

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Ciências da Educação  
Programa de Pós-Graduação  
Curso de Mestrado em Educação

**O CONHECIMENTO, O ENSINAR E O APRENDER:  
ENTRE O MUNDO DADO E MUNDO CONSTRUÍDO**

Neila S. Rupolo

Prof. Orient.: Dr. Norberto J. Etges

Florianópolis – SC, 2000.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO**

*“O conhecimento, o ensinar e o aprender: entre o mundo dado e o mundo  
construído.”*

Dissertação submetida ao Colegiado do  
Curso de Mestrado em Educação do Centro  
de Ciências da Educação em cumprimento  
parcial para a obtenção do título de Mestre  
em Educação.

**APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 03/10/2000**

Dr. Norberto Jacob Etges (UFSC - Orientador)

Dr. Ari Paulo Jantsch (UFSC - Examinador)

Dr. Roque Strieder (UNOESC - Examinador)

Dr. Francisco das Chagas de Souza (UFSC - Suplente)

*Norberto J. Etges*  
*A. P. Jantsch*  
*Roque Strieder*

**Dr. Lucídio Bianchetti**  
**Coordenador PPGE**

· **Neila Salete Rupolo**

*Florianópolis, Santa Catarina, outubro de 2000.*

À minha mãe Asti (*in memoriam*): na sua simplicidade deixaste o exemplo de que se aprende onde a vida está.

Ao meu filho Cícero: pelo tempo que te foi subtraído durante a construção deste trabalho e por tudo aquilo que contigo aprendí.

### **Agradecimentos:**

Agradeço a Luci e Rose pelo grupo de estudo que juntas construímos, pelas horas de estudo, pelas conversas produtivas e por aquelas jogadas fora. A Claudia, por tudo isso e também pela contribuição técnica na formatação deste trabalho. Ao Prof. Roque Strieder pelas sugestões importantes apresentadas durante a sua participação na banca de qualificação, a UNOESC - Chapecó e UFSC por oportunizar a realização deste mestrado.

Agradeço especialmente ao Prof. Norberto, meu querido orientador, pela liberdade de escolher os caminhos e abandoná-los quando necessários. A sua atitude, professor Norberto, é um exemplo construcionista.

## RESUMO

A visão fisicalizada da realidade, nos séculos XVIII e XIX que entendia o cosmo, a natureza, a sociedade e cada indivíduo como partículas isoladas que interagem mecanicamente segundo relações causais, instituiu o paradigma da certeza, onde o conhecimento, o ensinar e o aprender também trazem a sua marca. Nas primeiras décadas do século XX a Nova Física faz proposições orientadas para uma direção que sugere mudança radicais na maneira de conceber o cosmo, a natureza, a sociedade, os seres humanos e conseqüentemente, o conhecimento o ensinar e o aprender. A Física deixa de ser o centro de todas as ciências. Novas idéias ocorrem em todas as ciências. As '*estruturas dissipativas*' de Prigogine, as '*dobras*' de Bohm e a '*autopoiese*' de Maturana e Varela propõem uma nova visão dos organismos vivos e, em função disso, uma visão construtiva do processo de cognição. As ciências vivem o paradigma da incerteza, a maior parte das instituições educacionais e os educadores não.

**Palavras-chave:** paradigma, conhecimento, ensinar, aprender.

## ABSTRACT

According to the physical point-of-view about reality, hegemonic in the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> centuries, cosmos, nature, society and each individual were considered isolated particles interacting mechanically, determined by causal relations. This approach established the paradigm the certainty that has also influenced knowledge, teaching and learning. However, in the first decades of 20<sup>th</sup> century, New Physics proposed different guidelines which suggest radical changes in the way we conceive cosmos, nature, society and human beings – and, consequently, knowledge, teaching and learning. Physics is not the hard core of all sciences any more. Prigogine's "Dissipative structures", the implicate order of Bohm and the "autopoiesis" by Maturana and Varela propose a new vision of the living organisms and thus a constructive vision of the cognitive process. Science started living the paradigm of the uncertainty - but most of the educational institutions and educators do not.

Key-words: paradigm, Knowledge, teaching, learning

*"O ser humano vivencia a si mesmo, seus pensamentos como algo separado do resto do universo que o cerca - uma espécie de ilusão de ótica de sua consciência, moldado pela cultura. E essa ilusão é um tipo de prisão que nos restringe a nossos desejos pessoais, conceitos e ao afeto por pessoas mais próximas. Nossa principal tarefa é a de nos livrarmos dessa prisão, ampliando nosso círculo de compaixão, para que ele abranja todos os seres vivos e toda a natureza em sua beleza. Poderá ser que ninguém consiga atingir plenamente esse objetivo, mas lutar pela sua realização já é por si só parte de nossa liberação e o alicerce de nossa segurança interior".*

*Albert Einstein*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>2. O PARADIGMA DA CERTEZA</b>	<b>12</b>
<b>2.1 DESCARTES E NEWTON: UM RASTRO DE LUZ E POEIRA SOBRE O NOSSO TEMPO</b>	<b>13</b>
a) <i>Descartes: A Razão é o centro do Universo</i>	13
b) <i>Newton: O universo é uma máquina estável</i>	16
c) <i>A História não é feita por dois homens apenas</i>	21
<b>2.2 O CONHECIMENTO, O ENSINAR E O APRENDER NO PARADIGMA DA CERTEZA</b>	<b>23</b>
a) <i>A natureza do conhecimento e suas implicações</i>	23
b) <i>O Ensino superior hoje: recorte de um universo cartesiano-newtoniano</i>	27
<b>SEGUNDA PARTE</b>	
<b>3. O PARADIGMA DA INCERTEZA</b>	<b>30</b>
<b>3.1. OUTRAS IMAGENS DO MUNDO</b>	<b>31</b>
a) <i>Um novo Insight: A nova Física</i>	31
b) <i>O panorama atual</i>	44
<b>3.2 O conhecimento, o ensinar e o aprender no paradigma da incerteza</b>	<b>57</b>
a) <i>Um novo conceito de cognição e suas implicações</i>	57
b) <i>No paradigma da incerteza com a cabeça cheia de certezas</i>	65
c) <i>A educação do futuro e o novo conceito de cognição</i>	68
d) <i>Um olhar para o ensino de Física</i>	73
<b>4. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES</b>	<b>80</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>83</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>86</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação é o produto e o processo de um estudo teórico que partiu da problemática que envolve o fazer-pedagógico, onde de acordo com Becker (1990) ainda são hegemônicas as práticas pedagógicas diretivas e não diretivas inspiradas num modelo representacionista da realidade. Assim, construiu-se a partir dos modelos fisicalizados de inspiração cartesiana-newtoniana uma explicação para esta prática.

Seu objetivo é fazer uma nova síntese de algumas relações entre as transposições inadequadas de conceitos pertinentes ao universo newtoniano-cartesiano para a educação, e as marcas que esta transposição produz até hoje sobre a forma como se compreende o conhecimento, o ensino e a aprendizagem. Também objetiva evidenciar nas proposições feitas pela nova física e nas outras ciências metáforas mais adequadas para se entender a natureza, os seres vivos, o conhecimento, o ensinar e o aprender e, conseqüentemente novas focos para o fazer-pedagógico.

Assim, na sua primeira parte, chamada de Paradigma da Certeza, busca-se nos pressupostos da ciência moderna, aqui representados principalmente pelo pensamento cartesiano-newtoniano, alguns fundamentos da visão fragmentária e representacionista da realidade e do conhecimento desenvolvida e cultivada pelos ocidentais.

A racionalidade moderna legou ao ocidente uma forma de fazer e pensar que tem base nos modelos cartesianos-newtonianos, usado pela Física para descrever o universo físico. Este modelo descreve um universo composto por blocos de construção fundamentais e sólidos - os átomos.

O êxito deste modelo na descrição do movimento dos planetas e máquinas mecânicas fez os físicos do final do século XVIII adotarem como imagem do universo uma

máquina que funcionava de acordo com as leis de Newton. Com o tempo, esta imagem foi estendida à natureza, à sociedade e aos seres vivos, todos passíveis de entendimento a partir de seus componentes elementares - suas peças e engrenagens. Esse modo de entender as coisas responde às expectativas apenas para aqueles que vêem o mundo sólido, imutável e regido por determinações.

Na sequência, traz também algumas implicações pedagógicas, produzidas por essa visão de mundo que permeiam o ensinar e o aprender fazendo de instituições de ensino verdadeiros universos newtonianos regidos por relações de causa e efeito que colocam a todos numa situação desconfortável de partículas sólidas gravitando umas em torno das outras e, perdendo de vista a experiência mais profunda que existe em cada universo particular que é o ser humano com suas vivências.

A segunda parte, chamada de Paradigma da Incerteza, traz um breve histórico do nascimento e desenvolvimento da nova física e sua visão de mundo sustentada pela teoria da relatividade e pela mecânica quântica, cujos fenômenos tratados são aparentemente bizarros e afrontam o 'bom senso' de limites sensoriais. Assim, a Nova Física aponta que não se deve fazer previsões e criar expectativas baseadas em evidências sensoriais sobre um domínio que está além delas. Diferentemente do mundo da física clássica, neste os observadores com os seus instrumentos têm um lugar ao sol. No paradigma da certeza eles foram importantes apenas para observar as propriedades de um fenômeno, visto que a realidade estava dada. Atualmente, não só para observar, mas para que as próprias propriedades ocorram.

Na sequência, novas idéias ocorrem em todas as ciências. No paradigma da incerteza a idéia central refere-se mais ao estudo da forma, que busca identificar ordens, padrões de organização e menos ao das substância, que busca conhecer estruturas. Os objetos sólidos cedem lugar às relações.

A natureza do conhecimento é um tema que não sai de cena. O clima produzido pela idéias emergentes em todas as ciências é favorável ao desenvolvimento de teorias construcionistas. O conhecimento deixa de representar o mundo e passa a construir mundos. Humberto Maturana e Francisco Varela desenvolvem uma nova teoria da

cognição, que amplia os domínios da mente para além do cérebro e o sistema nervoso. Nesta concepção a cognição permeia todo o processo de viver, inclui as emoções e toda a corporeidade. Mas será que no exercício da prática docente faz diferença entender o conhecimento enquanto representação do mundo ou construção de mundos? Os docentes consultados fazem opção por uma teoria para orientar sua prática ou ela é espontaneísta? Os seus entendimentos sobre como ocorre 'o aprender' são coerentes com a teoria apontada para orientar suas práticas?

No tópico seguinte vêm os saberes apontados por Edgar Morin como imprescindíveis para o nosso tempo, que serão analisados nos aspectos congruentes com a educação que leva em conta o novo conceito de cognição proposto por Maturana e Varela. Dentre estes saberes, destaca-se a necessidade da conscientização para a cegueira do conhecimento e o enfrentamento das incertezas. No paradigma da incerteza, vive-se problemas complexos, cujas soluções fogem aos domínios das limitadas teorias cartesianas. A multideterminação dos problemas requer soluções transdisciplinares.

E por fim, faz-se considerações sobre o ensino de Física que, mesmo quando trata de conceitos da nova Física, cujas proposições não são lineares e causais, consegue construir significados newtonianos, impregnados de determinismos e causalidades. Nesse contexto, o ensino da Física é marcado principalmente pelo uso de definições, como se elas tivessem significados por si só, independentes de um encadeamento estabelecido entre os vários conceitos dentro das teorias. Essa característica é típica de um entendimento representacionista do conhecimento, que coloca os significados nos objetos, nas informações e não nas relações que as produziram. Mas esse modo dos docentes procederem não pode ser definitivo, o texto apresenta algumas alternativas úteis para contemporizar o ensino de Física.

## **PRIMEIRA PARTE**

### **2. O PARADIGMA DA CERTEZA**

## 2.1 DESCARTES E NEWTON:

### UM RASTRO DE LUZ E POEIRA SOBRE O NOSSO TEMPO

#### a) *Descartes: A Razão é o centro do Universo*

Uma tentativa de compreender a forma fragmentada como entendemos a natureza e a realidade toda nos leva de volta ao século XVI. Examinemos o sonho de Descartes: “A nova Ciência me foi dada de forma simbólica. Tive certeza de que Deus me apontava uma missão - construir uma nova Filosofia Científica” (apud Capra, 1981:52).

Apesar da atmosfera favorável ao desenvolvimento do ceticismo, provenientes da destruição da idéia de cosmos e de indefinições generalizadas sempre presentes em situações onde padrões de valores são colocados em ‘xeque’, como era o caso dos padrões medievais - este sonho fez Descartes ter certeza da possibilidade de conhecer a verdade. Como? Através do uso adequado da razão. Mas como usar adequadamente a razão? Usando a dúvida como procedimento metódico para ‘chegar’ a certeza. Mas por que justamente a dúvida como critério de certeza?

“Por desejar ocupar-me somente com a pesquisa da verdade, pensei ser necessário agir exatamente ao contrário, e rejeitar como absolutamente falso tudo aquilo em que pudesse imaginar a menor dúvida, afim de ver se, após isso, não restaria algo em meu crédito que fosse inteiramente indubitável” (1999: 196).

Para chegar ao inteiramente indubitável, tudo têm de passar pelo crivo da dúvida afim de que todas estas sejam apuradas. Portanto, não se trata apenas de duvidar por duvidar e sim de examinar cuidadosamente em cada coisa a possibilidade de um eventual resquício de dúvida, assim, a atitude de duvidar passa a ser metódica. Mas duvidar do quê? De tudo, e sobretudo do que nos dizem os sentidos. E, mais do que isso, duvidar inclusive

do ato de duvidar por que esse traz consigo uma certeza importante: se há dúvida, deve haver 'algo' que duvide - o pensamento, que sendo responsável pela dúvida também o é pela existência. "*pelo fato de eu mesmo duvidar da verdade das outras coisas, seguia-me mui evidente e mui certamente que eu existia*". Enfim algo do qual não se possa duvidar: a existência.

"*Penso logo existo*". Eis a primeira verdade clara e distinta a que Descartes chegou. E por ser clara e distinta, também o serão as que dela derivam: a existência de Deus e a existência do mundo. "*Pelo nome de Deus entendo uma substância infinita, eterna, imutável, independente, onisciente, onipotente e pela qual eu próprio e todas as coisas que são foram criadas e produzidas*"(1999: 198). Como pode o homem, um ser imperfeito que tem de duvidar até de sua própria existência para provar que existe ter idéia de perfeição? Esta só pode ter sido o efeito de uma causa exterior, vindo de algo que lhe é exterior. A realidade, diz Descartes, existe em igual medida tanto na causa como no seu efeito, donde decorre que, se o efeito existe, então, uma causa lhe precedeu. Deus é a causa. Deus existe e é causa de si mesmo, causa da idéia de perfeição, causa das idéias das coisas exteriores que nos chegam através dos sentidos, portanto, o mundo também existe, e pode ser representado.

*Res cogitans, res infinita, res extensa* - 'coisa pensante, coisa infinita e coisa pensada - Eu-Deus-Mundo. Três unidades, três 'coisas' distintas que em Descartes ainda possuem ligação entre si. De acordo com Heisenberg: (1981: 42) "*Se quisermos mesmo fazer uso dos conceitos fundamentais cartesianos é essencial que Deus se encontre no mundo e no 'Eu' e é também essencial que o 'Eu' não possa ser realmente separado do mundo*", porém na Sequência a ciência moderna perde alguns elos: Deus é uma hipótese desnecessária, as 'coisas' divididas perdem o nexos entre si, o Universo Infinito e aberto se fecha, a matematização, mensuração e ordenação das verdades propostas por Galileu e reafirmadas por Descartes são levadas ao pé da letra, e saber realmente é poder para que ninguém duvidasse do potencial visionário de Francis Bacon.

A marca registrada que permaneceu e impregnou de realidade a existência ocidental foi mesmo a divisão fundamental entre 'coisas' da matéria e 'coisas' da mente -

*res extensa e res cogitans* - objetos de estudo das ciências naturais e humanas respectivamente. Esse preceito que impede o ser humano de sentir-se inteiro, promete muito trabalho para juntar aquilo que em Descartes foi dividido e durante o desenvolvimento da ciência moderna foi desvinculado. Assim, nesses três últimos séculos a humanidade ocidental vive a era das certezas, provenientes de um ato de fé incondicional no método científico que é pretensamente universal, e por isso tem como linguagem a *mathesis universalis*.

*A mathesis universalis* consiste na análise e decomposição dos fenômenos em elementos ínfimos e cada vez mais simples, a fim de que possam ser identificados com a sua medida. Convém lembrar que o método a tudo permite conhecer quando se familiariza com a linguagem da natureza: a matemática. Como já havia proferido Galileu, o universo é um livro aberto e “*só podemos compreendê-lo se primeiro aprendemos a conhecer a língua, os caracteres nos quais está escrito. Ora, ele está escrito em linguagem matemática e seus caracteres são os triângulos e o círculo e outras figuras geométricas, sem as quais é impossível compreender uma só palavra*”(in Chaui: 71).

O protótipo do seu universo material desprovido completamente de vida é uma máquina que funciona de acordo com leis mecânicas. Todo o mundo material é explicado através da organização e movimento de engrenagens.

Assim, Descartes esboçou a estrutura conceitual para a nova “ciência da natureza”, esboço que ganhou realidade e autonomia com Isaac Newton, que traduziu este sonho para uma linguagem matemática. Nas palavras de Monteiro (1990:159):

“ Newton formulou um conjunto axiomático de absoluta consistência interna, um sistema fechado no qual cada conceito admitia um simbolismo matemático,(...) todo o sistema era admitido como uma representação que era intrínseca à natureza na sua totalidade”.

## **b) Newton: O universo é uma máquina estável**

Isaac Newton representa uma espécie de síntese do pensamento seiscentista. Na sua forma muito particular de fazer ciência, aliou a Experimentação introduzida por Galileu ( influência empirista de Bacon) à Matemática que ele mesmo desenvolvera, mais elaborada que a usada por seus contemporâneos - o cálculo diferencial que utilizou para descrever o movimento dos corpos sólidos. Formulou matematicamente leis exatas e válidas em todo o universo para o movimento de todos os corpos. Contribuiu com a astronomia e desenvolveu uma teoria corpuscular para a luz. Mas o seu maior feito foi ter juntado o Céu e a Terra numa teoria única que explica porque os objetos caem para a terra e a terra cai para o sol: a Gravitação Universal onde a força  $F$  que mantém o universo unido é expressa por  $F = GMm/r^2$ . Essa Equação formaliza o fim da hierarquia do universo segundo graus de perfeição que punham em oposição o Céu e a Terra - idéia presente até o fim da idade média.

Esta teoria, ao mesmo tempo que representa esta unidade importante, não passa, entretanto, de uma descrição daquilo que se vê, uma reafirmação empirista. O próprio Newton determina que em Física o ato de investigar começa pela observação - nada de suposições, *“pois tudo que não é deduzido dos fenômenos deve ser chamado de hipóteses; e as hipóteses, quer metafísicas ou físicas, quer de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na filosofia experimental”*, (1979: 22). É nisso que o método de Newton difere do de Descartes. Para Descartes cabe a alma, por meio da razão, desvendar o que as coisas são, a partir de princípios claros e distintos como o *‘cogito’* por exemplo. Já para Newton, todas as proposições generalizadas eram feitas por indução: do particular para o universal; onde o particular é sempre inferido dos fenômenos. Há uma valorização dos órgãos do sentido que já haviam sido colocados sob suspeita em Descartes.

