam disso uma condição fundamental para certificarem-se de sua existência. O que realmente lhes importava “era que aquilo que imaginavam, bastante engenhosamente, resultasse em efeitos sensíveis, observáveis: a imaginação pode corresponder à realidade, contanto que imponha a si mesma regras lógicas”<sup>18</sup>.

A proposição de que o mundo material é constituído por átomos estabelece, das origens do pensamento atomístico ao início do século XX, uma tomada de posição sobre o real e também sobre sua perenidade. A concepção de matéria na Antigüidade surge a partir da análise do movimento, que é a questão central que irá orientar a filosofia grega; isto é, o movimento levanta o problema de que *algo possa ser, e no momento seguinte, não ser*, pois já é outro. Como conceber, deste modo, que haja uma identidade entre o momento anterior e o posterior, visto que o objeto se transforma?<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> M. Paty, *A Matéria Roubada*, *Op. Cit.* pp.78

<sup>19</sup> “Algo possa ser, e no momento seguinte, não ser”: podemos estabelecer uma analogia direta de tal enunciado com o Princípio da Incerteza de Heisenberg, já que, de acordo com o que enuncia a Mecânica Quântica, não é possível determinar posição e momento de uma partícula no espaço.

Era necessário, portanto, um substrato que permanecesse imutável no processo de transformação. Esse substrato foi originalmente concebido através da redução da multiplicidade a uma unidade fundamental, dada a partir de um elemento da natureza, do qual deveriam surgir todos os demais, e no qual todos se reduziriam. Esse elemento fundamental, ou "princípio" (em grego, *arche*), assumiria a forma de uma substância concreta segundo os filósofos pré-socráticos, sendo concebido como primeiramente a água (Thales 640-546 A.C.), depois o ar (Anaximenes 560-500 A.C.), o fogo (Herakleitos 536-470 A.C.) e a terra (Xenophanes)<sup>20</sup>

Estas idéias não surgiram da observação e do experimentalismo, e sim a partir do pensamento e de analogias. Por exemplo Thales, ao afirmar que o princípio de todas as coisas era a água, se baseava em que todos os seres vivos precisam de umidade para viver e que a origem de todos os seres vivos é a umidade, pois os animais nascem do sêmen, que é um líquido, e as sementes não germinam sem umidade. Para Anaximenes o princípio material de todas as coisas era o ar, pois ao se tornar mais rarefeito o ar se transformaria em fogo e, ao se tornar mais denso, produziria nuvens, depois água, terra e rochas. Anaximenes tentava explicar os fenômenos do universo sem utilizar concepções religiosas.

Mais tarde, Empedokles (490-430 A.C.) sintetizou os quatro elementos acima citados - água, ar, terra e fogo - como as raízes básicas a partir das quais todas as coisas se constituiriam. Estes elementos estariam associados a quatro divindades: Zeus (fogo), Hera (ar), Hades (terra) e Nestis (água). Ele fornece um exemplo para

---

<sup>20</sup> M.H.R. Beltan, *A arte química da gravura*

explicar sua concepção: artesãos e artistas misturando diversos pigmentos em diferentes proporções são capazes de criar uma infinidade de cores, representando assim árvores, pessoas, pássaros, deuses. Da mesma forma, a mistura dos quatro elementos poderia produzir todas as coisas conhecidas. Ao abandonar a idéia da existência de um único princípio material, Empedokles alavancava os pensamentos atomistas que viriam com filósofos como Leucipo e Demócrito (séc. V A.C.).

Aristóteles assim descreveu a concepção destes filósofos pré-socráticos:

*A maioria dos primeiros filósofos pensava que os princípios de todas as coisas eram certos princípios materiais. Eles declararam que o elemento e primeiro princípio de todas as coisas que existem era uma substância que continuava sempre a existir, mas mudava suas qualidades, sendo a fonte original de todas as coisas que existem, a partir da qual uma coisa surge e na qual ela finalmente se decompõe. Por esta razão, eles consideravam que não existe um surgimento ou desaparecimento absoluto, tomando como base que essa natureza é sempre preservada. Pois deveria existir alguma substância natural - ou uma, ou mais de uma - a partir da qual as outras coisas surgem, mas que se conserva.<sup>21</sup>*

Ao conciliar a concepção da permanência e da unidade, contrariamente às evidências de mudança e de diversidade observadas, fundamentam-se então as idéias de unidade da matéria e sua conservação, que por sua vez acompanham a de sua autonomia, idéias estas que tornaremos a encontrar ao longo da história do atomismo. No final do século XVIII, quando do nascimento da ciência moderna, Newton ainda

---

<sup>21</sup> R. Andrade Martins, *O Universo - teorias sobre sua origem e evolução*, Ed. Moderna, 1950, 3ª. edição, São Paulo, pp. 35-36

buscava na fonte dos gregos, os argumentos para suas idéias atomistas. Segundo sua concepção sobre os átomos<sup>22</sup>:

*Deus, no começo das coisas, formou a matéria em partículas sólidas, maciças, duras, impenetráveis, móveis [...] sendo sólidas essas partículas primitivas, são incomparavelmente mais duras que quaisquer corpos sólidos compostos por elas; elas são, até, de tal modo duras que não se desgastam ou não se quebram nunca.*

Emprestava assim de Demócrito e de Lucrecio a explicação de que a permanência das leis dos corpos observáveis é uma prova de que estes são constituídos de átomos elementares:

*...E é por isso que, a fim de que a natureza seja duradoura, as mudanças das coisas corporais devem consistir unicamente em diversas separações e novas associações e nos movimentos dessas partículas permanentes*

O modelo newtoniano reduzia todos os fenômenos aos movimentos e interações dos átomos sólidos e indestrutíveis. As propriedades desses átomos eram abstraídas da noção macroscópica de bolas de bilhar, isto é, da experiência sensorial. A natureza mostrava-se, para Newton, como uma máquina governada por leis imutáveis, um sistema causal e determinado onde Deus se encontrava presente de modo a corrigir eventuais irregularidades.<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> Isaac Newton, *Opticks, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, 1721, pp. 375, citado por Paty, Michel, *A Matéria Roubada, Op. Cit.*, 1995, pp.75

<sup>23</sup> Newton, ao aplicar sua teoria mecanicista ao movimento dos planetas em uma tentativa de explicar características básicas do sistema solar, notara irregularidades em seus cálculos pois se esqueceram de contabilizar a influência da força de atração entre os planetas. Para resolver a questão, admitiu que Deus estaria sempre presente no universo, corrigindo as irregularidades apontadas por seus estudos.

Até aqui a dualidade originária foi concebida principalmente como o móvel e o imóvel. A partir de Demócrito (460-370 A.C.) essa dualidade é compreendida como "cheio"/"vazio" de onde se origina sua concepção da unidade fundamental: os átomos<sup>24</sup>. Estes seriam indivisíveis e em si mesmos imutáveis, embora a mudança de sua posição relativa produzisse uma grande diversidade de fenômenos. Estes átomos são constituídos a partir de algo que preenche o espaço, não passando de figuras geométricas sólidas. Além deles, só existe o vazio. Esses espaços cheios difeririam em tamanho e em forma, e apresentariam uma constituição interna sólida e homogênea.

O atomista mais importante da Antigüidade Clássica, no período posterior a Sócrates foi Epicuro (341-270 A.C.). Epicuro, em longa carta escrita para Heródoto, procura apresentar argumentos muito claros a favor do atomismo:

*Em primeiro lugar, nada nasce do nada, pois [se isso fosse possível] qualquer coisa nasceria de qualquer coisa, sem nenhuma necessidade de sementes geradoras. E, se aquilo que termina, se acabasse no nada, tudo já teria sido destruído, pois não existiria aquilo em que tudo se dissolve.*<sup>25</sup>

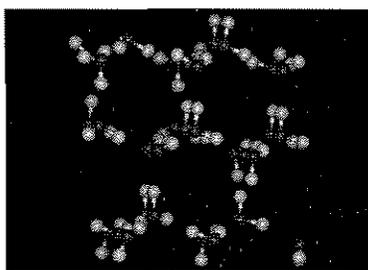
Epicuro continua seu raciocínio afirmando a existência de corpos materiais indivisíveis (átomos) e imutáveis, pois deve haver algo que permaneça sempre igual quando a matéria é destruída ou produzida. Caso não existisse algo indivisível e imutável na matéria, esta seria destruída e desapareceria. Epicuro vê, portanto, algo constante por detrás de todas as mudanças, isto é, o átomo.

---

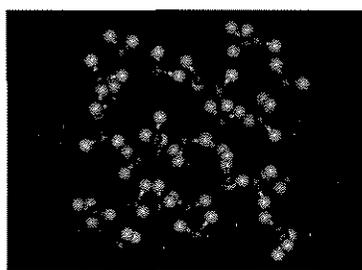
<sup>24</sup> do grego *a* (não) e *tomo* (divisível)

<sup>25</sup> R. de Andrade Martins, *O Universo - teorias sobre sua origem e evolução*, Op. Cit. pp. 43-44

A moderna teoria atômica reteve das teorias da Antigüidade, o pensamento fundamental de que as qualidades perceptíveis das substâncias são dadas pela dinâmica dos átomos. Tomando-se como exemplo a água, a substância água *não é* destruída por aquecimento. Ela simplesmente rearranja a ordem e o estado de movimento dos átomos, apresentando-se não mais como líquido, mas assumindo uma nova forma, o vapor (ou o gelo no caso de sofrer resfriamento).



Organização das moléculas no gelo



Organização das moléculas na água líquida

Um ponto de profunda discordância do moderno entendimento científico para o entendimento da Antigüidade refere-se ao conceito de *forma*. Para os antigos filósofos-cientistas a forma definiria o caráter da substância. Atualmente a forma é apenas uma representação simbólica *de como* e não *do que é* composto o mundo.

As partículas elementares foram sendo gradativamente destituídas de qualidades sensíveis no decorrer do desenvolvimento científico, assumindo apenas qualidades de movimento (que é mais precisamente um *estado* que uma qualidade). Atualmente assumimos que tempo e espaço devem ser tomados conjuntamente, em uma construção matemática ilustrativa de que apenas podemos prever um modelo

temporário de existência<sup>26</sup>, modelo este, claramente diferenciado da concepção materialista da Antigüidade que assumia as partículas elementares como entidades absolutas.

Um outro princípio fundamental que a ciência moderna tomou da Antigüidade é a utilização de formulações matemáticas que incluem e expressam formas imaginárias de fenômenos naturais. O que há de fundamental diferença em relação aos modelos matemáticos, atuais e antigos, é que hoje não acreditamos na existência de um modelo geométrico (como se acreditava), capaz de realizar a descrição do que entendemos por matéria, mas sim, que a estrutura eletrônica da matéria pode ser representada matematicamente por uma função de onda<sup>27</sup>.

Em congruência com a idéia da existência da matéria como forma matemática pura temos a composição de átomos em uma molécula. Se tomarmos como exemplo o gás carbônico, na fórmula  $\text{CO}_2$  (que designa tanto a molécula quanto a sua

---

<sup>26</sup> O palco do universo newtoniano era o espaço tridimensional da geometria euclidiana clássica. Era um espaço absoluto, sempre em repouso e imutável. Todas as mudanças no mundo físico eram descritas em termos de uma dimensão separada, denominada tempo, também absoluta. Os elementos do mundo newtoniano que se moviam nesse espaço e tempo absolutos eram partículas materiais (pontos dotados de massa). No entanto, de acordo com a teoria da relatividade, o espaço não é tridimensional e o tempo não constitui uma entidade isolada. Ambos acham-se intimamente vinculados, formando um “continuum” quadridimensional, o ‘espaço-tempo’. Na teoria da relatividade, portanto, nunca podemos falar acerca de espaço sem falar acerca do tempo, e vice-versa. (Fritjof Capra, *O Tao da Física*, Ed. Cultrix, São Paulo, 1983, pp. 48)

<sup>27</sup> No nível sub-atômico não se pode dizer que a matéria (os elétrons) exista com certeza em lugares definidos, ela apenas apresenta ‘tendências a existir’. No formalismo da teoria quântica, essas tendências são expressas como probabilidades, e são associadas a quantidades matemáticas que tomam a forma de ondas. Elas não são ondas tridimensionais ‘reais’ (como as ondas sonoras ou as ondas na água). São “ondas de probabilidade”, quantidades matemáticas abstratas que são relacionadas às probabilidades de se encontrar as partículas em determinados pontos do espaço e em determinados instantes.

composição atômica) vemos que o número 2 expressa que se combinarmos oxigênio e carbono em outra proporção que não seja de 2:1, não teremos gás carbônico. Os atuais físicos e químicos também formulam que todos os constituintes dos átomos têm a mesma ‘natureza’, porém, diferem em relação ao número de elétrons, prótons e nêutrons. Percebe-se, então, que o número de partículas sub-atômicas é um fator determinante da natureza do elemento, o que nos mostra, como observou Ruth Reyna<sup>28</sup>, que os elementos atômicos básicos podem ser observados através de sua forma numérica.

A moderna física atômica questionou duas importantes crenças dos antigos gregos: a indivisibilidade dos átomos e a admissão de que estes possuíam formas geométricas.

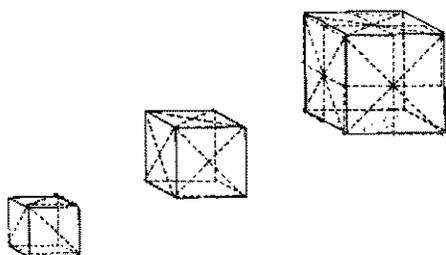
O advento da mecânica quântica fez com que as antigas noções materialistas fossem totalmente afastadas, e nessa mudança revolucionária houve uma “progressiva desmaterialização da matéria” como nos afirma Ruth Reyna. Essa desmaterialização pode ser mais claramente explicitada quando nos voltamos para a representação imagética das partículas atômicas: tanto a teoria que precede a imagem desta partícula, quanto a forma de apresentação destas imagens, que passou do plano bidimensional real para um espaço virtual, reafirmam tal perda de materialidade.

---

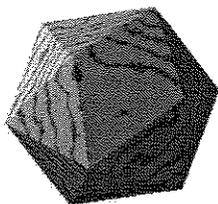
<sup>28</sup> R. Reyna; *The Philosophy of Matter in the Atomic Era*, London, 1962, Asia Publishing House.

A visualização das partículas fundamentais para os filósofos da Antigüidade Clássica assumia a forma de configurações geométricas. Foi Platão quem forneceu o primeiro relato sistemático de uma teoria geométrica dos átomos. Estes apareciam como figuras planas, bidimensionais, que possuíam espaços vazios em seu interior. Afirma-se que na entrada da Academia de Platão, em Atenas, havia a inscrição “Só é permitida a entrada a quem conhece geometria”.

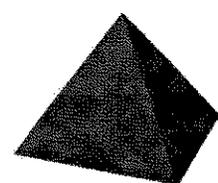
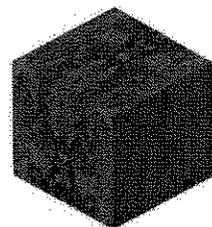
Essas partículas se movimentavam no espaço e por falta de outro recurso representacional que desse conta desta movimentação, sobrepunham-se as figuras geométricas no papel, umas sobre as outras, produzindo-se figuras sólidas bem características.



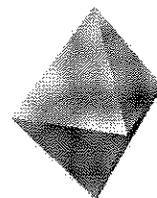
Átomos do elemento terra



Segundo o pensamento grego a geometria é inerente à natureza e os teoremas matemáticos são expressões de verdades eternas e exatas acerca do mundo real. Nos escritos de Platão, assim como nos de Aristóteles, via-se no sistema atômico apenas quatro tipos de elementos, sendo estes água, terra, fogo e ar, que foram submetidos a uma compreensão geométrico-analítica, e passaram a possuir diferentes estruturas geométricas respectivamente as formas icosaédrica, cúbica, tetraédrica e octaédrica.



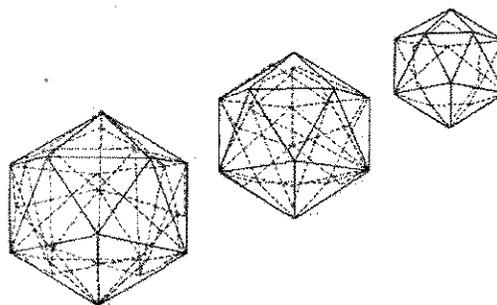
Assim, as pequenas partículas de cada elemento tinham uma forma especial. A combinação entre elas resultava na imensa variedade das formas naturais. Como cada uma dessas estruturas geométricas possuía um *raio*, a análise de Platão revelava que o mundo era formado de estruturas matemáticas<sup>29</sup>.



A diferença de tamanho das figuras geométricas ilustrava diferentes espécies de uma mesma “classe”, por exemplo, dentro da classe dos líquidos, o vinho, o mel, e o óleo seriam diferentes pois apresentariam diferentes tamanhos nos seus corpúsculos elementares, embora todos eles fossem icosaédricos.

---

<sup>29</sup> R. Reyna; *Op. Cit.*, pp. 83



Cada elemento se distinguia ainda por sua qualidade predominante: o calor para o fogo, o frio para a água, a umidade para o ar e a secura para a terra. Mas os elementos se relacionavam, também, através das *qualidades*, pois cada um deles possuía outra qualidade, além da predominante. Assim, as qualidades do fogo são o calor e a secura, as da água são o frio e a umidade e as do ar são a umidade e o calor. Os elementos podem se transformar uns nos outros de acordo com as qualidades que apresentem em comum. Assim, por exemplo, ‘retirando’ o frio, a água se transforma em ar, o que se relaciona às observações feitas sobre a evaporação dos líquidos. Interessante notar que físicos da atualidade também introduziram *qualidades* como cor e sabor para distinguir diferentes tipos de *quarks*, as entidades elementares que escapam a nossa observação direta.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> No modelo original de Gell-Mann, haveria três tipos de quark e seus anti-quarks. Com o passar do tempo, entretanto, os físicos tiveram de postular quarks adicionais. A primeira extensão do modelo, que emergiu da aplicação detalhada da hipótese quark a todo o conjunto de dados referentes à partículas, foi a exigência de que cada quark aparecesse em três cores diferentes. “O uso do termo cor é, naturalmente, muito arbitrário e nada tem a ver com o significado habitual de cor [...] A introdução da cor elevou a nove o número total de quarks e, mais recentemente, foi postulada um quark adicional, novamente aparecendo em três cores. Para distinguir os diferentes tipos de quarks de diferentes cores, os físicos logo introduziram o termo “sabor”, e falam agora de quarks de diferentes cores e sabores” (Fritjof Capra, *O Tao da Física, Op. Cit.*, pp. 192-193)

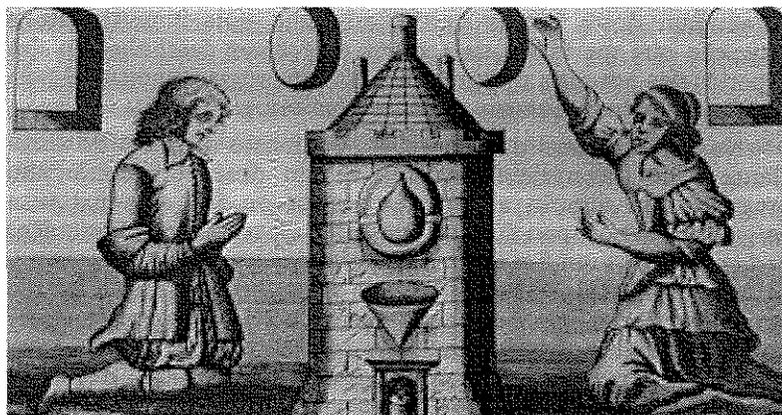
A escolha desses quatro elementos pelos antigos gregos é característico de um pensamento especulativo-intuitivo, ou poderíamos até dizer poético, no sentido de levantar questões científicas sobre a constituição da matéria. Esse espírito especulativo e poético, embora não mais intuitivo, faz com que as ciências exatas modernas, que hoje incorporaram tais questões sobre o entendimento da matéria, não sejam assim tão 'duras' como predizem as ciências humanas. Embora a rotina de trabalho dos pesquisadores das exatas requeira medições cuidadosas e pensamento lógico, é importante ressaltar que também requer alta dose de inspiração e criação, não diferindo portanto, dos atos de criação de um escritor, pintor ou compositor.

A concepção de que todas as substâncias seriam constituídas por diferentes proporções dos quatro elementos pelos gregos foi retomada, em um período posterior, aparecendo nos detalhes essenciais da *opus* alquímica, especificamente no que se refere à manipulação dos elementos para a confecção da Pedra Filosofal, servindo de base para a idéia alquímica da transmutação. Se a matéria é um único substrato amorfo e se o que diferencia, por exemplo, o chumbo do ouro é a proporção em elementos, modificando-se adequadamente essa proporção, seria possível aperfeiçoar o chumbo, transformando-o em ouro.<sup>31</sup> Essa noção, que se exprimia apenas imperfeitamente através da palavra escrita, foi traduzida em imagens, mostrando-se mais inteligível do que os próprios conceitos filosóficos, tanto no caso

---

<sup>31</sup> A "prima materia" ou "elementum primordiale" dos alquimistas teria a capacidade de abarcar todas as formas possíveis. Neste sentido ela se assemelha às partículas elementares da atualidade, já que ambas são o *princípio* de todas as coisas: o qual os alquimistas chamavam de "in creatum" (algo que não foi criado), e que os físicos atuais admitem ser de uma existência virtual. A concordância sobre a natureza destes 'elementos primordiais' está no grande segredo que os envolvem, já que, no caso da alquimia, estes são regidos pela vontade de Deus e, na atualidade, estes 'elementos primordiais' (as menores partículas encontradas) apresentam um tempo de existência de milionésimos de segundos.

dos antigos gregos quanto dos alquimistas, ainda que estes últimos utilizassem imagens demasiado complexas devido ao seu conteúdo simbólico (condizente com a constituição espiritual alquímica), como ilustramos abaixo.<sup>32</sup>



A teoria atômica de Platão, assim como as de Leucippo, Epicuro, Lucrecio e Demócrito, pode nos levar, à primeira vista, a sérias críticas quanto ao seu rigor científico. Porém, o esforço aqui apresentado é vencer o emaranhado histórico e vislumbrar o universo que tornou viável estas teorias. Dessa forma, pode-se perceber a adequação e inteligência destas teorias quando aplicadas a um sistema de mundo totalmente diferente do nosso, como podemos observar seguindo a explicação de Epicuro sobre o objetivo de existir uma filosofia atomista, segundo R. Martins<sup>33</sup>:

*[...] o objetivo é a tranquilidade que vem do conhecimento. Pois as pessoas que não conhecem as causas dos fenômenos da natureza acreditam em deuses e ficam sujeitas ao medo. Pois, acreditando nos mitos, as pessoas podem temer algum castigo eterno e ficar sob o domínio de opiniões erradas. Mas, segundo Epicuro, aquele que compreender os ensinamentos do atomismo e se lembrar sempre deles*

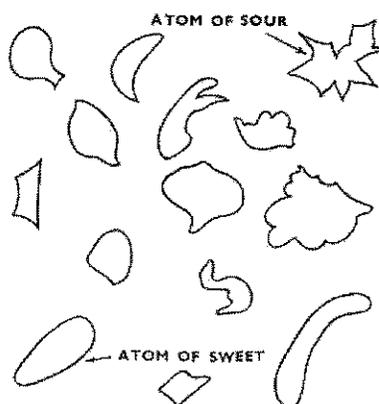
<sup>32</sup> C.G. Jung, *Psicologia e Alquimia*, Ed. Vozes, 2ª. edição, Petrópolis, 1994, pp. 17

<sup>33</sup> R. de Andrade Martins, *O Universo - teorias sobre sua origem e evolução*, Op. Cit. pp.48-49

*ficará tranqüilo, sem perturbação, sem medo, sabendo que tudo ocorre apenas pela reunião e separação dos átomos e que nada mais acontecerá depois da morte.*

Percebemos segundo este relato que os homens viviam naquela época esmagados pelo peso da religião, tendo Epicuro encarado a natureza de frente, sem temer os mitos sobre os deuses, nem o som dos trovões.

Demócrito parece ter sido o primeiro a insistir que toda espécie de matéria, ainda que aparentemente pareça homogênea, deva ter alguma estrutura interna. Demócrito afirmava que as formas das partículas constituintes de todas as coisas apresentavam-se em grande número e com formas bastante irregulares, respeitando apenas os aspectos qualitativos dos materiais.



Uma das premissas que é válida até hoje e que se encontra nos princípios atomísticos de Platão é que o experimentalismo não é condição essencial para provar a existência de um fenômeno. Hoje, consideramos o átomo como uma entidade totalmente abstrata que não mais pode ser simbolizado por formas bi ou tri-

dimensionais, como afirma Heisenberg: “O átomo da física moderna somente pode ser simbolizado por uma equação diferencial em um espaço abstrato, multidimensional”<sup>34</sup>. Essa representação matemática é descrita como:

$$\hat{H}\psi(x, y, z) = E\psi(x, y, z) \quad (\text{Equação de Schrödinger})$$

Os experimentos realizados por Rutherford (discutidos mais adiante) mostraram que os átomos, em vez de serem sólidos e indestrutíveis, consistiam em vastas regiões do espaço nos quais se moviam partículas extremamente pequenas. A teoria quântica mostrou que até mesmo essas partículas nada tinham a ver com os objetos sólidos da Física Clássica ou da Antigüidade Clássica. As unidades sub-atômicas da matéria são entidades extremamente abstratas e dotadas de um aspecto dual. Dependendo da forma pela qual são abordadas elas aparecem às vezes como partículas e às vezes como ondas. Parece impossível acreditar que algo possa ser, *ao mesmo tempo*, uma partícula - uma entidade confinada a um volume extremamente pequeno - e uma onda, que se espalha pelo espaço.<sup>35</sup>

Um outro passo dado pela ciência moderna no sentido de desmaterializar o átomo foi a destituição da crença deste ser indivisível e imutável. Experimentos em física nuclear do nosso século mostraram que a radiação gerada a partir de materiais radioativos pode não só alterar a parte eletrônica externa do átomo como o próprio núcleo atômico. As partículas sub-atômicas podem então colidir entre si, desintegrar-

---

<sup>34</sup> W. Heisenberg, *Philosophic Problems of Nuclear Science*, London, 1952, pp. 38, cit. por R. Reyna, *The Philosophy of Matter in the Atomic Era, Op. Cit.*, pp. 91

<sup>35</sup> Essa característica dual serve também para a luz, que segue as formulações do eletromagnetismo de Maxwell e a equação de Max Planck (fótons).

se, fundir-se, *dividir-se* ou transformar-se em outros átomos, tornando real a possibilidade de “transmutação”<sup>36</sup> de elementos químicos.

A Mecânica Quântica, surgida há 50 anos, fez com que a idéia da simplicidade das partículas microscópicas se tornasse algo insustentável. Não se tinha acesso a átomos e moléculas senão por intermédio de instrumentos, todos macroscópicos, levando a que as teorias relativas a estes estivessem intrinsecamente determinadas por essa mediação.<sup>37</sup> Com o advento da moderna teoria atômico-molecular (nossa teoria atual dos comportamentos microscópicos) proporcionada pela Mecânica Quântica, as novas representações moleculares perdem gradativamente proposições empíricas, recebendo o rigor da lógica-matemática. Logo, as imagens geradas segundo este modelo, podem ser entendidas como a representação concreta e não mais subjetiva do "objeto" em estudo.

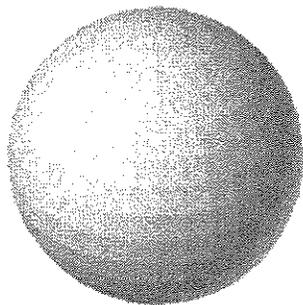
As representações imagéticas para o conceito moderno de átomo, inicia-se com a teoria atômica de Dalton (início do séc. XIX) que o propunha como uma esfera maciça sem cargas elétricas.<sup>38</sup>

---

<sup>36</sup>A transmutação é um antigo ideário, onde se procurava produzir a transformação de metais em ouro. Existiam diferentes grupos sociais que utilizavam tal prática, cada um com objetivos específicos, como explica Goldfarb: “Os sábios buscavam a perfeição através da sabedoria, evitando qualquer esoterismo. Os alquimistas procuravam a transmutação dos metais, sabendo que isso se faria simultaneamente com a obtenção da própria perfeição e longevidade. Os artesãos procuravam a simples fabricação de ouro vulgar...” Goldfarb, Ana M. A., *Da Alquimia a Química*, pp. 17, São Paulo

<sup>37</sup> Ilya Prigogine, *A nova aliança - a metamorfose da ciência*, Ed. Universidade de Brasília, 1984, Distrito Federal

<sup>38</sup> A importância da teoria atômica da matéria é que através dela podemos explicar as propriedades das substâncias, as mudanças de estado, as reações químicas, as separações de misturas, as leis ponderais, a composição definida das substâncias, a transformação das substâncias e a conservação dos elementos numa reação química.



Representação do átomo segundo a teoria de Dalton

Este modelo serviu para explicar as leis de Lavoisier e Proust, nas quais os átomos se comportam como unidades indivisíveis e também para introduzir a utilização de símbolos enquanto nomenclatura.

A partir do trabalho de Berzelius inicia-se uma nova era para a representação simbólica. Nesta nova simbologia a representação adquire um patamar mais elevado, pois a ela estão relacionadas não somente a nomenclatura, mas também um resumo das propriedades moleculares.

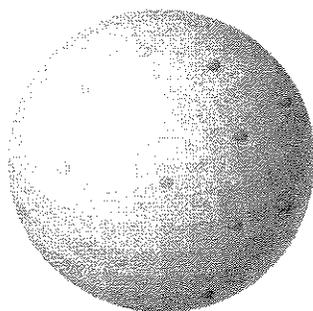
O modelo de Dalton não se sustentou com o advento das experiências de descargas elétricas feitas pelo físico J.J. Thomson, que mostrou que os átomos contêm partículas de carga negativa - os elétrons, que fluíam de todas as substâncias. A “descoberta” do elétron pode ser tomada como um dos feitos científicos mais importantes dos últimos cem anos.<sup>39</sup>

---

<sup>39</sup> Alguns físicos acreditam que este é o século do elétron, pelo fato da tecnologia depender diretamente das propriedades destes, como enfatiza Marcelo Gleiser ao mostrar importantes feitos tecnológicos: “Imagens em tubos de televisão são formadas quando elétrons se chocam contra o interior da tela [...] Transistores, usados em quase todos aparelhos eletrodomésticos e computadores, dependem da mobilidade de elétrons em diversos tipos de materiais [...] Inúmeras aplicações tecnológicas futuras sendo estudadas hoje são baseadas nas propriedades do elétron, como por exemplo, supercondutividade a altas temperaturas, chips ultravelozes, ou ‘computadores quânticos’, que usam moléculas para efetuar cálculos.” (M. Gleiser, “Há cem anos, Thomson descobria o elétron”, *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 5-16, 14 de dezembro de 1997)

Thomson formou sua imagem dos átomos através de experimentos realizados em 1897. Thomson estava interessado nos fenômenos que ocorriam quando descargas elétricas atravessavam tubos catódicos (os tubos de televisão são versões modernas desses tubos catódicos). Ao se conectar em uma bateria um estranho raio se propagava pelo tubo catódico produzindo uma mancha fosforescente em sua parede. Thomson mostrou que esses “raios catódicos” eram defletidos por um campo magnético e por um campo elétrico. Baseado em suas medidas, atestou que esses raios eram compostos de “corpúsculos” com carga elétrica negativa e com massa pelo menos mil vezes menor que um átomo de hidrogênio.

O átomo de Thomson aparecia como uma esfera de matéria de carga positiva contendo elétrons, negativos e muito pequenos, espalhados em seu interior tal como passas em um pudim (modelo “pudim com passas”). O total de cargas positivas seria igual ao das negativas, garantindo a neutralidade do átomo.



O átomo segundo Thomson

Mesmo diferindo pela introdução de cargas, a idéia de átomo associado à forma esférica se manteve a mesma do modelo de Dalton, superando-o, porém, ao permitir justificar as propriedades elétricas da matéria, além de identificar a primeira

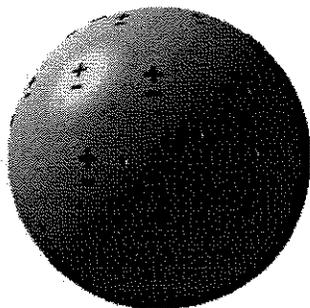
partícula elementar. Pelo termo elementar, denotamos objetos que não podem ser subdivididos em outros ainda menores. Baseando-nos nessa definição não podemos tomar o átomo como partícula elementar, já que é composto de prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons e nêutrons também não são elementares, já que são compostos por quarks e léptons, como veremos mais adiante.

Essa imagem correspondia a muitos experimentos realizados, como por exemplo, ao perder elétrons os átomos tornar-se-iam mais positivamente carregados, e em caso de elétrons sobressalentes serem incluídos nos átomos, estes tornar-se-iam mais negativamente carregados. De qualquer maneira, qualquer que seja a carga do elétron, o processo de carregar e descarregar pode ser visto como uma prova da movimentação dos elétrons entre átomos. Essa parte do modelo de Thomson é válida ainda hoje, porém, a posição espacial dos elétrons nesse modelo não se sustentaria por muito tempo<sup>40</sup>. Com sua descoberta, Thomson deu continuidade a uma tradição herdada dos filósofos pré-socráticos da Grécia Antiga: a busca pelos constituintes fundamentais da matéria. No entanto, o modelo de Thomson era apenas uma delimitação inicial da imagem do átomo.

No início do séc. XX, o físico Philipp Lénard sugeriu um modelo atômico formado por pares de cargas positivas e negativas que foram denominadas “dinamidas”. Esses pares de cargas se encontrariam em blocos dispersos no espaço.

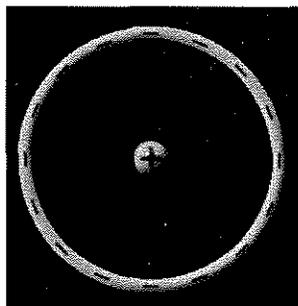
---

<sup>40</sup> M. Chester, *Partículas*, Artenova/Universidade de Brasília, 1979; cit. por N.O. Belltran, em *Química*, Ed. Cortez, São Paulo, 1991



Modelo atômico segundo Phillip Lévy

Hantaro Nagaoka, ainda no início do século, fez uma descrição de um átomo surpreendentemente avançada para a época em que viveu. Em seu modelo, o átomo era constituído de um centro muito denso rodeado por um anel de elétrons. Ainda o comparou com o planeta Saturno e seus anéis, que permaneceriam estáveis pois o planeta é bastante denso para mantê-los em suas órbitas.



Representação do átomo de Hantaro Nagaoka

Em 1911 alguns cientistas resolveram experimentar bombardear partículas alfas em átomos de uma chapa metálica de ouro para sondar o seu interior. A metáfora criada por Chester<sup>41</sup> ilustra claramente o experimento realizado:

*Este bombardeio representava uma forma de “olhar” na intimidade dos átomos. O átomo é tão pequeno que somente uma coisa de tamanho*

---

<sup>41</sup> M. Chester, *Partículas, Op. Cit.* pp. 106

*atômico ou mesmo menor pode ser usada para descobrir de que é feito. Se você fechar os olhos, só poderá explorar o interior de uma casca de noz com um dedo, não podendo fazê-lo com o seu punho ou a cabeça. O bombardeio atômico baseia-se na mesma idéia. Somente algo extremamente pequeno pode ser usado para sondar o átomo.*

No experimento realizado, Rutherford observou que algumas partículas alfa<sup>42</sup> (carregadas positivamente) atravessavam a chapa de ouro, e outras mudavam completamente de direção, especialmente na parte central do átomo. O resultado que se esperava era que o desvio das partículas possibilitaria saber o que se passava no “pudim com passas” de Thomson, porém não se imaginava desvios tão discrepantes.

A conclusão lógica desse experimento foi de que as partículas positivas bombardeadas que sofreram desvios teriam encontrado uma zona de partículas também positivas.<sup>43</sup> As partículas alfa que atravessaram diretamente a chapa, deveriam ter encontrado *espaços vazios* no interior do átomo. Nas próprias palavras de Rutherford<sup>44</sup>:

*Para explicar os resultados experimentais é necessário supor que intensas forças elétricas estão localizadas no átomo e estas forças são responsáveis pela deflexão, pela mudança de direção, da partícula alfa quando esta se encontra com um átomo. Isso indica que o átomo deve conter um núcleo no qual se concentram cargas elétricas positivas...*

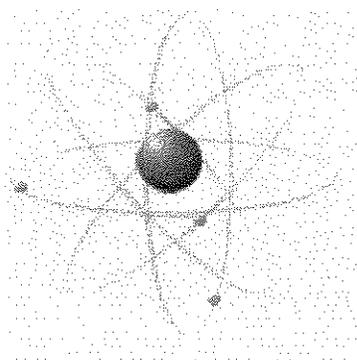
---

<sup>42</sup> Ernest Rutherford idealizou um experimento para separar e determinar a natureza das radiações emitidas: colocou um material radioativo num cilindro de chumbo e uma chapa fotográfica perpendicular ao feixe de radiações. Encontrou na chapa fotográfica, três marcas devido a três tipos de radiações, radiações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Descoberta na virada do século, as partículas alfa ( $\alpha$ ) são emitidas por substâncias radioativas e possuem as seguintes características: têm carga positiva (+2); têm massa 4; são emitidas com grande velocidade; possuem grande energia, sendo porém barradas por uma folha de papel ou por uma lâmina de alumínio de 0,1 mm de espessura .

<sup>43</sup> Segundo a teoria da eletricidade e do magnetismo, partículas que possuem mesma carga se repelem e as que possuem cargas opostas se atraem

<sup>44</sup> B.G. Harvey, *Química Nuclear*, EDUSP, 1969, São Paulo, cit. por N.O. Beltran, *Op. Cit.* pp.117

Então, os átomos, longe de serem partículas sólidas e duras - como se acreditava na Antigüidade - consistiam em imensas regiões de espaço nas quais partículas extremamente pequenas, os elétrons (carregados negativamente), estariam circulando elipticamente em torno do núcleo (carregado positivamente). Para termos uma noção das distâncias intra-atômicas imaginemos que, se inflássemos o núcleo até o tamanho de uma bola de tênis os elétrons estariam a aproximadamente 1 km de distância.<sup>45</sup> A imagem a que Rutherford naturalmente se remeteu foi a do sistema solar: o Sol no centro e os planetas orbitando ao seu redor. Esse modelo é conhecido como modelo planetário e é uma das representações imagéticas sobre o átomo mais difundida nos meios de comunicação.



Modelo atômico de Rutherford

A física descobre nesse período que ela contém e incorpora contradições fundamentais. A questão problemática do modelo de Rutherford, no entanto, veio à luz quando este era analisado segundo as leis da eletricidade e do magnetismo. De acordo com essas leis, os elétrons de carga negativa que circulassem ao redor do núcleo seriam inevitavelmente atraídos pelo núcleo de carga positiva. Mergulhariam

---

<sup>45</sup> Marcelo Gleiser, "A lua e as flutuações energéticas em aceleradores", *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 31/05/98, pp. 5-16

então no interior do átomo causando o seu colapso. Essas leis nos revelam que, segundo este modelo, a matéria seria altamente instável e em constante colapso. A teoria da luz, desenvolvida por Maxwell em meados do século XIX, também levantou as contradições deste modelo, onde os elétrons circulam em órbita ao redor do núcleo. De acordo com esta teoria as partículas eletrizadas deveriam emitir ondas eletromagnéticas, isto é, luz. Essa emissão de luz implica em perda de energia pelo fato dos elétrons estarem em movimento. Isto implica que os elétrons, ao invés de ficarem em órbitas estáveis, como a Lua ao redor da Terra, aproximam-se do núcleo em um movimento em espiral e precipitam-se sobre ele. O tempo deste processo seria inferior a um segundo. Isso explica o drama vivido pela teoria da matéria no início do século XIX: tal teoria previa a rápida destruição de todos os átomos, enquanto a nossa vida diária nos assegura o contrário, nos assegura a estabilidade da matéria.

Uma importante idéia tomada por Rutherford que demonstra sua compreensão sobre a natureza, foi a existência do vácuo na estrutura do átomo: o átomo como partícula essencialmente vazia quanto ao volume. A idéia de vácuo acompanhou o atomismo, tendo sido formulada também por Lucrecio, como relatamos a seguir<sup>46</sup>:

*Toda a natureza, tal como existe, compõe-se portanto essencialmente de duas coisas, os corpos, e o vazio no qual os corpos se localizam e se movem em todas as direções. Fora dos átomos e do vazio não há terceiro termo.*

---

<sup>46</sup> Citado por Michel Paty, *A Matéria Roubada, Op. Cit.* pp.75

A passagem conceitual da matéria plena ao átomo quase vazio foi sustentada por experimentos feitos por Torricelli, no século XVII, que revelaram a existência do vácuo. Se mantivermos a mesma linha de pensamento dos antigos podemos dizer que o aparecimento de vácuo no átomo retira-o do império em que reinava, deixando de ser a partícula última. Mas a noção do vazio físico é hoje muito complexa para que se recorra a esse tipo de concepção figurada. Para a física moderna a concepção de vazio não é o espaço puro da geometria, mas sim um lugar de influências e fenômenos físicos. Assim, o vazio se aproxima da definição de corpúsculo, quer se entenda um ponto único ou uma região extensa e limitada do espaço.

Até aqui a idéia da trajetorialidade dos elétrons num átomo aparecia num contexto de determinismo absoluto. Como nos explica H. Reeves<sup>47</sup>:

*A própria idéia de uma trajetória implica que, se conhecemos as leis do seu movimento, então podemos prever de maneira unívoca o resto da trajetória. Não existe para esse objeto nenhuma possibilidade de tomar outra trajetória a não ser aquela que esta prevista pela lei. É isso que chamamos a causalidade absoluta.*

Essa noção de trajetória, que foi herdada da filosofia grega e associa a toda causa um efeito único e determinado, foi sendo desgastada e desacreditada até estar totalmente diluída na passagem para a física do século XX.

Em 1913, Bohr enunciou postulados para explicar o modo como os elétrons estariam girando ao redor do núcleo atômico. Admitiu que os elétrons poderiam girar em órbita circular somente a determinadas distâncias permitidas do núcleo e assumiu

---

<sup>47</sup> H. Reeves, "Imagens de Ação na Física", *Op. Cit.* pp.16

que os elétrons ganhariam ou emitiriam energia conforme mudassem de órbita (uma órbita difere de outra por seu raio).<sup>48</sup>, tocando em questões relativas às propriedades geométricas dos átomos.

A teoria de Bohr fracassou pois seus postulados descreviam uma idéia absolutamente fechada em termos de geometria. A concretude de seu modelo era muito deficiente pois, como veio a demonstrar o Princípio da Incerteza de Heisenberg, não é possível antever a posição de duas partículas uma em relação à outra.

---

<sup>48</sup> Na década de 20, Bohr, juntamente com um grupo de físicos como Louis de Broglie (França), Erwin Schrödinger e Wolfgang Pauli (Áustria), Werner Heisenberg (Alemanha) e Paul Dirac (Inglaterra) , elaborou uma nova compreensão da estrutura da matéria, a teoria quântica, baseada em trabalhos anteriores de Max Planck e Albert Einstein (Alemanha).

## 1.2. O Atual Universo do Micro

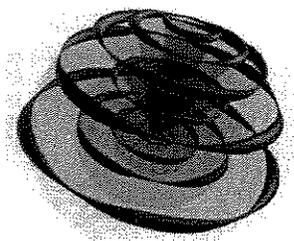
Na década de 20, físicos de várias nacionalidades juntaram suas forças e modelaram um dos mais importantes períodos da ciência moderna que nos permitiu entrar em contato com a intrigante realidade do mundo sub-atômico. Como nos coloca Capra<sup>49</sup>:

*Toda vez que os físicos faziam uma pergunta à natureza, num experimento atômico, ela respondia com um paradoxo; quanto mais os físicos tentavam esclarecer a situação, tanto mais agudos tais paradoxos se tornavam. Eles necessitaram de muito tempo para aceitar o fato de que tais paradoxos pertencem à estrutura intrínseca da Física atômica e para perceber que sempre viriam à tona toda vez que se tentasse descrever os fatos atômicos utilizando-se os termos tradicionais da Física.*

Os conceitos da teoria quântica foram de difícil aceitação, mesmo depois de integralizada sua formulação matemática. Rutherford havia demonstrado com seus experimentos que o átomo não poderia ser entendido como uma partícula sólida e indestrutível, mas sim como vastas regiões do espaço onde estariam circulando pequenas partículas. A teoria quântica demonstrou que até mesmo essas pequenas partículas em nada se assemelhavam aos objetos sólidos da física clássica. Como já dissemos anteriormente, as partículas sub-atômicas são entidades extremamente abstratas e dotadas de um aspecto dual. Em 1924, Louis De Broglie propôs que o elétron deveria ser entendido como um duplo modelo: onda e partícula. Para descrever esse comportamento dual os físicos usam uma função denominada função de onda  $\psi(x)$ .

---

<sup>49</sup> Fritjof Capra, *O Tao da Física, Op. Cit.*, pp. 57



Representação do atual entendimento sobre as partículas sub-atômicas

Em 1927 Heisenberg formulou o Princípio da Incerteza. Segundo este Princípio não se pode determinar simultaneamente a posição e a velocidade (momento) de um elétron. Quando conhecemos a posição, não podemos prever seu momento. Assim, as órbitas sugeridas por Bohr perderiam sua força explicativa, visto que estas seriam caminhos *definidos* por onde um elétron se movimentaria. Passou-se então a trabalhar com o conceito de *orbital*, que seria a região no espaço ao redor do núcleo mais provável de encontrar o elétron, introduzindo-se com este conceito a natureza probabilística da teoria.

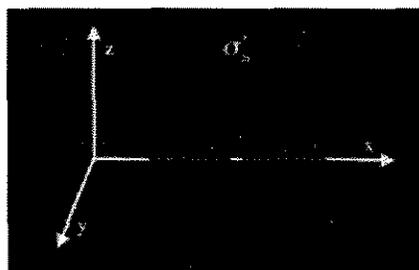
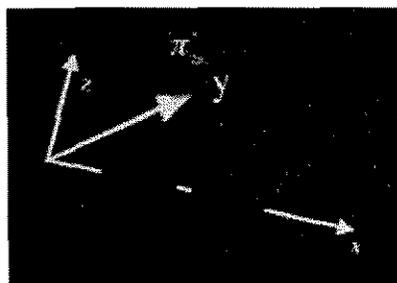
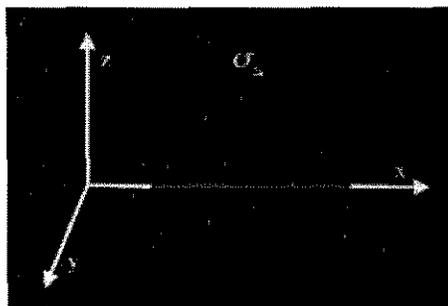
Na atual teoria mecânica-quântica o estudo de elétrons em átomos nos dá uma clara imagem dos níveis de energia associados com cada orbital atômico, que pode ser definido por quatro números quânticos. A questão de onde no espaço o elétron pode estar é uma questão ambígua e recebe mais do que uma resposta, como citamos acima. Esta dualidade de comportamento sugere que, na realidade, o elétron não é partícula nem onda. Mas nós apenas sabemos representá-lo através destas duas imagens concretas.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Alguns filósofos afirmam que as principais teorias físicas da atualidade são contraditórias, como a mecânica quântica, ao afirmar que partículas atômicas se comportam em determinadas circunstâncias como ondas e não, como partículas, fazendo-se necessário para este estudo adotar uma lógica não-clássica, que aceite contradições, como a lógica paraconsistente. (N. da Costa, "A Lógica da Liberdade", *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 5-4, 30 de novembro de 1997).

Sabemos que, ao menos em princípio, todas as ondas eletromagnéticas estendem-se através do espaço. Porém, este interessante resultado não nos ajuda na localização do elétron físico em um dado átomo. A localização de um elétron pode ser descrita de dois modos equivalentes utilizando-se os resultados da mecânica-quântica. Se o elétron é visualizado como um minúsculo objeto movendo-se muito rapidamente, então o espaço que ele ocupa pode ser descrito em termos de probabilidade de se achar o elétron em um dado ponto ou dentro de um dado espaço a qualquer instante. Se, por outro lado, o elétron é visualizado com uma onda eletromagnética, então a amplitude da onda, ou da função de onda, será maior em alguns lugares do que em outros. Novamente, um espaço tri-dimensional que “contenha” um elétron pode ser definido. A adoção destes padrões de probabilidade permitiu que a teoria quântica desbancasse os conceitos clássicos de objeto sólido e de leis da natureza estritamente determinísticas, já que as partículas subatômicas não existem com certeza em pontos definidos, apresentando apenas ‘tendências a existir’ e os eventos atômicos não ocorrem com certeza em momentos definidos, mas sim apresentam ‘tendências a ocorrer’.

Não é possível determinar com precisão onde e quando um elétron poderá se encontrar num determinado átomo. Sua posição depende da força de atração com o núcleo e também da interação com os demais elétrons do átomo. A representação conveniente para descrever a possível localização dos elétrons em átomos e moléculas é tida por formas no espaço chamados orbitais (padrões de probabilidade), como mostra as figuras a seguir:



É importante ressaltar que a forma inteira representa o elétron num dado momento, isto é, o elétron apresenta uma tendência a existir naquela região do espaço. No formalismo da teoria quântica essas tendências são representadas pela função de probabilidade, quantidade matemática que indica a probabilidade de encontrar o elétron num lugar, num determinado momento.

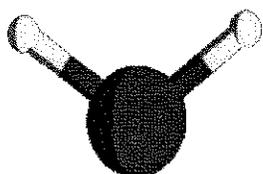
$$\int \psi^2(x, y, z) dV = 1$$

Onde  $\psi$  é uma função matemática denominada função de onda. As ondas de probabilidade são ondas *conceituais* que evidenciam o aspecto espaço-temporal no movimento dos elétrons.

Durante muito tempo acreditou-se que a forma dos orbitais era esférica e que os raios atômicos e iônicos podiam ser calculados com base nessa configuração. No tratamento mecânico-quântico de átomos, íons e moléculas, muitos dos orbitais não são achados na forma esférica. Além disso, os diferentes orbitais de um mesmo átomo interpenetram-se e a estrutura eletrônica externa do átomo acaba sendo um composto de vários orbitais.



Por estas razões, o raio atômico e o raio iônico são agora vistos como úteis medidas empíricas do tamanho de átomos e íons, melhor do que como propriedades



com um significado fundamental. Contudo, ainda se ensina estrutura de compostos usando modelos moleculares compostos de diferentes escalas de modelos de átomos esféricos.

Os valores dos quatro números quânticos influenciam a localização de um elétron, ou em terminologia agora introduzida, a distribuição da densidade eletrônica no espaço ou a forma de um orbital, mas os efeitos dos quatro diferentes números não são os *mesmos*. O *número quântico principal*  $n$  afeta principalmente o tamanho do orbital e tem uma menor influência em sua forma. O *número quântico secundário*  $l$  afeta principalmente a forma do orbital. O *número quântico magnético*  $m$  afeta principalmente a orientação do orbital no espaço tri-dimensional. O *número quântico spin*  $s$  tem menos efeito sobre a localização dos orbitais em um átomo isolado, mas tem uma influência nas interações orbitais quando os orbitais de diferentes átomos encontram-se.

Na moderna teoria atômica, podemos representar o átomo como uma mancha não delimitada que apresenta diferentes densidades (o orbital poderia ser representado como uma nuvem).

Essa representação está em consonância com o conceito de massa-energia que nós temos aceito como um postulado válido. O átomo então aparece como uma mancha não delimitada que apresenta diferentes densidades (o orbital seria fisicamente como uma nuvem) sendo que a região de maior concentração de pontos é o núcleo. O átomo não possui um limite bem determinado, por isso o conceito ‘tamanho’ de um átomo não pode ser bem definido.<sup>51</sup>

Os spins dos elétrons, assim como os orbitais e os átomos, deixaram de ser representados como ‘objetos’ quando passaram da visão científica clássica para a visão moderna. Experiências realizadas no início do século levaram físicos a suporem que o elétron girava sobre si mesmo, o que originou a imagem de uma esfera em rotação. Mas, pelo fato do elétron ter um volume bastante reduzido, a velocidade de rotação envolvida o levaria a explodir devido à ação da força centrífuga. Isto fez com que a imagem do elétron como uma esfera em rotação tivesse que ser substituída por outra, proposta pela mecânica quântica. Segundo esta teoria, os spins dos elétrons nunca “giram” ou “deixam de girar”<sup>52</sup>. Desta forma, passou-se

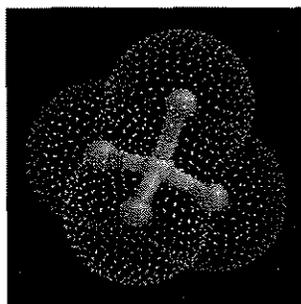
---

<sup>51</sup> Na impossibilidade de definir o tamanho do átomo, podemos substituí-lo pela distância entre seus centros num sólido ou em um líquido. No estado gasoso não é possível realizar esta medição visto que a distância entre os centros, sob condições normais de temperatura e pressão, é muito maior. (Erwin Schrödinger, *O que é vida?*, Ed. Unesp, 1997, São Paulo, pp. 20)

<sup>52</sup> Segundo a mecânica quântica “basta exigir que a função descritora do elétron seja invariável, em relação a uma rotação no espaço de Lorentz, para que se obtenha da teoria as propriedades requeridas, sem verdadeiramente nunca “girar” ou “deixar de girar”. H. Reeves, “Imagens de Ação na Física”, *Op. Cit.* pp. 22

das imagens de objetos (que se percebe com os sentidos) para as imagens de ações, que têm a propriedade de serem mais gerais, mais eficazes (ao menos atualmente), porém menos representáveis imagetivamente.

Entretanto, mesmo depois dessas novas teorias, os atuais livros científicos, educativos e mesmo *softwares* específicos de representação visual da estrutura atômica, parecem não ter abandonado a geometrização dos átomos facilmente: estes insistem em mostrá-los individualmente e em posições geométricas determinadas.



Representação da molécula tetra-cloroeto de carbono

Sabemos que não voltaremos a representar o átomo simplesmente pela transposição do que a imaginação formula a partir da percepção do mundo sensível. Embora as transformações tecnológicas em curso determinem uma mudança significativa das formas de representação iconográfica na ciência contemporânea, devemos ter claro que o que se busca não é alcançar verdades científicas específicas através deste simbolismo ou resumir a natureza a um pequeno número de leis simples e imutáveis<sup>53</sup>, mas sim, vislumbrar o mundo natural com seus processos complexos e múltiplos.

---

<sup>53</sup> I. Progogine, *A Nova Aliança - a metamorfose da ciência*, Op. Cit. pp. 07

### ***1.2.1. Partículas Elementares***

O universo está formado por dois tipos de partículas: as partículas materiais, que formam todas as coisas, e as partículas que se encarregam de transmitir as interações ou forças entre as partículas materiais. Estas partículas se formaram no início do universo, através da transformação de uma grande quantidade de energia. Depois de mudanças e transformações estas partículas se estabilizaram e criaram o universo tal como o conhecemos (e que ainda está em transformação) com todos os elementos que contém.