Há algo, porém, que Newton não consegue inferir de observações: a origem de todas as coisas, do espaço, do tempo, do movimento. Assim, para Newton, o espaço e o tempo reais são absolutos, independem do mundo exterior e do movimento de todos os corpos, possuem sua própria natureza. *‘Deixei, portanto, de definir, como conhecidíssimo*

*de todos ,o tempo, o espaço, o lugar, e o movimento. Direi, contudo, apenas que o vulgo não concebe estas quantidades senão pela relação com as coisas sensíveis'* (1979: 9) e em relação a o movimento dos astros, embora explicasse a sua continuidade pela gravitação, nada soube dizer da sua origem e regularidade: *"Mas até aqui não fui capaz de descobrir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos, e não construo nenhuma hipótese(...)"* (1979: 22).

Embora com o propósito de não construir nenhuma hipótese, num dado momento, Newton tem necessidade de lançar mão de uma super-hipótese: um Criador todo-poderoso, absoluto, eterno e infinito como o espaço-tempo em que ele iria habitar. Afinal, como explicar que as órbitas mais excêntricas dos cometas interceptam as órbitas mais concêntricas dos planetas sem no entanto perturbar demais a sua regularidade e sempre evitando choques?

" (...) mas, apesar de tais corpos poderem com efeito, continuar em suas órbitas pela simples lei da gravidade, todavia eles não podem de modo algum ter, em princípio, derivados dessa lei a posição regular das próprias órbitas. (...)Este magnífico sistema do sol, planetas e cometas poderia somente proceder do conselho e domínio de um Ser inteligente e poderoso" ( 1979: 19-20).

E sobre a origem de todas as coisa?

"(...) Parece provável para mim que Deus no começo formou a matéria em partículas movíveis, impenetráveis, duras, volumosas, sólidas, de tais formas e figuras e com tais outras propriedades e em tal proporção ao espaço, e mais conduzidas ao fim para o qual ele as formou; (...)" (1979b: 54-55).

Segundo esta hipótese, Deus não apenas criou o mundo, mas também o fez ao gosto de Newton: passivo, com tendência à uniformidade, se mantém por muito tempo como está, em repouso ou em MRU ( Movimento Retilíneo Uniforme), como determina a sua primeira lei do movimento. Ele então o mensurou, ordenou e o colocou em movimento, mas com o tempo o atrito dos astros com o éter o fazem perder velocidade, como sugere sua segunda lei de movimento, ou então se alguém preferir, devido as interações entre eles, propostas pela gravitação, suas órbitas têm de ser recalculadas de vez

em quando. Deus que é um geômetra, teve então de estar sempre presente, em todos os lugares, inclusive em todos os lugares ao mesmo tempo para prestar assistência técnica ou modificar as próprias leis se necessário fosse, e ainda, uma coisa que talvez alguns não saibam, ele poderia se assim o escolhesse, fazer outros mundos, uma vez que no universo existiam muitos espaços vazios:

"Pois convinha Àquele que as criou colocá-las em ordem. E se ele assim fez, é não-filosófico procurar por qualquer outra origem do mundo, ou pretender que este deveria se originar a partir de um caos pelas leis da Natureza; apesar de que, uma vez sendo formado ele pode continuar por essas leis durante muitas épocas(...) Algumas irregularidades inconsideráveis excetuadas, que podem ter se originado das ações mútuas dos cometas e planetas entre si, e que estarão prontas a aumentar, até que este sistema requeira uma reforma . (...)Tal maravilhosa uniformidade no sistema planetário deve ter permitido o efeito da escolha. E assim deve a uniformidade nos corpos dos animais, tendo eles geralmente um lado direito e um esquerdo formados de modo igual(...) e os instintos das bestas e dos insetos não pode ser o efeito de nada além do que a sabedoria e habilidade de um agente sempre vivo, poderoso, que, estando em todos os lugares é mais capaz por sua vontade de mover os corpos em Seu sensorio uniforme ilimitado, e desse modo formar e reformar as partes do universo, do que nós somos capazes por nossa vontade, de mover as partes dos nossos próprios corpos(...). E desde que o espaço é divisível, in infinitum e a matéria não está necessariamente em todos os lugares, pode-se também admitir que Deus é capaz de criar partículas de matéria de vários tamanhos e formas, e em várias proporções ao espaço e talvez de diferentes densidades e forças e, desse modo, variar as leis da Natureza e fazer mundos de várias espécies em várias partes do universo. Pelo menos, não vejo nada em contradição com tudo isto"(1979b: 55-56).

Esta é pois uma faceta do Universo inventado por Isaac Newton. Um universo com a marca da sua genialidade.

Uma personalidade tão forte, controvertida e polêmica não poderia ter passado pela terra em brancas nuvens. De fato sua marca se estendeu para além das fronteiras da Física e, até hoje, a ampla maioria das pessoas e instituições, apesar do progresso da nova Física e outras ciências, vivem no universo newtoniano. Ao sugerí-lo

composto por blocos de construção fundamentais e sólidos - os átomos a física newtoniana descreveu com êxito o movimento dos planetas, o escoamento dos fluidos e as máquinas mecânicas, o que fez com que os físicos do final do século XVIII adotassem como imagem do universo uma máquina que funcionava de acordo com as leis de Newton. A imagem máquina foi amplamente difundida: universo-máquina, natureza-máquina, sociedade-máquina e homem-máquina, todos passíveis de entendimento a partir de seus componentes elementares - suas peças e engrenagens.

Esse modo de entender as coisas responde às expectativas daqueles que vêem o mundo sólido, imutável, regido por normas rígidas e bem determinadas. A maior parte do cotidiano das instituições de ensino flui assim, de acordo com princípios newtonianos. Embora dispondo e utilizando tecnologias advindas da utilização de conceitos de campo como a energia elétrica e os eletro-eletrônicos, a relação que estabelecemos com o nosso corpo, nossos sentimentos, nossos aprendizados e a nossa vida de maneira geral é mecânica. Quase a totalidade das experiências que julgamos importantes na nossa vida (quase sempre automáticas) ocorrem num espaço tridimensional e em tempo linear. Tempo para sair, tempo para chegar. Não é à toa que a estrutura Cartesiana-Newtoniana inventou o relógio. Ela precisa do tempo dos relógios para que todos continuem chegando em tempo de viver sua vida mecânica, sem reflexão, pensando pela cabeça de outros, fugindo das incertezas, como sugere Schön, evitando o diálogo consigo mesmo, com os outros e com a situação; assim, perde de vista a experiência mais profunda que existe em cada universo particular que é ele próprio com suas vivências.

Esta teoria, que deu uma notável contribuição à humanidade, não teria também deixado uma herança perniciosa, não fosse o interesse ou a falta de sensibilidade para ver os seus limites: os seres vivos não são máquinas, a sociedade não se organiza como o universo cósmico newtoniano, a Física não sabe todas as respostas e nem tão pouco deve ser modelo para todas as ciências. O conhecimento não é uma imagem do real captada pelos sentidos e transposta em mente dos observadores como sugere Newton, e nem tão pouco a sua teoria, como todas as demais são uma forma de conhecimento do real. Bohm (1980:22) escreve que elas *"são antes um modo de olhar para o mundo e não uma forma*

*de conhecimento de como ele é*". Ou seja, a teoria Newtoniana é apenas uma janela para olhar a realidade e não a própria realidade.

Dessa janela Newtoniana enxerga-se uma imagem do mundo dada à espectadores, ela coloca a todos na situação desconfortável de se sentirem como partículas sólidas gravitando umas em torno das outras, movidas por forças de ação recíprocas, que atuam à distância e instantaneamente, como ocorre com qualquer partícula do universo Newtoniano. Não é conhecido ainda o conceito de campo, ou seja, o espaço Newtoniano não cria em sua volta a condição de se fazer sentir através de uma força sobre corpos que estejam na sua presença. Esse conceito só é difundido no alvorecer do século XIX.

Este determinismo confinou o ser humano aos limites de interações mecânicas definidas, pré-estabelecidas, que não geram campos de influências capazes de criar novas realidades. Permanecem por muito tempo sem visíveis alterações uma vez que a mão de Deus está sempre prestes a resolver possíveis desvios. Isto tem também uma implicação política bastante importante no que se refere a manutenção da ordem. Não é à toa que Isaac Newton não teve represálias da igreja que atacara seus predecessores Copérnico e Galileu. Ele não representava ameaças pois, homem religioso que era, inventou junto com seu Universo o pressuposto do Criador, compatível com ele.

Na seqüência veremos sucintamente outras grandes contribuições ao pensamento moderno que, embora às vezes como diferenciais dentro do paradigma Cartesiano-Newtoniano, não conseguiram unir aquilo que Descartes separou e nem comprometer o estável universo de Newton, não modificando a estrutura de conceber todas as coisas.

*c) A História não é feita por dois homens apenas*

A revolução científica moderna não foi feita por Descartes e Newton apenas, embora fossem eles os edificadores do arcabouço conceitual que expressava uma nova atitude da humanidade diante dela própria e da natureza.

Homens como Nicolau Copérnico (1473-1543), de quem partiu a revolução heliocêntrica mais de um século antes de Descartes. Joannes Kepler, astrônomo e matemático alemão defensor do heliocentrismo, que descreveu o universo regido por leis matemáticas; Francis Bacon (1561 -1626) , empirista e criador do método indutivo defendeu rigor na experimentação para não ser ludibriado pelos sentidos, seu ideal era conhecer a natureza, dominá-la e colocar as suas energias a serviço da humanidade; Galileu Galilei, contemporâneo de Bacon, viveu no auge do confronto político-religioso entre as duas concepções de mundo - a geocêntrica e a heliocêntrica - geometrizou o espaço, elevou a matemática à categoria de linguagem oficial da natureza e baseado em experimentações propôs o fim da hierarquia entre o Céu e a Terra.

Thomas Hobbes (1588 - 1679) , filósofo e político inglês, defensor da soberania e de um Estado totalitário para garantir a separação entre a Fé e a razão, juntou o empirismo à razão e considerou a sensação como origem de todo o conhecimento , influenciado por Galileu e Bacon aplicou a geometria euclidiana às suas teorias e defendeu uma ciência à serviço da condição humana; John Locke (1632 - 1704), filósofo e político, mentor do liberalismo defendeu um governo com garantia de direitos e participação de homens. Enquanto filósofo preocupou-se com o estudo do entendimento humano, negou a existência de idéias inatas, e empirista que era acreditava que as idéias derivam de experiências, dados sensíveis e operações internas da mente, são elas portanto a base de todo o conhecimento, dessa forma afasta-se do cartesianismo que apregoava a razão pura como fonte do conhecimento.

Fácil compreender agora, como Newton que nasceu dez anos depois de Locke, também se afastou do cartesianismo ao propor seu método indutivo de análise e síntese como procedimento para chegar à verdade.

É nessa atmosfera e cercado por essa gente que o mundo Cartesiano-Newtoniano nasce, cresce e cria raízes que vêm do seu tempo até nossos dias. Essa forma de ver o mundo está presente na forma de conceber o conhecimento: uma descoberta, seja dos sentidos, da razão, ou de ambos simultaneamente.

## 2.2 O CONHECIMENTO, O ENSINAR E O APRENDER NO PARADIGMA DA CERTEZA

### a) *A natureza do conhecimento e suas implicações*

O interesse acerca da natureza do conhecimento remonta aos gregos pré-socráticos. Metrodorus de Quios orientava seus discípulos a prestar mais atenção na crença e menos nos sentidos; Demócrito acreditava que todo o conhecimento vem da percepção. Para Platão, o conhecimento era implantado na alma humana no momento do nascimento. Aristóteles preocupado em saber como o olho funciona é possível que relacionasse o conhecimento à percepção. Descartes, mais de dois milênios após às primeiras formulações, segue a tradição platônica elegendo a mente como instrumento racional de onde procede todo o conhecimento, porém agora aquilo que se pode conhecer não é da esfera divina como acreditavam os medievais. O ser humano é sujeito do conhecimento e tudo aquilo que está em oposição a ele é objeto do conhecimento e é passível de ser conhecido.

Para compreender um pouco essa relação sujeito-objeto no paradigma da certeza, parte-se do conceito moderno de que *substância* é toda a realidade que existe por si própria. Para Descartes são admitidas três substâncias: a extensão que é material, o pensamento que são as idéias e o infinito que é o próprio Deus. Conhecer significa conhecer três substâncias estabelecendo um vínculo causal que identifica as identidades e diferenças dos objetos e das idéias entre si. Esse conhecimento é portanto efetivado fazendo-se uso do conceito de *causalidade*, que prevê que as relações causais podem ser estabelecidas apenas entre coisas da mesma substância: o sujeito produz efeito no sujeito e o objeto produz efeito no objeto (o pensamento produz efeito no pensamento e a matéria

produz efeito na matéria). Ocorre que o tipo de relação previsto pela *causalidade* limita a possibilidade do pensamento conhecer a matéria. “*Ora, conhecer é uma atividade da substância pensante, ou do modo pensante, mas o conhecido pode tanto ser um aspecto do pensante quanto os corpos, as coisas ou os modos extensos. E, neste caso a causalidade não pode operar, pois o que se passa na extensão não pode causar efeito no pensamento e vice-versa*” ( Chauvi: 76). Como o sujeito pode conhecer algo sobre quem não exerce nenhum efeito? A saída encontrada foi a de considerar o conhecimento como uma *Representação*. Dessa forma o *sujeito do conhecimento*, o ‘*o eu pensante*’ não se relaciona com coisas, objetos, mas apenas com a idéia deles . O *objeto do conhecimento* é, então, a idéia dos objetos e não os próprios objetos. Assim, para os racionalistas como Descartes, o conhecimento é o produto do trabalho realizado pela ‘*eu pensante*’, o sujeito, que converte o mundo físico em representações pelo uso adequado da razão, pelo exercício metódico da dúvida e, se for o caso, considera-se a experimentação, mas apenas como ‘fator de desempate’; é a sua trajetória para conhecer. Para os empiristas como Newton e seus partidários a experimentação é o ponto de partida para as representações.

No paradigma da certeza, o ato de conhecer é, então, o trabalho interior do ‘eu pensante’ para *representar* o mundo material capturado pela razão ou pelos sentidos. Quanto à natureza da capacidade de conhecer, para os racionalistas ela é inata, para os empiristas ela é o reflexo de experiências e sensações. Isso trouxe implicações educacionais ainda muito presentes nas práticas docentes atuais.

O ‘*apriorismo*’, também chamado de inatismo ou nativismo é uma abordagem epistemológica derivada do racionalismo cartesiano que entende que determinados conhecimentos e o potencial para conhecer são inatos, já estão predeterminados no ‘*cogito*’ no momento do nascimento. De acordo com Becker, “*o aluno já traz um saber que ele precisa, apenas, trazer à consciência, organizar, ou, ainda, recheiar de conteúdo*”(1990: 90). As práticas pedagógicas alicerçadas na epistemologia apriorista são centradas no *sujeito* e eximem os docentes de quaisquer responsabilidades relativas ao desempenho intelectual e comportamental dos estudantes já que estes são predeterminados geneticamente. O estudante aprende por seus méritos da mesma forma que não aprende por suas deficiências, e contra ou a favor disso quase nada pode ser feito.

O 'aprender' nesse contexto está ligado a maturação e ao desenvolvimento de potencialidades inatas.

A abordagem epistemológica Empirista, deu origem à concepção ambientalista ou comportamentalista, ou ainda, behaviorista e entende como Isaac Newton, que todo o conhecimento tem origem na experiência. Ele é a descoberta de algo que está disponível no mundo exterior e é captado pelos sentidos . Assim atribui-se ao meio ambiente - por isso, também ambientalista - a função determinante na constituição das características individuais de cada ser humano. As práticas pedagógicas inspiradas nessa abordagem têm centramento no 'objeto do conhecimento' - o meio sócio/físico, cujos representantes legítimos são os docentes, que têm a relevante tarefa de transmitir o conhecimento por eles acumulado através dos tempos. Os estudantes que ao nascer eram 'tábulas rasas,' 'recipientes vazios', como o espaço newtoniano, adquiriram através dos sentidos a capacidade de conhecer, então agora basta ouvir, prestar atenção àquilo que o professor vai dizer, ou fazer, '*sem formular nenhuma hipótese*' como recomendara Isaac Newton. Assim, o 'aprender' segundo essa concepção é passivo e vem associado ao esforço individual, à disciplina, à capacidade de memorização e reprodução do que já está dado.

As abordagens clássicas, mesmo quando baseadas em pressupostos bastante diferentes, como é o caso da apriorista e empirista, vão se manifestar em duas tendências da Ciência Cognitiva - uma nova ciência que foi criada a partir de 1950 com o intuito de fornecer explicações científicas sobre o fenômeno da cognição. Essas duas tendências são o *simbolicismo* e o *conexionismo* que fazem uso do conceito de *representação mental*, associado às teorias mentalistas que relacionam os sentidos aos processos mentais. A primeira usa a metáfora cérebro/computador - o cérebro é um processador de informações. A informação está disponível no mundo, é captada por nossos sentidos e processada pelo cérebro. Convém lembrar que o mundo que disponibiliza essa informação existe independente do observador, é o mundo dado no sonho de Descartes - é o homem-máquina do paradigma da certeza numa versão mais elaborada: é uma máquina lógica. A segunda - o *conexionismo*, usa a metáfora do modelo de redes conexionais e sustenta que o conhecimento emerge de conexões armazenadas na memória. A memória, nesse contexto,

não é um amontoado de fatos ou eventos armazenados no cérebro, é antes um conjunto de relações que contêm os múltiplos aspectos que constituem os eventos quando eles são codificados em padrões de unidades. Neste modelo, de acordo com Gardner (1995: 415):

“O que é armazenado são as conexões e as forças entre unidades que permitem que os padrões sejam posteriormente recriados. Analogamente, aprender é encontrar as forças de conexão certas para que padrões da ativação apropriados sejam produzidos nas circunstâncias adequadas”.

Alguém que compreende um pouco de física sabe que força não é algo substancial, que pode ser armazenado, então diria que, de acordo com tal ponto de vista, aprender é mobilizar a energia necessária para encontrar a conexão que desencadeia tais padrões de ativação. Este modelo também é de *representação mental*, porém não uma cópia armazenada como no simbolicismo e sim uma representação um tanto dinâmica que se organiza de acordo com as circunstâncias, mais próximo do cérebro humano do que de uma máquina, embora ele tenha como ponto de partida conexões *à priori*, não sugere reconfiguração neural como os modelos atuais que se auto-organizam (serão vistos na segunda parte deste trabalho), citando outra vez Gardner (1995: 415), “*no nível da análise neural, neurobiólogos como Éric Kandel sustenta há muito tempo que a aprendizagem consiste em uma alteração de força entre conexões pré existentes, e não em uma construção de novas conexões sinápticas*”.

Para resumir, as idéias acerca da natureza do conhecimento elaboradas e difundidas no paradigma da certeza ou seja, na vigência da ciência moderna, inspiraram a primeira geração de cientistas cognitivos e também tendências pedagógicas ainda muito presentes neste início do século XXI. Na seqüência, o ensino superior também tem a marca deste paradigma. As atividades docentes desenvolvidas nas instituições de ensino têm privilegiado ações que favorecem o mito do conhecimento como descoberta que pode ser representada e transmitida através dos tempos.

***b) O Ensino superior hoje: recorte de um universo cartesiano-newtoniano***

O entendimento do universo, da natureza, da sociedade e de cada indivíduo como uma partícula isolada, que interage mecanicamente segundo uma relação causal e uma ordem simples e predizível, teve reflexos determinantes sobre a forma como se definiu o que é o conhecimento. Se para Descartes a experimentação é subordinada à razão, reduzida a simples meio de comprovação das verdades deduzidas dos Princípios Gerais, em Newton o método de análise e síntese prevê que tudo deva ser inferido dos fenômenos (embora ele mesmo não o faça dessa forma) e fazendo o caminho de volta, a partir das causas descobertas, explicar os fenômenos que procedem delas.

Este modo de proceder, dedutivamente em Descartes ou indutivamente em Newton, insinua em última instância que a realidade ‘verdadeira e definitiva’ está dada e para conhecê-la basta prestar atenção às suas manifestações, que podem ser captadas através da razão ou dos nossos sentidos e ser representada. Ou seja, em ambas as situações a realidade tem sua própria natureza e nós, alheios a ela, somos meros espectadores, descortinadores, representantes deste real dado. Estão aí as bases da epistemologia da descoberta e da representação.

Este ponto de vista excluiu a participação humana do processo de construção histórica da realidade, ou melhor dizendo, nem a realidade é construída e nem tão pouco é processo. Isso livrou, e até hoje muitas vezes livra, a humanidade do ônus de ser responsável por seu próprio destino.

Embora muito se tenha falado em construtivismos na educação, pouco se tem efetivamente avançado no campo da ação construtivista. A estrutura das instituições de Ensino são máquinas pesadas e emperradas, e segundo Etges (1995:82) "(...) a estrutura departamental, burocrática e basicamente autoritária por estrutura, deverá ser necessariamente abolida." A forma de proceder dos docentes em relação às escolhas dos

objetivos - quase sempre palavras vazias - expressam a linearidade e a causalidade neles impregnados: 'ao final..... o aluno deve ser capaz de....'. Os conteúdos - invólucros de verdades, com um fim em si mesmos são a maior prova de que os objetivos não precisariam ter sido listados. As metodologias que focam num extremo o professor e no outro os alunos revelam a dicotomia que aprenderam fazer com propriedade, convém lembrar essa é uma estrutura herdada do Cartesianismo.

A forma quantificada de avaliar e as relações que estabelecem com seus alunos e todo o contexto educacional denunciam que esta é uma experiência pré-concebida, pré-determinada, que evidencia relações mecânicas de causalidade, linearidade como num sistema estável onde as partículas interagem uma a uma, fornecendo ou retirando energias, não é um contexto que possa ser entendido como um campo que pode mediar as interações, que é influenciado e influencia quem está na sua presença. Esse tipo de relação não favorece as transformações ou o surgimento do novo. A criatividade dá lugar ao treinamento, e a aprendizagem não tem relação alguma com a criação ou ampliação de estruturas, é apenas memorização.

Nas Instituições de Ensino, em todos os níveis, os docentes têm muito presente a idéia do conhecimento como substância que em determinada circunstância é transferida para seus alunos, semelhante às teorias do flogístico e do calórico já superadas em termodinâmica que tratavam o calor como uma substância transferível.

De acordo com William Doll (1997: 44):

“Nas metáforas mecânicas estão o fundamento não apenas da ciência moderna - vistas em termos de forças externas empurrando e puxando - mas também do nosso currículo mecanicista e cientístico, um currículo que poderíamos chamar de ‘mensurado’. Neste currículo de orientação mecanicista os objetivos estão fora e são determinados antes do processo instrucional; uma vez firmemente estabelecidos, eles são ‘conduzidos ao longo’ do currículo. O professor se torna o motorista que conduz ( freqüentemente o veículo de outra pessoa); o aluno, no melhor dos casos se torna um passageiro, e, no pior, o objeto sendo conduzido. Esta metáfora mecânica efetivamente impede o aluno de uma interação significativa com o professor envolvendo os objetivos ou o planejamento do currículo”.

Reside aqui a suspeita de que em educação não se pode ser construtivista enquanto se procura resolver problemáticas educacionais pertinentes ao paradigma da certeza por que ele não comporta o construtivismo. Este está noutra esfera de pensar e agir, e não é uma teoria ou modelo para orientar a prática. Não apenas em educação mas, em todos os segmentos do fazer humano, o construtivismo, nas suas várias abordagens, emerge da ação e a orienta, simultaneamente. Ele se constrói durante a construção. Parece uma redundância, porém, somente uma teoria que permita a complexidade e a incerteza pode dar conta disto.

A Educação, o ensino e a aprendizagem são questões cujas metáforas mecânica e simplistas não dão conta da complexidade envolvida, elas se esgotaram, ainda que não oficialmente.

Na prática, desde que entraram para a escola, como alunos, os atuais profissionais da educação já sentiam o desconforto de estar num ambiente artificial, de fazer-de-conta. Ou teria isto acontecido apenas comigo???

Na seqüência, na Nova Física há novas metáforas para o conhecimento, o ensinar e o aprender.

## **SEGUNDA PARTE**

### **3. O PARADIGMA DA INCERTEZA**

### 3.1. OUTRAS IMAGENS DO MUNDO

#### *a) Um novo Insight: A nova Física*

A Nova Física tem proposições orientadas para uma direção que muda radicalmente a forma como entendemos o universo. Se ainda não se faz isso, deve-se ao fato desse conhecimento não ter se tornado um elemento da nossa cultura.

Até o final do século XVIII os conceitos da mecânica newtoniana, estendidos a toda a Física, permitiram a criação de vários fluídos ( eles supõem movimento de partículas), na termodinâmica o calórico; na eletricidade os fluídos elétricos, na óptica a teoria corpuscular que presumia o éter, na química o flogístico.

Gradativamente estes conceitos foram perdendo terreno e se constituindo em verdadeiros ‘obstáculos epistemológicos’, uma vez que aprisionados dentro de seus limites muitas vezes os cientistas não avançam dentro deles, nem conseguem enxergar além deles para fazer novas proposições e resolver novos problemas.

É na segunda metade do século XIX que Maxwell, aproveitando noções de Faraday, desenvolve a primeira teoria de campo para o eletromagnetismo, o fluído elétrico estava com os dias contados. Este desenvolvimento potencializa conceitos importantes sobre o eletromagnetismo que tropeçaram, antes, numa limitação Newtoniana. De acordo com o Schemberg (1990) quando Ampère desenvolveu sua teoria da Eletrodinâmica, ele inventou Leis que influenciavam o magnetismo da mesma forma que as Leis de Newton influenciavam a gravitação.

O conceito de Campo na sua forma mais incipiente surge como um transmissor de forças. Em Maxwell ele ainda é impregnado de elementos mecânicos, como

por exemplo o da necessidade de um éter para transmitir a energia no campo eletromagnético. É no campo de Lorentz que a energia eletromagnética pode localizar-se no espaço, fora de um meio material, no sentido clássico; com isso, outro fluido, o éter, é colocado sob suspeita.

Apesar do desenvolvimento da termodinâmica que já adotava o conceito energético para o calor, suplantando o fluido calórico, no final do século XIX se achava sem solução um problema relacionado com a Irradiação Térmica. De acordo com a mecânica e o eletromagnetismo clássicos, a potência (energia por segundo) emitida por um corpo negro aumenta indefinidamente com a frequência. Resultados experimentais, no entanto, demonstraram que a potência em J/s (joule por segundo) aumenta com a frequência até atingir um valor máximo, para depois diminuir. Se fossemos representar a energia irradiada por um corpo em função da sua frequência ele teria o aspecto da figura 1.

Em 1900, Max Planck propôs uma hipótese para explicar porque a energia irradiada se distribuía dessa forma: os átomos liberam radiações de modo descontínuo e cada vez que o fazem é uma quantidade múltipla de uma quantidade fundamental. É como se para cada frequência existisse um pacote mínimo de energia. Quanto maior é a frequência, maior é o pacote. Dessa forma, a radiação de uma determinada frequência aparece em quantidades múltiplas inteiras do seu pacote fundamental, ou seja, um átomo pode emitir um pacote ou vários pacotes, mas nunca meio pacote de energia, por exemplo, porque ele só emite pacotes inteiros. A energia para *cada pacote*, de acordo com essa hipótese, deve ser  $E = h \cdot f$  onde  $h$  é chamado de *constante de Planck* e  $f$  a frequência da radiação. Cada pacote foi posteriormente chamado de *quantun* que em latim significa *porção de algo*.

Aplicando a hipótese de Planck explica-se a curva da irradiação térmica assim: uma onda eletromagnética de alta frequência (as radiações são ondas eletromagnéticas) somente poderia ser emitida na forma de um grande *quantun* de energia, ou seja, na forma de um grande pacote de energia. Apenas os átomos que têm muita energia podem emitir um grande *quantun*. Ocorre que a probabilidade de existência desses átomos de grande energia é menor, por isso com o aumento da frequência a energia irradiada tende

a zero (o número de pacotes é menor, tendendo a zero). Da mesma forma, radiações eletromagnéticas de frequências cada vez menores estão associadas à *quanta* cada vez menores, por isso a energia irradiada em baixas frequências também tende a zero (tem bastante pacotes, mas com pouca energia; uma quantidade que tende a zero). Assim, analisando o gráfico da figura 1 observa-se no eixo horizontal das frequências que antes de  $f$  há uma quantidade grande de átomos com pequena energia e depois de  $f$ , há uma quantidade pequena de átomos com grande energia.

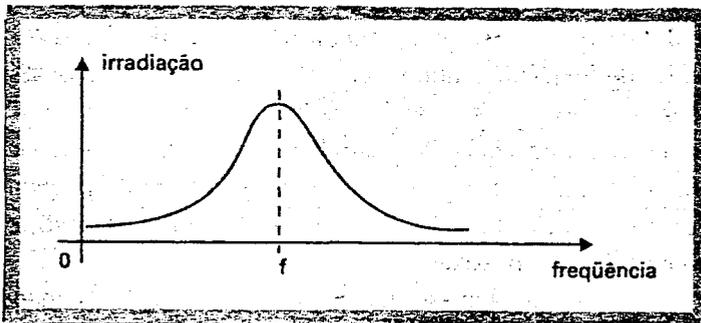


fig. 1. Gráfico da irradiação X frequência

Estava dada a largada para ingressar no universo das discontinuidades, algo que a primeira vista afronta o bom senso e o universo cartesiano das continuidades: a um dia sucede uma noite, outro dia, outra noite. Ao inverno sucede a primavera, o verão, o outono, outro inverno...

Embora Planck relute em aceitar a sua própria hipótese, anos mais tarde ela é retomada em vários cenários, e o seu conteúdo revelou-se revolucionário.

No começo do século XX, o protagonista do novo universo é outro: Albert Einstein, que em 1905, escreveu vários artigos, dentre eles um que tratava do *efeito fotoelétrico* onde, interpretando e ampliando hipótese de Planck, introduziu o conceito de *fóton* que foi o ponto de partida para a mecânica quântica.

Um fato conhecido naquele momento era que quando uma radiação luminosa atingisse uma porção de metal, esta ficava eletrizada positivamente, donde decorre

que a luz retira elétrons do metal, sobrando portanto um número maior de prótons, logo fica eletrizada positivamente, uma vez que por convenção os prótons têm carga (+). Porém, não era sabido porque o efeito variava com a frequência e não com a intensidade da radiação.

Por exemplo, tomando-se duas radiações na faixa visível ( radiações de luz - cada frequência tem uma cor de luz), a luz amarela não eletriza os metais mesmo se o fizermos com lâmpadas cada vez mais potentes, ou seja, aumentando a intensidade da luz; enquanto que a luz violeta eletriza, ainda que a exposição ocorra em intensidade ínfimas. Neste caso, foi o tipo de radiação (frequência) amarela ou violeta que determinou a eletrização ou não.

Onde entra o senhor Einstein nessa história? Bem, ele resolveu dizer que os átomos irradiavam energia, agora na forma de luz, em pacotes, como fez M. Planck. Assim, cada frequência (cor) de luz ocorre por emissão de um ou vários pacotes de luz, nunca meio pacote ou qualquer outro número não inteiro de pacotes. Esses pacotes, mais tarde foram chamados de *fótons*. Estava feita a ampliação da hipótese de Planck para a luz. Isto explicava porque a luz amarela não eletrizava os metais: tendo frequência menor que a luz violeta (portanto, um pacote de luz amarela possui menos energia do que um pacote de luz violeta), sua energia é insuficiente para retirar elétrons da superfície metálica, o que não ocorre com a luz violeta.

Alguém poderia estar se perguntando - mas se ao invés de um pacote o átomo emitir vários pacotes de luz amarela? Então, aí seriam várias tentativas frustradas para retirar elétrons e não uma super-tentativa; lembrem-se: não é a intensidade da luz que produz o efeito e sim a sua frequência. É isso que significa dizer que a luz ( ou outra radiação invisível) é quantizada: não é possível somar a energia de um pacote a outro. Até onde sabe-se hoje, eles existem com quantidades bem determinadas de energia. Um pacote qualquer de energia emitida por átomos tem nome de *quanta* e, um pacote de luz leva o nome de *fóton*.

A idéia de *fótons* sugere também a imagem de luz como grãos ou corpúsculos. O desenvolvimento dessas idéias e a sua aplicação aos fenômenos ópticos

promoveu uma síntese entre as teorias da luz; a corpuscular de Newton, que já havia sido ‘superada’, e a ondulatória de Maxwell, que culminou com a elaboração de uma concepção dual para a luz,( posteriormente também para outras partículas), ou seja, em algumas situações a luz é uma partícula, em outras é uma onda. Está semeada outra grande confusão. Como pode uma coisa ser ela mesma e ao mesmo tempo outra coisa? Afinal não é isso que prevê a lógica aristotélica.

O *efeito fotoquímico* também foi explicado por Einstein usando a hipótese da emissão descontínua da luz. Todos sabem que não se deve secar uma roupa colorida ao sol porque ela desbota. Ela desbota porque a luz, ao ser absorvida, destrói a molécula de pigmento. Mas esse desbotamento não é instantâneo, ele é lento e gradual. Se a emissão, e por consequência a absorção da luz fossem contínuas, então todas as moléculas do pigmento seriam atingidas ao mesmo tempo, o que resultaria num desbotamento instantâneo.

Fugindo da ordem cronológica de 1905, apenas para ordenar as grandes sacadas quânticas, a teoria da relatividade, outro grande pilar da nova Física, será deixada para depois.

As descobertas em nível microscópicos se proliferavam com bastante rapidez enquanto os cientistas tentavam lidar com as contradições da hipótese quântica. A partir de 1895, de acordo com Gleisler ( 1997: 228): “*no período relativamente curto de dezesseis anos, a Física passou de uma fase em que os átomos eram uma entidade fictícia, de realidade duvidosa, à descoberta dos raios X, da radioatividade, dos elétrons e do núcleo atômico*”. Isto possibilitou a Rutherford, em 1911 , a partir de experiências sobre a interação entre radiações-alfa e a matéria, a elaboração de um modelo atômico, agora, nuclear, diferente do modelo de J. Tompson semelhante a um pudim com os elétrons se parecendo com ameixas incrustadas.

Vale mencionar que o átomo de Tompson sugeria continuidade, o de Rutherford descontinuidades, já trazendo implícito ( provavelmente não de maneira consciente) o germe de uma nova visão. Este modelo é o clássico, com núcleo ao centro e os elétrons girando ao seu redor.

O conhecimento sobre como os raios-alfa interagem com a matéria possibilitou também a sua utilização na investigação do mundo subatômico. Em 1913, Bohr, valendo-se do novo modelo atômico de Rutherford e da hipótese de Planck, responde a um paradoxo sobre a estabilidade dos átomos. Um sistema mecânico não retornaria as suas condições iniciais após uma colisão, por exemplo, enquanto que um átomo que colide com outro sempre retorna a sua condição inicial, não fica esfacelado, nem deformado, não deixa de ser ele mesmo; permanece exatamente como antes, mesmo que se ligue quimicamente a outro.

À luz da hipótese quântica, os átomos só podem mudar sua energia de maneira quantizada, ou seja, recebendo quantidades de energia múltipla de um *quantum*. Assim, ele deve existir naturalmente em estados cuja energia é a menor possível, por isso após interações ele devolverá a energia recebida, retornando ao seu estado normal.

Estes são alguns dos fenômenos que sendo vistos sob outro olhar a partir de 1900, desencadearam novas metáforas para compreender a realidade não apenas física, mas filosófica, religiosa, política, econômica, social. A teoria quântica completa foi elaborada durante as duas décadas seguintes por um conjunto de físicos.

Paralelamente ao trabalho que desenvolveu sobre o *efeito fotoelétrico*, Einstein, em 1905, na trilha dos paradoxos, publicou um artigo intitulado ‘Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento’ onde expõe a Teoria da Relatividade Especial, fundamentada em dois postulados, onde o primeiro expõe o princípio da relatividade segundo o qual as leis da Física são equivalentes para quaisquer referenciais inerciais, isso já era previsto por Newton e Galileu. O *boom* está no segundo postulado: a velocidade da luz no vácuo não depende do movimento de sua fonte nem do movimento do observador. Ela é constante e limitada. Ainda em 1905, em outro artigo, publica a sua famosa equação.  $E = mc^2$ , que diz que a massa é uma forma de energia que tende ao infinito quando a sua velocidade tende para a da luz. A massa newtoniana constante foi sacudida.

Ao limitar a velocidade da luz, Einstein propõe que nenhuma informação na natureza pode viajar com uma velocidade superior à velocidade limite. O fato de o efeito gravitacional ser instantâneo, em Newton, pressupõe que sinais poderiam ser enviados com

velocidade infinita. Então a lei de gravitação de Newton precisava ser arrumada. Einstein corrige esta distorção anos mais tarde (1915) quando amplia a relatividade com uma teoria geral onde fora incluída também a gravidade. A partir daí o conceito de campo é aplicado à gravitação.

As proposições de Einstein desde 1905 a 1916, tiram de foco conceitos que são fundamentais não apenas para a Física clássica, mas para o bom senso em geral: o espaço e o tempo newtonianos. De acordo com a nova teoria, espaço e tempo se fundem num contínuo quadrimensional que associado ao campo gravitacional revela uma curvatura no espaço-tempo: o universo linear e simétrico de Newton foi então entortado. O espaço deixa de ser um recipiente infinito e vazio, o tempo não é mais absoluto visto que dois eventos que ocorrem simultaneamente para um observador, não ocorre para outro que se move relativamente ao primeiro. Para objetos que se movem com velocidades muito grandes, o tempo passa mais devagar, o comprimento encolhe e a massa cresce. A expressão  $E = mc^2$  anuncia que massa e energia passam a ser as duas faces de uma mesma matéria que torna o espaço-tempo sensível e elástico, não mais indiferente à presença de observadores.