Na história da penetração humana dentro do mundo sub-microscópico uma nova fase foi atingida em 1930, quando estudiosos pensaram ter chegado, por fim, nos “blocos de construção básicos” da matéria. Sabia-se que toda espécie de matéria era formada por partículas estáveis que formavam os átomos, as moléculas e finalmente, todas as coisas. Sabia-se também que todos os átomos consistiam em prótons, nêutrons e elétrons. Essas chamadas ‘partículas elementares’ eram tidas como as últimas e indestrutíveis unidades da matéria, tal como os ‘átomos’ concebidos por Demócrito. No entanto, à medida que técnicas experimentais foram sendo desenvolvidas pela física moderna (pós 1930), novas partículas foram sendo descobertas, como atesta a seguinte reportagem publicada em setembro de 1997:

*Uma equipe de 51 cientistas da Rússia e dos Estados Unidos anunciou a descoberta de evidências de uma nova partícula subatômica, que poderá mudar a compreensão da estrutura da matéria. Eles afirmam ter detectado em laboratório um 'méson exótico', uma partícula do átomo que teria composição diferente da que é estabelecida pelo modelo teórico vigente há 30 anos [...] que estabelece que os mésons são formados por duas outras partículas - um quark e um anti-quark. O novo estudo propõe que os mésons podem ser formados também por dois quarks e dois antiquarks, além de outras partículas menores.<sup>54</sup>*

Essas novas partículas evidenciam o fato de que o adjetivo 'elementar' (a última divisão da matéria) deixou de ser adequado para tal situação, embora o termo ainda continue a ser utilizado entre os físicos.

Existem dois tipos de partículas elementares, os quarks e os léptons, que foram agrupados em 3 famílias, cada uma contendo dois quarks e dois léptons. A matéria está formada quase completamente por partículas da primeira família. Os membros da segunda família são produzidos por raios cósmicos, por objetos estelares muito energéticos, como buracos negros, sendo encontrados também em experimentos realizados em aceleradores de partículas. As partículas da terceira família abundaram nos primeiros momentos de formação do universo, o Big Bang<sup>55</sup>, agora se encontrando apenas sob altas energias nos aceleradores de partículas. A criação de partículas materiais a partir da energia pura é certamente o efeito mais espetacular da teoria da relatividade.

---

<sup>54</sup> das Agências Internacionais, "Estudo vê novo corpo subatômico", *Folha de São Paulo*, Caderno Mundo, 1-20, 2 de setembro de 1997.

<sup>55</sup> Big Bang é uma teoria sobre a origem do universo, que teria surgido a partir de uma grande explosão de um ponto inicial, com altíssima concentração de energia, há presumivelmente 15 bilhões de anos.

Os quarks são partículas que não podem existir independentemente, agrupando-se em combinações para formar outras partículas, como o próton e o nêutron. Existem também outras partículas formadas por quarks, mas estas têm uma breve existência e são bastante instáveis. Os léptons, no entanto, são partículas que se propagam e existem livremente.

Dentre as recentes descobertas científicas relacionadas à estrutura da matéria, a que certamente causou grande estranhamento ao público leigo foi a possibilidade real de se produzir partículas e átomos artificialmente através de aceleradores de partículas e, ainda, a produção de átomos de *antimatéria*. A simetria entre matéria e antimatéria implica o fato de que para cada partícula existe uma antipartícula portadora de igual massa e carga elétrica oposta. A antipartícula do elétron (negativo) é o pósitron (positivo) e do próton (positivo), o antipróton (negativo).

Percebemos que já não podemos determinar com precisão as *partículas constituintes de todas as coisas*, como os antigos gregos, muito menos observá-las ou representá-las imagetivamente (embora os físicos insistam, ao se referirem às partículas elementares, em usar a expressão *observou-se em laboratório*)<sup>56</sup>. Assim como o primeiro átomo de antimatéria foi descoberto em 1995<sup>57</sup>, novas e menores partículas emergem constantemente do ainda desconhecido universo da matéria,

---

<sup>56</sup> Sabemos que a 'observação em laboratório' a qual nos referimos deva ser entendida como 'detecção em laboratório', no entanto, a incorporação de uma expressão que está relacionada à percepção visual no vocabulário corrente dos atuais físicos revela a bagagem herdada dos filósofos gregos, pois estes elaboravam seu raciocínio lógico de acordo com o que observavam na natureza.

<sup>57</sup> Marcelo Gleiser, "A antimatéria e as assimetrias do Universo", *Folha de São Paulo*, Caderno *Mais!*, 08 de Março/1988

apresentando uma resistência ao rastreamento (os antiátomos existem por apenas 40 bilionésimos de segundo) que só é superada pela dificuldade de sua representação.

Curiosamente, a questão da divisibilidade da matéria passa, no decorrer da história, primeiramente por ser constituída de unidades indestrutíveis e imutáveis para, posteriormente, ser constituída por objetos compostos, que podiam ser fragmentados em suas partes componentes e, por fim, apresentar as duas características acima, isto é, apresentam o paradoxo de serem destrutíveis e indestrutíveis ao mesmo tempo. Segundo a física das partículas relativísticas a matéria pode ser dividida indefinidamente, embora não obtenhamos pedaços menores, já que criamos partículas a partir da energia envolvida no processo, como predisse Albert Einstein.

*CAPÍTULO 2*

*NOVOS MODOS DE REPRESENTAÇÃO PARA A  
ESTRUTURA DA MATÉRIA*

*Nos últimos anos, vem se generalizando em vários campos do conhecimento a suspeita de que as fronteiras, tão categoricamente traçadas no século anterior, entre arte, ciência e tecnologia já não se sustentam com o mesmo vigor. Alguns trabalhos recentes em áreas de intersecção de interesses colocam em evidência, com ênfase crescente, o arbítrio das categorias dicotômicas.<sup>58</sup>*

A transformação de materiais na contemporaneidade está ligada às atividades tanto de artistas quanto de cientistas, especialmente físicos e químicos. No entanto, antes que a arte e a ciência se definissem como atividades independentes, os conhecimentos relativos a processos de transformação de materiais eram dominados por artistas, como escultores e ceramistas.



*Laboratorio dell'alchimista, do século XVI, mostrando práticas de laboratório necessárias para o *opus* alquímica.*

Embora sejam poucos os cientistas contemporâneos que especulem sobre a ligação entre arte e ciência, talvez por esta ser menos aparente do que aquela que existe entre ciência e tecnologia, devemos voltar nossa atenção para essa análise para tentarmos suplantar a polaridade entre técnica e humanidade, entre ciência e arte. Filósofos desde a Antiguidade Clássica vêm discutindo a relação homem-máquina,

---

<sup>58</sup> Arlindo Machado, *Máquina e Imaginário- o desafio das poéticas tecnológicas*, EDUSP, São Paulo, 1993, pp. 12

procurando respostas que preenchem o vazio que envolve o espírito e o intelecto, se admitirmos e assumirmos que há uma oposição: “De um lado o logos, de outro a techné, e, intermediando, a poièsis, a maneira pela qual o homem quase que se equipara ao demiurgo”.<sup>59</sup>

Indiscutivelmente as produções artísticas deste século estiveram atreladas à evolução da ciência e da técnica, seja através do uso de modernas tecnologias (incluindo-se aqui a informática), seja tomando conceitos científicos como fonte inspiradora.

Despindo-nos da polaridade enganosa entre arte e ciência (embora os abismos epistemológicos entre elas sejam notórios<sup>60</sup>), acreditamos que a hipermídia talvez seja a melhor forma para dar visualidade desse corpo híbrido arte, ciência e tecnologia. Pontos de intersecção surgem através de descrições sobre o trabalho de criação tanto de artistas como de cientistas (relatos de pensamentos e sentimentos que acompanham o trabalho).

A idéia que partículas fazem átomos, átomos fazem moléculas e moléculas fazem a matéria visível - matéria que tem vida e pensa - é básica para um cientista entender o universo. A artista Gertrude M. Reagan em seu trabalho “Ouroborus” apresenta a hierarquia da estrutura da matéria com uma interpretação interdisciplinar,

---

<sup>59</sup> Maria de Fátima Burgos e Suzete Venturelli no ensaio *Arte Computacional no Espaço Cibernético*, home page da UNB.

<sup>60</sup> J. Mandelbrojt enfatiza as diferenças: “Arte, diferentemente da ciência, não explora a realidade objetiva, mas a realidade subjetiva ou reações subjetivas e, por isso, a imaginação em arte nunca envereda por caminhos errados, pois não tem que ser confrontada com a realidade”. Jacques Mandelbrojt, “Has my Practice of Science Influenced my Art?”, *Leonardo*, vol. 24, nº5, pp.519-524, 1994

isto é, como os conceitos de matéria estudados por várias disciplinas se interrelacionam. Demonstra, assim, o caráter investigativo de sua criação e a tentativa de esclarecer conceitos científicos que estão estreitamente ligados a vida de todos nós. Sua tentativa é a de refletir sobre os mistérios de criação e da vida (questões estas levantadas muito tempo antes da química se firmar como ciência) como explica abaixo:

*Um dia eu ouvi uma frase de que os eventos não existem até serem conhecidos pelos homens. O que isto poderia significar? O comportamento de partículas atômicas é inerentemente probabilístico [...] então, para qualquer momento o modelo de um elétron admite uma série de possibilidades e o resultado exato só será o conhecido depois de ter sido observado. Entretanto, a noção de que “eventos não existem até serem observados” pareceu-me uma proposição extremamente reducionista. Então resolvi fazer uma estrutura em loop que ilustrasse o paradoxo que notei.<sup>61</sup>*

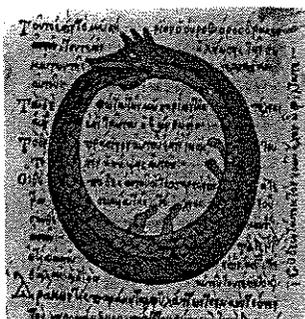
---

<sup>61</sup> Gertrude M. Reagan, “An Artist Explores the Concept of Levels in Matter”, *Leonardo*, vol. 23, n° 1, pp. 35-40, 1990, MIT Press Journals, Cambridge

Essa estrutura apresenta os níveis de organização da matéria<sup>62</sup> de fórmula circular, pretendendo resgatar o simbolismo presente em *Ouroboros* (a cobra que morde a si mesma, aparecendo como o símbolo da unidade do cosmos<sup>63</sup>).



Com este exemplo notamos que no processo de criação tem-se uma percepção ativa, onde a necessidade de abstração do experimentalista (ou artista) revela a completa subjetividade do processo. O físico Wolfgang Pauli<sup>64</sup> assegura que o processo de descoberta científica tem as mesmas características quando afirma que, ao se investigar a origem das teorias científicas percebe-se que as imagens simbólicas



precedem a formulação consciente de uma lei natural. Portanto, são as imagens simbólicas e as concepções arquetípicas que levam à busca das leis naturais. Como exemplo, podemos citar a teoria elaborada por Kepler sobre

<sup>62</sup> - *o pensamento imagina o espaço*: os fenômenos físicos e químicos só existem enquanto fenômenos após terem sido observados e formalizados. Alguns físicos, como Heinz Pagels esclarecem tal teoria: "A idéia da realidade material é impensável sem a consciência"<sup>62</sup>;

- *o espaço torna-se partícula*: físicos têm descoberto centenas de partículas subatômicas por aceleração de partículas conhecidas. Muitas parecem ser criadas de energia pura;

- *partículas tornam-se átomos*: as partículas subatômicas mais conhecidas são prótons, elétrons e nêutrons;

- *átomos tornam-se matéria*; os átomos unem-se sob condições favoráveis, tornando-se moléculas;

- *matéria torna-se vida*;

- *vida faz o pensamento possível*.

<sup>63</sup> A serpente inicialmente foi desenhada no manuscrito alquímico de Cleópatra, no 1º século A.C. Porém a reprodução a cores, datada de 1478 encontra-se no manuscrito alquímico grego de Sinósio. (José J. de Carvalho, *Mutus Liber - o livro mudo da alquimia*, Attar, São Paulo, 1995)

<sup>64</sup> Wolfgang Pauli recebeu o Prêmio Nobel por seus trabalhos em fissão nuclear

a estrutura heliocêntrica do mundo, que foi elaborada a partir da concepção arquetípica da imagem do Deus criador, imagem central e solar por excelência.<sup>65</sup>

Quando cientistas contemporâneos necessitam descrever ou entender a realidade que está além do que podem ver através da percepção visual, como é o caso daqueles que estudam partículas infinitamente pequenas, ou mesmo o cosmos, eles são levados a abstrair percepções cotidianas, pois estas foram formadas a partir da experiência com os objetos de sua própria escala. Os cientistas têm que adquirir então uma nova intuição para descobrir ou inventar novos conceitos (que freqüentemente podem ser precisamente expressos através de formulações matemáticas) ou achar novos modos de representações que não são específicos à ciência, mas a que esta tem recorrido<sup>66</sup>. A utilização de imagens geradas digitalmente através de programas de computação gráfica, imagens digitalizadas, analogias entre imagens artísticas e científicas e imagens lúdicas como as remetidas por fábulas, constitui uma poderosa ferramenta para a interpretação visual de fenômenos da matéria, para a comunicação de conceitos científicos, análise de dados e visualização de resultados.

Alguns conceitos científicos para a descrição da matéria em uma escala sub-atômica, como a dualidade “onda-partícula”, podem ser chamados de “conceitos-imagem” por necessitar de uma representação imagética apropriada para um melhor

---

<sup>65</sup> W. Pauli, *The influence of Archetypal Ideas on the Scientific Theories of Kepler*, Pantheon Books, New York, 1955; citado por Nise da Silveira em *Imagens do Inconsciente*

<sup>66</sup> E.C.Schrödinger; *Science, Theory, and Man*, New York, Dover, 1957; citado por Jacques Mandelbrojt em “Art and Science: Similarities, Differences and Interactions”, *Leonardo*, vol.27, 3, 1994, MIT Press Journals, Cambridge

entendimento do fenômeno. Ao se utilizar imagens nestes casos, muitas vezes esteticamente trabalhadas, não se pretende criar uma *ciência ilustrada*, mas que o contato estreito com essas formas pictóricas contribua para um entendimento da experiência humana total, que uma *cultura científica*<sup>67</sup> ganhe expressão através destas imagens, evitando dessa forma, que os conceitos científicos tornem-se marginais ao homem e a própria natureza.

Os termos “visualização” e “científico” têm sido utilizados em universos bastante variados. A mídia, tanto impressa quanto televisionada, imprime um ar de verdade absoluta e legitimidade extrema ao termo “científico”, enquanto “visualização” é frequentemente usado para designar ilustrações, tanto de livros como aquelas geradas por ferramentas de *softwares* para a análise visual de dados. Quando utilizados conjuntamente (visualização científica), os termos citados acima adquirem uma enorme força cultural, pois atestamos que essas visualizações são conduzidas por teorias e observações científicas.<sup>68</sup>

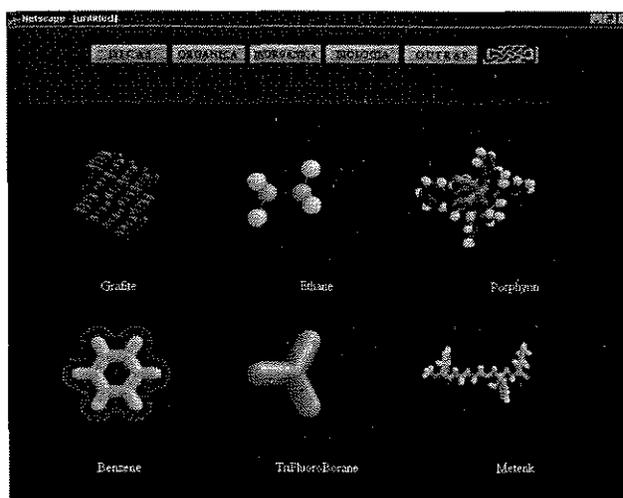
Poucas áreas nas ciências conseguem conciliar práticas artísticas e científicas mais legitimamente que a visualização científica. O processo se inicia com a construção mental de um modelo, que pode ser visualizado ou por um programa computacional de visualização científica que possui interfaces matemática e gráfica

---

<sup>67</sup> L. Alcopley; “On Art Fashions and the Artist’s Preoccupation with Science”, *Leonardo*, vol. 2, 2, 161-162, 1969, MIT Press Journals, Cambridge

<sup>68</sup> Ingrid Kallick-Wakker, “Science Icons: The visualization of Scientific Truths”, *Leonardo*, vol.27, 4, 1994, pp.309-314, MIT Press Journal, Cambridge

(como os programas *Spartan* e *Molden*), ou programas computacionais que possuam apenas a interface gráfica (como é o caso do plug-in *Chemscape Chime*).<sup>69</sup>



Tela desenvolvida no *Chemscape Chime*

Freqüentemente estas imagens são apresentadas para ratificar a teoria, raramente expõem a ciência com suas controvérsias e inconsistências<sup>70</sup>, tendo a finalidade de promover um contato visual imediato de conceitos científicos.<sup>71</sup>

<sup>69</sup> Se levantarmos questões epistemológicas acerca do processo, notaremos que os dados que derivam de modelos teóricos formulados e que geram uma imagem através de simulações numéricas, oferecem uma visualização que concebemos como correta e confiável. Se entrarmos na discussão sobre a validade do processo de seleção de dados, veremos que se os modelos teóricos adotados tivessem sido outros, a imagem resultante apresentaria outras características.

<sup>70</sup> Gostaríamos de salientar aqui que as imagens científicas não têm o 'poder' de questionar ou validar a teoria da qual foi gerada. Somente os resultados experimentais podem confrontar ou ratificar a teoria.

<sup>71</sup> Estas imagens podem ser chamadas de *ícones* pois mantêm uma relação de analogia com o objeto do mundo real, isto é, "por carregar uma multiplicidade de significados explícitos e implícitos a partir da ciência, já freqüentemente incorporando outras crenças que são verificadas por associação com a ciência."; Ingrid Kallick-Wakker, "*Science Icons: the visualization of Scientific Truths*", *Op. Cit.*, pp.312

## 2.1. Analogias Imagéticas e o Mundo Atômico-Molecular

*A semelhança se identifica com o ato essencial do pensamento: o de parecer. O pensamento parece tornar-se aquilo que o mundo lhe oferece e restituir aquilo que lhe é oferecido, ao mistério no qual não haveria nenhuma possibilidade de mundo nem de pensamento. A inspiração é o acontecimento onde surge a semelhança.*

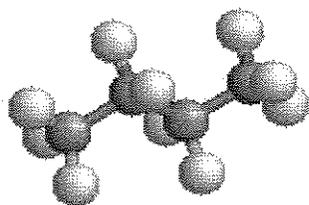
*René Magritte<sup>72</sup>*

A compreensão de conceitos utilizados para a explicação de fenômenos naturais, e aqui especificamente para fenômenos da matéria, como estrutura, simetria e isomerismo, pode ser facilitada através do estabelecimento de conexões entre o familiar e o desconhecido, ou seja, através de *analogias imagéticas*. O jogo analógico reduz a complexidade do objeto em estudo através de suposições aproximadas. Feynman a respeito disto, afirma: “Analogia, extensão, extrapolação das idéias fora de seu domínio inicial é perigoso, incerto, mas é a única maneira de progredir”.

No caso da estrutura da matéria e sob a luz do atual modelo empregado (teoria dos orbitais moleculares), sabemos que moléculas não se parecem com as ‘esferas ligadas por pauzinhos’ comumente utilizados em representações.

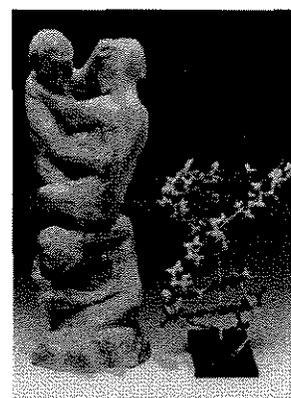
---

<sup>72</sup> Extraído do prefácio à exposição “René Magritte” de Dallas, 1961; citado por Michel Foucault em *Isto não é um Cachimbo*, Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1988



Representação de uma molécula de butano

Seria muito mais producente a utilização de outras possibilidades de representação, como a demonstração de similaridades entre esses elementos sub-microscópicos e objetos da escala humana. Alguns estudos psicológicos indicam que conceitos científicos, ao serem feitas analogias com o mundo real, tornam-se mais facilmente assimilados. Estas analogias podem ser utilizadas para demonstrar similaridades de superfície (externas) ou similaridades funcionais do fenômeno em estudo.<sup>73</sup> Demonstrando as similaridades de superfície, Mike Hann reafirma o caráter icônico das moléculas, ao assemelhar as curvas da hélice do DNA às formas humanas, como mostrado abaixo:



*Sense or Antisense?*, onde Mike Hann assemelha as curvas da hélice do DNA às formas humanas.

---

<sup>73</sup> I. Hargittai, M. Hargittai, "The use of artistic analogies in Chemical Research and Education", *Leonardo*, vol.27, 3, 1994, pp.223, MIT Press Journals, Cambridge

Sabemos que a imensa diversidade das moléculas orgânicas nos organismos vivos é composta de moléculas pequenas e simples, moléculas de unidades fundamentais (há poucos tipos diferentes) que se enfileiram em longas cadeias. As longas cadeias moleculares do DNA (ácido desoxirribonucléico) são construídas a partir de apenas quatro diferentes espécies de unidades fundamentais, arrançadas numa sequência característica.<sup>74</sup> Portanto, podemos perceber que há uma simplicidade básica na estrutura das macromoléculas biológicas, assim como nas formas humanas. Todos os organismos vivos usam as mesmas espécies de moléculas de unidades fundamentais e portanto parecem ter um ancestral comum.

Diversas analogias do mundo submicroscópico foram estabelecidas com imagens familiares à nossa percepção visual e estas podem ser vistas mais a seguir.

Essas analogias devem ser pensadas cuidadosamente, pois existe uma larga série de exemplos que podem ser levantados, porém deve-se levar em conta o tipo de impacto que se quer produzir ao utilizar tais estímulos visuais. Como disse R. Magritte: “A precisão e o encanto de uma imagem de semelhança dependem da semelhança e não de um modo fantasioso de descrever”.<sup>75</sup>

Além da analogia, a metáfora também é um veículo primordial da comunicação científica. Como já dissemos acima, analogias através de imagens

---

<sup>74</sup> Albert L. Lehninger, *Princípios de Bioquímica*, Sarvier, 1985, São Paulo, pp. 05

<sup>75</sup> René Magritte, extraído do prefácio à exposição “René Magritte” de Dallas, 1961; citado por Michel Foucault em *Isto não é um Cachimbo*, Ed. Paz e Terra, 1988, Rio de Janeiro

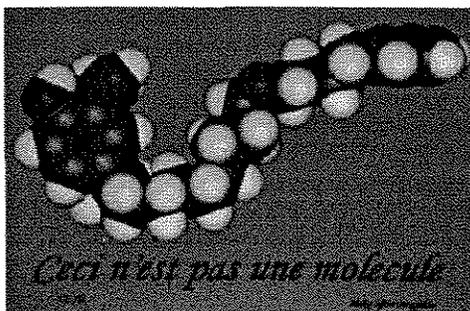
podem levar à explicação e popularização de conceitos científicos pouco familiares, que são em geral complexos e altamente técnicos, tornando-os assim, palatáveis. Mas as metáforas são algo mais que um auxílio para a explicação, são também ferramentas estratégicas que evitam que o pesquisador se perca em paradoxos lógicos, como define Kenneth Burke: “metáforas são estratégias adotadas para organizar e comandar o exército de nossas idéias e imagens”<sup>76</sup>. Como exemplo, podemos tomar a fábula “O pescador e o gênio” de *As Mil e Uma Noites* para tratar da teoria da relatividade. Ao deslocarmos a fábula de seu ambiente semântico próprio, a estamos vestindo com outra roupagem, como discutiremos no ítem 4.1.1. Aqui a metáfora extrapola sua função como recurso retórico, incidindo no modo como pensamos, percebemos e atuamos, permitindo-nos construir conceitos<sup>77</sup>

No traçado de semelhanças entre imagens, onde frequentemente trocamos o sentido original da imagem pelo figurado, vemos que o pensamento não se preocupa em se harmonizar com um modo ingênuo ou erudito exclusivos, pois a intuição que se encarrega da formulação das semelhanças (ou analogias), se apoia tanto na razão quanto ao absurdo. Em “Ceci n’est pas une molecule”, Mike Hann utiliza a representação espacial da macromolécula adenosina trifosfato (ATP) para fazer uma releitura de “Ceci n’est pas une pipe” de René Magritte.

---

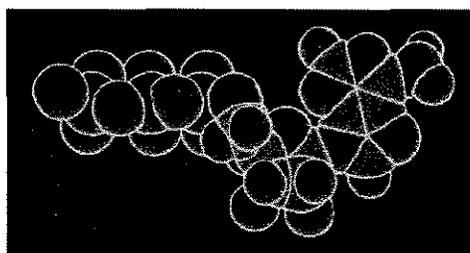
<sup>76</sup> Kenneth Burke, “Literature as Equipment for Living”, *The Philosophy of Literary Form*, pp. 298, University of California Press, Berkeley, 1973, citado por Dorothy Nelkin em *La Ciencia en el Escaparate*, Fundesco, 1990, Madrid, pp. 26

<sup>77</sup> George Lakoff e Mark Johnson, *Metaphors We Live By*, University of Chicago Press, Chicago, 1980, citado por Dorothy Nelkin, *Op. Cit.*, pp. 26



*Ceci n'est pas une molécule*, Mike Hann

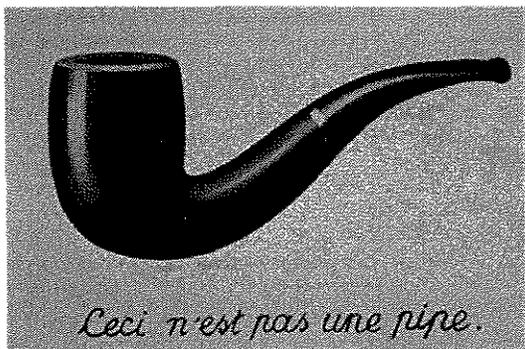
A analogia estabelecida propõe enfatizar o fato de que a molécula apresentada não é uma molécula, mas sim, um ícone que nós acreditamos representar alguns aspectos das propriedades de moléculas (podemos generalizar esta afirmação para toda imagem científica).



Modelo espacial para a adenosina trifosfato (ATP)

O cachimbo representado por Magritte, assim como a molécula representada por Hann, só possuem coordenadas no espaço quando intencionalmente o admitimos: podemos inserir o cachimbo em uma moldura (que possui altura, largura e profundidade), ou determinar os parâmetros para que um *software* de visualização científica gere uma molécula. Caso contrário, nos deparamos com o 'Princípio da Incerteza', que prediz não ser possível determinar posição e momento de uma partícula no espaço (segundo a Mecânica Quântica) e que torna incerta a localização

do cachimbo, pois este parece situar-se num espaço sem limite, dilatando-se até o infinito.



*Ceci n'est pas une pipe*, de René Magritte

Parece acertado que o “cachimbo molecular” de Hann não possui um suporte que o sustente, que lhe dê materialidade, solidez e estabilidade (pairando inacessível como um balão). Essa sensação de ausência de materialidade é causada pois a molécula representada (assim como os átomos que a formam) pode ser entendida como a matéria em sua forma virtual. Virtual, pois desprendida do aqui e agora e que não se encontra presente<sup>78</sup>, sendo reforçado pelo texto “Isto não é uma molécula” (ou seja, este desenho que vocês estão vendo, cuja forma sem dúvida reconhecem, não é substancialmente ligado a uma molécula). Por outro lado, Foucault ao escrever sobre o desenho de Magritte (o cachimbo) refletindo sobre a função do texto, afirma a supremacia da imagem sobre a palavra: “você vê tão bem o cachimbo que sou, que seria ridículo para mim dispor minhas linhas de modo a lhes fazer escrever: isto é um

---

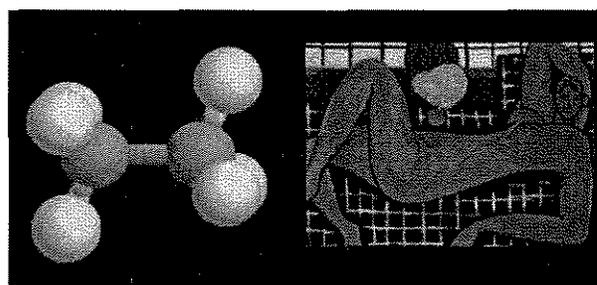
<sup>78</sup> Pierre Lévy, *O que é o Virtual*, Editora 34, São Paulo, 1996, pp.19

cachimbo. As palavras, de certo, me desenhariam menos bem do que eu me represento”<sup>79</sup>.

A utilização de analogias é um dos muitos instrumentos das interações potenciais entre arte e ciência como já discutimos acima. Tomamos alguns exemplos de situações facilitadoras para a compreensão de idéias abstratas frequentemente utilizadas em química que estão disponíveis no ícone “Analogias” do CD-ROM e que são descritas a seguir:

### ***Matisse e Estrutura Molecular***

*Nu Rose* de Henri Matisse é um quadro singular pela triangulação apresentada pelo braço e pela perna da retratada. Esses membros situam-se nas extremidades do eixo (corpo) e potencialmente podem sofrer deslocamentos em torno desse eixo. Tomamos esta pintura para ilustrar a conformação estrutural da molécula de etano, em que cada braço e cada perna é a representação de um átomo de hidrogênio, como segue abaixo:



Representação da molécula etano

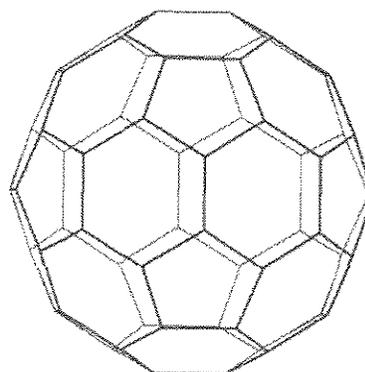
*Nu Rose*, Matisse, pintura à óleo, 1935

---

<sup>79</sup> Michel Foucault, *Isto não é um Cachimbo*, Op. Cit., pp. 27

## *Escultura e Estrutura Molecular*

Em *Escultura e Estrutura molecular* comparamos uma ilustração fotográfica de uma escultura em uma parede de Istambul, semelhante a uma bola de futebol, com a molécula  $C_{60}$  (Buckminsterfullereno). Esta molécula apresenta em sua estrutura 60 átomos de carbono esfericamente simétricos (estrutura icosaédrica), tendo sido sintetizada em 1985. Em 1990 conseguiu-se obter tal material em uma quantidade macroscópica suficiente para permitir medidas de propriedades físicas, para testar cálculos teóricos e para avaliar possíveis aplicações<sup>80</sup>. Descobriu-se nesta época que o estado físico do carbono nesta molécula era sólido, contrariamente ao estado líquido imaginado até então na temperatura ambiente.



Representações para a molécula fulereno

O que mais nos chamou atenção nesta molécula foi a história de sua descoberta. O estímulo inicial para o trabalho que levou à hipótese de uma molécula de  $C_{60}$  na forma de bola de futebol foi o interesse em certas características do

---

<sup>80</sup> Hugh Aldersey-Williams, "Reading Between the Lines", *The Chemical Intelligencer*, vol.02, 4, 1996, Springer-Verlag, New York

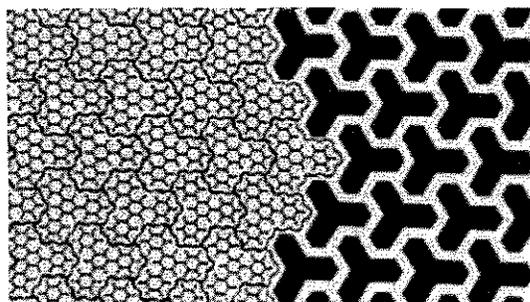
espectro de absorção e emissão de matéria interestelar. Provou-se no decorrer das pesquisas não haver nenhuma ligação direta entre elas, no entanto, isolou-se uma nova substância considerada secundária diante de todo aparato tecnológico utilizado (difração de raios-X, espectroscopia de massa, espectroscopia infra-vermelho e difração de elétrons).

### ***Desenhos Islâmicos e Estrutura Molecular***

No ítem *Desenhos islâmicos e estrutura molecular* um modelo de uma decoração islâmica surge para ilustrar o ‘empacotamento’ (close-packing) de moléculas de 1,3,5-trifenilbenzeno em um cristal molecular. Close-packing é um importante conceito em cristalografia pois quando moléculas estão sob esta forma em um cristal molecular, as interações existentes entre as moléculas podem mudar suas estruturas. No entanto, durante muito tempo acreditou-se que não haveriam alterações entre as moléculas em um cristal e as mesmas livres no estado gasoso. Somente com o surgimento de técnicas experimentais capazes de atestarem pequenas mudanças estruturais foi possível compreender o fenômeno<sup>81</sup>. A analogia sugerida devido sua forma aparentemente simples, mas potencialmente enunciativa, pode servir para enfatizar e levantar discussões acerca do assunto.

---

<sup>81</sup> I. Hargittai, M. Hargittai, “The use of Artistic Analogies in Chemical Research and Education”, *Op. Cit.* pp. 226



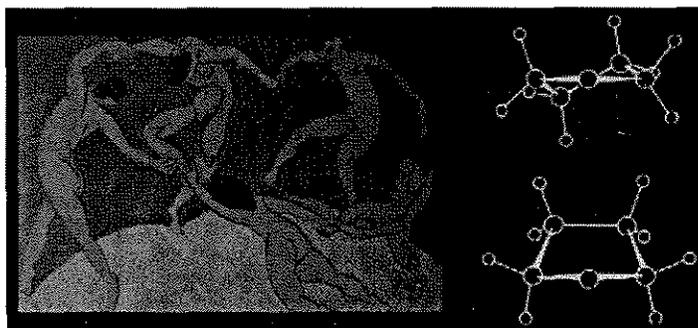
Empacotamento de moléculas 1,3,5-trifenilbenzeno

### ***Matisse e a Pseudo-Rotação da Molécula de Ciclopentano***

Uma analogia que ilustra o conceito de pseudo-rotação pode ser tomada pelo quadro *Dance*, de Henri Matisse. Vamos imaginar a seguinte coreografia para esta dança: uma das mulheres dá um salto e fica fora do plano das outras quatro. Logo que ela retorna ao plano das outras, este papel é assumido pela seguinte dançarina, e assim sucessivamente. A troca de papéis de uma bailarina para outra através de um grupo de cinco membros é tão rápida que, se nós tirarmos uma fotografia, nós teremos uma imagem manchada das cinco dançarinas. Entretanto, se usarmos um filme bastante sensível, poderemos fazer uma curta exposição que dará uma configuração bem-definida das dançarinas e um momento particular pode ser identificado.

A descrição acima simula bem a *pseudo-rotação* da molécula de ciclopentano  $(CH_2)_5$ , embora em uma escala de tempo diferente. A relação entre a a escala de tempo do movimento e a escala de tempo da medida deve ser levada em conta quando falamos sobre a simetria de uma estrutura em movimento. Se quisermos

discutir estrutura molecular, temos que desfocar o movimento intra-molecular e considerar a molécula como se ela não tivesse movimento. Uma molécula totalmente rígida é uma situação hipotética que corresponde à menor energia da molécula (energia potencial). Tal estrutura sem movimento tem um importante significado físico, chamado estrutura de equilíbrio. Por outro lado, moléculas reais estão sempre em movimento (a menos que se aproximem de 0 K). Além disto, as várias técnicas de medidas determinam a estrutura das moléculas. Assim como na discussão acima sobre *Dance* de Matisse, a duração do tempo da configuração em estudo e a escala de tempo da técnica de investigação é de fundamental importância.<sup>82</sup>



*Dance*, de Henri Matisse

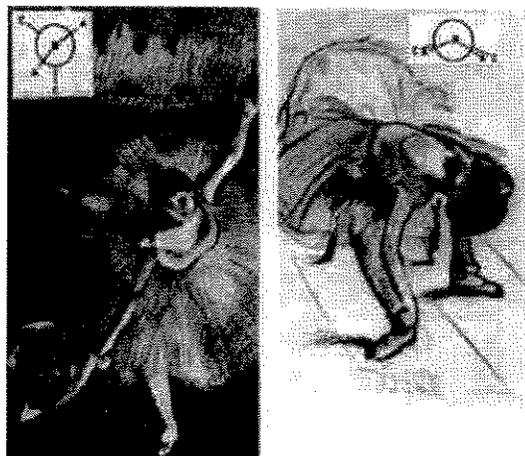
Pseudo-rotação de uma molécula de ciclopentano

---

<sup>82</sup> István Hargittai, Magdolna Hargittai, *Symmetry through the Eyes of a Chemist*, 2ª. edição, Plenum Press, New York, 1995, pp. 151

## *Degas e o Isomerismo*

Em *Degas e o isomerismo* I. Hargittai<sup>83</sup> propõe uma analogia dos quadros *End of the Arabesque* e *Seated Dancer Adjusting Her Shoes* do pintor Degas com a representação de isomerismo rotacional em uma molécula, isto é, como os átomos de uma molécula



se movimentam dentro de sua própria estrutura, a partir de uma molécula genérica  $A_2B-BC_2$ .

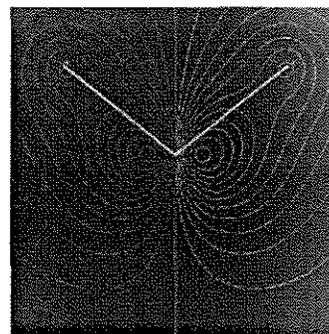
Uma cadeia de quatro átomos é o sistema mais simples onde o isomerismo rotacional é possível. Isômeros rotacionais, ou confôrmeros, são várias formas da mesma molécula relacionadas por rotação ao redor de uma ligação como eixo. As várias formas de rotação de uma molécula são descritas pela mesma forma empírica (por exemplo,  $C_2H_4O_2$ ) e pela mesma fórmula estrutural. Somente a posição relativa de duas ligações (ou grupos de átomos) nos extremos finais do eixo de rotação são mudados.

---

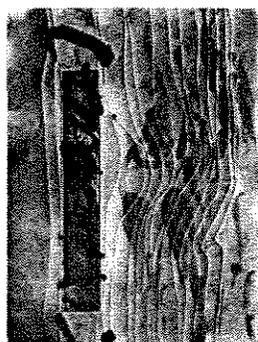
<sup>83</sup> I. Hargittai, M. Hargittai, "The use of Artistic Analogies in Chemical Research and Education", *Op. Cit.* pp.226

## *Antoni Tàpies e Orbitais Moleculares*

As linhas representativas dos orbitais moleculares da água (em *Antoni Tàpies e orbitais moleculares*) revelam-se extremamente interessantes, pois nos distanciamos dos cálculos que lhe deram forma e efetivamente não visualizamos uma probabilidade



matemática de onde os elétrons podem se encontrar, mas sim regiões onde se encontram maior ou menor densidade de linhas. Nos extremos das retas se encontram os átomos de hidrogênio e na confluência entre elas, o átomo de oxigênio. No quadro de Tàpies também encontramos regiões com maior densidade de pontos (mais

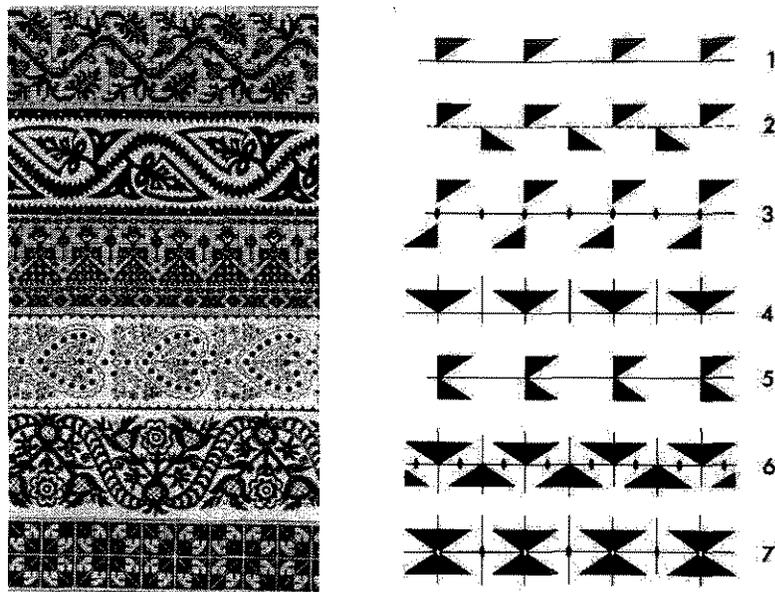


escuras) e regiões onde é possível se notar facilmente as oscilações nas linhas traçadas, podendo desta forma ser usado como uma analogia direta aos orbitais moleculares ao conseguirmos visualizar a 'probabilidade de encontrar mais ou menos pontos' em um espaço bidimensional.

## *Desenho Islâmico e Simetria Molecular*

A estrutura de cristais pode ser traçada por grupos de simetria através do espaço, como explica I. Hargittai, a periodicidade destes grupos pode se dar tridimensionalmente (extendem-se nas três direções do espaço), bidimensionalmente (periodicidade em duas direções do espaço) ou em uma única direção do espaço.

Em *Desenho Islâmico e Simetria Molecular* foi feita uma analogia entre modelos de bordados húngaros e grupos de simetria repetindo-se em uma única direção (classes de simetria no espaço unidimensional).

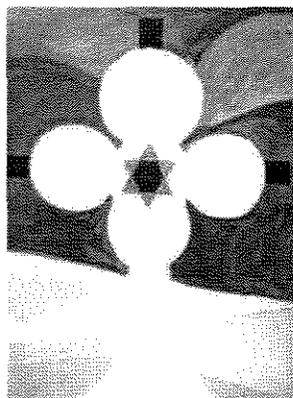


Bordados húngaros e grupos de simetria na estrutura de cristais

### ***Organização Espacial de Pares de Elétrons em uma Molécula de BeCl<sub>2</sub>***

Na analogia feita em *Organização Espacial de Pares de Elétrons* pretendemos salientar o mais simples modelo da geometria molecular que considera os pares de elétrons na camada de valência do átomo central quando estes pares são arranjados no sentido de maximizar as distâncias com outros pares. Neste modelo se consideram tanto pares de elétrons ligantes quanto os não ligantes. Para dois, três,

quatro, cinco ou seis pares de elétrons, os arranjos dos elétrons devem ser respectivamente: linear, trigonal planar, tetraédrico, trigonal bipiramidal e octaédrico. Tomando um dos eixos apresentados no quadro (x ou y) podemos fazer uma analogia de como seria o arranjo linear dos pares de elétrons na molécula  $\text{BeCl}_2$ . Cada uma das 'abóbadas' simboliza um par de elétrons e a estrela, o átomo central de berílio.



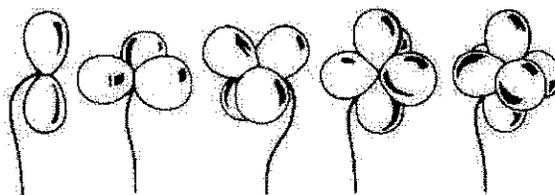
*Sem Título*, Óleo sobre tela de Norival Cobeiros

### ***Modelos de Repulsão de Pares de Elétrons na Camada de Valência e a Geometria de Frutos na Natureza***

Um dos mais simples modelos explicativos sobre a geometria de moléculas prediz que a geometria é determinada pela repulsão entre os pares de elétrons na camada de valência do átomo central.

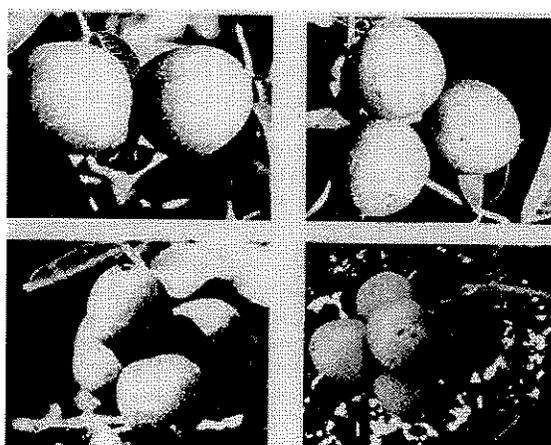
Podemos demonstrar as conseqüências deste modelo na realidade através de balões infláveis. Se grupos de dois, três, quatro, cinco e seis balões, respectivamente,

são todos conectados por suas aberturas, um esboço dos arranjos resultantes podem ser mostrados na figura abaixo:



Formas de grupos de balões

Obviamente, os espaços requeridos pelos vários grupos de balões, que agem com repulsão mútua, determinam as formas e simetrias destes grupos. Os balões aqui desempenham o papel dos pares de elétrons na camada de valência. Outra analogia com este modelo, e achada diretamente na natureza, é mostrada na figura abaixo:



Aglomerados de frutos

Os pequenos agrupamentos de frutos, por exemplo, tem exatamente o mesmo arranjo para dois, três, quatro e cinco frutos reunidos como predisse o modelo de repulsão de pares de elétrons na camada de valência ou como aqueles mostrados pelos balões. Os frutos acabam ocupando uma posição no espaço de tal modo que o

arranjo seja o mais vantajoso, considerando-se o espaço requerido para todos. Além destas observações em nível macroscópico, os balões e os frutos podem ser considerados como objetos ‘mole’ e ‘duro’, com fracas e fortes interações, respectivamente.

### ***Textura de Imagens nas Artes e na Ciência***

Garrett Morris, em “Tiger Burning Bright” afirma sobre a imagem abaixo: “a textura da imagem assemelha-se a uma pele de tigre, mas a informação que está contida dentro dela pode desmentir esse fato”. Assim, ele estabelece uma relação de representação onde a imagem gerada por ele se remete à um visível familiar (pele de tigre) na intenção de questionar a validade da descrição e estudo de algumas propriedades da superfície molecular.



*Tiger Burning Bright , imagem*

No entanto, muitas vezes a ciência nos mostra que é possível realizar determinados estudos sobre o interior de uma estrutura a partir de sua superfície. O

cálculo e a exibição do potencial eletrostático molecular na superfície de moléculas, por exemplo, é uma poderosa ferramenta para indicar o que ocorre no âmbito das interações inter-moleculares<sup>84</sup>. Frequentemente imagens geradas a partir de sofisticadas técnicas de computação gráfica possuem códigos próprios para descrever o fenômeno em estudo, podendo ser lidas através de seu colorido e textura, por carregarem uma multiplicidade de informações.

### ***Literatura e os Flocos de Neve: Ordem e Liberdade na Natureza***

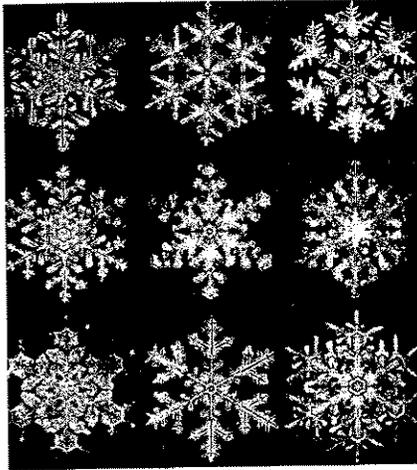
Como já abordamos no capítulo 1, a busca de uma unidade básica dentro das muitas diversidades desse mundo é uma das mais antigas observações feitas pela humanidade. Os filósofos pré-socráticos buscaram o segredo dessa unidade em uma substância universal. Thales viu-a na água, Anaximenes no ar, Heráclito no fogo e Xenófanés na terra. Mais recentemente, esse conceito tornou-se fundamental tanto para a arte, como para a ciência, como cita J. Bronowski:

---

<sup>84</sup> Helmut Hayd, Andreas Bergner e Heinzwerner Preuss, "GAME: A computer graphics method for calculating and displaying the molecular electrostatic potential", *Journal of Molecular Graphics*, 13: 2-9, 1995, New York, Elsevier Science Inc.

*A ciência nada mais é do que a busca da unidade na variedade fantástica da Natureza ou, de maneira mais precisa, na variedade de nossa experiência. Poesia, pintura, cada gênero de arte traz em si a mesma busca [...] da unidade na diversidade*<sup>85</sup>

Um dos mais belos exemplos desse princípio na Natureza é o floco de neve: todos diferem entre si, mas mantêm um padrão hexagonal básico que é a unidade para todos os flocos. O padrão é repetido doze vezes na estrutura do floco, sendo que tal uniformidade é característica de todos os padrões cristalinos inorgânicos (são mais ordenados e uniformes que os padrões orgânicos).



Fotomicrografia de flocos de neve por Bentley<sup>86</sup>

A morfologia dos cristais de neve é determinada por sua estrutura interna e as condições externas de sua formação. O arranjo hexagonal interno das moléculas de

---

<sup>85</sup> H.E.Huntley, *The Divine Proportion: A Study in Mathematical Beauty*, New York, Dover Publication, 1970, pp. 64; citado por György Doczi em *O Poder dos Limites - Harmonias e Proporções na Natureza, Arte e Arquitetura*, tradução de Maria Helena de Oliveira e Júlia Bárány Bartolomei, Ed. Mercury, São Paulo, 1990, pp.79

<sup>86</sup> O livro de Bentley (W. Bentley e W.J. Humphreys, *Snow Crystals*, McGraw-Hill, New York, 1931) é um dos dois trabalhos fundamentais sobre imagens de flocos de neve resultante de fotomicrografia. Bentley conseguiu catalogar ao menos 6000 fotomicrografias de cristais de neve.

água, produzido por ligações de hidrogênio, é responsável pela simetria hexagonal dos flocos de neve. Entretanto, isto não explica o incontável número de diferentes formas de flocos de neve e ainda o porquê da perfeição de sua forma. Melhor responderemos essa questão se a olharmos sob o aspecto da morfologia (forma de crescimento) e não da estrutura dos cristais.<sup>87</sup>

A forma simétrica dos cristais de neve levou a que cientistas, artistas e escritores se inspirassem e produzissem suas obras baseados neles. Thomas Mann em “A Montanha Mágica” mostra o embevecimento do protagonista Hans Castorp ao ver os flocos de neve caindo e escreve sobre sua beleza e simetria<sup>88</sup>:

*De fato, os pequenos flocos desciam mais rapidamente enquanto ele observava. Hans Castorp estendeu o seu braço e deixou alguns deles pousar na sua manga; os olhou com o olho sábio do apreciador da natureza. Pareciam somente pedacinhos sem forma, mas [...] **sabia da precisão extraordinária da forma apresentada por essas jóias, emblemas, arranjos regulares, broches - nenhum joalheiro, mesmo o mais hábil, conseguiria fazer um trabalho mais minucioso. Sim, pensou, existia uma diferença, depois de tudo, entre esse pó branco, leve e macio, sobre o qual passava com os esquis, que cobria as árvores e os espaços abertos e a areia nas praias. Porque esse pó não consistia de grãosinhos de pedra, mas de milhões de gotículas de água que, ao congelar, se juntaram rapidamente em variações simétricas - partes, então, da mesma substância inorgânica que era a fonte do protoplasma, da vida vegetal, do corpo humano. E entre milhões de estrelinhas encantadoras, na beleza escondida que era pequena demais para o olho do homem enxergar, nenhuma era igual à outra e uma faculdade inventiva sem fim governava o inconcebível desenvolvimento e diferenciação do mesmo esquema básico do hexágono regular, com lados e ângulos iguais. Mas cada um, em si - isso era a natureza desafiadora da vida, fantástica e inorgânica de cada um - cada um era***

<sup>87</sup> O processo de solidificação de fluidos em cristais tem sido simulado através de modelos matemáticos. Estas simulações mostram que cristais com ponta fina crescem rapidamente e tem alta estabilidade, enquanto cristais com formas grossas crescem vagarosamente e têm menor estabilidade.

<sup>88</sup> Texto em inglês citado por István Hargittai em *Symmetry Through the eyes of a Chemistry, Op. Cit.*, pp. 47

*totalmente simétrico, de uma forma rigidamente regular. Eram regulares demais - como uma substância que se adaptou à vida nunca conseguiu até então - o princípio da vida se arremetia frente à essa perfeição tão grande [...], Hans Castorp sentiu que agora compreendia a razão pela qual os construtores da Antigüidade introduziam propositadamente e secretamente, variações minúsculas na simetria perfeita nas estruturas dos pilares.*

## **Quiralidade**

O arranjo tetraédrico das ligações simples ao redor do átomos de carbono confere uma propriedade marcante em algumas moléculas orgânicas. Quando existir quatro átomos ou grupos funcionais *diferentes* ligados a um certo átomo de carbono em uma molécula orgânica, o átomo de carbono se chama assimétrico, existindo em duas formas isoméricas (enantiomorfos), que possuem configurações diferentes no espaço. Os enantiomorfos são imagens especulares não superponíveis.<sup>89</sup>

As duas formas de uma molécula assimétrica possuem as mesmas relações entre si que às das mãos direita e esquerda; sabemos por nossa experiência que a mão direita não se ajusta dentro de uma luva da mão esquerda.

Pelo fato dos compostos com átomos de carbono assimétricos poderem ser considerados nas formas destra e sinistra eles são chamados *compostos quirais* (do grego *chiros*, “mão”).<sup>90</sup>

---

<sup>89</sup> Albert L. Lehninger, *Princípios de Bioquímica, Op. Cit.*, pp. 42-43

<sup>90</sup> Moléculas quirais: os quatro ligantes substituintes podem ser arranjados de duas maneiras que representam imagens especulares não superpostas entre si.

Segundo Lord Kelvin, “pode-se chamar toda figura ou grupo de pontos ‘quiral’, se sua imagem em um espelho, idealmente realizada, não puder coincidir com ela mesma”.<sup>91</sup> As formas que possuem o mesmo sentido é chamada de homoquiral e as de sentidos opostos, heteroquiral. O exemplo mais comum de uma forma heteroquiral são as mãos.



Pares de mãos heteroquiral

Pares homoquiral de mãos

## 2.2. Noções Científicas sobre a Matéria e a Criação Artística

Como já vimos anteriormente, as ciências, de uma maneira geral, se desenvolvem criando modelos. Esses modelos se conformam a partir de teorias e conceitos que tentam explicar os fenômenos do mundo real e, ao mesmo tempo ampliam nossos conhecimentos sobre a realidade. O campo das artes, por outro lado, trabalha com elementos da realidade material, porém, transformando-os em

<sup>91</sup> Lord Kelvin, Baltimore Lectures, C.J.Clay and Sons, London, 1904, citado por István Hargittai, *Op. Cit.* pp. 66

metáforas poéticas. Muitas das pesquisas modernas nos campos das artes visuais e musicais possuem um fundamento que pode ser encontrado nas ciências.