As investigações experimentais de Becquerel e Mme. Curie sobre o mundo dos átomos, as contribuições de Rutherford sobre as interações entre os raios-alfa e a matéria e a conseqüente utilização dessas radiações para bombardear átomos, a ampliação da hipótese de Planck por Einstein e Bohr e as decorrências disso permitiram uma verdadeira expedição ao interior dos átomos, o que revelaria aspectos surpreendentes e paradoxais sobre a sua estrutura: eles não se parecem com partículas sólidas, são antes uma vasta região preenchida na sua maior parte por espaços vazios.

Em meio aos espaços vazios, partículas atômicas ainda menores exibem propriedades no mínimo exóticas: elas às vezes se comportam como partículas, outras vezes como ondas, a dualidade da luz foi estendida a elas. De acordo com Capra (1982:73) *“Essa natureza dual da matéria e da luz é muito estranha. Parece impossível aceitar que alguma coisa possa ser, ao mesmo tempo, uma partícula, uma entidade confinada num*

*volume muito pequeno, e uma onda que se espalha numa vasta região do espaço. E no entanto era exatamente isso que os físicos tinham de aceitar”.*

Mas, essa não é a única estranheza: para a matéria exibir a sua face onda ou partícula vai depender da forma como ela for investigada. Sobre o estudo das propriedades de um elétron, diz Capra: (1982:81) *“Se formulo uma pergunta sobre a partícula, ele me dá uma resposta sobre a partícula; se faço uma pergunta sobre a onda, ele me dá uma resposta sobre a onda”.* Ou seja, aquilo que é observado não tem propriedades intrínsecas, independente do observador e dos instrumentos que estes observadores utilizam. Eles formão um todo, um padrão.

Para dar um exemplo do que seja um padrão, imaginem um quebra-cabeça montado; ele exibe um padrão de organização expresso pela mensagem que traz. Analisar individualmente cada peça desse quebra-cabeça, conhecer os seus mínimos detalhes como se ele fosse um objeto autônomo com significado em si, não vai contribuir para compreender qual padrão será exibido, em outras palavras, não vai permitir conhecer a mensagem aí posta. Assim, em nível atômico uma descrição adequada requer uma análise que enfatize a *‘totalidade indivisa’*, como sugere Bohm. Essa totalidade é um padrão, onde, o observado não pode ser separado do ato da observação. O ideal da descrição objetiva da natureza, isenta de valores, tem de ser revisto, aliás, como diz Heisenberg (1981: 27) *“...temos que nos lembrar que aquilo que observamos não é a Natureza em si mas, a Natureza exposta ao nosso método de questionar”.*

Outra questão que merece consideração é o fato de que os termos onda e partícula não têm o mesmo significado que teriam na linguagem clássica. As palavras de que dispomos já estão carregadas de significações clássicas, por isso não exprimem o que elas realmente são. Diz Bohr que *“ as partículas materiais isoladas são abstrações, e suas propriedades são definíveis e observáveis somente através de sua interação com outros sistemas”*( apud Capra, 1982: 75). Sozinhas, individualmente, elas são como peças de um ‘quebra-cabeças’, não têm nenhuma significação inerente, elas só fazem sentido enquanto elemento de uma relação, como já foi dito, compondo uma totalidade. Importante ressaltar que na composição dessa totalidade, cada elemento influencia e é influenciado.

O conteúdo filosófico das palavras de Bohr têm uma amplitude talvez tão importante quanto as suas constatações físicas. Talvez a Física revele que, também na natureza e na sociedade, eventos não são isolados, tem atrás de si uma teia dinâmica de multideterminações, ao invés da simples determinação causal do paradigma da certeza. Para Heisenberg, (apud Capra, 1982: 75): *“O mundo apresenta-se, pois, como um complicado tecido de eventos, no qual conexões de diferentes espécies se alternam, se sobrepõem ou se combinam, e desse modo determinam a contextura do todo”*.

Os cientistas se depararam com uma situação onde as bases da sua lógica cartesiana de compreender a realidade e a natureza lhes fugia pelo ralo. Heisenberg se perguntava: *“Pode a natureza ser tão absurda como nos tem parecido nessas experiências com os átomos?”*(1981: 16).

A verdade é que a natureza não estava sendo absurda. Absurda, ou talvez apenas ingênua era a pretensão de obter todas as respostas usando uma teoria que não permite fazer determinadas perguntas. Suspeitando disso, com o tempo os físicos começaram a readequar as perguntas. Nas palavras de Heisenberg (1981:16) *“Ao invés de perguntar: como se pode expressar, no esquema matemático conhecido, uma dada situação situação experimental? uma outra pergunta era feita: seria verdade se dizer que ocorrem na Natureza somente aquelas situações experimentais que podem ser expressas num formalismo matemático?”*

Olhando o mundo pela janela newtoniana não era possível enxergar tudo aquilo que parecia ser. Mas será que tudo pode ser visto desta janela? Não seria o momento de construir uma nova janela? Citando outra vez Capra: (1982) *“somente depois de muito tempo esses físicos aceitaram o fato de que os paradoxos com que se deparavam constituem um aspecto essencial da física atômica, percebendo, então, que eles surgem sempre que alguém tenta descrever fenômenos atômicos em função de conceitos clássicos”*. Eles não são paradoxais por si só, apenas não se deixaram aprisionar por uma camisa de força que era o modelo newtoniano; é bom que se diga que todos os modelos podem se tornar camisas de força quando usados indevidamente, para além dos seus limites.

Para compreender os novos fenômenos era preciso, construir novos modelos conceituais que considerassem as limitações do modelo clássico.

Heisenberg expressou estas limitações com uma fórmula matemática chamada de *relação de incerteza*. Essa relação indica que quando tratamos com fenômenos atômicos quanto mais conhecemos sobre um aspecto dessa realidade, mais impreciso se torna o outro. Assim, o que é possível para Física newtoniana, como por exemplo, conhecer simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula, não é válido para a física quântica, onde onda, partícula, posição e velocidade não são termos adequados para expressar situações desta realidade. Então, quando transpomos esses conceitos clássicos para um cenário quântico eles revelam aspectos que relacionam de forma complementar e não podem ser conhecidos simultaneamente - por exemplo, quanto mais se conhece sobre a posição onde se localiza uma partícula, menos se saberá sobre a sua velocidade, de tal forma que o produto de cada uma das imprecisões nunca será menor que a constante de Planck :  $\Delta x \Delta p \cong h$ , onde:  $\Delta x$  = variação de posição;  $\Delta p$  = variação da quantidade de movimento e  $h$  = constante de Planck

Relações desse tipo foram desenvolvidas para outras situações, todas elas fazem parte do *Princípio da Indeterminação* de Heisenberg. O salto foi de uma situação onde a Física tinha como característica o determinismo, para outra onde a indeterminação era tão flagrante que podia ser calculada por uma fórmula matemática. A possibilidade, ou quem sabe a necessidade, de formalizar matematicamente esta indeterminação pode ser algo que venha das raízes clássicas onde a ciência tinha o compromisso de prever. No paradigma da incerteza pode-se ser mais prudente, então, dizer *talvez* pode ser científico e prever categoricamente não.

Outra noção importante que contribuiu para compreender melhor a nova realidade foi o conceito de *complementaridade* desenvolvido por Niels Bohr, segundo o qual na descrição dual da realidade - a ondulatória, e a corpuscular - uma é complementar em relação ao outra. Cada uma individualmente descreve a realidade apenas de forma limitada, e o quanto ela é limitada é dada, no mínimo, pela *relação de incerteza*, além das que ocorrem com qualquer medida, decorrentes de limitações experimentais técnicas.

O conceito de *complementaridade* foi levado tão a sério que juntamente com a dualidade e a incerteza se tornou uma espécie de filosofia para a nova geração de físicos. Em 1947 Bohr foi condecorado com a 'Ordem do Elefante da Coroa dinamarquesa', oportunidade em que ele escolheu o diagrama Taoísta do Yin e Yang (ver figura 2) como símbolo onde havia a inscrição em latim: "*Contraria sunt complementa*" que significa: os opostos se complementam.

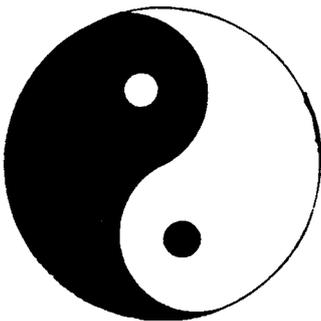


fig. 2: diagrama taoísta do *yin* e *yang*

O tratamento matemático dado aos novos conceitos tinha de ser diferente daqueles usados até então aos conceitos físicos, a noção clássica de uma descrição determinista da natureza era completamente incompatível com nova realidade. As Leis da Física atômica deveriam ser expressas em termos estatísticos. As situações físicas são caracterizadas por uma função de onda, que fornece apenas uma probabilidade de um elétron, por exemplo, ser encontrado numa determinada região do espaço, num dado instante. De acordo com Gleiser (1997): "*(...) os resultados de experimentos só podem ser expressos em termos de probabilidades. A certeza é substituída pela incerteza, o determinismo pelas probabilidades, os processos contínuos pelos saltos quânticos*". Mas ainda não era tudo.

A Física clássica também utiliza a probabilidade quando há num evento variáveis desconhecidas por detalhes sutis envolvidos, como por exemplo num jogo de baralho. Pelo fato de ter sido embaralhado de forma completamente aleatória, a probabilidade de alguém conhecer as cartas distribuídas a cada jogador é ínfima, para não dizer que é impossível. Essas variáveis 'ocultas' se escondem no interior do evento: no

baralho ou na forma de embaralhar, por isso são chamadas de variáveis locais. Na realidade quântica utiliza-se a probabilidade também pelo motivo da existência de variáveis desconhecida porém, nesse caso as variáveis ‘ocultas’ são não-locais

Há no mundo quântico uma espécie de conexão instantânea de cada evento com o restante do universo que não podem ser explicadas em termos de propagações de sinais no sentido relativístico (ou seja: que nenhum sinal pode se propagar com velocidade superior à velocidade da luz.) Isto é mais um indicativo de que cada evento é multideterminado, (ou multi-indeterminado ?), ou quem sabe multi-influenciado e, de que estas multi-influenciações expressam um padrão dinâmico, ou seja, é possível que na próxima ocorrência ele se faz por outras conexões não-localizáveis diferentes, que por sua vez influenciarão o próprio universo de maneira também diversa da anterior e assim sucessivamente, sem no entanto fugir de um padrão ainda maior que é a totalidade indivisa e diversa; como numa espécie de fractal, mas um fractal em movimento. Por conter essa diversidade de interconexões não-localizáveis tais ocorrências só podem ser conhecidas estatisticamente, por exemplo, não é possível prever quando uma determinada partícula atômica vai se desintegrar por que essa desintegração não obedece uma relação mecânica de causa e efeito, ela é devida a um encadeamento de conexões não-locais; não representa o efeito causal, local e determinado.

Alguns cientistas criticam a noção de ‘variáveis ocultas’ por elas representarem uma espécie de ‘*variável à priori*’, como algo dado, no entanto, entende-se aqui, que elas não estejam escondidas esperando para intervir num evento, mas podem se construir também instantaneamente, dependendo das correlações de energias envolvidas num dado evento.

Toda a construção da Teoria Quântica se fez em meio a muita polêmica, mas a suposição das variáveis ocultas não-locais foi um dos aspectos mais controversos de todo o debate. A dificuldade de um grupo de cientistas, entre eles Einstein, em aceitar a não-localidade de certas variáveis residia no fato deles conceberem a realidade, ainda à moda cartesiana, como feita de fragmentos separados, e como tal necessitavam de uma conexão explícita para ser compreendida. No final do debate prevaleceu a interpretação que defendia

a não-localidade, liderada por Bohr e Heisenberg. O outro grupo reconheceu que a teoria era consistente, porém, Einstein apostava que ela seria apenas provisória. Com o passar do tempo Deus deixaria de 'jogar dados'.

Esses são os principais aspectos dos dois pilares da Nova Física que representou o começo de uma grande virada rumo a uma nova maneira de compreender a natureza, o conhecimento e, conseqüentemente, uma nova maneira de trabalhar, viver, e atribuir significado aos nossos atos. Embora nossos limites sensoriais nos impedem de observar os efeitos da relatividade, porque a velocidade com que tudo acontece em nosso cotidiano é muito pequena se comparada com a velocidade da luz, e, apesar do universo Einsteiniano ser finito e estático, a sua teoria possibilitou o desenvolvimento de pesquisas em cosmologia. Essas pesquisas colocaram toda a natureza num universo dinâmico, que se faz e refaz continuamente, onde nada nos é dado, mas sendo que até a luz se encurva diante de nós, tudo é permitido construir, até mesmo o próprio tempo - como sugere Prigogine. Da mesma forma os fenômenos, que no mundo subatômico afrontam nosso bom senso ocorrem numa escala espaço-temporal que passa por nós despercebida. Aquilo que é conhecido apenas estatisticamente, ocorre numa região tão ínfima do espaço-tempo que se fosse determinado com absoluta precisão não faria a menor diferença, dado que nossos sentidos e nossa consciência não conseguem avaliar um evento que é infinitamente pequeno, como também, aquele que é infinitamente grande. Prova de que a estatística não traz maiores inconvenientes, é que essa teoria probabilística pôde materializar-se em instrumentos que melhoram a nossa vida, que tem dimensões Newtonianas. É graças a ela que foram construídos computadores, aparelhos de tevê com imagens de alta resolução digital, e outras parafernalias tecnológicas do nosso tempo, inclusive algumas que permitem ampliar os próprios limites sensoriais para observarmos até alguns fenômenos quânticos, como é o caso do microscópio de *'efeito túnel'*.

A grande efervescência de novas idéias que foram descritas até então, ocorrem num período de aproximadamente três décadas. Desde de Planck, que lança a primeira hipótese do quantum de energia; até 1927 na conferência Solvay, em Bruxelas, onde ficou reconhecida à *'interpretação de Copenhague'* para a Teoria Quântica, algumas controvérsias foram resolvidas e outras tantas inventadas. Por isso, pretende-se deixar claro

que a importância de se trazer à tona esse debate é por aquilo que ele representa enquanto marco inicial para um novo paradigma - o paradigma da incerteza.

Embora esta discussão não é nenhuma novidade nos meios científicos, o mesmo não pode ser dito dos cursos de graduação em Física onde este assunto é abordado apenas tecnicamente, longe de entrar no mérito das suas implicações. É preciso que se repita que depois da Nova Física nem a Ciência, nem a realidade, nem o conhecimento foram vistos com o mesmo olhar. Talvez o que tenha permanecido quase inalterada foi a forma de ensinar. Continua-se ensinando pela boca, pressupondo-se que se aprende pelos ouvidos.

#### ***b) O panorama atual***

Embora a ciência como um todo tenha dado um salto gigantesco nesse último século e tenha suplantado a imagem-máquina da natureza, ela continua procurando peças, só que desta vez não são peças mecânicas e sim peças que ainda faltam para compreender este grande quebra-cabeça que é a natureza nas suas múltiplas facetas. Um dos motivos para a existência de tantas lacunas, parece ser o fato de que a Física, como qualquer outra ciência, isoladamente, não tem como formular todos os problemas, nem tão pouco obter todas as respostas para aqueles que já formulou. Esta era uma pretensão do paradigma da certeza. Os novos tempos, com problemas mais complexos para resolver, tentam construir teorias transdisciplinares, mas enquanto este plano ambicioso não se concretiza, sugerem modelos que no mínimo extrapolem os limites disciplinares, onde não há centro ou fundamento, e a importância de cada conhecimento é dada pela relação de coerência que estabelece com os demais. De acordo com Ervin Laszo, presidente da Sociedade Internacional para as Ciências dos Sistemas, um dos grandes problemas que a ciência como um todo enfrenta atualmente é que o conhecimento científico sobre o mundo, produzidos pelos mais diversos campos de pesquisas, têm em si níveis de coerência limitados. Assim, aquilo que conhecemos sobre o mundo físico, por exemplo, não

necessariamente contribui para conhecer melhor o mundo vivo. A coerência entre estes domínios, diz Laszlo ( 1999: 159) “(...) *tornaria a ciência capaz de conhecer melhor o mundo ao invés de conhecer mais sobre ele*”.

Mesmo que ainda faltem níveis maiores de coerência entre os saberes, a ciência do século XX trouxe uma lição muito importante: as teorias nada têm a ver com a verdade no sentido do seu entendimento cartesiano . Elas não são uma aproximação ou um reflexo, ou imagem, ou manifestação da realidade como pretendiam os cientistas modernos. Sugere Capra (1983:126) que “(...) *todos os conceitos que utilizamos para descrever a natureza são limitados, e não são características da realidade, como tendemos a acreditar, mas criações da mente, partes do mapa e não do território.*” São construções humanas, e como toda a construção humana, repletas de sonhos, intenções, frustrações e ideologias; características que não comprometem sua credibilidade como ciências, ao contrário, reafirmam-nas, a medida que trazem consigo o potencial de materializar os sonhos, as intenções, as frustrações, as ideologias - na tecnologia. Na nova concepção de ciência de acordo com Etges (1995: 62):

“A ciência é tal como os produtos do trabalho material, expressão e exteriorização do homem. É a forma mais elevada de objetivação do homem pela qual ele se põe no mundo, elevando-o ao nível da sua capacidade espiritual. Por ela, ele se torna cada vez mais plenamente e empiricamente universal inaugurando, já nesta fase de desenvolvimento do capital, a sociedade do não trabalho, pois mediante a ciência, o trabalho se objetiva nas máquinas. Esta é uma sociedade de intenso trabalho intelectual e ao mesmo tempo de um lazer fecundo (...)”.

A atmosfera criada por essa nova concepção de ciência é compatível com o desenvolvimento de teorias construcionistas, ao contrário da ciência moderna onde o real estava posto e tinha de ser capturado. No novo paradigma a idéia central refere-se mais ao estudo da forma que reconhece a existência de ordens, padrões de organização e menos ao das substância que buscava conhecer estruturas, matérias, substâncias. Em outras palavras, no novo paradigma ( o paradigma da incerteza ), a fim de formular uma teoria realmente abrangente nas ciências da natureza, a pergunta ‘do que é feita a realidade’ que implica em classificar objetos e substâncias, terá que conviver com outra: ‘como é feita a realidade’,

que sugere identificar padrões de organização. Nesta direção, várias teorias foram desenvolvidas. Na seqüência serão apresentadas algumas deias básicas .