O grupo musical *Shamen*, por exemplo, desenvolveu uma trilha musical relacionada à ciência em seu álbum “Axis Mutatis” de 1995. Essa trilha foi gerada a partir de uma seqüência de DNA e aminoácidos característicos da proteína S2 (proteína receptor para 5-hidroxi triptamina) e pode ser ouvida no CD-ROM que desenvolvemos.<sup>92</sup> Nesta composição o autor associou para cada átomo um acorde e para cada tipo de ligação entre átomos, um timbre e melodia. Segundo seu autor, Colin Angus, a molécula S2 foi escolhida para a realização desta música pois é uma das moléculas mais importantes na mediação dos estados da consciência, conseguindo mostrar desse modo que novas realidades científicas já podem atualmente ser apreendidas não apenas conceitualmente, mas também através da audição. As músicas e as moléculas portanto, não existiriam sem a associação notas-átomos e os timbres-ligação. Não podemos ouvir o som das moléculas, porém podemos prever qual seria a composição resultante se para cada átomo estivesse associado um som.

Pesquisas ‘artístico-científicas’ relacionadas ao tato e à visão estiveram presentes no espaço para Mostras do *SIBGRAPI -97* (Estados Unidos). Experiências como o espectador entrar em uma sala escura e *interagir* com uma macromolécula projetada no espaço em que ele se encontra (efeito obtido por um jogo de espelhos a partir de imagens geradas e mantidas em computador), ‘tocar’ em átomos e poder

---

<sup>92</sup> Um trecho da música pode ser ouvido pela Internet dando-se um download no endereço <http://www.nemeton.com/axis-mutatis/samples/s2.aiff>

deslocá-los no interior da molécula, ilustra uma interrelação isomórfica entre expressões matemáticas, formas, cores, sons e imagem em movimento que está criando um novo repertório expressivo para os segredos da matéria.

As qualidades estéticas das imagens científicas puderam ser vistas na Mostra “Molecular Graphics Art Show” que aconteceu conjuntamente com o *13º annual internacional meeting of the Molecular Graphics and Modelling Society*<sup>93</sup>. Trabalhos representando uma grande quantidade de disciplinas mostraram, na forma gráfica, a complexidade, diversidade e beleza do mundo molecular.<sup>94</sup> Havia algo em comum entre os cientistas envolvidos em pesquisas sobre estrutura molecular, ilustradores profissionais e artistas presentes: a busca por explorar os significados das moléculas na natureza.

Gostaríamos de ressaltar alguns aspectos sobre as realizações presentes nessa mostra, que nos levou a perceber que os discursos e as práticas orientaram-se no sentido de explorar as riquezas oferecidas pelo mundo atômico-molecular, seja ela estética, seja pelo oferecimento de explicações plausíveis para o comportamento da natureza. O desejo de explorar o invisível através de imagens mostrou-se latente nas obras produzidas, evidenciando que a iconografia científica e tecnológica já é hoje uma referência constante no imaginário do homem contemporâneo.

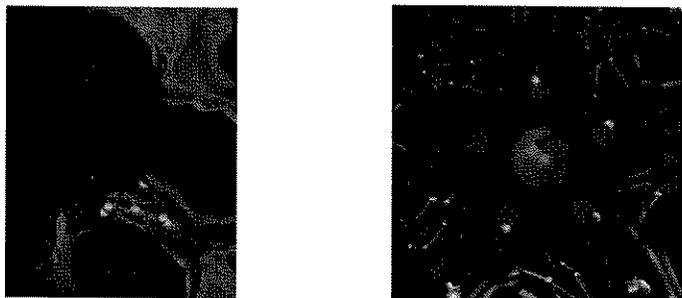
O artista T.J. O'Donnell (ilustrador) afirma sobre seu trabalho:

---

<sup>93</sup> Evento realizado em Northwestern University - Illinois/USA em 1994. Pode ser consultado no endereço eletrônico: [http://www.scripps.edu/pub/goodsell/mgs\\_art/mgs\\_art.html](http://www.scripps.edu/pub/goodsell/mgs_art/mgs_art.html)

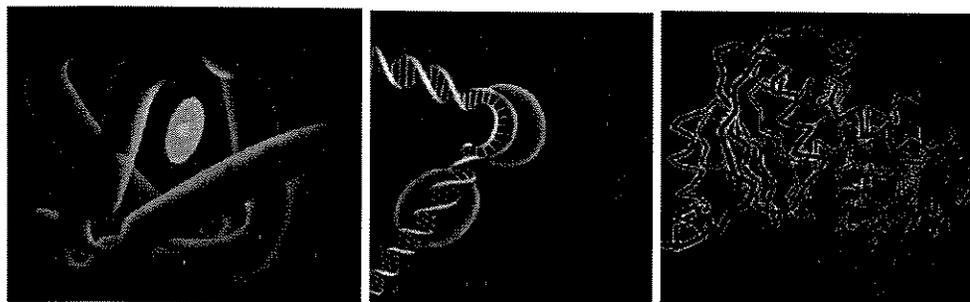
<sup>94</sup> Imagens disponíveis em [http://www.scripps.edu/pub/goodsell/mgs\\_art/mgs\\_art.html](http://www.scripps.edu/pub/goodsell/mgs_art/mgs_art.html)

*Estas ilustrações são construídas para visualmente refletir e clarificar dados e argumentações científicas que acompanham textos, mas freqüentemente obscurecem outros aspectos do material sob estudo. Nas imagens aqui apresentadas eu usei dados científicos precisos na tentativa de libertar meu ponto de vista sobre o 'constrangimento' da ciência. Assim como o método científico empenha-se por destilar uma essência a partir da rica mistura da realidade, eu me esforcei por revelar a riqueza que sobra dos dados que são destilados.*

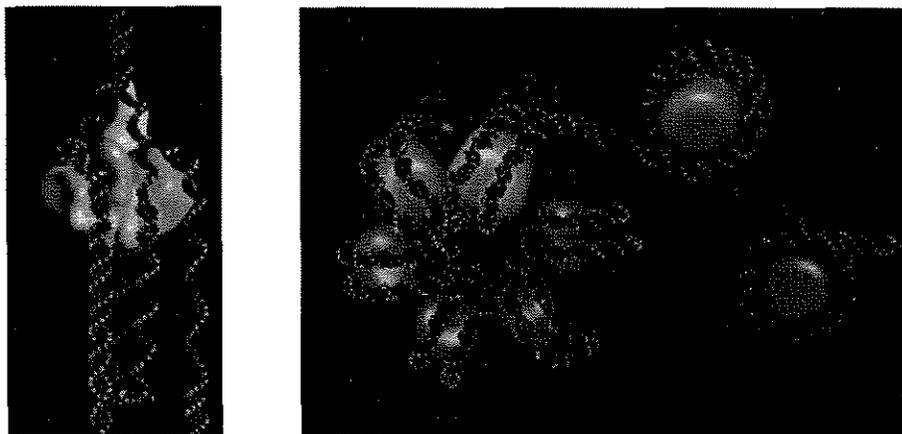


T.J. O'Donnell: imagens produzidas a partir do vírus HIV

Teresa Larsen e Irving Geis utilizam computação e animações gráficas para apresentar as complexidades estruturais, de ação e interações moleculares, como mostraremos a seguir.

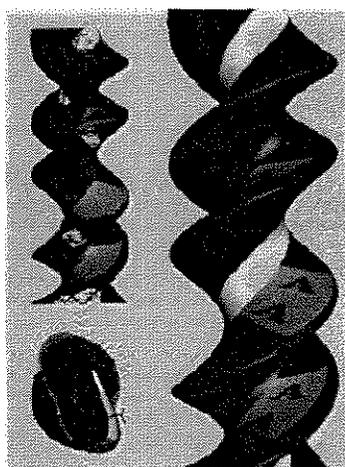


Irving Geis: Ilustrações de mioglobina, hemoglobina e lisozimas



Teresa Larsen: Aspectos do empacotamento e replicação do DNA

O artista Mike Carson vai um pouco além das ferramentas disponíveis de tratamento e geração de imagens e desenvolve novas técnicas de modelagem molecular. Um exemplo é o DNA apresentado, que é um modelo renderizado que apresenta um pequeno número de pedaços bicúbicos representando as unidades de aminoácidos.



Mike Carson: Molécula de DNA

Marie Dauenheimer, por sua vez, usa técnicas híbridas, mesclando ilustrações feitas a mão com animações computacionais, gerando resultados interessantes por seu colorido e textura.

*Molecular Cardiology*, de Marie Dauenheimer.  
Imagem em *still* tomada de um vídeo  
educacional para físicos



Ainda como um exemplo de como as intervenções da técnica e da ciência podem ser tomadas como acontecimentos culturais de pleno direito, o artista K. Snelson<sup>95</sup>, ao se deparar com disciplinas como a quântica, puramente matemática e potencialmente pictórica, encontrou aí um campo para a produção de imagens representativas da estrutura atômica dos átomos, buscando através da escultura e de imagens digitais, *reconstruir* o mundo da matéria.

Outros artistas procuram encontrar a antítese da matéria, sua forma *desconstruída* ou ainda a anti-matéria. A 23ª Bienal Internacional de São Paulo (1996) trouxe a temática da *desmaterialização da arte*, onde se viu certa tendência de abandono dos suportes tradicionais como pintura e escultura. Através da desconstrução da forma normatizada da arte, abriram-se novos espaços para que a incorporação de dispositivos eletrônicos e informáticos próprios dos meios científicos e tecnológicos pudessem inserir sua potência sensível. Ao não ocorrer

---

<sup>95</sup> Kenneth Snelson, "An Artist's Atom", *Leonardo*, vol. 27, 3, 1994, pp. 231-235, MIT Press Journals, Cambridge

concretamente, as imagens informáticas firmaram presença apenas em termos da possibilidade de sua existência, visto seu alto poder de transformação, fazendo-nos deparar com novos padrões imagéticos, chamados *virtuais*. Nestes, as imagens perderam sua corporeidade, desmaterializando-se, a tal ponto do suporte fixador de tal imagem não mostrar imagem alguma. Então, assim como para termos imagens mentais é necessário um órgão de ‘leitura’ e ‘decodificação’ (o cérebro), para a existência de imagens sintéticas é também imprescindível a presença de uma máquina que a torne visível, que traga à luz essa imagem desmaterializada.

Quando o artista recorre à máquina de visualização está necessariamente recorrendo à ciência, pois tanto a concepção da aparelhagem, quanto o modo em que a imagem foi gerada são determinados por uma categoria de fatos anteriormente conhecida.

Se pensarmos como se constitui o acervo artístico e científico numa sociedade tecnologizada como aquela na qual estamos inseridos, certamente veremos “objetos” em sua forma “imaterial”, ou seja, através de suportes opacos como disquetes, fitas eletromagnéticas e hologramas. A exposição que houve no Centro George Pompidou em 1985 intitulada *Les Immatériaux*<sup>96</sup> ilustra bem essa categoria de suporte, pois nela não são exibidos os próprios objetos e sim a linguagem ou programação utilizada para que ocorresse a visualização. Aqui temos os *softwares* como um sistema embrionário gerador de signos e de processos simbólicos.

---

<sup>96</sup> Arlindo Machado, *Máquina e Imaginário - o desafio das poéticas tecnológicas*, Op. Cit., pp.25

Vemos, assim, que a interação entre arte e ciência, desde que preservadas suas diferenças e convergências, abre para os artistas um novo universo imagético até então latente nas formulações matemáticas e permite ao cientista visualizar os conceitos que formula através da reelaboração feita por artistas.

***CAPÍTULO 3***

***IMAGENS VIRTUAIS NAS CIÊNCIAS***

### 3.1. *Computação Gráfica: escolha por imagens sintéticas*

*Estranha época esta em que  
vivemos, quando os átomos  
transformam-se em bits*

*Nicolas Negroponte*

O tratamento das formas é de interesse tanto do artista quanto do cientista. Cada um, à sua maneira, está preocupado em realizar uma leitura do real e, para tanto, lança mão dos artifícios os mais diversos para criar novos sistemas de representação. O aprimoramento desses sistemas, no entanto, só é possível se tiver como ponto de partida o questionamento da validade dos modelos pré-estabelecidos e a aceitação destes como entidades dinâmicas passíveis de permanentes mutações. Defendendo este ponto de vista, citamos René Thom<sup>97</sup>:

*Na medida em que a ciência não se limita à descrição, à exploração dos fenômenos, ela deve necessariamente comportar o imaginário, o virtual. O sábio deve mergulhar o real num virtual mais amplo, mas suficientemente preciso para que seja definido intersubjetivamente. O objetivo da ciência é afinal o de precisar a propagação do real no seio do virtual.*

As imagens geradas por computador (mais precisamente imagens sintéticas), foram eleitas pelo fato de se prestarem a grandes possibilidades de manipulação e, conseqüentemente, permitirem uma enorme diversidade no tratamento das expressões visuais. A imagem de síntese é um espaço novo para a projeção do imaginário. Muitos são os segmentos da sociedade que podem usufruir das

---

<sup>97</sup> R. Thom em seu trabalho *Le Rationnel et l'imaginaire* cit. por Serge Dantin em "O Virtual nas Ciências", *Imagem Máquina - a era das tecnologias do virtual*, Rio de Janeiro, Ed. 34, 1993, pp. 134

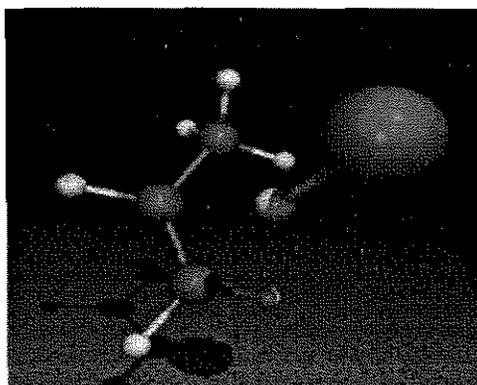
possibilidades que esse novo espaço apresenta. Dentre esses, um dos mais importantes - e o que nos interessa mais de perto- é a comunicação educativa, pois permite a *imersão* do usuário em um espaço narrativo 'para além do real', ou seja, um espaço de representações da realidade até então desconhecido. Ademais, ao usuário lhe é dada a possibilidade de interagir com tal sistema de representação através da mediação do *mouse*.

Ao trabalhar com recursos gráficos informatizados, o pesquisador das ciências exatas utiliza um instrumento que necessitou de múltiplas inteligências para poder se concretizar. Mesmo sendo uma ferramenta que requer um alto grau de especialização, nada impede que cientistas menos habilitados no seu manuseio trabalhem em conjunto com pessoas que possuam esta aptidão, para desenvolver um trabalho embasado em teorias científicas e que seja acima de tudo, *criativo e curioso*. Desta forma, as representações geradas podem servir para a comunicação de conhecimentos científicos, permitindo que sejam compreendidas por outros segmentos sociais não especialistas.

Quando criamos imagens que, de alguma maneira, fogem ao domínio da realidade objetiva - como, por exemplo, tecer no espaço uma estrutura material (tomando este espaço como o virtual) - estamos trazendo ao domínio do visível, através da utilização de uma máquina, imagens que originalmente habitaram o imaginário do cientista da matéria. Estamos, portanto, indo ao encontro de Paul Klee

quando este afirmava que “a arte não reproduz o visível, ela torna visível”; poderíamos então acrescentar: tanto a arte quanto a ciência.

A grande vantagem da construção, através da computação gráfica, de “realidades” é a possibilidade de simulação, isto é, transformar o monitor do computador em um laboratório experimental onde realizam-se estilizações de fenômenos físicos e químicos, com o intuito de “mostrar” como a natureza se comporta sob determinadas condições.



Simulação da hidratação do formaldeído

A simulação de imagem por computador se dá através da formação de um objeto informático imaterial em um espaço virtual<sup>98</sup>, ou seja, através das expressões matemáticas. A noção plenamente difundida de ‘arquivo de imagens em memórias’, não passa de força de expressão, pois esta imagem é resultado de valores numéricos organizados em uma base de dados. O processo de transformação dessa lista de números, para imagens, é feito através de algoritmos de simulação de imagens, que

---

<sup>98</sup> O que define a noção de virtualidade não é o suporte onde a imagem foi gerada (como os meios digitais), e sim o distanciamento desta de tudo o que seja reprodução ou cópia de um similar real.

dão uma representação plástica tridimensional às expressões matemáticas (chamado de modelação sólida).

*Como acontece nos “objetos” manipulados pela computação gráfica, a imagem é agora uma realidade fantasmática: ela está ali para todos os efeitos práticos, mas, a rigor, não passa de uma equação matemática à qual se deu forma plástica, através de um algoritmo de visualização. Basta mudar-lhe os parâmetros numéricos para que ela se transfigure em outra coisa e basta cancelar o algoritmo de visualização para que ela retorne ao seu estado de pura possibilidade matemática, em repouso nas memórias digitais.<sup>99</sup>*

Temos claro que não pretendemos, ao utilizarmos um meio figurativo digital, demonstrar o “duplo” sobre algo do mundo real (a matéria): “a ciência não reproduz o visível, ela torna visível”. A apresentação de um *modelo* ou sistema de signos carrega consigo uma descrição que sabemos ser aproximada e incompleta sobre o que o homem entende das partículas microscópicas formadoras de todas as coisas, em diferentes realidades histórico-culturais. Philippe Quéau sugere que estas imagens sejam chamadas de *meta-imagens*, ou seja, uma atualização dentro de uma série de outras, e que necessariamente assume uma forma parcial, por não representar todo o universo plástico potencial.<sup>100</sup>

---

<sup>99</sup> Arlindo Machado, *Máquina e Imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas*, Op.Cit., pp.18

<sup>100</sup> Philippe Quéau, *Éloge de la simulation*, citado por Arlindo Machado em *Máquina e Imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas*, Op.Cit.

### ***3.2. Visualização do Atual Modelo Teórico para a Estrutura da Matéria***

A visualização enquanto meio facilitador do entendimento de dados científicos tem sido utilizada desde o surgimento da ciência: gravuras, gráficos e ilustrações hoje substituídos por modernos processos computacionais. Porém, mesmo com as mudanças, tanto dos modelos quanto dos sistemas que os criam, algo permaneceu intacto no procedimento de elaboração dos modelos: a visualização mental.

Os modelos de um processo científico são frequentemente visualizados na mente antes de serem transpostos para algum instrumental de registro, como bem nos descreve o físico A. Miller: “modelo mental é a intuição através de imagens formadas nos olhos da mente a partir de uma visualização prévia de processos físicos no mundo das percepções”<sup>101</sup>

Um exemplo bastante significativo de como os modelos mentais podem servir como fonte de inspiração e descoberta nas ciências é o sonho tido por Kekulé: uma cobra mordendo seu próprio rabo. Essa imagem mental foi utilizada para explicar a conformação estrutural da molécula de benzeno.<sup>102</sup>

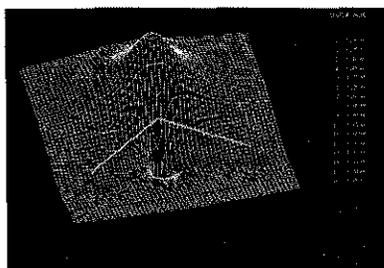
---

<sup>101</sup> Arthur Miller, *Imagery in Scientific Thought*, The MIT Press, London, 1987, pp. 10

<sup>102</sup> Conta Kekulé que, numa noite em 1865, quando era professor de química na Bélgica, enquanto preparava um livro de química, dormiu frente ao fogo e começou a sonhar com uma dança de átomos que pouco a pouco se converteram em várias serpentes, até que finalmente uma delas mordeu a própria cauda, formando um anel. Naquele momento, Kekulé, guiado por uma inspiração, despertou e passou o resto da noite tentando dispor os átomos de carbono e hidrogênio do benzeno de acordo com a figura aparecida no sonho. Autores como Susanna Rudofsky (Universidade de Chicago) e John Wotiz (Universidade de Illinois) baseados em documentos, põe em xeque a veracidade do sonho da serpente, afirmando que ele não passou de uma invenção do ancião Kekulé. (Federico Di Trocchio, *Las mentiras de la Ciencia - ¿ Por qué y cómo engañan los científicos?*, Alianza Editorial, 2ª edição, 1997, Madrid, pp. 281-282)

Assim como a imaginação<sup>103</sup> sempre fez parte do pensamento científico (seja do passado, seja do presente), a incorporação da representação gráfica das noções puramente imaginárias ou pertencentes ao mundo das probabilidades no método científico pode ser muito útil para a comunicação científica.

Na química, a prática de ‘traduzir’ em imagens os resultados de simulações computacionais e/ou medidas experimentais é um poderoso método de análise científica. O método de visualização permite que todos os dados sejam mostrados simultaneamente, estabelecendo relações entre eles que seriam difíceis de serem determinadas de outra maneira. Trata-se de representações da natureza formada através da função do pensamento e da realidade interior do cientista, e que foram traduzidas pelo computador.



Superfície tridimensional de orbitais moleculares da água

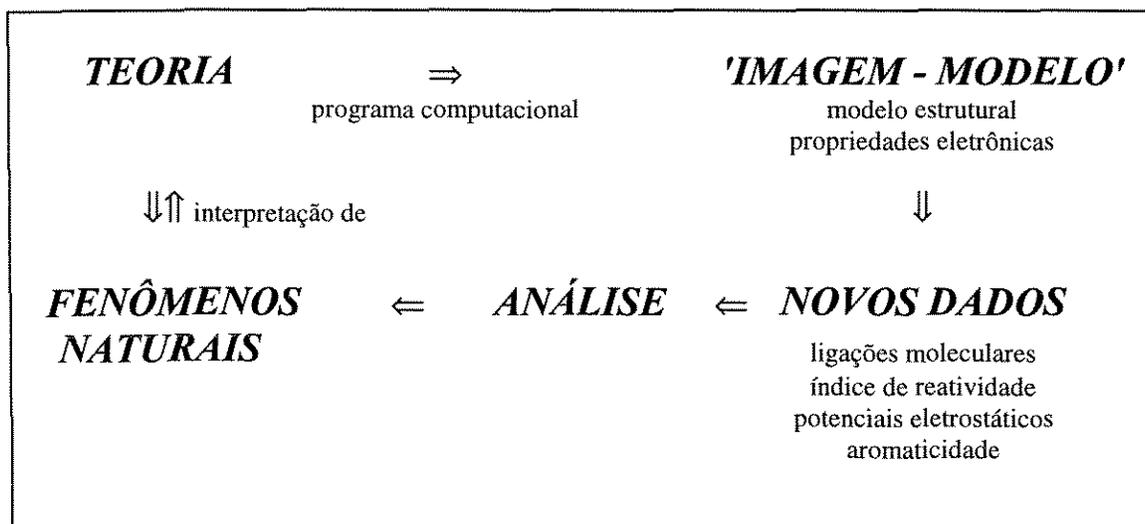
As modernas técnicas científicas para a visualização e estudo da matéria consistem em computação interativa (conecção de componentes gráficos aos algoritmos matemáticos, permitindo-se a seleção de dados). Esse procedimento pode nos mostrar propriedades estruturais e propriedades moleculares do sistema de

---

<sup>103</sup> A imaginação (imaginatio) deve ser entendida aqui em seu sentido literal e clássico, isto é, como verdadeira *força de criar imagens*, e não como ‘fantasia’, que designa uma idéia que ocorre de repente. (C.G. Jung, *Psicologia e Alquimia*, Op. Cit., pp. 178)

interesse. As propriedades eletrônicas de determinados sistemas são computadas e mostradas através de um sistema de visualização. Combinando-se estas técnicas de visualização com uma descrição orbital de sistemas moleculares, um melhor entendimento do comportamento eletrônico de sistemas pode ser obtido.

As imagens geradas através de *softwares* específicos são 'carregadas' de informações, como dados sobre o modelo estrutural e várias propriedades eletrônicas. Estas podem ser combinadas para extrair novas informações químicas específicas sobre sistemas moleculares. Esquemáticamente mostrando:



Dentro do formalismo da Mecânica Quântica, muitas propriedades moleculares podem ser determinadas a partir da imagem gerada da 'nuvem' de elétrons (densidade eletrônica), por esta conter informações tanto quantitativas como qualitativas sobre os sistemas de interesse.

Em termos estritamente epistemológicos, sabemos que a adoção de um determinado modelo matemático em detrimento de outro para o entendimento de um processo orgânico do mundo natural é uma escolha essencialmente subjetiva, e a partir desta escolha, podemos realizar simulações por computador que nos fornecem *imagens*, ou *modelos representacionais*. Estes não são simples ‘ilustrações’, e sim

*um instrumento com o qual a investigação se faz, pois ela é construída a partir de parâmetros [...] fornecidos pelo próprio sistema físico estudado. Ao simular um objeto ou fenômeno, nós não visamos mais simplesmente ‘copiar’ a sua aparência visual [...] mas sobretudo atribuir ao signo propriedades e/ou capacidades do modelo real.*<sup>104</sup>

Assim como a expressão matemática  $r^2 = x^2 + y^2$ , através da inserção de dados numéricos (como o raio  $r$ ) nos fornece uma circunferência, a teoria de função de onda, via equação de Schrödinger nos fornece a distribuição eletrônica, que ocupa um importante papel para a representação de propriedades atômicas e moleculares dentro do formalismo da Mecânica Quântica.

---

<sup>104</sup> Arlindo Machado, *Máquina e Imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas*, Op. Cit. pp.118

***CAPÍTULO 4***

***PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A  
ELABORAÇÃO DO HIPERMÍDIA***

## 4.1. O Hipermídia

Iniciamos a pesquisa das imagens representativas das noções sobre a estrutura da matéria focando atenção nas imagens geradas por programas de visualização científica e nas imagens digitais produzidas a partir de modelos teóricos. Elaboramos, num primeiro momento, um material piloto utilizando a linguagem HTML (Hypertext Markup Language)<sup>105</sup>, que se encontra locado no *site* do Instituto de Artes/ UNICAMP.<sup>106</sup>

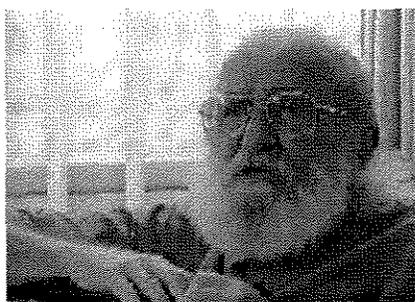
Ao permitir que pessoas em pontos geograficamente distintos acessassem a página via *World Wide Web*, numa comunicação descentralizada em tempo quase real, possibilitamos o enriquecimento de nosso trabalho pois aproveitamos opiniões e sugestões enviadas que nos permitiu aferir a compreensibilidade das informações ali presentes. A partir das críticas feitas, suprimimos parte do material desenvolvido, procurando uma melhor adequação entre os textos e as imagens (evitando assim uma sobrecarga de informações), aperfeiçoamos a expressão do conteúdo ao redesenharmos as telas e inserimos um material mais lúdico e atrativo que conduz ao conteúdo propriamente dito do CD-ROM.

---

<sup>105</sup> Esta linguagem se utiliza de diretivas que devem ser interpretadas por *browsers* (programas como o *Netscape* e *Internet Explorer*).

<sup>106</sup> [http://www.iar.unicamp.br/pgmultimeios/pesquisa/a\\_meleiro/1.htm](http://www.iar.unicamp.br/pgmultimeios/pesquisa/a_meleiro/1.htm)

Ainda no decorrer do processo de pesquisa nos deparamos com iconografias de universos bastante diferenciados daqueles das ciências exatas e decidimos incorporá-las, seja através do estabelecimento de analogias entre elas (no bloco Analogias), seja utilizando-as como um elemento periférico, porém motivador (como a fábula “O pescador e o gênio” inserida) ou elucidando questões relativas ao ensino de nosso objeto de estudo em suporte informático através de depoimentos e ficção (como os vídeos iniciais do CD-ROM, onde Paulo Freire e Rosi Campos questionam e relativizam a utilização de meios informáticos no ensino).

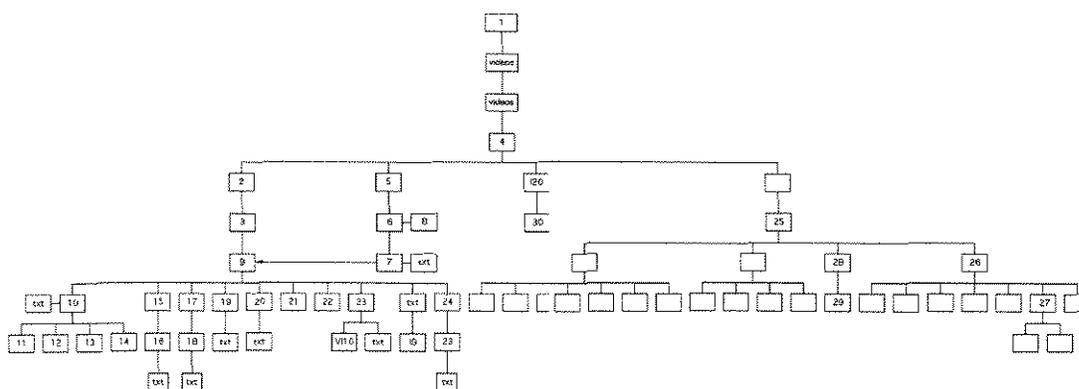


Percebemos que as imagens pesquisadas e o estabelecimento de relações entre elas poderiam ser utilizadas para o ensino formal e informal do mundo sub-atômico, já que oferecemos explicações textuais abrangentes (opcionais) juntamente com as representações imagéticas.

Mas, porquê escolhermos um meio que privilegia a apresentação de informações em blocos não-lineares em detrimento da linguagem linear do vídeo? Um aspecto interessante sobre o itinerário hipertextual que nos chamou atenção é o fato de representar o conhecimento simulando o processo que ocorre no pensamento

associativo, o que torna sua utilização uma boa estratégia para a aprendizagem. Outro aspecto em que nos detivemos quando da opção por esta forma de apresentação da informação está relacionado, como dizem alguns autores, à morte da tirania do autor sobre o significado, pois ler um hipertexto implica em explorar os blocos atendendo aos interesses do leitor segundo as relações propostas pelo autor. Um ambiente deste tipo permite associações entre distintos temas e conceitos através de um simples 'click', ao invés de obrigar o usuário a deslocar-se sequencialmente de um a um (como acontece nos textos convencionais) ou ter que mudar de documento constantemente.<sup>107</sup>

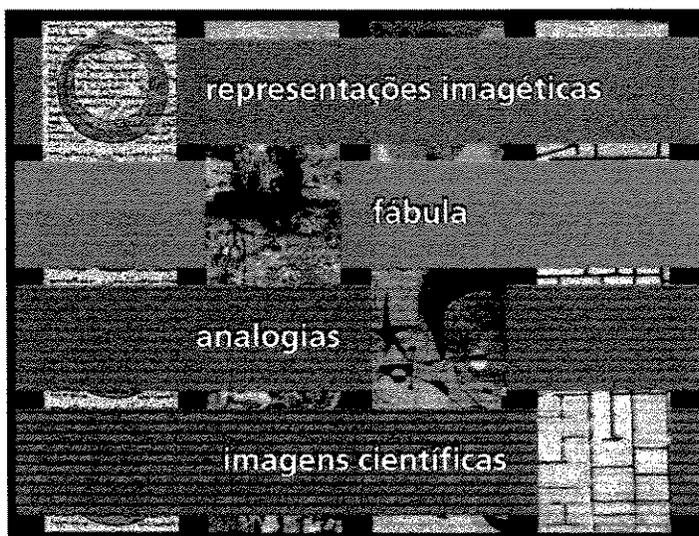
A estrutura geral do CD-ROM pode ser visualizada no fluxograma que segue abaixo:



<sup>107</sup> Se estabelecermos uma evolução das tecnologias de armazenamento, estruturação, reprodução e difusão da informação, percebemos que da narração por relato oral (linear, irreproduzível em sua literalidade) passa-se para o manuscrito (linear, impossível de ser reproduzido em massa), daí para o texto impresso (linear, mas com ajudas de navegação como índice, capítulos, notas de rodapé) para terminar no hipertexto digital (não-linear e descentralizado: sem centro, nem periferia). Neste, conceitos altamente enraizados como 'autor' e 'texto' são colocados em xeque, acarretando alterações no significado de conceitos adjacentes, como 'propriedade intelectual' e 'unidade da obra', provocando uma ruptura em antigos hábitos culturais. (Jordi Adell Segura, "World Wide Web: Un Sistema Hipermedia Distribuido para la Docencia Universitaria", em *Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la Educación*, Ed. Alfar, Sevilla, 1994, pp. 116)

A tela inicial é composta por faixas identificadoras (quatro na horizontal e quatro na vertical) que se entrecruzam (assim como a arte e a ciência) em uma animação gráfica, onde cada cor e cada fragmento de imagem sinaliza os quatro blocos navegáveis que compõe o CD-ROM.

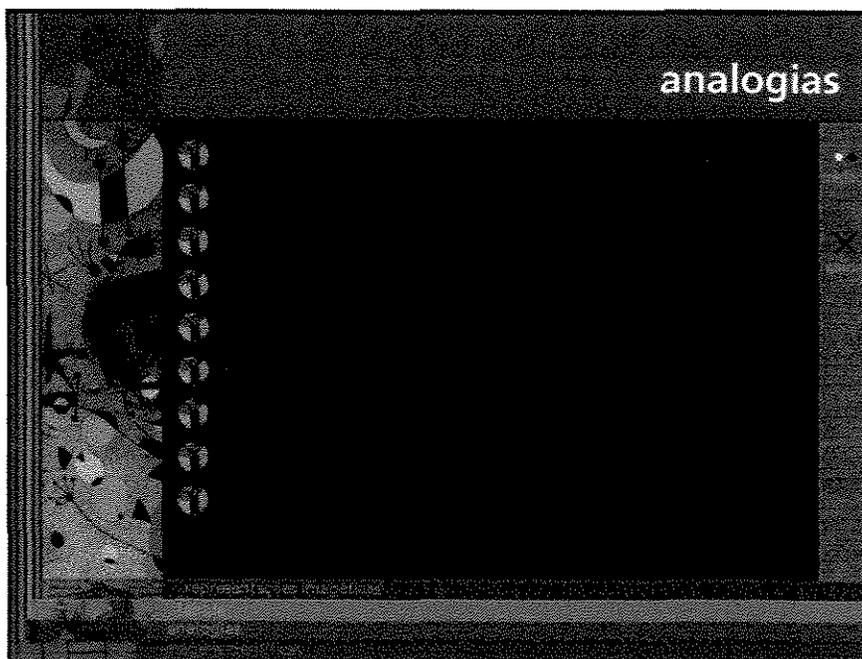
O menu principal (representado por (1)) oferece as seguintes opções de navegação:



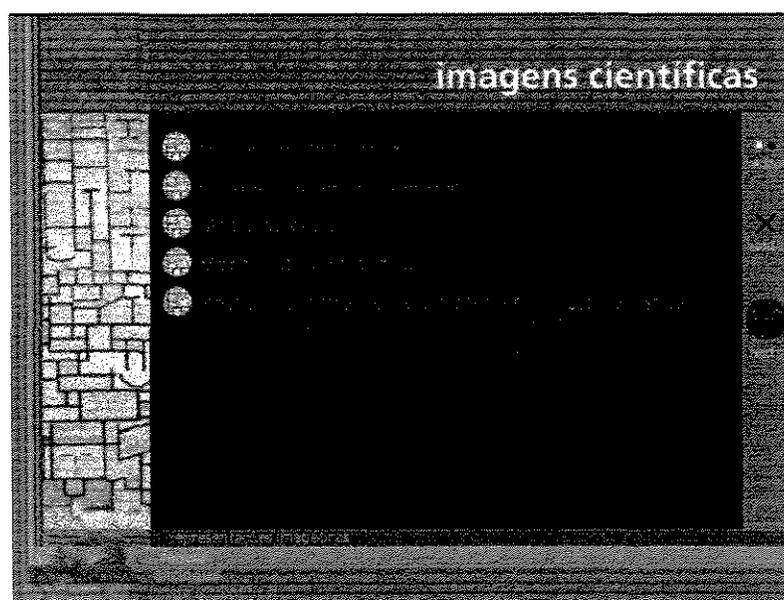
No ícone *Representações Imagéticas* o usuário pode fazer um recorrido imagético pelos modelos teóricos apresentados no decorrer da história da ciência para a estrutura da matéria, cujo desenvolvimento conceitual encontra-se no capítulo “Pensamentos sobre o Átomo”.



Obras de Matisse, Degas, Antoni Tàpies, Magritte e outros artistas e ainda um texto de Thomas Mann serviram para o traçado de paralelos com os conceitos abstratos relativos à estrutura da matéria no ícone *Analogias*.



Todos os blocos iniciam com vídeos que procuram elucidar a abrangência do universo que será abordado posteriormente. Uma reportagem jornalística conduz à imagens científicas sobre a geometria de moléculas e uma *ficção* intencionalmente educativa introduz o bloco sobre as analogias entre estruturas e propriedades atômico-moleculares com imagens artísticas. As opções de navegação do bloco *Imagens Científicas* são mostradas a seguir:



O sistema hipermídia<sup>108</sup> que desenvolvemos integrou todas as informações disponíveis: textuais, gráficas (animações gráficas, vídeos, imagens digitais, imagens digitalizadas) e sonoras (sons dos vídeos e trilha sonora gerada em computador) em uma sintaxe própria, tendo o digital como modo de codificação. O suporte escolhido foi o CD-ROM embora hoje ao final do século XX ainda seja uma aventura escolher

---

<sup>108</sup> Utilizamos o termo hipermídia pois acrescentamos ao hipertexto características do multimídia, como vídeos, animações gráficas, imagens estáticas digitais e digitalizadas e sons.

os suportes para programas multimídia, visto estes tornarem-se obsoletos num curto período de tempo.<sup>109</sup> Aproveitando a progressiva transformação do computador em ferramenta audiovisual, elaboramos um material hipermídia visando propiciar uma aprendizagem significativa do conteúdo proposto, onde a estética esteve rigidamente atrelada à mensagem a ser transmitida.

A estrutura hipertextual, que pode ser definida como um grupo não-linear de nós entrelaçados, pode estar tanto em linguagem HTML como em arquivos multimídia. Como tivemos oportunidade de desenvolver materiais em ambos suportes, pudemos observar que arquivos HTML apresentam uma vantagem sobre arquivos multimídia que é a de ocupar um pequeno espaço no disco rígido, evitando-se assim o transtorno do transporte de arquivos volumosos<sup>110</sup>. No entanto, a inserção de imagens em movimento (vídeo) e trilha sonora gerada em computador resultou num aumento considerável do tamanho do arquivo, fazendo com este 'rode' lentamente quando posto na rede Internet. A opção por utilizar o suporte CD-ROM, portanto, deu-se basicamente devido a problemas ainda não resolvidos na velocidade de transmissão de imagens em movimento na rede.<sup>111</sup>

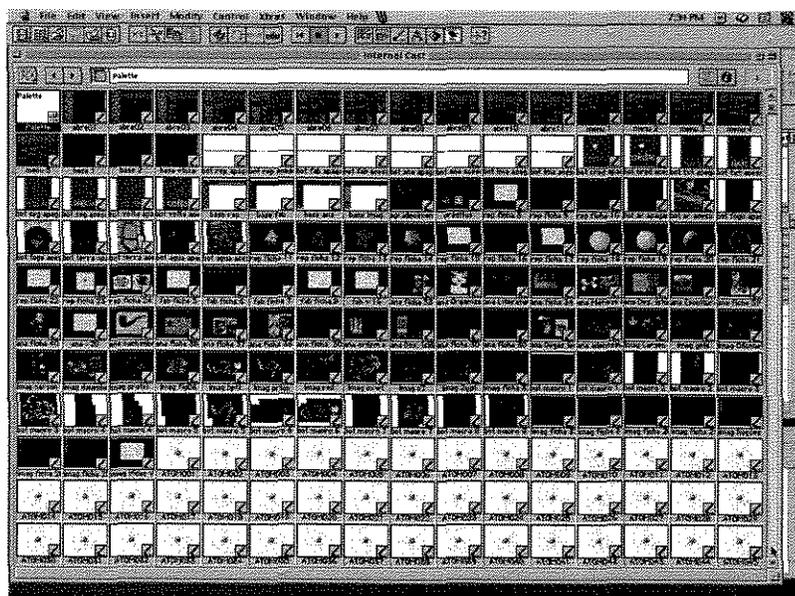
---

<sup>109</sup> Outra opção para o armazenamento de informações seria o DVD- Digital Video Disk ou Digital Versatile Disk, um video-disco digital com capacidade de armazenamento de 17 gigabytes, 26 vezes superior à do CD-ROM. No DVD consegue-se gravar até cinco horas e meia de vídeo. A definição em linhas horizontais do DVD (500) é maior do que a do videolaser (425) e da fita VHS (240). No entanto, a restrição para o seu uso, na atualidade, reside em seu elevado custo.

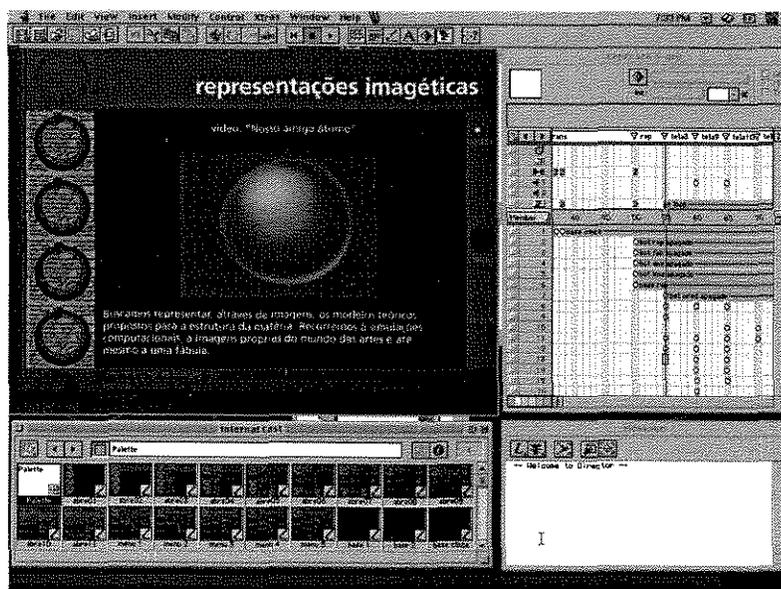
<sup>110</sup> Atualmente contamos com disquetes magnéticos regraváveis com capacidade de armazenamento de até 100 Mbytes (Zip disks) que exigem um *drive* específico (*Zip drive*).

<sup>111</sup> Para resolver o problema de espaço (memória) gerado pela captura das imagens de vídeo para o formato digital (feito com o *software Adobe Premiere*), optamos por comprimir a imagem. Porém obtivemos imagens que não ocupavam toda a tela do monitor e que se processavam a 24 quadros por segundo (o que depende da velocidade e potência do micropocessador do computador). A montagem das seqüências de vídeo com o Adobe Premiere torna-se extremamente simples e fácil de manipular se comparada com a edição linear, permitindo a visualização de várias experimentações antes da montagem final.

Afora os *softwares Photoshop* e *Adobe Premiere*, utilizados para a geração e captura de imagens respectivamente, utilizamos também o *software* de autoria *Director*<sup>112</sup>, que realizou a programação geral do CD-ROM, isto é, criou sua 'navegação'.



Tela de visualização das imagens a serem editadas pelo *Director*



Tela de edição multimídia do *Director*

<sup>112</sup> Macromedia Director versão 6.0.2

### ***4.1.1. Desenvolvimento da experiência***

Por estarmos tratando da comunicação de um conteúdo por um meio que só recentemente está sendo utilizado com fins educativos, tivemos necessidade de elaborar critérios para buscar, selecionar e adaptar materiais já existentes, assim como elaborar critérios para produzir o segmento novo do material. Essa adoção de critérios incluiu:

- clara determinação do objetivo: porquê fazer um material educativo sobre os modelos teóricos para a estrutura da matéria? ;
- clara determinação do contexto instrucional em que se insere: o CD-ROM pode ser utilizado tanto em sala de aula de segundo grau e nível universitário (educação formal), quanto para a divulgação de conceitos em um contexto de educação não-formal
- desenvolvimento do *design* gráfico e navegação do hipertexto (para que contemplasse um bom fluxo de informações);
- o fornecimento dos códigos para a interpretação da informação e seu claro direcionamento através dos vídeos iniciais

Após realizar o levantamento histórico e buscar alternativas imagéticas para a comunicação/ divulgação/ ensino dos modelos teóricos para a estrutura da matéria,

tivemos que pensar em estratégias para elaborar o material que efetivaria tal intenção. Este seria um material educativo, se partirmos da definição de que um material educativo é o oferecimento, através de um objeto concreto, de uma experiência mediada para a aprendizagem.<sup>113</sup> Sabemos, no entanto, que a aprendizagem não se dá essencialmente a partir de materiais *intencionalmente* educativos, mas também através de *materiais educativos não-enunciados* (onde não existe esta explicitação; fala-se geralmente em educação ‘informal’) ou ainda *materiais educativos “inesperados”* (onde a intenção educativa não está em quem produziu, mas sim em quem utiliza o material).<sup>114</sup>

Acabamos por definir nosso hipertexto digital como material intencionalmente educativo, ainda que este se utilize de um conto das *Mil e uma Noites* ou de uma reportagem de televisão. Nestes casos a intenção educativa não esteve na elaboração original do trabalho, mas sim, na maneira como a fábula e a reportagem foram inseridas no contexto instrucional do CD-ROM, objetivando introduzir tópicos do ensino curricular como a teoria da relatividade ou vantagens e aplicações industriais advindas da técnica de visualização de moléculas. Vimos dessa forma, que as fronteiras que separam os materiais educativos citados acima são bastante tênues e a aproximação destas categorias de materiais (‘não-enunciados’ e ‘inesperados’) só tende a enriquecer a produção de um material ‘propriamente educativo’, principalmente ao incorporarmos suas características comunicacionais.

---

<sup>113</sup> Gabriel Kaplún, *Producción de Materiales Educativos - educadores, comunicadores o poetas*, I Congresso Internacional sobre Comunicação e Educação, São Paulo, maio/1998; baseado nas definições de Rodríguez Fuenzalida e B. Faniholc.

<sup>114</sup> Gabriel Kaplún, *ibid*, pp. 02

Em um processo prévio à estruturação do programa pensamos que poderíamos estar desperdiçando uma série de bons materiais já realizados em outros contextos e por outros autores, o que nos motivou a realizar uma pesquisa prévia. No decorrer desta investigação, encontramos desde bons materiais que haviam passado recentemente em canal aberto de televisão e que se ajustavam perfeitamente ao nosso tema, até um desenho animado da *Walt Disney* em 16 mm, precariamente conservado no arquivo de películas da TV Cultura e que muito teria a contribuir para ilustrar o histórico dos modelos propostos para a estrutura da matéria. Visto a dificuldade de acesso que alguns dos materiais pesquisados apresentaram, decidimos fazer uma *reimpressão* dos mesmos, aproveitando a vantagem apresentada pelo meio que optamos que é a de permitir a incorporação de materiais audiovisuais em diferentes formatos em um único suporte. Vimos, com esta iniciativa, que para fazermos um material voltado para a educação (seja ela formal ou não-formal) não necessitamos ‘reinventar a roda’, basta adaptarmos antigos materiais para nosso contexto, de um forma criativa. Esse recurso torna-se especialmente interessante quando tratamos do *histórico* de modelos em um suporte que permite a introdução de diversos formatos de imagem.

Um outro ponto que gostaríamos de ressaltar sobre a inclusão dos materiais “inesperadamente educativos” diz respeito não exatamente pela forma como está estruturado, mas pela “moral da história” impressa pela autor. Tomamos como

exemplo o conto “O pescador e o gênio” utilizado metaforicamente no CD<sup>115</sup>. Este conto garante uma aceitação e utilização vinculada ao sabor das conveniências de quem as assume, dada a sua independência diante da flexibilidade estrutural da obra em que foi gerado. Seu autor aborda uma situação onde um pescador lança sua rede ao mar e, depois de várias e frustradas tentativas, consegue, por fim, içar um objeto que continha um gênio. O que o aproxima de nossa temática é tanto o seu sentido mais oculto (o sentido literário, poético) quanto o mais aparente, que comentaremos mais adiante. O pescador é o arquétipo do cientista: ambos sobrevivem de lançar suas redes em busca do desconhecido. Embora não aparente, este conto mostrou-se extremamente didático.

Após o levantamento da bibliografia básica, iniciamos o desenvolvimento da arquitetura de construção hipertextual, que se estruturou da seguinte forma:

- elaboração de um esqueleto onde foram colocados os principais conceitos sobre o tema e as fontes de informação para desenvolvimento;
  
- realização de um organograma (fluxograma) onde se estruturaram os conteúdos e foram estabelecidas as relações entre as partes: esta etapa foi a segunda mais demorada de todo o processo, pois sabíamos que a navegação de um hipermídia é o

---

<sup>115</sup> *As Mil e Uma Noites*, Ed. Brasiliense, 7ª edição, 1994, São Paulo. Na apresentação do livro, José Carlos Meihy lembra que, embora a adaptação dos contos de *As Mil e Uma Noites* tenha se procedido em várias áreas como cinema, revistas infantis, ópera e até mesmo literatura erótica, estes são originários de lendas das tradições orais da Índia, da Pérsia e China, terras que comumente ficaram conhecidas como “Oriente” ou “Arábia”. Os contos são narrados por Xerazade por mil e uma noites para Xeriar, seu senhor, de modo a convencê-lo a não matá-la (e matar a outras mulheres) após uma noite de prazer.

guia ou orientador da leitura e, para obter um resultado que apresentasse uma leitura fluida e clara realizamos diversas tentativas, submetendo-as a análise de outros olhares, até obtermos a forma atual da estrutura hipertextual. Nesta estrutura hierarquizada e associativa, podemos visualizar um eixo de apresentação que conduz ao menu principal (4), que levará aos quatro blocos estruturais do CD-ROM, que por sua vez, conduzem a outros menus com informações que seguem o mesmo âmbito semântico do bloco. Cada bloco é intencionalmente personalizado por uma cor e por uma imagem, de modo a situar o usuário diante do contexto da informação a qual ele está acessando. Através da barra de navegação (barra com ícones localizada na parte inferior da tela) e dos *interlinks* é possível realizar um recorrido por todo o CD-ROM.

- preparação de cada uma das partes, de maneira independente, mas conectadas com as outras: as telas inicialmente foram desenhadas em papel, contendo informações como imagens, textos, títulos. Somente depois de todas as telas estarem desenhadas e enquadradas na estrutural hipertextual a qual nos referimos acima é que se iniciou o processo de desenhá-las digitalmente.

- seleção de todo o material:

*visual*: transformação de todas as imagens de suportes diversos para o formato digital (através de *scanner* e captura de imagens de vídeo)

*sonoro*: somente após a criação do design de todo o material é que o processo de elaboração da trilha sonora foi iniciado. As músicas foram compostas e geradas em computador.

- desenvolvimento e implementação do tema: análise do material selecionado, estruturação do mesmo e implementação no computador através de *softwares* de computação gráfica e de autoria (navegação).

A estruturação dos conteúdos em módulos perfeitamente delimitados permite uma utilização flexível do programa, podendo cada módulo sofrer um tratamento especializado.

Ao inserirmos um episódio da série *Minuto Científico* da TV Cultura no sistema hipermídia desenvolvido, objetivamos provocar uma abstração cognitiva no espectador, já que o episódio propõe o transporte da realidade científica (de que é feito o átomo?) para outra circunstância mais próxima do campo lúdico deste (a analogia em que tanto o personagem “cara de pau” quanto a madeira são constituídos por átomos).

O hipertexto nada mais é que um sistema de símbolos que necessita de uma decodificação por parte do usuário. Assim, a função do menu principal é mediar esta decodificação, orientando sobre o discurso apresentado, muito mais narrativo que

expositivo, e explicitando os distintos níveis de abordagem à estrutura da matéria apresentados.

Assim como fizemos um recorrido teórico à história do atomismo, enfatizando teorias e modelos que assemelhavam-se e contrastavam-se entre si em diferentes períodos, recorreremos também à antigas imagens que nos demonstram que muitas das noções sobre as partículas materiais formadoras de todas as coisas ainda permanecem. Embora o resultado destas animações não conte com o colorido e edição de uma animação computadorizada, o potencial criativo de seus autores preencheu a ausência de recursos tecnológicos, recorrendo-se muitas vezes a analogias com imagens reais, ou mesmo a fábulas.

Ao estudarmos a história do átomo percebemos que poderíamos tomar uma fábula das *Mil e uma noites*, “O pescador e o gênio” para tratarmos do núcleo atômico.

“O pescador e o gênio” das *Mil e Uma Noites* foi utilizado no CD-ROM visando ilustrar a intercambialidade entre energia (o gênio aprisionado que apresenta uma *possível* materialidade) e matéria (o gênio em sua concretude), assim como predisse Albert Einstein quando formulou a teoria da relatividade ( $E = mc^2$ ; energia é igual à massa quando submetida ao quadrado da velocidade da luz). A energia não só pode assumir as diversas formas conhecidas na física clássica como pode, igualmente, *ser aprisionada na massa de um objeto*.



A teoria da relatividade exerceu profunda influência na maneira como figuramos a matéria, forçando-nos a alterar de um modo essencial nosso conceito de partícula. Na física clássica, a massa de um objeto sempre esteve associada a uma substância material indestrutível, enquanto que a teoria da relatividade demonstrou que a massa *não é* a substância, mas sim, uma forma de energia. Segundo Capra<sup>116</sup>:

*O fato de a massa de uma partícula ser equivalente a uma certa quantidade de energia significa que a partícula não pode mais ser encarada como um objeto estático, mas sim, que ela deve ser concebida como um modelo dinâmico, um processo que envolve uma energia que se manifesta a si mesma como a massa da partícula.*

“O pescador e o gênio” vem então ilustrar este processo que *envolve uma energia que se manifesta a si mesma como matéria*. Podemos também assumir que o vaso seja um átomo, e em seu centro, isto é, no seu núcleo, encontra-se o gênio, que são os prótons e os nêutrons que estão altamente confinados. A partir disto podemos

---

<sup>116</sup> Fritjof Capra, *O Tao da Física, Op. Cit.*, pp. 65

traçar o fluxo de nossa história hipertextual: como o vaso foi descoberto e como o gênio foi libertado.

Na medida em que a ciência aprofundou seu conhecimento sobre o núcleo atômico, uma corrida de pesquisas sobre a utilização da energia nuclear despontaram em vários países, na intenção de deter uma tecnologia que estaria também atrelada ao poderio político-militar, como é o caso do desenvolvimento de armamentos nucleares (bombas, ogivas, etc.).

Viu-se a partir daí, o perigo de se manipular o coração do átomo. Milhares de mortos em Hiroshima, assustadores desastres ambientais ocorridos pela má utilização dos rejeitos radioativos de usinas nucleares e de hospitais, explosões de usinas nucleares. É inegável o potencial apresentado pela energia gerada a partir de materiais radioativos, porém, um controle rigoroso deste 'coração' é fundamental para a sobrevivência do planeta.