### **Gregory Bateson: Identificando um padrão**

O grande mérito da Nova Física foi o de ter encontrado um lugar de honra para o observador. Ele sempre foi importante para observar as propriedades de um fenômeno, mas atualmente não só para observar - para que as próprias propriedades ocorram, ou seja: as propriedades de uma partícula dependem pela maneira como são observadas. E são observadas segundo nossas estruturas permitem observá-las. Para Capra (1982: 88):

“O fato de que todas as propriedades das partículas sejam determinadas por princípios, estritamente relacionados com os modos de observação significa que as estruturas básicas do mundo material são determinadas, em última instância pelo modo como observamos esse mundo; e que os modelos da matéria são reflexos do modelo da mente”.

Fritjof Capra é partidário das idéias de Gregory Bateson, que acreditava que a mente e a natureza formam um mesmo padrão e que isto deve ter implicações na forma como pensamos e, conseqüentemente, na forma como conhecemos. No novo paradigma, dizia Bateson, as ciências substituirão os objetos por relações. Os objetos fora de um contexto de relações são meras abstrações. Uma de suas grandes contribuições para o nosso tempo foi a proposição de um novo conceito de mente: para além do cérebro e dos organismos, ela é imanente também nos sistemas sociais e nos ecossistemas. Um dos temas recorrentes do trabalho de Bateson foi sempre identificar os padrões que unem todas as coisas, ( apud Capra 1995: 62): “*Qual o padrão que une o caranguejo à lagosta, a orquídea à primula, e todos os quatro a mim ? E eu a você?*”.

## David Bohm: uma ordem implícita

Esta teoria sugere que a realidade, bem como o mundo onde se vive é multidimensional. O mundo quadridimensional dos objetos e acontecimentos no espaço-tempo são uma manifestação óbvia e elementar da realidade que Bohm denomina de *ordem explícita*. Esta é apenas a pontinha do *iceberg*.

A realidade como um todo é *indivisa* e compõe a *ordem implícita*, que ao contrário, da *ordem explícita* abrange uma totalidade não manifesta onde as conexões do todo não têm localização no espaço-tempo e tem como característica a abrangência. O próprio Bohm (1980:199) explica que,

"... a palavra 'implícito' vem do verbo 'implicar', que significa 'dobrar para dentro' (assim como multiplicação quer dizer 'dobrar muitas vezes'). Portanto, podemos ser levados a explorar a noção de que, num certo sentido, cada região contém uma estrutura total 'envolvida' ou 'dobrada' dentro dela".

A ordem implicada é 'transportada' pelo *holomovimento*. Para entender o *holomovimento* é necessário compreender o *holograma*. Do grego, *holo* significa 'todo' e '*gram*' significa 'escrever'. Então o *holograma* é uma forma de 'escrever o todo'.

Fisicamente, é uma espécie de fotografia que registra um padrão de interferência de raios *laser*. Quando esta fotografia é iluminado com os próprios raios *laser*, é criada uma frente de onda semelhante àquela que sai do objeto original inicialmente iluminado, proporcionando uma visão tridimensional do objeto registrado na chapa fotográfica. Se for iluminada apenas uma pequena porção da chapa, ainda assim é possível de se ver todo o objeto registrado. Quanto menor a porção registrada, menor será a nitidez da imagem, mas sempre uma imagem do 'todo'.

O *holograma*, então, fornece uma metáfora para compreender a realidade na sua forma implícita. ou seja, cada 'partes' contém o 'todo'. Em cada região do espaço, há uma ordem estrutural 'dobrada' e 'transportada' no movimento da luz; no *holomovimento*. Assim como para ao pensamento cartesiano, o movimento é a forma de ser da matéria da *ordem explícita*, o *holomovimento* é a forma de ser da *ordem implícita*. Ele 'transporta' um conteúdo 'dobrado' que é capaz de desenvolver uma estrutura. Bohm (1980: 201) traz como exemplo uma onda de rádio que sendo uma forma de energia que se propaga no espaço, traz 'dobrada', dentro de si uma comunicação verbal ou imagem visual. Só é vista a imagem ou ouvido o som, após esta onda passar por um aparelho receptor de TV que fará o seu 'desdobramento', ou seja, transformará a *ordem implícita* em *ordem explícita*.

Assim, muitas das dificuldades que se tem para compreender a realidade, estão situadas na ordem não manifesta ou implicada e os desdobramentos só são possíveis quando se utiliza instrumentos e teorias do tipo holográficas, que permitem compreender que as 'partes' são feitas de um emaranhado de conexões, e que estas por sua vez contêm e multideterminam o todo, fornecendo uma visão dinâmica da natureza, da sociedade, enfim, da realidade *indivisa*

### **Geoffrey Chew: a abordagem Bootstrap**

A abordagem Bootstrap foi elaborada com o propósito de desenvolver uma teoria abrangente para as partículas subatômicas e também uma filosofia geral para a natureza. Um dos princípios básicos para esta abordagem é a ausência de constituintes básicos com propriedades fundamentais como 'blocos básicos de construção' da matéria. Ela propõe que na natureza, ou no mundo material, cada evento é constituído por uma teia de inter-relações que inclui os demais eventos, todos interdependentes e nenhum determinante. A base matemática da abordagem Bootstrap é a 'teoria da Matriz S', cuja principal dificuldade sempre foi construir uma explicação consistente para a estrutura quark - um padrão característico das interações fortes.

O formalismo complexo dos conceitos Bootstrap contribuiu para afastar deste trabalho a grande maioria dos físicos na década de 60. A retomada do desenvolvimento da física Bootstrap veio na década de 70 de forma inédita: pela primeira vez a física das partículas utiliza a Topologia para definir categorias de ordem na inter-relação de processos subatômicos. Essas categorias de ordem definem as múltiplas maneiras pelas quais as reações das partículas podem interligar-se. Com isso, a partir da inclusão da Topologia à estrutura matemática da matriz S, o padrão quark aparece como uma manifestação de ordem compatível com algumas propriedades conhecidas da matriz S.

Nesse contexto, a estrutura quark não representa nenhum ente físico, não é nenhuma partícula fundamental de que são feitos todos os hádrons, pois estes, os hádrons, fazem-se de si mesmos, é nesse sentido que cada um contém os demais. A estrutura quark

é um indicativo probabilístico de que o fluxo de energia entre todos os eventos inter-relacionados apresenta certos padrões. Por isso ela é tida como uma manifestação de ordem.

Iniciou-se aí outra etapa no desenvolvimento desta abordagem, a Bootstrap Topológica, que pretende num futuro bem próximo incluir os atuais princípios básicos da teoria quântica: o espaço-tempo e a consciência humana. Segundo o próprio Chew ( apud Capra:1995: 49), “ *levada ao seu extremo lógico, a conjectura bootstrap implica em que a existência da consciência, junto com a de todos os outros aspectos da natureza, é necessária para a autoconsistência do todo*”.

### **Ilya Prigogine: Sistemas Dissipativos e Auto-organização**

O estudo de sistemas dissipativos têm a marcante influência das teses evolucionistas do século XIX, quando pela primeira vez na Física - a exemplo do que já ocorrera na Biologia - é introduzida uma formulação que indica uma direção evolutiva dos sistemas físicos, criando a partir de então uma direção para o tempo ou uma ‘seta do tempo’: trata-se da segunda Lei da Termodinâmica.

De acordo com essa lei, os sistemas físicos isolados evoluem continuamente de uma situação de ordem para a desordem. Para medir a quantidade de desordem produzida por um sistema Rudolf Clusius criou uma grandeza denominada Entropia. Assim, de acordo com a segunda Lei da Termodinâmica, os sistemas físicos isolados evoluem no sentido de aumentar continuamente a sua entropia.

Um Sistema que evolui continuamente para a desordem é um sistema irreversível. Há algo nele que se dispersa - a energia mecânica que se dissipa na forma de calor e, é altamente improvável que possa ser totalmente revertida na sua forma original. Assim, o destino final do universo-máquina seria inevitavelmente a ‘morte térmica’.

Ocorre que aquela visão fatalista do universo era dissonante com a visão evolucionista dos biólogos contemporâneos que sustentavam que o universo vivo evolui na direção de estados de complexidade crescente, portanto, gerando novas ordens. De acordo com Capra foi Ludwig Bertalanffy quem, na década de 40, percebeu que a termodinâmica clássica não era adequada para descrever os organismos vivos, pois nesses a entropia pode até decrescer.

Bertalanffy chamou os organismos vivos de sistemas ‘abertos’ por que trocam continuamente matéria e energia com o meio ambiente, assim eles seriam auto-reguladores. Aos sistemas físicos Bertalanffy chamou de ‘fechados’. Diz Capra: (1996: 54), *“Diferentemente dos sistemas fechados, que se estabelecem num estado de equilíbrio térmico, os sistemas abertos se mantêm afastados do equilíbrio, nesse ‘estado estacionário’ caracterizado por fluxo e mudança contínuos.”*

Foi somente na década de 70, com o auxílio da ‘nova matemática’ (teoria dos sistemas dinâmicos ou nova matemática da complexidade), que Ilya Prigogine amplia os limites da termodinâmica de tendência ao equilíbrio, para além da ordem e desordem clássicas e desenvolve as idéias de Bertalanffy através da auto-regulação de ‘estruturas dissipativas’. A teoria das ‘estruturas dissipativas’ é uma descrição dos ‘sistemas auto-organizadores’ feita a partir do estudo de sistemas físicos e químicos.

O conceito de auto-organização veio à tona pela primeira vez quando neurocientistas, a partir da década de 40, desenvolviam um modelo matemático para representar a lógica das redes neurais. O modelo era constituído de redes binárias (ligando, desligando) com minúsculas lâmpadas que piscavam ou não nos nodos de acordo com alguma regra de comutação. Foi observado que depois de algum tempo, das cintilações que inicialmente eram aleatórias, emergiam padrões de cintilações que percorriam toda a rede. Repetido o experimento para estados iniciais diferentes e aleatórios, os padrões ordenados emergiam espontaneamente após algum tempo. A emergência espontânea de ordem foi chamada de ‘auto-organização’.

O que a teoria das estruturas dissipativas de Prigogine tem a ver com isso? Como já foi mencionado ela descreve a auto-organização, e assim se chama para enfatizar a

coexistência entre o ato de dissipar que tradicionalmente vem associado à dispersão, e a ordem que emerge espontaneamente desta dissipação. Assim, aquilo que inicialmente parece um paradoxo somente o é se analisado sob o ponto de vista cartesiano-newtoniano.

Sob a óptica da nova termodinâmica não-linear de Prigogine, que utiliza a matemática da complexidade, as estruturas dissipativas são uma categoria que aponta para uma nova ordem: a ordem que emerge da desordem, da dissipação.

Diferentes dos primeiros modelos de auto-organização propostas pelos neurocientista na década de 40, os atuais incluem a criação de novas estruturas e novos comportamentos, dessa forma inclui-se a criatividade.

Prigogine, embora tivesse muito interesse pelos organismos vivos, desenvolveu seus estudos sobre auto-organização analisando certas estabilidades afastadas do equilíbrio (como já mencionado, parece um paradoxo haver estabilidade fora do equilíbrio). Um dos primeiros estudos foi sobre um fenômeno conhecido como ‘instabilidade de Bénard’ onde ele analisou a convecção térmica. O físico Bénard, ao esquentar uma fina camada de líquido, observou que a transferência de calor é feita uniformemente de baixo para cima e através da condução, ou seja, há apenas uma transferência de energia permanecendo o líquido em repouso. Quando a diferença de temperatura entre a superfície e o fundo atinge um valor crítico, a transferência de calor passa a se fazer através da convecção térmica - uma forma de propagação que implica na transferência de matéria e energia, ou seja, as moléculas do líquido que estava em repouso passam a se mover.

O curioso é que desse movimento emerge um padrão de células hexagonais onde o líquido mais quente sobe dos centros das células e o líquido menos aquecido desce para o fundo pelas paredes das células. Prigogine estudou as ‘células de Bénard’ e verificou que o padrão hexagonal mostrado na figura 3 emerge quando o sistema se afasta do equilíbrio (a medida que a sua temperatura vai cada vez mais aumentando), e atinge um grau máximo de instabilidade. Isto ocorre quando a temperatura é uniforme em todo o líquido.

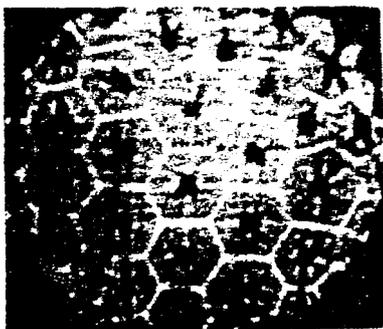


fig.3. Células de Bérnard. Padrão exagonal.

O não-equilíbrio e o padrão são mantidos enquanto o sistema permanecer aberto ao fluxo de calor. Enquanto isto ocorre o sistema possui um grau máximo de instabilidade, mas o padrão hexagonal emergente é estável, ele se faz no interior do sistema por meio da auto-organização. A instabilidade do sistema e a estabilidade do padrão se alimentam da mesma energia: o calor proveniente do exterior num fluxo permanente. Se o fluxo cessar, o sistema tende ao equilíbrio e o padrão desaparece.

Outros sistemas físicos e químicos auto-organizadores foram estudados em laboratórios por Prigogine e sua equipe, e posteriormente por outros cientistas, como é o caso do físico alemão Hermann Haken que observou que a emissão coerente de luz no *laser* é um processo auto-organizativo.

Prigogine, embora tenha estudado sistemas físicos e químicos, diz que sua grande indagação sempre fora à respeito da natureza da vida e argumenta: “*a vida só é possível num universo longe do equilíbrio*”(1996:30). Assim, passou a descrever a estrutura de organismos vivos também em termos de estruturas dissipativas. A vida é a manifestação de um padrão estável ( ou que pode até evoluir), num sistema aberto e não-equilibrado. A estabilidade do padrão provém da abertura da sua estrutura ao fluxo de matéria e energia que vem do meio ambiente. Se cessar este fluxo, cessa a instabilidade do sistema (no caso, o ser vivo), e desaparece o padrão e com ele desaparece a vida. O organismo vivo entra em equilíbrio térmico, ou seja: morre. Nesse caso o diferencial entre o organismo vivo ou morto é o padrão.

## **Maturana e Varela: Autopoiese - a vida é criativa**

Para entender os organismos vivos os neurobiólogos chilenos Humberto Maturana e Francisco Varela criaram o conceito de *autopoiese*. Derivado do grego, *auto* significa 'si próprio' e *poiese* significa 'criação', 'fazimento' - do verbo fazer. Assim, *autopoiese* significa 'autocriação' ou 'fazer-se por si próprio'. Um sistema autopoietico designa o padrão de organização característica dos sistemas vivos: um padrão autocriativo, que faz a si próprio. Este modelo tem ênfase diferente da auto-organização utilizada por Prigogine. Enquanto Prigogine direciona a *auto-organização* para a estrutura, Maturana e Varela direcionam a *autopoiese* para a organização. Cabe portanto levar em conta a distinção entre estas duas categorias, a organização e a estrutura feita pelos próprios biólogos.

Para isso, primeiro definem '*unidade*', que pode ser simples ou composta: "*uma entidade, qualquer coisa que possamos distinguir de alguma maneira, é uma unidade*" (1997: 56). Como exemplo de unidade pode-se citar: uma vassoura, uma agulha, um computador, um cachorro. Uma *unidade simples* não pode ser decomposta em partes como a vassoura e a agulha, sua distinção das demais unidades é feita levando-se em conta alguma propriedade ou característica, assim: uma vassoura serve para varrer e uma agulha para costurar. Já uma *unidade composta* é aquela onde se pode identificar várias partes ou componentes como o computador e o cachorro. A distinção de uma *unidade composta* é feita de acordo com a sua composição, ou seja, ela tem a ver com o tipo de componentes de que ela é feita e como esses componentes se relacionam entre si. Aqui entra a distinção entre organização e estrutura - para explicar como naquelas *unidades*, as partes se unem; que relação estabelecem entre si.

Assim, a organização é a emissão de um padrão para Maturana e Varela (1997:57) "*...se refere às relações entre os componentes que fazem com que uma unidade seja o que você afirma que ela é.*" Num sistema vivo como um cachorro ou um não vivo como um computador, é uma configuração invariante de relações entre seus componentes que confere ao sistema as características de cachorro, diferente das de outro sistema vivo, ou

característica de computador diferente das de outra máquina. A organização vem da relação entre os componentes, porém, não identifica esses componentes, ela é um padrão abstrato, ou para a teoria marxista, é um padrão concretamente pensado. A estrutura, por sua vez, continuam Maturana e Varela (1997:129 ), “*se refere aos componentes efetivos e à relações efetivas que os componentes precisam satisfazer ao participarem da constituição de uma unidade composta dada.*” É uma espécie de materialidade da organização. Ela diz respeito a os componentes físicos que fazem parte da *unidade composta* e a relação física dos componentes entre si, e também às mudanças de relações entre os componentes físicos (que ocorrem numa unidade que podemos chamar de sistema)

Dentre todas as relações que os componentes físicos estabelecem entre si, algumas são invariantes, são as que determinam a sua organização - são as que identificam um cachorro como cachorro e um computador como um computador, as demais relações e os próprios componentes podem ser variantes e são os que determinam a sua estrutura - são os que fazem um computador ser diferente de outro computador e um cachorro ser diferente de si próprio em cada momento, já que os sistemas vivos são dinâmicos, e também de outros cachorros. Assim, para uma *unidade composta* que pode ser um sistema vivo ou não, a estrutura pode ser modificada e a organização não. Quando em um computador são trocadas placas, acoplado ou retirado algum acessório este modifica algumas funções, modifica a estrutura, mas continua sendo um computador. Quando um computador é desmanchado tem-se apenas um amontoado de peças, ele perde sua identidade, sua organização - aquilo que deve ser invariante para ele continuar sendo o que era. Maturana e Varela explicam que embora cada *unidade* tem uma estrutura que realiza a organização, esta é independente das propriedades dos seus componentes.

O que isso tudo tem a ver com a autopoiese? Bem, conforme já foi mencionado, a autopoiese é um padrão de organização dos sistemas vivos realizado numa e por uma estrutura. Este padrão é um padrão de rede, dinâmico e que se auto-produz. De acordo com os próprios autores:

“Essa organização em termos de auto-produção, pode ser caracterizada como segue. Há uma classe de sistemas dinâmicos que são realizados, como unidades, como redes de produção ( e desintegração) dos componentes que: a)

participam recursivamente, através de suas interações, da realização da rede de produções (e desintegração) dos componentes que os produzem, e: b) realizando suas fronteiras, constituem essa rede de produções ( e desintegrações) de componentes como uma unidade no espaço que eles especificam e no qual existem”. (Maturana e Varela, (1997: 134)

Como padrão de organização, a *autopoiese* é uma grandeza que se conserva enquanto um sistema se mantém vivo. Como sistemas autopoieticos os seres vivos são sistemas de organização circular e determinados estruturalmente, isto quer dizer que eles são sistemas fechados, não no sentido clássico, que sugere isolamento, mas sim, do ponto de vista da sua operacionalização. Tudo aquilo que acontece ao sistema depende da sua estrutura, depende de como ele é feito. Ser um sistema fechado, nesse caso, quer dizer que a sua organização se faz exclusivamente no seu interior, dentro dos limites de sua fronteira e decorrente de sua estrutura que é aberta, permitindo a sua interação com o meio (que é o seu espaço físico), trocando matéria e energia, ou seja, comendo, bebendo, respirando, se movendo e eliminando resíduos. Nessa interação com seu meio, tudo o que lhe acontecer não é determinado pelo meio e tudo o que acontecer ao meio não é determinado pelo sistema vivo. Cada uma pode apenas desencadear mudanças no outro mas elas efetivamente acontecem no interior do sistema ou do meio, determinado estruturalmente por cada um. O determinismo estrutural condiciona o comportamento dos organismos vivos. Embora o termo determinismo seja impregnado de significações clássicas como linearidade, simplicidade, causalidade mecânica, Maturana e Varela explicam que no contexto do determinismo estrutural dos organismos vivos, as determinações não têm causas externas como no contexto da ciência moderna e nem o indicativo de previsibilidade; nos organismos vivos elas são forças internas, provenientes das sucessivas mudanças estruturais do próprio sistema ( organismo vivo) que ocorreram como já foi mencionado, de forma autônoma, não por determinação do meio ambiente. Assim, é precisamente o determinismo estrutural que confere autonomia ao sistema vivo.

Quando as mudanças que ocorrem com cada um são congruentes o sistema mantém seu padrão autopoietico de organização, ou seja, continua vivo. Isto traz

implicações importantes para a análise do fenômeno da cognição, que serão analisadas posteriormente.

### **c) Pontos de Intersecção**

O que as proposições dos autores citados têm em comum? Sem dúvida a grande intersecção está na identificação de um padrão. O padrão que une todas as coisas em Bateson, o padrão quark como manifestação de ordem na inter-relação de eventos atômicos em Chew, o padrão implícito e não-manifesto em Bohm, o padrão dinâmico, estável ou evolutivo que emerge na instabilidade das estruturas dissipativas nos sistemas vivos ou não-vivos em Prigogine e a autopoiese como padrão de organização dos sistemas vivos, ou seja, como padrão da vida em Maturana e Varela.

Outra intersecção, que é decorrente da identificação de um padrão está, na ênfase dada as inter-relações, uma idéia muito presente na Nova Física. Bateson diz que o paradigma da incerteza substituirá os objetos pelas relações; Chew ao destituir os 'blocos básicos de construção' da matéria, propõe que na natureza e no mundo material cada evento ajuda compor uma teia inter-relacional de eventos; Bohm, na *ordem implícita*, coloca conexões que multideterminam aquilo que é explícito nas estruturas dissipativas de Prigogine há uma constante inter-relação, ainda que pareça paradoxal, entre ordem e desordem, estabilidade e desequilíbrio; a autopoiese de Maturana e Varela enquanto padrão de organização se funda nas relações invariantes entre os componentes do sistema vivo.

Ao que tudo indica, padrões, inter-relações ou interconexões parecem ser conceitos básicos emergentes da ciência no paradigma da incerteza. O entendimento de paradoxos no mundo físico, no mundo vivo e no mundo da mente trazem implicações sobre o conhecer, o ensinar e o aprender.

### 3.2 O conhecimento, o ensinar e o aprender no paradigma da incerteza

#### a) Um novo conceito de cognição e suas implicações

O século XX, na esteira das novas proposições em todas as ciências, retomou a questão sobre a natureza do conhecimento. Agora, pela primeira vez uma teoria sobre o conhecimento tem orientação biológica, mais precisamente genética - por isso epistemologia genética. O ponto de partida para a epistemologia genética foram os estudos de Jean Piaget sobre um grupo de lesmas de onde ele postulou que quando submetidas às pressões do meio ambiente, as lesmas modificam suas características físicas (fenotípicas) e eventualmente incorporam geneticamente estas modificações que serão transmitidas a seus descendentes. Esta perspectiva de evolução é diferente da darwinista que prevê a adaptação apenas dos mais fortes. Para Piaget a *seleção natural* não produz novas características, estas são desenvolvidas numa contínua interação entre organismos e meio ambiente, porém, nesse processo nenhum molda o outro, cada um modifica a si próprio. Segundo o próprio Piaget, (apud Doll 1997): “(...) *A seleção pode ter sido responsável por manter apenas os traços mais desejáveis; mas ela não produziu estes traços*”. Quando as pressões externas do meio sobre os organismos são significativas, elas promovem desequilíbrios aos quais os organismos reagem e se reorganizam. Analogamente, na sua epistemologia genética o conhecimento não é uma bagagem inata e nem tão pouco é uma cópia por meio da qual se representa a realidade. Ele é antes um processo que se constrói na interação do sujeito, com o meio juntamente com a própria capacidade de conhecer (estrutura). Daí a impossibilidade do conhecimento ser algo *a priori* ou *sensorial*, pois para isso a estrutura estaria pronta ou esperando para amadurecer como supõem o *inatismo* e o *empirismo*. De acordo com a epistemologia genética, conhecimento e estrutura se fazem juntos. Ao aprender algo o sujeito não apenas adquire conteúdo, mas desenvolve sua estrutura, sua capacidade para conhecer. Assim, nas interações com o mundo físico são construídas as primeiras noções

conceituais que não são uma simples leitura posta dos dados da natureza que nos chegam através dos sentidos. Sobre o que vem dos sentidos é acrescida a ação do pensamento. De acordo com Piaget (1973: 73) “*não se conhece, realmente, um objeto senão agindo sobre ele e transformando-o*”. O corre que ao transformar o objeto ele se torna algo novo para quem aprende. O novo produz perturbações nas estruturas presentes no sujeito. Então para acomodar o novo conteúdo há ampliação de estruturas. A isto Piaget chama de acomodação. É o mesmo que a reorganização dos caracteres genéticos nos organismos vivos quando estes reagem às pressões do meio ambiente: físico, biológico e social. Há um contínuo fazer e refazer, construir e reconstruir de conteúdos e estruturas - por isso, a epistemologia genética é chamada de construtivista, ou simplesmente *construtivismo*.

Uma prática pedagógica construtivista, de acordo com Doll (1997: 97): “*(...) foca a relação interativa, dialógica, entre o aprendiz e o ambiente de aprendizagem, incluindo os materiais apresentados pelo professor.*” Desse ponto de vista, para haver aprendizagem deve haver também construção de novas estruturas, assim, na simples memorização de informação não há aprendizagem.

Há que se pensar que esse novo entendimento sobre a aprendizagem pressupõe também uma nova maneira de ensinar. Se é que ‘ensinar’ ainda é possível. Se o conhecimento é algo construtível, ensinar é o quê? Óbvio que deve ser algo para além dos rituais falaciosos que presumem a transmissão. Os termos ‘ensinar’, ‘aluno’, ‘professor’ entre outros passam a ser, então, termos impregnados de significações clássicas relacionadas com os modelos epistemológicos representacionistas. Haveria que se inventar ou construir novos termos que, juntamente com novas práticas pedagógicas, sugiram o ato de ‘ensinar’ como um processo de construir relações entre o conhecimento produzido historicamente, seus mediadores e os sujeitos que constroem o seu próprio conhecimento.

Antes de prosseguir este estudo, quer-se deixar claro que o objetivo deste trabalho não é caracterizar as diferentes abordagens construtivistas, como por exemplo a piagetiana ou a sócio-histórica vigotskiana, que são as mais difundidas neste estado catarinense, mas apenas diferenciá-las das que são baseadas numa noção de conhecimento como representação. As abordagens construtivistas entendem que de alguma maneira o

conhecimento é algo que se constrói. Assim, quer-se dirigir o foco das atenções para um novo construtivismo que, embora também tenha bases biológicas, tem pressupostos diferentes da assimilação e acomodação piagetianas e se orientam no modelo autopoiético de organização dos seres vivos de Maturana e Varela, também conhecida como Teoria de Santiago.

Os estudos de Maturana sobre a visão de cores lhe deram a oportunidade de constatar que cada vez que fosse dado o mesmo nome a uma determinada cor ocorria a mesma atividade na retina. Assim, cada cor era determinada pela estrutura da retina e não pelas características cromáticas de um objeto. Dessa forma a cor do objeto não constituía a representação de uma característica externa mas era o resultado de uma operação interna do sistema nervoso. Assim, Maturana fecha o sistema nervoso como já fizera com as células e posteriormente o fez com o ser vivo como um todo. A esse fechamento ele chamou de circularidade, uma vez que o sistema se fecha sobre si mesmo.

A circularidade é um indicativo de que tudo aquilo que ocorre a um organismo vivo nas suas interações com o meio (no processo de acoplamento estrutural com o meio) é determinado pela sua estrutura, que por sua vez é resultado da sua ontogenia, ou seja, a estrutura é em cada momento a resultante da história individual de mudanças estruturais de um sistema sem que no entanto ele perca a sua organização, sem que ele deixe de ser o que é: um sistema autopoiético.

*A circularidade e a determinação estrutural* dos seres vivos são categorias a partir das quais se analisará a nova visão cognitiva de Maturana e Varela.

Para explicar o processo de cognição, os autores sugerem substituir o clássico triângulo observador-ambiente-organismo observado, onde o observador de um vértice deste triângulo observa as interações organismo-meio como independentes da sua própria interação com os mesmos. Assim, as conclusões a que o observador chega são de que a dinâmica do ser vivo em estudo depende das condições ambientais, porém, a dinâmica do ambiente é independente do organismo em estudo e como tal pode por ele ser conhecida.

Em outras palavras, o ser vivo em estudo, que pode muito bem ser um homem ou uma mulher, na condição de dependentes de um meio que independe deles, podem na melhor das hipóteses se adaptar a esse meio, e o observador clássico, também homem ou mulher, poderão no máximo captar informações sobre uma situação independente do ato de observar. Nesse caso, o ‘conhecimento objetivo’, neutro, é completamente independente do ato de conhecer.

Este ponto de vista já estava sendo contestado por cientistas mesmo fora do âmbito das ciências cognitivas. Os físicos quânticos na década de 20 já propunham isto. Chama-se a atenção para o fato já citado onde Heisenberg (1958) ao se referir à porção de subjetividade contida na descrição de eventos atômicos, proferiu: (1981: 27) “(...) *temos que nos lembrar que aquilo que observamos não é a Natureza em si mas, a Natureza exposta ao nosso método de questionar*”.

O que Maturana e Varela propõem (mais de uma década depois de Heisenberg) é que o observador (o sujeito cognocente) tome a si mesmo como objeto de estudo e então nessa nova situação ele não poderá colocar-se num vértice do triângulo, fora de ‘si mesmo’ a olhar para ‘si mesmo’ e dizer que as interações organismo observado-meio são independentes do observador (que é ele próprio) ou do ato de observar, ou seja, quando se observa a si mesmo não se pode fazê-lo senão com o conhecimento que se tem como observador e como organismo observado.

No triângulo onde o observado era outro organismo vivo, desprezava-se a atitude cognitiva do organismo, então ele captava as características do meio e as representava, e o observador, por sua vez, também era um elemento neutro que captava informações relativas as interações organismo vivo-meio como se elas já existissem independentes do conhecimento do organismo vivo em estudo e antes do seu próprio ato cognitivo.

Então, Maturana e Varela propuseram que o triângulo observador - ambiente - ser vivo observado fosse substituído por um círculo onde o observador está no centro e o (1995:35), “*observar só é um modo de viver o mesmo campo experiencial que se deseja explicar*. Isso porque para eles (1995:35), “(...) *a teoria do conhecimento deveria*

*mostrar como o fenômeno do conhecer gera a explicação do conhecer. É uma situação muito diferente das que normalmente encontramos em que, o fenômeno do explicar e o fenômeno explicado pertencem a domínios distintos.”* Fazendo isto, a circularidade dos sistemas vivos é estendida aos sistemas cognocentes.

O mito do ‘conhecimento objetivo’, e do conhecimento representativo de uma realidade exterior outra vez é atacado, como já fora pelos físicos na década de 20. O conhecimento passa a ser uma configuração da realidade. Uma configuração singular para cada sujeito, determinado por sua ontogenia também singular. Maturana e Varela diriam que cada configuração depende da maneira como cada sujeito se acopla estruturalmente ao seu meio ambiente. Então, cada ser vivo configura ou constrói um mundo de acordo com a sua história de interações recorrentes com o meio.

No âmbito de uma mesma espécie, as estruturas são semelhantes, então, os mundos criados por cada organismo dentro da espécie é semelhante. No caso dos humanos por exemplo, além da semelhança estrutural, diz Capra (1996: 213): “... nós, seres humanos, partilhamos de um mundo abstrato de linguagem e de pensamento por meio do qual criamos juntos o nosso mundo.” Embora há uma construção coletiva desse mundo, isso não quer dizer que o modo de vivê-lo tem de ser único. Há uma história de contribuições diferentes nesta construção, porque há uma história de mudanças estruturais sutis particulares para cada um. Há, portanto, uma história de aprendizagem e desenvolvimento singular em cada um. Isso acaba com mais uma dicotomia cartesiana: o que vem primeiro, aprendizagem ou desenvolvimento? É preciso se desenvolver para aprender? ou aprender para se desenvolver? Nesta perspectiva, o desenvolvimento vem associado à ontogenia e esta se faz através de atos cognitivos, então, aprendizagem e desenvolvimento ocorrem simultaneamente. Como se pode então submeter todos ao mesmo processo de avaliação?

Com essa história de criar mundos, Maturana e Varela não estão negando a existência de um mundo material exterior, mas apenas, que as suas qualidades não são predeterminadas, elas não são independentes do processo de cognição. Estas características são uma construção do sistema nervoso e dos demais sistemas envolvidos nesta

construção. O mundo material exterior se adequa à estrutura de quem conhece, e não ao contrário.

Por exemplo, um boneco que serve de espantalho de pássaros numa plantação de hortaliças: se suas características fossem predeterminadas independente do processo de cognição, ou seja, se suas características não fossem determinadas pela estrutura de quem o conhece, o boneco não teria a menor serventia, uma vez que os pássaros, embora sejam estruturalmente diferente dos humanos, o enxergariam da mesma maneira porque afinal 'o que o boneco é' define-se pelas características 'objetivas' suas.

Outro exemplo que pode ser dado: sabe-se que cachorros ouvem sons que estão numa faixa de frequência não audível para os humanos. As várias frequências de sons e infra-sons estão disponíveis no mundo físico; não as inventamos, porém, o que as torna audíveis, ou não, é prescrito pela estrutura de quem ouve e não por características suas predeterminadas. Somente o ato de conhecê-las lhes infere características. Assim, existe o mundo material que não é caracterizado *a priori* e um mundo que cada ser vivo cria com a sua estrutura enquanto estiver acoplado estruturalmente com o meio e, no caso dos humanos, acoplado socialmente com os outros humanos por meio da linguagem.

Por outro lado, nem todas as mudanças do meio desencadeiam mudanças estruturais, ou seja, atos de cognição. É a própria estrutura do organismo quem as seleciona. Ele responde a perturbações dentro de uma determinada frequência que lhe diz respeito. Ele não responderá, por exemplo, ao apito que emite um infra-som audível para o cachorro por que essas frequências não são audíveis para ele.

As interações recorrentes entre organismos e meio promovem a sua história de mudanças estruturais. A essa história de mudanças estruturais Maturana e Varela chamam de ontogenia.

As mudanças estruturais, bem como as perturbações externas que as desencadeiam, como já foi mencionado, são selecionadas pelos organismos. É nesse sentido que os autores dizem que as mudanças estruturais que ocorrem no sistema vivo constituem atos de cognição. Cada vez que há uma mudança estrutural, tanto no organismo, como no meio, ela se faz no sentido de preservar a congruência entre eles. Enquanto houver

congruência entre organismo e meio há preservação de acoplamento estrutural e autopoiese.

Para manter a autopoiese, ou seja, para preservar o padrão de organização e continuar vivo, o sistema tem de se manter enquanto sistema cognitivo. Quando deixar de ser um sistema cognitivo deixa de responder às perturbações externas, deixando de prescrever mudanças estruturais que o mantém acoplado ao meio, então ele morre. É nesse sentido que os autores afirmam que *‘viver é conhecer’*.

Esta concepção de cognição permeia todo o processo de viver e inclui também as emoções. Outra dicotomia cartesiana razão x emoção é atacada. As emoções são manifestações corporais que configuram uma maneira de agir. Diante de emoções diferentes, as mudanças estruturais físico-químicas são diferentes e portanto os atos cognitivos são dependentes delas, além disso, nossas escolhas racionais são antes opções emocionais. Desta maneira Maturana escreve (1997: 171):

“Todo o sistema racional e, de fato, todo o raciocinar, se dá como um operar nas coerências da linguagem partindo de um conjunto primário de coordenações de ações tomado como premissas fundamentais aceitas ou adotadas, explícita ou implicitamente, a priori. Acontece que toda a aceitação *apriorística* se dá partindo de um domínio emocional particular, no qual queremos aquilo que aceitamos, e aceitamos aquilo que queremos, sem outro fundamento a não ser o nosso desejo que se constitui e se expressa em nosso aceitar. Em outras palavras, todo o sistema racional tem fundamento emocional,(...)”

De acordo com o autor, a linguagem é um fenômeno biológico que serve de mecanismo para o acoplamento social de onde é gerado o fenômeno da mente e da consciência. Foi o desenvolvimento das estruturas específicas, através dos tempos, que permitiu a emergência do domínio humano, portanto a emergência da mente e da consciência. Assim, a mente e a consciência pertencem ao domínio do acoplamento social, é nesse domínio que elas operam e como tais não são algo que está no próprio corpo, estão no espaço da convivência. Dentro do seu domínio elas dão a possibilidade dos humanos aprenderem uns com os outros.

Lev Vigotski também postula a interação social como elemento que favorece a aprendizagem, embora não entenda o desenvolvimento e aprendizagem como simultâneos. A linguagem e, como consequência, a mente e a consciência nos fazem humanos porque possibilitam - como diriam os autores- no domínio de acoplamento social e lingüístico, a expressão de pensamentos que podem coordenar ações que delegam à humanidade a responsabilidade de conduzir seus próprios destinos. Nas palavras de Maturana e Varela (1995: 252),

“A linguagem nunca foi inventada por um sujeito isolado na apreensão de um mundo externo, e, portanto não pode ser usada como ferramenta para revelar um tal mundo. Ao contrário, é dentro do linguajar mesmo que o ato de conhecer, na coordenação comportamental que é a linguagem, produz um mundo. Realizamos a nós mesmos em mútuo acoplamento lingüístico, não por que a linguagem nos permite dizer o que somos, mas porque somos na linguagem num contínuo existir nos mundos lingüísticos e semânticos que produzimos com os outros.”

Esta concepção de cognição amplia também o conceito de mente para além do cérebro e do sistema nervoso. Primeiro porque os sistemas vivos que não têm sistema nervoso, como um fungo por exemplo, sentem nas condições de temperatura, umidade, claridade quando há alterações e, em função disso recorrem a mudanças na sua estrutura que permitam continuar a sua congruência com o meio, em outras palavras, configuram um novo mundo para si. Segundo, porque em seres vivos que têm sistema nervoso e cérebro, não apenas estes estão envolvidos nos processos cognitivos.