As simulações gráficas do hipermídia (imagens geradas a partir de bases puramente matemáticas) apresentaram as seguintes características:

- fornecer exemplos (demonstrações) sobre os fenômenos atômico-moleculares;
- prática: a realidade simulada proporciona ao usuário a possibilidade de interação

## 4.2. *Geração de Imagens a partir de Bases Puramente Matemáticas*

A ciência contemporânea trabalha com recortes da realidade, e ao tomar seus segmentos, procura propor modelos e teorias explicativas. A matemática surge neste contexto em uma tentativa de traduzir estes recortes em modelos numéricos, os quais são mais manejáveis e mais compreensíveis que o mundo 'real'. Podemos dizer que a matemática é a *linguagem* na qual ciências como a química e física se exprimem, sendo uma caracterização simbólica do conhecimento da 'realidade objetiva'<sup>117</sup> por estas ciências, mantendo uma correspondência entre realidade física e 'realidade objetiva' não exatamente superponíveis uma na outra, ou seja, para ir de uma à outra, nem as ciências poderiam substituir o real, nem a matemática confundir-se com o pensamento desse real.<sup>118</sup>

Como propõe o título deste ítem, a matemática é aqui considerada não em si mesma, mas indiretamente, pelos modelos nos quais é utilizada, cabendo a colocação de M. Paty<sup>119</sup> para este esclarecimento:

*(A matemática) surge como uma dramatização. Dramatização, pois abre um abismo: aquele entre o "real" - o concreto, relativo aos fenômenos, que se propõe e se impõe - e um abstrato simbólico tipificado que sabemos construído doravante. A matemática não é mais o alfabeto objetivo do livro do Universo como era para Galileu, na tradição pitagórica. Ela é construída, e de convenção: testemunha tanto a diversidade das direções de seu desenvolvimento, como a*

---

<sup>117</sup> O termo utilizado entre aspas visa ressaltar o caráter restritivo do nosso entendimento dos fatos da experiência com o real.

<sup>118</sup> Michel Paty, *Matéria Roubada*, Op. Cit, pp. 233

<sup>119</sup> Michel Paty, *Matéria Roubada*, Op. Cit pp. 234

*ausência [...] da necessidade de se referir a qualquer elemento real. O que não significa de modo algum negar sua origem: ela é construída a partir de alguma coisa...*

Ao utilizarmos *softwares* de visualização científica como o *SPARTAN* e *MOLDEN*<sup>120</sup> em nosso trabalho, partimos, como foi dito no capítulo anterior, da teoria de função de onda através da equação de Schrödinger. Desta maneira, não geramos imagens que simulam o atual entendimento da estrutura da matéria a partir das determinações do real dado, mas sim dos conceitos “abstratos-construídos” da mecânica quântica. Existe um paradoxo no fato de existir um real físico, que é a matéria, e termos que lançar mão de complexas teorias matemáticas para interpretá-lo. No entanto, ainda que vivamos esta extrema matematização do mundo, o número, as funções ou outros ‘seres matemáticos’ não são a essência do real material, mas sim a essência “da abordagem abstrata do pensamento conceitual”<sup>121</sup>.

Os programas de visualização científica Spartan e Molden apresentam dois módulos distintos, um de visualização e outro de cálculo. No primeiro módulo, dados que foram calculados pelo computador podem ser visualizados no monitor, simulando os fenômenos em estudo. A união desses módulos torna o programa uma poderosa ferramenta para os químicos, sejam eles teóricos ou experimentais. Limitamo-nos a utilizar o módulo de visualização, visto ser este nosso foco de

---

<sup>120</sup> Tais programas rodam em workstation IBM (estação de trabalho, ou ainda, estação de trabalho gráfica) utilizando o sistema operacional UNIX. As estações de trabalho IBM Risc/6000 que se encontram no Centro de Computação do Instituto de Química/ UNICAMP e no CENAPAD/ SP possuem as seguintes configurações: velocidade: 67 Mhz; memória: 128 MB; disco: 9,0 GB. São, portanto, computadores com alta capacidade e características apropriadas para o processamento gráfico.

<sup>121</sup> Michel Paty, *A Matéria Roubada*, Op. Cit., pp. 235

interesse. Em seu módulo de cálculo, esse programa pode determinar várias *propriedades*<sup>122</sup>, dentre elas, a procura da geometria de equilíbrio de uma molécula, propriedades termodinâmicas, estrutura eletrônica, momento dipolar e outras.

O processo de visualização começa pela leitura da informação da densidade de elétrons e outro dado externo que será calculado e convertido para o formato de campo do sistema de visualização. A densidade de elétrons é então mostrada como uma isosuperfície, isto é, uma superfície tri-dimensional de valor constante. A isosuperfície deve ser sobreposta no topo da imagem que representa a geometria da molécula e pode aparecer transparente ou reticulada, conforme os dados que se queira extrair daí.<sup>123</sup>

A construção de moléculas nestes *softwares* começa com a composição de seus fragmentos: átomos, grupos funcionais e anéis na área de trabalho do *software*. A molécula pode então ser movimentada em todos os sentidos, facilitando sua visualização. As moléculas ‘construídas’ virtualmente aparecem isoladamente uma das outras e em situações ideais onde se encontrariam no estado gasoso.

Utilizamos ainda o plug-in *CHEMSCAPE CHIME* (programa gratuito disponível na rede Internet) no CD-ROM, visto que este programa permite a visualização de estruturas moleculares em três dimensões, além de permitir sua movimentação de

---

<sup>122</sup> As propriedades são obtidas através de diversos métodos matemáticos, como: mecânico molecular, semi-empírico, funcional de densidade e ab initio (Hehre, Warren J., *Chemistry with Computation - An Introduction do Spartan*, 1995)

<sup>123</sup>, K Flurchick, L.Bartolotti, “Visualizing properties os atomic and molecular systems”, *Journal of Molecular Graphics*, 1995, New York, 13: pp. 10-13

uma forma interativa, isto é, as moléculas podem ser movimentadas em todas as direções, permitindo ao usuário ver instantaneamente os efeitos de sua ação. A vantagem apresentada por este *software* em relação aos *softwares* de visualização acima citados é que este é muito mais simples de ser manipulado, além de estar gratuitamente disponível para quaisquer interessados. Através deste programa, disponibilizamos no CD-ROM exemplos de representações de moléculas (que aparecem isoladamente umas das outras, e em situações ideais em que se encontrariam no estado gasoso). O oferecimento da representação imagética de moléculas pode ser extremamente útil para a compreensão de determinados conceitos científicos que foram abordados no ensino formal de química, como geometria molecular, reatividade, simetria, isomeria, hibridização, ligações químicas, aromaticidade e potenciais eletrostáticos.

O interessante nos *softwares* de modelagem molecular é que tanto modelos estruturais como orbitais moleculares e dados matemáticos podem ser exibidos, manipulados e animados em tempo real, permitindo ao usuário ver instantaneamente os efeitos de sua ação. Através da animação de simulações pré-computadas pode-se estudar as formas e a movimentação de moléculas. A animação é baseada em equações, resolvidas pelo computador, que descrevem as forças físicas que agem nas moléculas. Dados matemáticos podem ainda ser exibidos simultaneamente e comparações visuais podem ser facilmente feitas entre eles.

Obtivemos alguns exemplos de modelagem molecular utilizando os programas Spartan e Molden. Não pretendemos nos estender na discussão de

química computacional, mas sim, como o resultado dessa modelagem é utilizado para interpretar e prever fenômenos químicos.

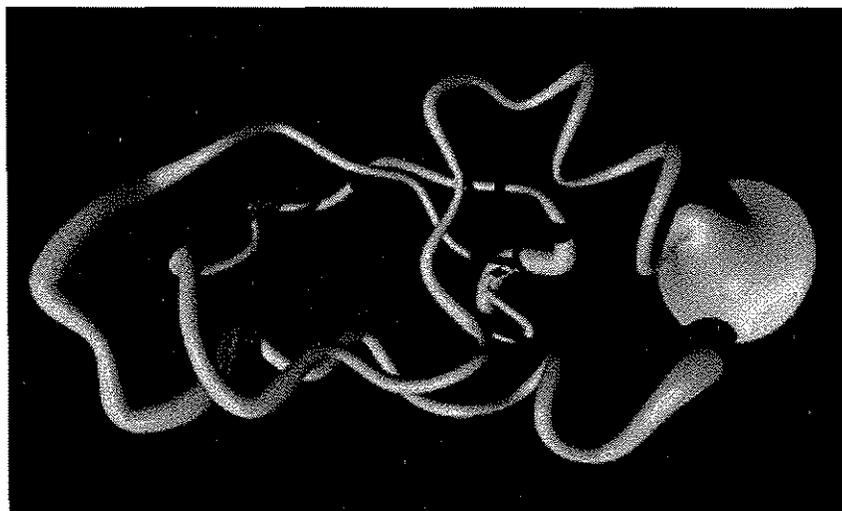
Essas "imagens-modelo" visam atingir outras representações, mais aptas a fornecer novos elementos que possibilitem uma utilização prática dos conhecimentos obtidos, tais como: informações sobre ligações moleculares, locais reativos na molécula (onde é possível inferir qual região de uma molécula será mais suscetível aos ataques nucleofílicos ou eletrofílicos, podendo desta forma otimizar reagentes e condições para que uma reação seja mais eficiente)<sup>124</sup>, potenciais eletrostáticos e aromaticidade.

Percebemos que as representações dos 'objetos tridimensionais' microscópicos nos programas de visualização científica utilizados apoiam-se principalmente na *perspectiva clássica* (a simulação da realidade como aquela apresentada pela fotografia) e na *iluminação*, condição essencial para reforçar a sensação de verossimilhança com o real, como afirma A. Machado: "para obter um efeito semelhante àquele que a luz forja nos objetos do mundo físico, a iluminação precisa também ser simulada".<sup>125</sup> Isto significa que ao realizar mudanças de posição na molécula no *Chemscape Chime*, como rotação ou translação, ocorre uma mudança de intensidade de luz em cada superfície, de onde temos a sensação óptica de movimentarmos um objeto real sob uma fonte de luz natural, tal a proximidade deste modelo de iluminação com o comportamento real da luz no espaço.

---

<sup>124</sup> Ao determinar um caminho de reação para um processo, com algumas alterações nas condições de contorno, pode-se determinar em quais destas 'condições' a barreira energética será a menor possível.

<sup>125</sup> Arlindo Machado, *Máquina e Imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas*, Op. Cit. pp.74



Modelo de iluminação em *software* de visualização científica

Embora contemos com este importante fator na estética de representação em programas científicos, ainda não podemos falar em *texturas* no tratamento visual de átomos e moléculas quando usamos programas de visualização científica. Estes programas apresentam as moléculas como superfícies lisas e homogêneas (como é possível observar na representação da macromolécula acima) omitindo a possibilidade de ocorrerem com poros, saliências ou nervuras. Essas irregularidades nas superfícies não são causadas durante a modelação sólida do objeto e sim pelo tipo de tratamento de luz (claro-escuro) dado a esta superfície, feito por um algoritmo de modelação luminosa.

A existência de limitados recursos de tratamento plástico revela que, no processo de “tradução” dos dados numéricos para a imagem da tela, não se privilegiaram os ditames de representação plástica presentes na maioria dos

*softwares* existentes no mercado para tratamento de imagens. O fundamental nos programas de visualização científica é especular a simulação de teorias sobre *o fenômeno* em estudo e não, a simulação *da imagem*, porém as representações obtidas dessa forma acabam reduzindo a imagem da natureza ao traçado da régua do cientista, isto é, estilizada geometricamente, asséptica e regular: daí a importância da criação de novos recursos de apresentação destas imagens que introduzam um universo pictórico mais elaborado, tornando-as mais 'palatáveis' aos não-iniciados nas ciências física e química.

### 4.3. *Simulações a partir de Modelos Teóricos*

A simulação de imagens sobre os vários paradigmas atomísticos teve como fonte primária textos descritivos, os quais foram abordados no capítulo 1. Buscamos, nestas descrições, os detalhes característicos que julgamos importantes para uma simulação<sup>126</sup> dos modelos teóricos através de imagens, procurando ressaltar suas qualidades estéticas para que se tornassem mais atrativos e viessem contribuir no sentido de socializar conhecimentos científicos, implementando dessa forma, novos caminhos para a comunicação científica.

Os resultados obtidos foram imagens geradas digitalmente, além de imagens escaneadas de outras fontes que sofreram tratamento, até serem apresentadas como modelos atômicos.

Na nossa tentativa de transpor os *modelos mentais* dos antigos cientistas para as *imagens* demonstrativas da noção de matéria no passado não conseguimos atingir uma total autenticidade, visto ser esta a grande dificuldade de qualquer sistema representacional. Embora contássemos com sistemas avançados em informática da representação, estes meios não foram suficientes para dar conta de todas as

---

<sup>126</sup> Uma simulação é a produção de aparência de algo real (macro ou microscópico) ou de seus efeitos “quando esse produto pode ser manipulado e se assemelha à situação real que representa” (J. López Yanez, *Formación de líderes escolares mediante el ordenador*, Grupo de Investigación Didáctica, Universidad de Sevilla, 1990; citado por Ángel-Pío González Soto, “Formación basada en las nuevas tecnologías”, *Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la Educación*, *Op.Cit.*, pp. 248)

dificuldades de formalização dos fenômenos naturais em estudo. Arlindo Machado propõe a seguinte reflexão:

*A presença de um resíduo não 'calculável' em toda imagem - mesmo que os seus limites estejam sendo constantemente repostos pelos progressos na área da engenharia de software - constitui a melhor garantia de que sempre haverá uma incongruência entre fenômeno e modelo formal, ou mesmo entre o mundo percebido e a sua representação sob forma de imagem digital. Essa diferença marca o caráter semiótico da síntese algorítmica e a função representativa que há em toda simulação de imagem.<sup>127</sup>*

Conscientes das limitações representacionais apresentadas pelos programas gráficos utilizados, procuramos nos valer de várias ferramentas de tratamento iconográfico. As imagens geradas estão disponíveis no capítulo 1 e no ícone "Representações Imagéticas" do CD-ROM.

Procuramos cobrir o máximo possível de noções atomísticas, através da transposição das explicações textuais para a representação através de imagens, utilizando para isso instrumentais gráficos oferecidos por computador.

No caso das representações para as noções atomísticas de Platão, procuramos contemplar as regularidades das formas das figuras juntamente com variações cromáticas e de textura, para acentuar a origem das substâncias que as originou, no caso, água, ar terra e fogo. Buscamos adequar as texturas ao máximo grau de transparência do ar ou à densa opacidade da terra. A utilização de variações cromáticas como brilho, saturação, contraste e nível das cores primárias foram

---

<sup>127</sup> Arlindo Machado, *Máquina e Imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas*, Op. Cit. pp.112

extremamente importantes para a analogia das formas criadas com os elementos da natureza, como fogo e água.

Na imagem do modelo atômico segundo de Broglie, procuramos diminuir a definição da imagem, para acentuar o caráter probabilístico das formas orbitais apresentadas. Sabemos que os orbitais atômicos são elementos *teóricos* que permitem explicar de forma satisfatória os fenômenos relacionados com o átomo.

O átomo de Rutherford ganhou movimentação no espaço, devido o caráter 'animado' dos elétrons ao redor do núcleo.

A *textura luminosa* ficou bastante evidente nas representações atomísticas segundo Dalton e Thompson. Devido a aparência razoavelmente simples destes modelos, procuramos representá-los como esferas (no caso de Dalton) e esferas contendo pequenas esferas (no caso de Thompson). Procuramos irregularidade nas formas das partículas do modelo segundo Demócrito pois assim elas eram vistas, já que possuíam as formas dos mais variados objetos materiais e seriam os 'blocos de construção básicos da matéria'.

Todos os modelos foram representados isoladamente. Somente a partir da mecânica quântica viu-se que o mundo não poderia ser decomposto em suas menores unidades capazes de existir independentemente. Segundo Niels Bohr, um dos idealizadores da quântica: "partículas materiais isoladas são abstrações, sendo que

suas propriedades só podem ser definidas e observadas através de sua interação com outros sistemas”.<sup>128</sup>

Aqui a teoria quântica nos leva a olhar o universo não como um conjunto de objetos físicos, mas sim como uma complexa rede que une diferentes partes de um todo (bem ilustrado pela já citada imagem da serpente mordendo sua própria cauda).

A representação imagética de partículas segundo a mecânica quântica não pode ser feita. Não se tratou de uma limitação que tivesse a ver com nossas técnicas de representação, mas sim, de uma limitação *inerente* à realidade atômica pois, ao jogarmos uma luz numa partícula subatômica não mais a veremos, pois ela já terá mudado de posição. Não podemos determinar ou ‘observar’ simultaneamente posição e velocidade de uma partícula (princípio da incerteza de Heisenberg).

Acreditamos que, com a ajuda destas ferramentas gráficas, os elementos obtidos já sejam suficientes para figurar a natureza como um oásis complexo, caótico e sensível, distante do deserto de aridez teórica evocado pelas ciências exatas, e esperamos que o produto resultante em formato digital possa servir como um elemento facilitador no ensino e divulgação de conceitos referentes ao mundo atômico-molecular.

---

<sup>128</sup> N. Bohr, *Atomic Physics and the Description of Nature*, pp. 57, Cambridge, Cambridge University Press, 1934; citado por F. Capra em *O Tao da Física, Op. Cit.*, pp. 108

***CAPÍTULO 5***

***SISTEMAS DIDÁTICOS EM HIPERMÍDIA***

No novo contexto sócio-cultural dominado pelas tecnologias de informação e comunicação o analfabeto não é mais aquele que não domina a leitura, a escrita e a linguagem verbal (analfabetismo tradicional); podemos falar de um ‘analfabetismo secundário’, como afirma o autor Cabero ao discorrer sobre as mudanças provocadas pelos meios de comunicação e informação na sociedade: “...podemos falar na necessidade de segundas e terceiras alfabetizações: leitura da imagem e alfabetização informática, sem as quais podemos ter problemas de adaptação nos espaços sócio-culturais e econômicos futuros”.<sup>129</sup>

O desenvolvimento de materiais de divulgação científica e educativos em formato digital acaba se tornando a mola propulsora dessa alfabetização, já que a transmissão de conteúdo está associada a um contato estreito com a utilização de meios informáticos. Vários cursos de formação recorrem aos “pacotes multimídia” como provedores de informações.

O significado da palavra multimídia não é exatamente recente no ambiente educativo, embora o termo o seja. Algumas experiências de ensino nos demonstram tanto a interatividade exigida assim como a pluralidade de meios utilizada, como jornal, rádio, televisão, vídeo, projetores de slides, retroprojetor, fitas K7, para serem caracterizadas como multimídia.

---

<sup>129</sup> J. Cabero, “Los medios en los centros de enseñanza: experiencia española”, *Cultura, educación y comunicación*, Sevilla, CEMIDE, 1992, pp. 65

No entanto o termo assume hoje uma maior amplitude, já que integra, em um único meio (o PC, *personal computer*) informações visuais e sonoras, dispensando uma grande quantidade de dispositivos, como projetor de slides, leitor de CD, de vídeo, etc. para acioná-las. O computador, sob o ponto de vista conceitual, é além de um sistema multimídia, um sistema *multicanal* e *supramídia*. Multicanal porque utiliza diferentes canais de comunicação, e supramídia porque “trata de superar os diferentes meios unificando a transmissão da informação através de uma única interface de comunicação”.<sup>130</sup> Cada uma das mídias envolvidas nesta trama traz suas próprias estruturas de linguagem e, quando operadas em conjunto, estabelecem uma nova relação cujas possibilidades ainda estão longe de ser totalmente exploradas.

Atualmente muito mais usuais que os sistemas multimídia, os sistemas hipermídia voltados para o ensino formal e informal literalmente invadiram a rede Internet (ver Apêndice). Um sistema hipermídia pode ser definido como a junção de componentes hipertextuais e multimídia, isto é, permite integrar ao hipertexto, sons, música, animações, imagens e vídeos na forma digital e apresentam-se com características bastante diferenciadas entre si. Para nortear a análise de sua inserção no ambiente educativo e servir como contextualização do sistema hipermídia que desenvolvemos, vamos utilizar a classificação informal proposta por Maria Castro sobre os *sites* encontrados na rede Internet:<sup>131</sup>

---

<sup>130</sup> Antonio R. Bartolomé, “Sistemas Multimedia en Educación”, *Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la Educación*, Ed. Alfar, Sevilla, pp. 41, 1994

<sup>131</sup> Classificação feita pela pesquisadora Maria S. Castro, do Depto. de Ciências da Computação - USP, na palestra “Material Educativo na Web: Experiências no ICMSC-USP” apresentada no Centro de Computação-UNICAMP no Ciclo de Palestras: *Tecnologias Internet*, em 27/11/97.

- *sites* de disciplinas;
- sistemas didáticos imersos na *World Wide Web* (utilização da Web na forma de cooperação entre os estudantes envolvidos);
- sistemas cooperativos para exploração de informações na Internet (buscam oferecer tratamento personalizado para estudantes ou grupos de estudantes);
- sistemas didáticos baseados na comunicação via Internet (como a Escola do Futuro/USP);
- cursos e manuais de referência: divulgam informações com consequente aprendizagem.

O trabalho audiovisual por nós realizado, embora impossibilitado de ser inserido na rede internet devido ao tamanho de seu arquivo (requereria para sua leitura computadores velozes e com muita memória) adquiriu forma em suporte *Compact Disc*. Propusemos o seu conteúdo como um híbrido de um sistema didático<sup>132</sup> oferecido através de um ambiente hipermídia e de um manual de referência, já que oferece um programa de visualização interativo com exemplos de moléculas e reações que podem ser usados tanto como suporte para a aprendizagem de tópicos curriculares<sup>133</sup>, como um 'manual' de divulgação científica.

---

<sup>132</sup> No caso de ser utilizado no ensino formal, entendemos que teorias e conceitos científicos deverão ser passados em sala de aula, deixando o tempo do laboratório de informática reservado para visualizações e realização de exercícios interativos.

<sup>133</sup> Tópicos curriculares em cursos de química como: geometria molecular, hibridização, ligações químicas, reatividade, isomeria, simetria, aromaticidade e potenciais eletrostáticos.

## 5.1. *Vantagens*

Os saltos provocados pelos sistemas hipermídia nas tecnologias da informação e da comunicação educativa dizem respeito à:

- ***capacidade de simulação***: superação da forma limitada de apresentações textuais com imagens bidimensionais no papel, que não contemplam o conteúdo do assunto tratado, já que no estudo da estrutura da matéria, a forma tridimensional das moléculas é muito importante uma vez que muitas propriedades de uma substância molecular estão intimamente relacionadas com sua forma espacial. Assim, ao trocarmos a literatura didática por um meio informático interativo como o CD-ROM, estamos garantindo que o monitor do computador passe a ser um espaço para experimentação, tornando a aprendizagem mais próxima da orientação construtivista, isto é, dando-se mais por investigação que por recepção verbal. Ao mesmo tempo, temas relacionados à geometria molecular se encontram entre aqueles que estudantes de nível secundário e universitário apresentam maior dificuldade do tipo perceptivo e epistemológico.<sup>134</sup>

- ***melhor relação espaço/ tempo na comunicação***: aqui entendemos espaço como a distância física entre emissor e receptor. Historicamente buscou-se desenvolver meios que permitissem superar as limitações de nossa capacidade comunicativa, evitando-se comprometer o tempo necessário para a efetivação da mesma (televisão, rádio, telefone, etc.) Os sistemas hipermídia via rede apresentam a vantagem de

---

<sup>134</sup> C. Furió, M.L. Calatayud; *Journal of Chemical Education*, vol. 73, nº1, pp. 36-41, 1996

reduzir a relação temporal de transmissão da mensagem à quase zero, superando parcialmente a questão da distância. A possibilidade do estabelecimento deste tipo de redes de conexão tem permitido a existência de canais de formação e de aquisição de conhecimentos que não seria possível devido à distância física entre o 'aluno' e o centro formador (além de ser muito menos oneroso).

- ***interatividade***: o termo 'interativo', embora usado comumente como sinônimo de multimídia, carrega a força da autonomia de manipulação de dados oferecida ao usuário diante do sistema hipermídia apresentado, permitindo que ele seja o condutor de sua própria aprendizagem. Desta maneira, o usuário assume a responsabilidade por seu próprio processo de formação. Ao observarmos este processo 'interativo' em um ambiente formal de ensino, podemos perceber que o educador e a instituição educativa passam a ocupar um novo papel dentro do processo, renunciando ao controle do fluxo de informações que permitia dar os códigos para a interpretação das informações e estabelecia onde e quando se poderia acessá-la (o educador é deslocado do papel de centro transmissor de conhecimento para acompanhante do processo de aprendizagem).

- ***processo dinâmico de atualização de dados***: contrariamente a outros canais de comunicação audiovisual, os sistemas hipermídia apresentam a vantagem de oferecer um processo dinâmico de atualização de informações, isto é, não há a necessidade de vários profissionais e recursos tecnológicos de ponta como na televisão e no cinema.

Qualquer computador acessado a um provedor de acesso é potencialmente um gerador de informações em tempo quase real.

## ***5.2. Desvantagens de sua utilização em sala de aula***

- ***utilizar o meio como 'mestre cibernético'***: a rede de ensino particular *Objetivo*, ao fazer o marketing da informatização de suas salas de aula, anuncia: "MESTRE CIBERNÉTICO - computadores dão aulas para todos as classes, numa revolução do ensino deflagrada pelo Objetivo". Entendemos que parte do apelo "computadores dão aulas" faça parte da estratégia de *marketing* para a vendagem do produto "ensino", mas isto também demonstra que a política da escola ao implementar tal informatização é realizar a *troca* do professor, pelo computador. Segundo Paulo Freire, o recurso informático não deve ser um fim, e sim, um meio, onde o professor é deslocado de sua antiga função de centro transmissor de informações, passando a auxiliar individualmente os educandos, portanto, passa a ocupar uma importância maior dentro da sala de aula.

- ***confiabilidade dos materiais hipermídia educativos no ciberespaço***: Pierre Lévy nos coloca um questionamento que acaba por orientar a análise e confiabilidade dos *sites* educativos:

*Já que todos podem alimentar a rede sem nenhum intermediário ou censura, já que nenhum governo, nenhuma instituição e nenhuma autoridade moral garante o valor dos dados disponíveis, que confiança se pode depositar nas informações encontradas no ciberespaço? Como nenhuma seleção e hierarquia oficial serve de guia no dilúvio de informações no ciberespaço, não seríamos testemunhas de uma simples dissolução cultural, e não de um progresso, dissolução esta que só seria útil àqueles que já possuem pontos de referência, isto é, às pessoas privilegiadas por sua educação, seu meio, seus círculos intelectuais privados?*<sup>135</sup>

Os *Web sites*, em geral, são assinados por seus realizadores, e desta forma, pessoas e instituições responsabilizam-se pelo valor das informações ali contidas. Uma forma de realizar uma seleção prévia, já que isto (felizmente) não é feito por nenhuma autoridade central e garantir a confiabilidade das informações é reportar-se a *sites* de instituições educacionais, culturais e governamentais e a *links* destes hipertextos.

Assim, a vantagem apresentada pela interatividade, onde o usuário é responsável por sua própria aprendizagem, é acrescida pelo fato deste também ser responsável pela construção da hierarquia, seleções e estruturas de conhecimentos válidos. Desaparece, segundo Lévy, o conhecimento 'universal totalizante' dentro da profusão do fluxo de informações, deixando lugar para que processos subjetivos estabeleçam uma 'ordem local'.

---

<sup>135</sup> Pierre Lévy, "Um sistema auto-regulador", *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, pp. 5-3, 12/04/98, tradução de José Marcos Macedo

### ***5.3. Experiências do uso da Hipermídia como Recurso Didático***

As expectativas em torno das tecnologias digitais da informação no mundo da educação tem sido grande, em razão, principalmente, da grande quantidade de informações que se pode armazenar. No entanto, poucas experiências existem na elaboração de hipermídias voltados para o ensino e também poucas reflexões sobre a melhor forma de desenhá-los graficamente, devido à recente emergência da informática no desenvolvimento de sistemas funcionais.