O conhecimento, por neurocientistas na década de 80, dos peptídeos, um grupo de macromoléculas que existe em todas as células e funciona como mensageiras interligando células do sistema imunológico, endócrinas e nervosas formando uma rede que se espalha por todo o organismo, indica que, toda a corporeidade é envolvida nos atos cognitivos ou de aprendizagem. De acordo com Capra (1996: 223): *“em última análise, decorre disso que a cognição é um fenômeno que se expande por todo o organismo, operando por meio de uma intrincada rede química de peptídeos que integra nossas atividades mentais, emocionais e biológicas.”*

O fenômeno cognitivo é, então, o resultado da ação dos seres vivos mediante a utilização da estrutura que, conforme já foi citado, é algo que se faz e refaz dentro dos limites que preservem a organização autopoietica constante. É por isso que Maturana e Varela dizem (1995: 70): “*Todo o fazer é conhecer e todo o conhecer é fazer.*”

Que implicações este novo conceito de cognição traz para a educação? Ser o conhecimento uma representação ou uma configuração de mundos, modifica o ensinar e o aprender? Os docentes atuam de maneiras diferentes quando entendem o conhecimento como representação ou configuração?

#### ***b) No paradigma da incerteza com a cabeça cheia de certezas***

A diferença entre entender o mundo como representação ou como construção (configuração), no ponto de vista modesto de uma observadora, faz muitas diferenças, e talvez a maior diga respeito à autonomia e, por consequência, à responsabilidade que é imputada a cada um na construção de seu destino como sujeito e de todos como sociedade e espécie. A atitude representacionista é passiva e imobilizadora. A atitude construcionista é libertadora e criativa. “*Viver é melhor que sonhar*” cantava a saudosa Elis Regina.

No fazer cotidiano, o pintor não representa a pintura que já existe, o escritor não revela o escrito que já existe, os trabalhadores em todas as frentes de trabalho não representam o trabalho que já existe e uma estudante de um curso de mestrado está muito distante de representar sua dissertação que já existe - todos o fazem. E é precisamente este fazer que tira o ser (ou o vir-a-ser) do imobilismo para a criação. “*Todo o fazer é conhecer e todo o conhecer é fazer*”. Mas isso apenas não basta, dizem Maturana e Varela (1995: 264)

“afirmamos que o cerne das dificuldades do homem moderno está no seu desconhecimento do conhecer.(...)Não é o conhecimento, mas o conhecimento do conhecimento que nos compromete. Não é saber que a bomba mata, e sim o que queremos fazer com a bomba que determina se a usaremos ou não. Isso geralmente se ignora ou se finge desconhecer para

evitar a responsabilidade que nos cabe em todos os nossos atos cotidianos, já que todos os nossos atos, sem exceção, contribuem para formar o mundo em que existimos e que legitimamos precisamente por meio desses atos, num processo que configura nosso vir-a-ser. Cegos diante da transcendência de nossos atos, fingimos que o mundo tem um vir-a-ser independente de nós, justificando assim nossa irresponsabilidade e confundindo a imagem que buscamos projetar, o papel que representamos, com o ser que verdadeiramente construímos em nosso viver diário.”

A atitude construcionista na educação não é diferente da atitude construcionista de qualquer outra atividade humana. Acredita-se, aliás, que somente quem tem essa atitude perante a vida pode tê-la também no fazer educativo. A opção de como fazer ‘o ensinar’ implica necessariamente em como entender que ocorre ‘o aprender’. Quem pensa que ‘ensina’ sem saber como alguém aprende tem de admitir que a sua prática docente ocorre baseada num senso comum e não em teorias.

Mas, será que todos os profissionais que fazem a educação, e conseqüentemente, como se presume, têm posições definidas sobre como ensinar (pelo menos a pesquisa indica que há opção por uma linha teórica), têm também posições claras em relação a como ocorre ‘o aprender’ ?

Foi aplicado um questionário com duas questões apenas, onde a primeira investiga como o professor entende que ocorre ‘o aprender’ e a segunda como ele caracteriza a sua atuação docente, se ela é construtivista ou representacionista ( ver anexo 1). Foram questionados 35 professores da Unoesc-chapecó, todos mestres vinculados aos cursos das seguintes licenciaturas: Matemática, Pedagogia, História, Geografia, Biologia e Educação Física e Letras. Constatou-se que do total de questionados, 31 professores, representando 88,57 %, se dizem construtivistas. Destes 31 construtivistas, 17 professores representando 54,81% indicaram que a melhor metáfora para explicar ‘o aprender’ é representacionista. Apenas 45,16 %, totalizando 14 dos professores construtivistas escolheram uma metáfora que represente ‘o aprender’ coerente com a indicação da sua prática. Do total de questionados 5,71 % são empiristas ( 2 professores) e 5,71 são aprioristas ( 2 professores). Os professores não construtivistas mostraram coerência entre a metáfora escolhida e a prática empirista ou apriorista que dizem exercer.

A partir da leitura dos dados faz-se algumas ponderações. Não é a questão central desse trabalho investigar se os docentes entendem o conhecimento como representação ou construção. Esta questão veio à tona no decorrer deste trabalho por dois principais motivos:

- primeiro: o estudo sobre o contexto criado pelas ciências a partir da Nova Física no início do século XX, possibilitou constatar que se gestava ali uma nova mentalidade; compatível com o desenvolvimento de idéias construtivistas, diferentes das clássicas idéias do paradigma da certeza onde a realidade e o conhecimento estavam dados e tudo o que podia ser feito era descobri-los e representá-los.

- segundo: numa aula, em conversas com alunos da graduação, todos já professores, desde a pré-escola até o ensino médio, uma aluna disse: *'sou uma professora sócio-interacionista, na escola onde trabalho quase todos são. Os que não são sócio-interacionista, são construtivistas, só tem uma professora que é tradicional, mas eu na verdade nunca entendi o que é um ou outro e nem que diferença faz ser isso ou nada disso se nesses quase dez anos que leciono nunca vi acontecer nada de diferente na escola'*.

O segundo motivo levou a suspeitar que isso não ocorre apenas com aquela aluna e nem somente com professores do ensino fundamental ( antigo 1º e 2º graus), mas também com professores no Ensino Superior. O fato de que 54,81,% dos professores que se intitulam construtivistas compreendem o conhecimento como uma representação sugere práticas pedagógicas tradicionais. Embora estas práticas não tenham sido investigadas constitui, entretanto, um indicativo de que professores universitários também se permitem dizer algumas bobagens. Resta saber se são bobagens ingênuas ou se, conforme já citado, de Maturana e Varela: *"cegos diante da transcendência de nossos atos, fingimos que o mundo tem um vir-a-ser independente de nós, justificando assim nossa irresponsabilidade e confundindo a imagem que buscamos projetar, o papel que representamos, com o ser que verdadeiramente construímos em nosso viver diário."*

É possível que alguém esteja acreditando ensinar sem nunca ter se perguntado como ele próprio ou os seus alunos aprendem. Este é um assunto que foge aos propósitos deste trabalho, mas merece uma futura investigação.

### ***c) A educação do futuro e o novo conceito de cognição***

Embora as ciências vivam o paradigma da incerteza, a maior parte das instituições de ensino ainda são ‘máquinas pesadas’ e as pessoas que têm vínculo com elas ( discentes ou docente) ainda têm atitudes de quem está buscando ou trazendo grandes certezas. Como pode ser então a educação apropriada para ‘o fazer’ adequado nestes tempos tão incertos? Do ponto de vista que aqui se propõe, levando em conta o novo conceito de cognição, a educação adequada é aquela que se faz delegando a cada sujeito a liberdade e a responsabilidade de, junto com os outros, configurar simultaneamente um mundo para todos e um mundo para si, congruentes e conexos. Para Maturana ( 1999: 29)

“O educar se constitui no processo em que a criança ou o adulto convive com o outro e, ao conviver com o outro, se transforma espontaneamente, de maneira que o seu modo de viver se faz progressivamente mais congruente com o do outro no espaço de convivência. O educar ocorre, portanto, todo o tempo e de maneira recíproca.”

Mas, que elementos são necessários a esse mundo que a educação tem de contribuir para configurar? Edgar Morin, num documento intitulado *Os Sete Saberes necessários a Educação do Futuro*, feito por solicitação da Unesco para ampliar o debate sobre a transdisciplinaridade na educação, aponta sete saberes, os quais serão analisados a seguir, em consonância com o conceito de cognição de Maturana e Varela. Os sete saberes serão ordenados aqui, de acordo com a apresentação feita por Morin, sem que necessariamente isto impliquem em ordem de importância. Também não significa que eles contemplem a totalidade das preocupações, cada um de acordo com a sua área de atuação poderá dar outras contribuições.

#### **Primeiro saber: Reconhecer “As cegueiras do conhecimento: o erro e a ilusão”**

Maturana (1987) diz que “*tudo o que é dito é dito por um observador, a outro observador que pode ser ele mesmo*”. O mito do conhecimento objetivo, é uma maneira que os humanos têm fugir da responsabilidade sobre o mundo que configuram junto com os outros humanos no conviver. Foi a pretensa objetividade do conhecimento

que levou a humanidade a se enclausurar no paradigma cartesiano, ( e em outros) e incorporar suas dicotomias como verdades intocáveis. É necessário reconhecer que cada um conhece com o conhecimento que tem, isso levará inevitavelmente a um comportamento mais ético com quem se deseja configurar um mundo. O não conhecimento sobre a natureza do conhecimento também induziu a erros na educação e, por consequência, no ensinar e o aprender. São as marcas que a cegueira do conhecimento deixou até hoje presentes nas pedagogias diretivas e não-diretivas.

### **Segundo saber: observar a “*Os Princípios do Conhecimento Pertinente*”**

A fragmentação cartesiana expressa nos limites disciplinares não dá conta de responder questões complexas, pertinentes a este tempo. Este é um indicativo de que a educação deve sintonizar-se noutra frequência - na frequência do paradigma da incerteza. Para Morin, o saber pertinente é aquele que enfoca o contexto, o global, o multidimensional e o complexo. As informações por si não desencadeiam fenômenos cognitivos. Elas não expressam características objetivas da realidade, não são um ente externo a nós pronto para ser capturado e representado. As informações que expressam um fato, uma data, uma cor, uma quantidade ou um conteúdo a ser estudado numa determinada disciplina, quando desconectados de universo socio cultural, são meras abstrações. Somente os atos cognitivos lhes infere característica. É somente no contexto de uma rede de relações, compreendendo a sua multidimensionalidade que o complexo vem à tona e pode ser enfrentado. O significado portanto, não reside na informação, mas no contexto de onde ela foi abstraída.

Se por um lado o conhecimento *pertinente* deve partir do cotidiano particular dos aprendentes, por outro, ele não deve apenas se limitar a essa esfera, sob pena de não oportunizar àqueles cujo universo de oportunidades é limitado configurarem com os demais um mundo mais amplo.

A visão holográfica da natureza, da sociedade e da própria vida é a que melhor expressa a relação entre o particular e o universal. Se o todo pode ser maior ou menor do que a soma das partes em contrapartida cada parte contém a totalidade: a sociedade que é feita por indivíduos, como diz Morin (2000: 37)“ *como um todo, está*

*presente em cada indivíduo, na sua linguagem, em seu saber, em suas obrigações e suas normas.”*

### **Terceiro/Quarto saber: “*Ensinar a Condição Humana e a Identidade Terrena*”**

A condição humana do ser é biológica e cultural. Maturana diz que todo o conhecer pertence ao mundo biológico e cultural. A tradição biológica é comum a todos os seres humanos, começou com a origem da vida e é ela que fundamenta visões universais tão comuns como o fato de o sol nascer a cada manhã e o Céu ser azul. A tradição cultural configura mundos que podem ser tão diferentes quanto os limites biológicos permitem e surge das diferentes heranças lingüísticas. Ser humano é existir na linguagem diz Capra. A linguagem, a mente e a consciência são da esfera cultural. Segundo Morin (2000: 52):

“O homem é portanto um ser plenamente biológico, mas,.....somente se realiza plenamente como ser humano pela cultura e na cultura. Não há cultura sem cérebro humano, mas não há mente, isto é, capacidade de consciência e pensamento, sem cultura. A mente humana é uma criação que emerge e se afirma na relação cérebro-cultura.”

Os humanos devem sê-lo ao mesmo tempo na sua condição biológica comum e na diversidade cultural. A educação disciplinar fragmentou as múltiplas dimensões do humano contidas no biológico e no cultural. É necessário não apenas juntar os pedaços, porque estes sugerem objetos, mas construir relações transdisciplinares para dar conta da complexidade una e diversa que é a condição humana. Por isso, diz Morin (2000: 61), “*a educação deveria mostrar e ilustrar o destino multifacetado do humano: O destino da espécie humana, o destino individual, o destino social, o destino histórico, todos entrelaçados e inseparáveis*”.

O destino multifacetado do humano só é passível de realização se uma condição primeira for satisfeita: o planeta que habitamos deve preservar condições para que o acoplamento estrutural com os sistemas vivos continuem ocorrendo. A vida no planeta corre perigo. São ameaças físico-químicas provenientes de armas nucleares, ameaças biológicas de super-bactérias que se tornaram resistentes aos antibióticos, ameaças químicas de poluentes derivadas da não-utilização de tecnologias de preservação do meio

ambiente, todos legados do progresso incondicional apregoado pela ciência moderna. Antes da condição humana, os humanos têm em comum com os outros sistemas vivos uma identidade terrena, planetária. Essa condição faz todos responsáveis pela preservação das condições que mantêm a vida na terra.

### **Quinto Saber: “Enfrentar as incertezas”**

Todos tem habilidade enfrentar as incertezas, já que no viver de cada um ocorrem mais imprevistos do que atividades planejadas. É preciso, no entanto, que a educação auxilie na compreensão da natureza da incerteza para que ela não seja motivo para frustrações. O determinismo científico clássico desenvolveu na humanidade a expectativa de controle e previsibilidade, essa ilusão, junto com a tendência de extrair características objetivas de informações, objetos e até de um ‘eu’ separado do restante de si e do mundo, se constituiu numa fonte de frustrações.

A Nova Física como a teoria de Santiago demonstraram que os conceitos que utilizamos para descrever a natureza são limitados, não são características da realidade mas criações da mente. A teoria das estruturas dissipativas e o princípio da auto-organização em suas proposições aparentemente contraditórias demonstram que o equilíbrio pode levar a morte e o desequilíbrio ao surgimento de nova ordem. Assim também a História, diz Morin (2000: 83), *“é um complexo de ordem, desordem e organização. Obedece ao mesmo tempo a determinismo e aos acasos em que surgem incessantemente o ‘barulho e o furor’. Ela tem sempre duas faces opostas: civilização e barbárie, criação e destruição, gênese e morte...”*

E ainda, assim, não há motivo para desânimo, não é o fim da história. Sugere Prigogine (1996) que estamos vivendo ainda na pré-história do entendimento do universo. Tem-se que apostar no potencial criativo e auto-organizativo de cada um.

As incertezas conduzem sempre a encruzilhadas, mas estas encruzilhadas não são o fim da linha, ao contrário, são pontos de bifurcações (ou trifurcações, ou

multifurcações) que indicam várias possibilidades onde cada caminho leva a algum lugar onde se possa viver. Compreender a fluidez da vida é algo que a educação pode ensinar.

### **Sexto/sétimo Saberes: “Ensinar a Compreensão e a Ética do Gênero Humano”**

A educação para a compreensão não apenas intelectual mas também humana está intimamente relacionada ao educar para a ética e é o fundamento para a constituição de sociedades democráticas. A ética de que tratam Maturana e Varela é a ética que emerge do conhecimento do conhecimento. Somente quem conhece que conhece tem a atitude reflexiva que permite tomar consciência sobre o que fazer com aquilo que conhece, lembrando outra vez os autores, (1995:264) “*Não é saber que a bomba mata, e sim o que queremos fazer com a bomba que determina se a usaremos ou não.*”

O que fazer com o que se conhece deve ser uma decisão que inclua a permanência do outro como legítima, porque é a legitimidade do outro que possibilita a legitimidade de si mesmo. Cada um é o outro quando se analisa do ponto de vista da configuração do mundo de si próprio. A possibilidade de **si mesmo** e do **outro** emerge da convivência que fez os seres serem humanos, por isso, dizem Maturana e Varela (1995: 263) “*(...) todo o ato humano tem sentido ético. Esse vínculo do humano com o humano é, em última análise o fundamento de toda a ética como reflexão sobre a legitimidade da presença do outro.*”

A atitude compreensiva com os diferentes se estabelece no vínculo daquilo que os humanos têm em comum: a condição humana. A compreensão dessa condição humana comum passa primeiro pela compreensão de si próprio. Uma educação que cultiva a auto-estima das pessoas é uma educação para a inclusão. Diz Maturana ( 1999: 30-1-3)

“*(...) sem aceitação e respeito por si mesmo não se pode aceitar e respeitar o outro, sem aceitar o outro como legítimo outro na convivência, não há fenômeno social. (...) Vivamos nosso educar de modo que a criança aprenda a aceitar-se e a respeitar-se, ao ser aceita e respeitada em seu ser, assim aprenderá a aceitar e respeitar os outros. (...) isto requer que o professor ou professora saiba como interagir com os meninos*

e meninas num processo que não os negue ou castigue, seja pela forma como eles aparecem na relação, seja porque não aparecem como as exigências culturais dizem que deve ser. Esse professor ou professora pode fazê-lo porque, eles também, respeitam a si mesmo e ao outro.”

É importante dizer que esses saberes não se acham incrustados no interior de uma ou outra disciplinas. Eles têm de estar implicados na forma de organizar as universidades, os cursos, as disciplinas, os conteúdos e quem sabe no futuro numa universidade organizada de acordo com projetos de trabalhos.

#### ***d)Um olhar para o ensino de Física***

O ensino de Física praticado atualmente não está imune às dificuldades inerentes ao processo de ensino comum a todas as disciplinas, onde a primeira dificuldade aparece justamente por se tratar de uma disciplina, um fragmento de conhecimento sem nexos com outros e na maioria das vezes sem nexos internos, onde os significados permanecem num nível 'implícito', na maior parte das vezes não são 'desdobrados'.

A postura pedagógica dos docentes, quase sempre desprovidas de uma fundamentação teórica explícita, os faz usar de expedientes das pedagogias diretivas e não-diretivas fundamentadas respectivamente nas epistemologias empiristas e aprioristas. Ambas entendem o conhecimento como uma mera representação do mundo. Nesse contexto, o ensino da Física é marcado principalmente pelo uso de definições, como se essas colocassem à vista características objetivas de um ente cuja significação não lhe são inferida por um contexto multideterminado e o ato de conhecer. De acordo com Robilotta e Babichaak (1997: 35):

“Quando apresentamos uma definição em um curso, estamos sugerindo que o significado do conceito está no próprio conceito, que esse significado pode ser entendido independentemente do contexto onde ele se insere. E isso não é verdade. O significado do conceito é dado pelas linhas que o interligam a outros conceitos, dentro de uma dada estrutura.”