Dentre estas experiências educativas, ressaltamos os trabalhos de Díez e Granada (utilização do hipertexto na aprendizagem do eletromagnetismo no bacharelado), De las Heras (ensino de História através do hipertexto), Cantos e Martínez (o hipertexto no ensino de línguas).<sup>136</sup> No Brasil também existem experiências pioneiras que utilizam o potencial do ciberespaço como instrumento pedagógico através de cursos de média ou curta duração, como os cursos realizados por Maria S. de Castro (USP- São Carlos) sobre ensino de matemática e cursos oferecidos pela UFBA versando sobre temas da comunicação e cultura contemporâneas (“Introdução à Cibercultura”).

Ao avaliarmos alguns projetos educacionais na Internet na área de química, nos deparamos com uma particularidade da hipermídia que, em alguns casos tornou-se um problema por não ser bem explorada: o conteúdo do material a ser elaborado

---

<sup>136</sup> *Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la Educación*, Ed. Alfar, Sevilla, 1994

poucas vezes sofreu alterações adequadas para o novo meio. Muitos *sites* são meras transposições das páginas de livros para a tela do computador, deixando de aproveitar recursos como animações gráficas ou vídeos para uma melhor visualização e compreensão dos processos.

Um exemplo deste tipo de página *Web* pretensamente educativa (ou melhor, anti-exemplo) é “Chemical Processes in your Vicinity” proposta pelo projeto europeu *Web for Schools*<sup>137</sup> que, procurando tratar de reações químicas, mostra as equações apropriadas e a descrição de alguns processos químicos de interesse, como a produção do sal NaCl (cloreto de sódio) ou a manufatura do carbonato de sódio, porém sem utilizar nenhum recurso visual, apenas fazendo uma descrição *literal*.

Existem ainda vários outras páginas educativas totalmente literais, como por exemplo a elaborada pelo Projeto Astro, que trata do tema “partículas e suas interações”<sup>138</sup> ou uma aula sobre substâncias e misturas elaborada pelo Centro Educacional Objetivo<sup>139</sup> que (não bastando a má utilização da interface) ainda incorpora graves erros conceituais como a definição dada para o átomo “a menor partícula da matéria”.

---

<sup>137</sup> Este *site* faz parte do projeto “Web for Schools”, onde escolas de toda a Europa colaboram na produção de projetos educacionais (<http://wfs.vub.ac.be/>)

<sup>138</sup> <http://thecity.sfsu.edu/~lglira/a10.htm>

<sup>139</sup> <http://www.mairipora.com.br/quimica.htm>

Vários outros *sites*, no entanto, mostram-se excelentes ao oferecer a visualização de reações e moléculas em suas formas tri-dimensionais (ver relação dos *sites* pesquisados no Apêndice).

Ao nos depararmos com um *site* educativo na rede enfrentamos, num primeiro momento, uma certa sensação de desconfiança dos dados lá apresentados, sensação esta gerada pelo desconhecimento da confiabilidade da fonte. Sabemos ser fundamentada tal desconfiança, já que a rede Internet é uma cadeia que apresenta um imenso potencial para a propagação de erros, levando à existência de muito 'lixo cibernético'. No entanto, se limitarmos-nos às páginas elaboradas por instituições de ensino, ONGs e órgãos do governo voltados para a educação, já teremos uma grande quantidade de material disponível, reduzindo-se assim, o comprometimento do aprendizado.

A implementação das iniciativas que resultaram em projetos educativos via rede ou CD-ROMs educativos <sup>140</sup> é bastante diferenciada nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento. Em alguns países europeus os professores que integraram os programas tiveram treinamentos prévios à utilização dos meios em sala de aula, o que permitiu um uso otimizado e racional. No Brasil a situação é bem diferente. A fragilidade dos poucos programas que utilizam sistemas hipermídia como instrumento didático se encontra justamente na ineficiência de formação e

---

<sup>140</sup> Temos claro que a importância dos meios audiovisuais com fins didáticos não passa por suas qualidades instrumentais, mas sim, pelos aspectos simbólicos presentes neles, que interagem com a capacidade cognitiva do usuário.

desenvolvimento profissional dos educadores para as “novas tecnologias” oferecidas. Os problemas das experiências vão desde questões técnicas (como manipular os equipamentos) até como poderiam utilizar aqueles recursos audiovisuais de forma integrada com o conteúdo curricular, ficando impossibilitados também em participar da investigação e produção dos materiais audiovisuais.

Sabemos que a atratividade dos meios diminui quando este deixa de ser novidade, acabando por serem absorvidos pela inércia do sistema educativo, incorporados, porém mal utilizados. Acreditamos no entanto, que a incorporação do hipermídia ocorrerá de uma outra maneira, não só por apresentar a informação de uma forma clara dentro de uma estrutura relacional (similar a que utiliza nosso cérebro), mas também pelo potencial interativo que apresenta. A incorporação dos recursos oferecidos pelas novas tecnologias está acarretando não só um aumento da autonomia por parte do usuário frente ao conteúdo, como também em mudanças radicais nos comportamentos e condutas sociais<sup>141</sup>, e, devido a este fato, acreditamos no aumento de sua adesão no sistema educativo, ao invés de seu esquecimento.

Acreditamos, portanto, que no momento atual o que distancia o sistema de ensino no Brasil daquele dos países desenvolvidos não é exatamente a falta de novos meios, mas sim a otimização dos já disponíveis e a *qualificação* dos docentes, além

---

<sup>141</sup> Estas mudanças estão relacionadas principalmente à necessidade de adequação aos novos perfis profissionais. Falar de novas tecnologias nos leva a falar da necessidade de adquirir novos conhecimentos tecnológicos e a formação básica (nova ‘alfabetização’) é um elemento essencial para responder a contínua demanda de qualificação profissional.

da implementação de projetos educacionais voltados para nossa realidade sócio-cultural.

De qualquer forma, com a realização de nosso programa, optamos por aproveitar o caráter de novidade deste meio para utilizá-lo como catalisador no processo de aprendizagem, utilizando o potencial e facilidades no trato com as informações, e esperamos que o resultado seja satisfatório e bem aceito por quem dele vai se utilizar.

## ***CONCLUSÕES***

O diálogo instaurado entre a ciência e as novas tecnologias de representação de imagens está provocando verdadeiras mudanças nas teorias científicas e nas produções do imaginário, como atestam as condutas científicas vigentes e as criações artísticas atuais. Sabemos que lidamos com categorias de trabalhos bastante diversas, porém, ao permitir-mo-nos observar o caleidoscópio das relações existentes entre ciência e suas formas de figuração deparamo-nos com o que transcende as alterações proporcionadas pelo avanço científico, e conseqüentemente das *imagens* que o traduz: a questão essencial passa a ser nossa relação com o mundo, seja com o cosmos, seja com a mais íntima parte constituinte da matéria.

O caráter físico do átomo, representado por uma imagem virtual que fornece dados como propriedades e estrutura, de interesse de toda a química, e da maior parte da física, caracteriza fenômenos que devem ser conhecidos, tanto no que concerne ao avanço da pesquisa por caminhos novos (definindo novos fenômenos), quanto no estabelecimento de uma referência prática, que repercute tanto em aplicações técnicas quanto no ensino, definindo assim, normas e divulgando o conhecimento.

Ao atentarmos para a história do atomismo, percebemos que a força dinâmica do imaginário, gerador de expressões imagéticas e simbólicas, é imprescindível na descoberta científica. As recentes tecnologias da imagem lançaram um desafio para divulgadores da ciência, cientistas e educadores, pois uma perfeita harmonia entre conteúdo/ forma exige a interface de diferentes linguagens e o envolvimento de

profissionais de várias áreas. O trabalho experimental que desenvolvemos em CD-ROM exigiu trabalho em equipe para que conseguíssemos conciliar o saber químico com a 'alquimia' das imagens, produzindo assim um novo entorno de comunicação capaz de envolver e familiarizar até os não- iniciados, tornando conhecimentos científicos relativos sobre a estrutura da matéria acessíveis a um maior número de pessoas. Ao buscarmos a socialização das teorias científicas que procuram explicar a constituição do mundo macroscópico, tocamos em uma questão ética da ciência, já que a ciência diz respeito a todos.

Todos sabemos que o meio em si não produz mudanças (ou melhoras) significativas no processo de aprendizagem. Gostaríamos de ressaltar que neste trabalho centramos as discussões na *produção* de um sistema hipermídia *didático*, e não, em como *a utilização didática deste meio* desenvolvido deve ser conduzida. O CD-ROM que elaboramos deve ser encarado como um material 'piloto', um material didático experimental, que em nenhuma hipótese se encontra fechado à incorporações ou exclusões de informações. Ao contrário, à medida que ele for sendo utilizado e conhecido por um círculo maior de educadores, estudantes ou interessados no tema seu perfil deve ser aprimorado através das alterações sugeridas. Acreditamos ainda que o material produzido possa ser extensível para a abordagem de outros tópicos da física e da química.

Ao finalizarmos o estudo do processo evolutivo das noções sobre a estrutura da matéria podemos categoricamente afirmar que não voltaremos a representar o

átomo simplesmente pela transposição do que formula a imaginação a partir da percepção do mundo sensível. Ainda que as transformações tecnológicas em curso estão determinando uma mudança significativa das formas de representação iconográfica na ciência contemporânea, devemos ter claro que o que se busca não é alcançar verdades científicas específicas através deste simbolismo ou resumir a natureza a um pequeno número de leis simples e imutáveis<sup>142</sup>, mas sim, vislumbrar o mundo natural com seus processos complexos e múltiplos sob a luz de uma ciência que apresenta um constante movimento de seus paradigmas.

As imagens de fábulas, reportagens de televisão, analogias, metáforas, ficções e simulações usadas na parte prática desta dissertação, ao serem deslocadas de seus ambientes semânticos próprios e integradas no contexto científico contribuíram decisivamente para a divulgação dos modelos e teorias propostos para a estrutura da matéria no decorrer da história da ciência, pois permitiram a tradução de conceitos e teorias abstratas, em imagens familiares. Assim, serviram de forma complementar, porém no mesmo nível de importância, que as imagens geradas por *softwares* de visualização científica.

Ao trocarmos a literatura didática por um meio informático interativo nos encontramos em um ambiente onde as experiências são poucas e cujos modelos pedagógicos e de avaliação são transplantados de outros meios já conhecidos. Isso faz com que os resultados dos materiais elaborados (pesquisa) sejam de difícil

---

<sup>142</sup> I. Progovine, *A Nova Aliança - a metamorfose da ciência*, Op. Cit. pp. 07

avaliação. Porém, sabemos da importância e urgência de submeter o material para avaliação crítica de educadores (isto pode enriquecer e até mesmo gerar modificações profundas nele), e procurar ver o nível de aceitação de um material que não privilegia atividades de memorização e sim, uma interação mais lúdica e não-linear (não-impositiva) na tentativa da descrição da natureza.

***ÍNDICE DAS IMAGENS  
UTILIZADAS NO CD-ROM***

## *Ilustrações*

A bibliografia de cada obra é registrada de modo completo apenas uma vez. Ocorrendo repetição, o número correspondente aparece entre colchetes.

“Il laboratorio dell’alchimista”, de Giovanni Stradano - Firenze, Palazzo Vecchio; extraído de *Arte e Alchimia*, Calvesi, M.; Giunti, pp. 36

“Ouroborus”, *Sinósio*, Paris, Biblioteca Nacional; extraído de *Arte e Alchimia*, Calvesi, M.; Giunti, pp. 50

“Ouroborus”, “An Artist Explores the Concept of Levels in Matter”, Reagan, G.M., *Leonardo*, vol.23,1, pp. 35-40, 1990, MIT Press Journals, Cambridge

“Átomo de Hidrogênio de Bohr-de Broglie”, “An Artist’s Atom”, Kenneth Snelson, *Leonardo*, vol.27, 3, pp.231-236, 1994, MIT Press Journals, Cambridge

“Órbitas auxiliares”, “An Artist’s Atom”, Kenneth Snelson, *Leonardo*, vol.27, 3, pp.231-236, 1994, MIT Press Journals, Cambridge

“End of the Arabesque”, Degas; extraído de “The Use of Artistic Analogies in Chemical Research and Education”, István Hargittai, *Leonardo*, vol.27, 3, pp.225, 1994, MIT Press Journals, Cambridge

“Seated Dancer Adjusting Her Shoes”, Degas; extraído de “The Use of Artistic Analogies in Chemical Research and Education”

Foto do “Hall with the Fountain” do Topkapi Sarayi; extraído da revista *The Chemical Intelligencer*, vol.02, 4, 1996, pp. 04, Springer-Verlag, New York

Antoni Tàpies, “Inscription Noire Sur Frange Rouge”, técnica mista, *Catálogo Derrière le Miroir*, pg. 07

Modelos de bordados húngaros coletados por Gvörgyi Lengyel; extraído de “The Use of Artistic Analogies in Chemical Research and Education”

Modelo decorativo islâmico; extraído de “The Use of Artistic Analogies in Chemical Research and Education”

Óleo sobre tela de Norival Cobeiros

“Nu Rose”, Henri Matisse, 1935, Pintura à óleo, 66 x 92 cm, Musée d’Art, Baltimore; retirada do livro *Matisse* de John Jacobus, Ars Mundi, França, 1986

“Dance”, Henri Matisse, 1909/10, óleo sobre tela, 260 x 391 cm, St. Petersburg, Hermitage, retirada do livro *Matisse* de John Jacobus, Ars Mundi, França, 1986

Fotos de Frans Krajcberg, *Natura*, Ed. Index, 1987, Rio de Janeiro (ícones *ar, terra, fogo e ar*)

## ***Vídeos***

“Estudo Científico da Estrutura da Molécula com o Auxílio da Computação para o uso no Desenvolvimento de Medicamentos”; Alemanha; 1990; Departamento de Documentação - TV Cultura

“Nosso amigo átomo” - Filme do estúdio Walt Disney sobre átomo e energia nuclear; Departamento de Documentação - TV Cultura

“Minuto Científico: O Átomo”; Produzido pela TV Cultura, Estação Ciência-USP; 1997; Departamento de Documentação - TV Cultura

“Palácio da Memória”; Projeto Inca-Crocévia; Produzido pela TVT (TV dos Trabalhadores); Direção: Maritê Azevedo, Dez/1994

***REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

## *Livros*

BARTOLOMÉ, Antonio R., "Sistemas Multimedia en Educación", in *Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la Educación*, Ed. Alfar, Sevilla, 1994

BELTRAN, Maria Helena Rocho, *A Arte Química da gravura- artes dos séculos XVI e XVII*, dissertação de mestrado FE-UNICAMP, 1990, Campinas

BELTRAN, Nelson O., CISCATO, Carlos Alberto M., *Química*, Editora Cortez, São Paulo, 1991

BENTLEY, W., HUMPHREYS, W.J., *Snow Crystals*, McGraw-Hill, New York, 1931

BROCK, William H., *The Fontana History of Chemistry*, Fontana Press, London, 1992

CAPRA, Fritjof, *O Tao da Física*, Ed. Cultrix, São Paulo, 1983

CARVALHO, José Jorge de, *Mutus Liber - O livro mudo da alquimia*, Attar Editorial, São Paulo, 1995

DENTIN, Serge, "O Virtual nas Ciências". In: VVAA, *Imagem Máquina - a era das tecnologias do virtual*, organizado por André Parente, Rio de Janeiro, Ed. 34, 1993 (2º ed., 1996).

FOUCAULT, Michel, *Isto não é um Cachimbo*, Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1988

GOLDFARB, Ana Maria A., *Da Alquimia à química*, EDUSP, São Paulo, 1988

HARGITTAI, István, HARGITTAI, Magdolna, *Symmetry through the eyes of a Chemist*, 2ª. edição, New York, Plenum Press, 1995

HEHRE, Warren J., HUANG, W. Wayne, *Chemistry with Computation - An Introduction to Spartan*, 1995, Wavefunction Inc., California

HOLTON, G., *A Imaginação Científica*, Zahar, Rio de Janeiro, 1979

IBÁÑEZ, Jesús Salinas, "Educación a distancia basada en satélites: experiencias y perspectivas", in: VVAA, *Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la Educación*, Alfar, Sevilla, 1994, pp. 55-64

JAFFE, Bernard, *Crucibles: The Story of Chemistry - From ancient alchemy to nuclear fission*, Dover Publications, New York, 1976

JUNG, C.G., *Psicologia e Alquimia*, Ed. Vozes, 2ª. edição, Petrópolis, 1994,

*Psychologie und Alchemie*, 1975, tradução de Dora Mariana R. F. da Silva

LEICESTER, Henry M., *The Historical background of Chemistry*, Dover

Publications, New York, 1971

LEHNINGER, Albert L., *Princípios de Bioquímica*, Sarvier Ed., São Paulo, 1985

LÉVY, Pierre, *O que é o Virtual*, Editora 34, São Paulo, 1996

LYNCH, Michael, WOOLGAR, Steve, *Representation in Scientific Practice*,

Cambridge, MIT Press, 1990

MACHADO, Arlindo, *A Ilusão especular*, Brasiliense, São Paulo, 1984

\_\_\_\_\_. *Máquina e Imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas*

EDUSP, São Paulo, 1993

MARTINS, Roberto de Andrade, *O Universo - teorias sobre sua origem e evolução*,

Ed. Moderna, 1950, 3ª. edição, São Paulo

MILLER, Arthur, *Imagery in Scientific Thought*, The MIT Press, London, 1987, 2ª

edição

MONOD, Jacques, *O acaso e a necessidade*, Ed. Vozes Ltda., Petrópolis, 1989, 4ª edição

NELKIN, Dorothy, “La ciencia en el escaparate”, Fundesco, 1990, 1º edição, Madrid

NETTO, J. Teixeira Coelho, *Semiótica, Informação e Comunicação*, Ed. Perspectiva, São Paulo, 1983

PARTINGTON, J.R., *A Short History of Chemistry*, Dover Publications, New York, 1989

PATY, Michel, *A Matéria Roubada*, EDUSP, São Paulo, 1995

PEIRCE, Charles S., *Semiótica*, Ed. Perspectiva, São Paulo, 1977

PESSIS-PASTERNAK, Guitta, *Do caos à inteligência artificial*, editora Unesp, 2ª edição, 1993, São Paulo

PRIGOGINE, Ilya, STENGERS, Isabelle, *A nova aliança - a metamorfose da ciência*, Ed. Universidade de Brasília, 1984, Distrito Federal

- QUÉAU, Philippe, *Éloge de la simulation*, Seyssel, Champ Vallon, 1986; citado por Arlindo Machado
- REYNA, R., *The Philosophy of Matter in the Atomic Era*, London, 1962, Asia Publishing House
- REEVES, Hubert, “Imagens de Ação na Física”, *A Ciência e o Imaginário*, Ed. UnB, 1994, pp. 13-26, Brasília, *Science et imaginaire*, Centre de Recherche sur l’Imaginaire, 1985, tradução de Ivo Martinazzo.
- SCHRÖDINGER, E.C., *O que é vida? O aspecto físico da célula viva*, Editora Unesp, São Paulo, 1997
- SEGURA, Jordi Adell, “World Wide Web: Un Sistema Hipermedia Distribuido para la Docencia Universitaria”, em *Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la Educación*, Ed. Alfar, Sevilla, 1994, pp. 116.
- SIQUEIRA, Ethevaldo, *A sociedade inteligente, a revolução das novas tecnologias*, Ed. Bandeirantes, São Paulo, 1987
- TROCCHIO, Federico Di, *Las mentiras de la Ciencia - ¿ Por qué y cómo engañan los científicos?*, Alianza Editorial, 2ª. edição, 1997, Madrid

## *Artigos de Periódicos Científicos*

ALCOPLEY, L., "On Art Fashions and the Artist's Preoccupation with Science", *Leonardo*, vol. 2, 2, pp.161-162, 1969, MIT Press Journals, Cambridge

ANDERSEY-WILLIAMS, Hugh, "Reading Between the Lines", *The Chemical Intelligencer*, vol.02, 4, 1996, pp.37-41, Springer-Verlag, New York

FLURCHICK, Ken; BARTOLOTTI, Lee; "Visualizing properties of atomic and molecular systems", *Journal of Molecular Graphics* 13: pp.10-13, 1995, New York.

FURIÓ, C.; CALATAYUD, M.L.; *Journal of Chemical Education*, vol. 73, n°1, pp. 36-41, 1996

HARGITTAI, István, HARGITTAI, Magdolna, "Buckminsterfullerene in the Sarayi", *The Chemical Intelligencer*, vol. 2, 4, 1996, pp.04, Springer-Verlag New York Inc., NY

HARGITTAI, István, HARGITTAI, Magdolna, "The Use of Artistic Analogies in Chemical Research and Education", *Leonardo*, vol.27,3,1994, pp 223-226, MIT Press Journals, Cambridge

HAYD, Helmut, BERGNER, Andreas, PREUSS, Heinzwerner, "GAME: A computer graphics method for calculating and displaying the molecular electrostatic potential", *Journal of Molecular Graphics*, 13: 2-9, 1995, New York, Elsevier Science Inc.

KALLICK-WAKKER, Ingrid, "Science Icons: The visualization of Scientific Truths", *Leonardo*, vol.27, 4, 1994, pp.309-314, MIT Press Journals, Cambridge

LABINGER, Jay A., "Metaphoric Usage of the Second Law", *The Chemical Intelligencer*, vol. 2, 4, 1996, pp. 31-36, Springer-Verlag New York Inc., NY

MANDELBROJT, Jacques, "Has my Practice of Science Influenced my Art?", *Leonardo*, vol. 24, 5, pp.519-524, 1994, Springer-Verlag New York Inc., NY

REAGAN, Gertrude M.; "An Artist Explores the Concept of Levels in Matter", *Leonardo*, vol. 23, n° 1, pp. 35-40, 1990, MIT Press Journals, Cambridge

SANTAELLA, Lucia, "Palavra, imagem & enigmas", *Revista USP*, 16, 1992-1993, pp. 38, EDUSP, São Paulo

SCHRÖDINGER, E.C., *Science, Theory, and Man*, New York, Dover, 1957; citado por Jacques Mandelbrojt em "Art and Science: Similarities, Differences and Interactions", *Leonardo*, vol.27, 3, 1994, MIT Press Journals, Cambridge

SNELSON, Kenneth, "An Artist's Atom", *Leonardo*, Vol. 27, 3, 1994, pp. 231-235,  
MIT Press Journals, Cambridge

### ***Comunicações de Congressos***

KAPLÚN, Gabriel; *Producción de Materiales Educativos - educadores, comunicadores o poetas*, I Congresso Internacional sobre Comunicação e Educação, São Paulo, 20-24/5/1998.

### ***Artigos de Jornais***

N. da Costa, "A Lógica da Liberdade", *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 5-4, 30 de novembro de 1997

Reportagem Local, "FHC inaugura laboratório de alta tecnologia em Campinas", *Folha de São Paulo*, Caderno Campinas, 3-2, 18 de novembro de 1997

das Agências Internacionais, "Estudo vê novo corpo subatômico", *Folha de São Paulo*, Caderno Mundo, 1-20, 2 de setembro de 1997

da Redação, "'Era uma vez na América' é 1º DVD do Brasil", *Folha de São Paulo*, Caderno Ilustrada, 4-11, 05 de dezembro de 1997

Marcelo Gleiser, “Há cem anos, Thomson descobria o elétron”, *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 5-16, 14 de dezembro de 1997

Marcelo Gleiser, “A antimatéria e as assimetrias do Universo”, *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 5-15, 08 de março de 1988

Marcelo Gleiser, “A lua e as flutuações energéticas em aceleradores”, *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 5-16, 31 de maio de 1998

Pierre Lévy, “Um sistema auto-regulador”, *Folha de São Paulo*, Caderno Mais!, 5-3, 12 de abril de 1998, tradução de José Marcos Macedo

## ***Teses***

GAUDIO, Anderson C., *Relações entre Estrutura Química e Atividade Biológica de Inibidores da Timidina-Cinase do Vírus Herpes Simplex*, tese de doutorado, Instituto de Química/ UNICAMP, Campinas, 1998, pp. 112

## ***World Wide Web Sites Citados***

Os *web sites* aqui citados encontravam-se disponíveis na Internet quando da realização desta dissertação. Devido à possibilidade de ocorrer modificações nas

páginas ou mesmo mudança em seus endereços eletrônicos, reproduzimos no texto o que deles julgamos essencial para o conteúdo deste trabalho.

**<http://wfs.vub.ac.be/>**

(Site do “Chemical Processes in your Vicinity” proposto pelo projeto europeu *Web for Schools*)

**<http://thecity.sfsu.edu/~lglira/a10.htm>**

(Site de tópicos químicos elaborado pelo Projeto Educacional Astro)

**[http://www.scripps.edu/pub/goodsell/mgs\\_art/mgs\\_art.html](http://www.scripps.edu/pub/goodsell/mgs_art/mgs_art.html)**

(Site da Mostra *Molecular Graphics Art Show*, que ocorreu durante o 13º Encontro Anual do *Molecular Graphics and Modelling Society*)

**<http://www.nemeton.com/axis-mutatis/samples/s2.aiff>**

(Site da trilha “S2 Translation” gerada a partir da seqüência de DNA e de aminoácidos característicos da proteína S2, pelo grupo *The Shamen*)

*APÊNDICE*

Neste apêndice selecionamos alguns *Web sites* relevantes relacionados à:

### ***Imagens Virtuais na Química***

<http://chemfinder.camsoft.com/>

Este *site* permite acesso ao *plug-in* “Chem Draw” onde se pode construir estruturas moleculares no *web browser*

<http://www.umass.edu/microbio/rasmol/>

O *software* “Rasmol” disponível neste *site* permite a visualização de estruturas moleculares, sendo possível movimentá-las no espaço com a ajuda do *mouse* e teclas de suas estruturas tri-dimensionais

<http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/bio/amino-acids.html>

Imagens tri-dimensionais de aminoácidos

<http://www.csc.fi/lul/chem/graphics.html>

“Chemist’s Art Gallery”: visualizações e animações em química feitas em um laboratório de visualização e animação na Finlândia

<http://cgl.ucsf.edu/midas-images/index.html>

Exemplos de imagens desenvolvidas pelo Laboratório de Computação Gráfica da Universidade da Califórnia, San Francisco (através de um sistema de modelagem molecular)

<http://www.chem.ucalgary.ca/groups/ziegler>

<http://www.mdli.com/chemscape/chime/chime.html>

<http://www.dcu.ie/~chemist/pratt/cs204/perspect/perspeal.htm>

[http://www.ch.ic.ac.uk/chemical\\_mime.html](http://www.ch.ic.ac.uk/chemical_mime.html)

<http://www.intsim.com/~isigen/download/index.html>

Site onde se obtém o *plug-in* Chemscape Chime

<http://scsg9.unige.ch/fln/eng/toc.html>

Imagens de moléculas com diferentes tipos de representação estrutural

<http://www.nyu.edu/pages/mathmol/library/library.html>

[http://cwis.nyu.edu/pages/mathmol/K\\_12.html](http://cwis.nyu.edu/pages/mathmol/K_12.html)

Atividades interativas em química

<http://www.csc.fi/lul/chem/graphics.html>

Imagens animadas de moléculas

<http://www-wilson.ucsd.edu/education/gchem/gchem.html>

Visualização de orbitais atômicos e moleculares

<http://www.sdsc.edu/iotw/week40.96/iotw.html>

<http://www.cchem.berkeley.edu/ChemResources/Reaction/index.html>

Simulação de reação química

[http://www.brunel.ac.uk/depts/chem/ch241s/re\\_view/addreact.htm](http://www.brunel.ac.uk/depts/chem/ch241s/re_view/addreact.htm)

Simulações de reações químicas

### ***Cursos de Química em Hiperídia***

<http://www.chem.vt.edu/chem-ed/vt-chem-ed.html>

O “Projeto Química Hiperídia” desenvolve tutoriais que fornecem recursos educacionais suplementares para o ensino de química no segundo grau