Assim, ao definir uma Força por exemplo, diz-se o que a força é, como se ela fosse algo substancial e independente do contexto da sua manifestação. É por isso também que a força tão evidente no nosso cotidiano se transforma num conceito tão abstrato para os alunos. Não são raras as situações no dia-a-dia onde são feitas referências a força como se ela fosse uma propriedade dos corpos, algo que está no corpo e não uma manifestação proveniente da interação entre eles ou com seus campos. Dessa forma, é comum ouvirmos comentários sobre ‘quem tem mais força’, como no desenho animado onde o super-herói - He-Man grita: “*eu tenho a força!*”.

Para compreender o conceito de força, enfim, é necessário entender quando a emergência desse conceito faz sentido, quais conexões ela estabelece com outros conceitos dentro da teoria, assim, aquilo que era uma mera definição aparece como um elemento que dá consistência, estabelece nexos entre os elementos da estrutura teórica.

A forma fragmentária de estudar os conceitos físicos por meio de definições não ocorre apenas na mecânica, que foi elaborada dentro de um paradigma fragmentário. A Nova Física que sugere nexos não causais também é fragmentada pela cultura, pois os professores têm o hábito lidar com objetos ao invés de relações. O fato de os professores estarem imersos numa cultura da Física, “compreender” suas teorias não garante uma noção de totalidade para si mesmos e muito menos para seus alunos. Para o prof. Robillota (1985:3):

“O conhecimento físico é apoiado em estruturas. Por isso a organização lógica incorporada numa estrutura teórica também é parte da Física. O caráter estrutural do conhecimento físico faz com que a familiaridade com as partes não garante a compreensão do todo”.

Talvez, para esses professores a totalidade, sequer se constitui em problema; sendo tudo feito à base de átomos e proposições matemáticas, o problema apenas é o da relação de causa e efeito entre eles, mesmo se tratando de conceitos de um outro paradigma.

Outro aspecto que tem sido privilegiado nesse modo de entender o ensinar e o aprender refere-se às escolhas dos conteúdos a ser ensinados. Eles devem constar de fórmulas que são a representação das leis Físicas fundamentais, de exemplos de aplicações dessas leis, na maioria das vezes aqueles escritos no livro texto que com certeza estão corretos. Finalmente, esses conteúdos devem ser levados para o laboratório para “provar a sua validade”.

A ênfase maior normalmente é dada aos conteúdos que permitem fazer contas. Em último plano vêm as discussões, o debate, aquelas conversas que oportunizam aos alunos se colocarem como sujeitos que se sentem felizes porque vêem a vida, ou uma simples regularidade da natureza de um outro ponto de vista, de uma outra janela, ou então sentem a frustração por isso não ter sido possível.

Um professor somente fará isso quando, além de conceber as próprias teorias nas suas múltiplas determinações, também compreende que ensinar e aprender não são atividades espontâneas, elas têm pressupostos, mesmo que sobre os quais os docentes não tenham consciência.

O treinamento em Física para aplicar e resolver problemas abstratos, por exemplo, tem um pressuposto representacionista e não criativo. É preciso treinar para resolver situações que se repetem num mundo que já está dado e tem de ser descoberto. Esta prática não contribui para formar estruturas que permitam entender melhor o mundo.

Esta forma de fazer não é privilégio dos cursos de graduação, elas ocorrem também no ensino médio. Sobre isso na proposta curricular do Estado de Santa Catarina consta (1998:142):

- “Além de levar a uma mediocrização do aprendizado, automatizando ações pedagógicas, tal ensino nem sequer serve adequadamente à preparação para o ensino superior, pois a postura de memorização sem compreensão, conduz ao esvaziamento do sentido das fórmulas matemáticas que expressam leis fundamentais ou procedimentos científicos, conduz em fim a um falso aprendizado”.

No cotidiano de dar aulas na universidade se convive, por inúmeras vezes, com relatos de estudantes que estudaram por um número exagerado de horas e, como eles

mesmos dizem, “sabem tudo de cor” e na hora de utilizar este saber ( na hora da prova evidentemente) “dá um branco”. Costuma-se dizer para esses alunos que não devem fazer nenhum esforço para memorizar nada do que não foi entendido. O conhecimento não é uma estocagem semelhante a que pode ser feita com objetos.

Ao tentar memorizar, frustram a possibilidade de conversar consigo mesmos e traduzir para si aquilo que está sendo proposto. Na impossibilidade de traduzir para si não há significação, não há aprendizagem. É verdade que, às vezes, quando se faz a tradução, o entendimento colhido não é exatamente o proposto. É que as suas estruturas lógico-pensantes, presentes naquele momento, permitiram fazer certas relações que sugerem uma elaboração conceitual limitada, simplista, do ponto de vista do professor, talvez não do ponto de vista do aluno que fez o que a elasticidade de suas estruturas lhe permitiu para o momento.

Nas interações que estabelecem no seu mundo, mediadas por seus professores, seus colegas, seus familiares, objetos, ou o seu próprio trabalho, enfim, tudo o que compõem os vários ambientes onde possa estar, suas elaborações conceituais vão sendo melhoradas, porque suas estruturas vão se ampliando. Elas se fazem juntas com o ato cognitivo. De acordo com Etges (1995:78):

“Uma vez que o educando criou estruturas de ações propriamente lógicas do pensar, deverá ser impulsionado pelos educadores, mas principalmente por si mesmo, a avançar neste nível. O educador não lhe apresenta muletas neste momento, mas as ‘máquinas’ mais ágeis e ligeiras do próprio pensamento”.

Estas ‘máquinas’ do próprio pensamento, vão lhe ampliar a potência - como diz Levy (1998) - para melhorar a capacidade de mobilizar, valorizar e empregar ao máximo todas as qualidades humanas; e mais, para utilizar esses saberes para melhorar seu cotidiano. Estas idéias sobre o aprender sugerem que todos podem aprender em qualquer espaço, e como diz Maturana, o tempo todo. Mas como proceder para que isso aconteça ?

Numa aula de Física, por exemplo, além de compreender o formalismo matemático que é fundamental para uma boa formação em Física, é preciso também traduzir a física desse formalismo para um entendimento possível, compatível com cada estágio das

estruturas aprendentes. A atitude do professor deve ser tal que torne sem efeito o hábito de memorizar.

A simulação pode ser uma alternativa para auxiliar não apenas as aulas de Física, mas também para definir um novo estilo de ensinar, aprender. De acordo com Lévy (1993):

“A simulação que podemos considerar como uma imaginação auxiliada por computador, é portanto ao mesmo tempo uma ferramenta de ajuda ao raciocínio muito mais potente que a velha lógica formal que se baseava no alfabeto”.

Por fim, a visão da Física, oferecida pelo ensino, deve ser aquela que leva em conta sua história e filosofia. A filosofia traz à tona as contradições inerentes ao processo de desenvolvimento das ciências. A percepção de contradições cria a condição para o aluno desenvolver sua capacidade crítica e autoconfiança, faz com que ele tenha luz própria e não viva à sombra de livros textos e seus professores. A visão histórica, além de contribuir para o esclarecimento conceitual em muitos tópicos básicos da Física, mostra um pouco sobre o processo de fazer ciência - fenômeno social marcado por muito trabalho, dedicação, satisfação, mas também controvérsias, disputas de poder e exploração.

Conta-se que T. Edison, após enumeráveis tentativas fracassadas de fazer a lâmpada elétrica, teria ouvido de seu ajudante disposto a desistir: - Já erramos mais de mil vezes. Edison teria respondido com uma pergunta - desistir agora que já conhecemos mais de mil maneiras de como não fazer ? E ao continuar tentando, construiu não apenas a lâmpada mas desbravou caminhos para centenas de novos aparelhos, compreendeu cada vez mais o que pode e o que não deve ser feito em eletricidade. É esta visão que revela o caráter construído desta ciência em oposição àquele dado no sonho de Descartes.

Referindo-se aos fundamentos da ciência moderna e sua marca no sistema de ensino, Doll (1993:46-7) escreve:

“Ao defender definições claras, Descartes estava fornecendo fundamentos estruturais para a metodologia curricular que as escolas utilizam atualmente, indo do bem-formulado ao empiricamente válido. Nessa metodologia, os fins são externos ao processo; não existe uma dinâmica entre a teoria e

o fato, a imaginação e a praticidade, tudo o que é verdadeiro, fatural ou real é descoberto, não criado”.

Para dar à Física um olhar criativo ou construcionista e tratá-la com contemporaneidade, o ensino precisa, nos cursos de formação de professores para o ensino médio, capacitá-los para trabalhar com seus alunos elementos de Física Moderna que respondem bem mais questões pertinentes a cultura deste tempo do que os tão surrados conceitos derivados do paradigma newtoniano: a mecânica fortemente centrada na cinemática na 1ª série, a termodinâmica e a óptica geométrica na 2ª série, onde também os conteúdos são enfocados a partir de uma óptica newtoniana e a eletrostática desperdiçando a maior parte do tempo destinado a eletricidade e eletromagnetismo na 3ª séries.

Além disso, o ensino da Física tem de construir um entendimento que possibilite ver a Física como uma ciência sempre em desenvolvimento, que pode emergir do caos para a ordem e, assim, inspirado na auto-organização desenvolva metodologias que dêem espaço à criatividade e não à descoberta.

Esta visão do ensino é mais coerente com aquela baseada no tipo de sistema que caracteriza o ser humano: um sistema aberto que troca energia e matéria com o meio, diferentemente da noção de sistema fechado proposto pela termodinâmica de orientação mecanicista. A visão de sistema aberto é intelectualmente diferente, lembra Doll (1993:77): *“Sua visão intelectual baseia-se não na certeza positivista e sim na dúvida pragmática, a dúvida que vem de qualquer decisão que não se baseia em temas metanarrativos, mas na experiência humana e na história”*.

Experiências humanas, onde a predição e o controle são a exceção e não a regra. Onde as encruzilhadas em que fazemos nossas opções possíveis não se encaixam em equações lineares, se parecem mais com as bifurcações sucessivas de um sistema distante do equilíbrio<sup>1</sup> A vida humana é muito mais um fenômeno de irreversibilidade do que de

---

<sup>1</sup> A Física do não equilíbrio estuda os processos dissipativos, que levam em conta uma flecha do tempo unidirecional, que exprime a irreversibilidade de uma infinidade de fenômenos dentre eles a vida dos organismos vivos que nascem, se desenvolvem e morrem, sendo improvável a sua retroatividade. Porém, dessa finitude emerge nova vida. Isso confere a entropia clássica um novo caráter. o da auto-organização: há uma nova ordem que emerge da desordem.

simetria, é muito mais um turbilhão, um caos do que algo previsível. Mas é precisamente na ocorrência de processos irreversíveis distantes do equilíbrio, sugere Prigogine, que a natureza, (inclusive a natureza humana) exhibe a sua marca: a criatividade para se auto-organizar, identificando no caos uma nova ordem. Escreve o próprio Prigogine ( 1996:74):

“A atividade humana criativa e inovadora não é estranha a natureza. Podemos considerá-la uma amplificação e uma intensificação de traços já presentes no mundo físico e que a descoberta dos processos longe do equilíbrio nos ensinou a decifrar”.

Por fim, esse novo entendimento pode nos levar a uma nova racionalidade que não se detém apenas na resolução de problemas repetitivos mas também na construção e estruturação de problemas mais complexos, cuja solução tem de ser inventada com a razão, a emoção, a intuição, usando analogias, criando metáforas, formas de conhecimento que a

racionalidade moderna abortou.

#### 4. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

As pegadas que a ciência moderna deixou no âmago da civilização ocidental ainda estão longe de se recolherem para dentro de seus limites. O culto à dualidade corpo/alma, matéria/espírito, razão/emoção, sujeito/objeto, entre tantas outras continuam produzindo cisões e impedindo os humanos de se sentirem como inteiros. É como se num seletor de frequências estivessem sempre optando por se conectar a um canal ou outro e, ao optar por um sentem o vazio que o outro lhes deixa. Quase sempre na forma de culpa, sem saber que de fato, cada uma destas dualidades expressa idéias complementares de uma mesma realidade. Semelhante ao que ensina o princípio da complementaridade de Bohr, quando se refere à dualidade onda/partícula, matéria /energia.

O mito da neutralidade e o absolutismo científico são outra marca. Os cientistas não tem responsabilidade pelos seus construtos que têm *status* de verdades absolutas. Eles estão acima de interesses e ideologias. O conhecimento científico sufoca o saber que emerge do espaço de convivência, onde segundo Lévy (1998: 121) “(...) *o ser humano organiza ou reorganiza sua relação consigo mesmo, com seus semelhantes, com as coisas, com os signos, com o cosmo(...)*”.

A ciência como um todo e a técnica, neste contexto, são isentas, como se elas não fossem a materialidade dos sonhos e das intenções que as precedem. Não se trata de colocar sob suspeitas toda a extraordinária produção tecnológica que produziu o espaço-tempo tal, como se concebe atualmente, e que, citando outra vez Lévy (1993: 15), decorre “(...) *de todo um agenciamento técnico que compreende os relógios, as vias de comunicação e transporte, os procedimentos de cartografia e de impressão, etc*”. Deseja-se, apenas, reafirmar a necessidade de que a ética nas ciências também deve ser aquela cujo fundamento é “*o vínculo do humano com o humano*” e lembrar as palavras de Maturana (1995:264): “*Não é saber que a bomba mata, e sim o que queremos fazer com a bomba que determina se a usaremos ou não*”.

A realidade objetiva, autônoma, com características próprias, que se apresenta para quem quiser dela tomar conhecimento, é outra construção que demandará muito trabalho para se desfazer. Dela decorre que o mundo está dado e se os humanos não fossem tão ingênuos poderiam conhecer os seus limites. Não há nada que possa ser feito, a não ser ficar atento para não perder nenhum detalhe de uma realidade que está programada para acontecer.

A Nova Física trouxe grandes argumentos para desfazer esse mal entendido. A matéria exhibe sua face onda ou partícula, dependendo daquilo que se decide 'observar', relembrando Capra referindo-se às propriedades de um elétron (1982:81): *“se formulo uma pergunta sobre a partícula, ele me dá uma resposta sobre a partícula; se faço uma pergunta sobre a onda, ele me dá uma resposta sobre a onda”*. Suas propriedades não são independentes do observador.

As contribuições de Maturana e Varela também vão nessa direção. Para eles as propriedades do elétron seriam configurações que se adequam às estruturas de quem conhece. Suas características lhe são inferidas pelo ato da cognição.

A educação em todas as suas dimensões está tão impregnada de elementos reducionistas que a ela estes se apresentam como naturais. Bastaria, no entanto, prestar atenção ao que é feito em volta e exercitar a capacidade reflexiva para perceber a fragilidade de seus argumentos. Estes têm de ser contrapostos aos argumentos emergentes (ainda que para as novas ciências já não sejam nenhuma novidade) que incluem o pensamento holográfico, auto-organizativo e criativo.

Educar com esses novos valores significa educar para a responsabilidade e autonomia para cada um fazer seu destino junto com aqueles, como diz Maturana, com quem se deseja configurar um mundo. Então, não caberão mais desculpas para acreditar que as injustiças socioeconômicas e todas as mazelas delas decorrentes são obras de algum determinismo transcendental. Os humanos fizeram assim e se quiserem poderão fazer diferente. Não uns pelos outros - cada um com os outros.

Elevar a auto-estima das pessoas, dizer-lhes que fazer é mais fácil do que descobrir, auxiliá-los a entender e sentir que o potencial criativo é inerente a toda natureza,

e ainda mais à natureza humana, é tarefa de um 'educar para a liberdade' - de **todos**, o que pressupõe educar na diversidade para a diversidade. Isto é o que pode ser entendido das proposições construcionistas ou construtivistas. O ser humano constrói a si próprio, cria o seu tempo e o seu espaço. Esta é a primeira e mais importante de todas as lições e tem de estar implicada em todas as outras.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN, Hugo. **Reencantar a educação**: rumo a sociedade aprendente. Petrópolis: Vozes, 1998.
- BOHM, David. **A totalidade e a ordem implicada**. São Paulo: Cultrix, 1980.
- CAPRA, Fritjof. **A Teia da Vida**. São Paulo: Cultrix, 1996.
- CAPRA, Fritjof. **Sabedoria Incomum**. São Paulo: Cultrix, 1995.
- CAPRA, Fritjof. **O Tao da Física**. São Paulo: Cultrix, 1983.
- CAPRA, Fritjof. **O Ponto de Mutação**. São Paulo: Cultrix, 1982.
- CHAUI, Marilena. Filosofia Moderna. In OLIVEIRA, A. M. et. all. **Primeira Filosofia** : aspectos da história da filosofia. São Paulo: Brasiliense, 1984
- DESCARTES, R. "**Discurso do Método**". In: Descartes. São Paulo: Abril Cultural, 1973. Col. Os Pensadores.
- DOLL, William. **Currículo**: uma perspectiva pós-moderna. Porto Alegre: A. Médicas, 1993.
- ETGES, N. J. Ciência, Interdisciplinaridade e Educação. In. JANTSCH, A.J. e BIANCHETTI. L (orgs). **Interdisciplinaridade**: Para além da Filosofia do sujeito. Petrópolis: Vozes. 1995.
- GARDNER, Howard. **A Nova Ciência da Mente**. São Paulo: Edusp, 1995
- GLEISER, Marcelo. **A Dança do Universo**: Dos Mitos da Criação ao big-ban. RJ: Companhia das Letras, 1997.
- HEISENBERG, Werner. **Física e Filosofia**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1981.

- LASZO, Ervin. **Conexão Cósmica**: Guia pessoal para a emergente visão da ciência. RJ: Vozes, 1999.
- LÉVY, P. **A inteligência coletiva**. São Paulo: Edições Loyola. 1998.
- LÉVY, P. **As Tecnologias da Inteligência**: O futuro do pensamento humano na era da informática. Ed. 34, 1993.
- MATURANA, H. Ontologia da realidade. In: MAGRO, Cristina, VAZ, Nelson. e GRACIANO, Mirian. (orgs). **Ontologia da realidade**. Belo Horizonte: UFMG, 1997.
- MATURANA, H. e VARELA, F. **A Árvore do conhecimento**. São Paulo: Editorial Psy II, 1995.
- MATURANA, Humberto. **Emoções e linguagem na educação e na política**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999.
- MONTEIRO, M. A. A evolução da Física e sua relação com o arcabouço conceitual do intelecto ocidental. **Revista do ensino de física**, S.P., Vol. 12, p. 159, dez.1990.
- MORAES, C.M. A revolução científica moderna. In HÜHNE, L.M. (ORGS). **Fazer Filosofia**. [ S. l. : s.n. , 19-?]
- NEWTON, Isaac. "**Princípios matemáticos de filosofia natural**". In: Newton. São Paulo: Abril Cultural, 1979. Col. Os Pensadores.
- NEWTON, I. "**Óptica**". In: Newton. São Paulo: Abril Cultural, 1979. Col. Os Pensadores.
- OS PENSADORES. **Descartes**: A vida é um sonho. São Paulo: Nova Cultural, 1999.
- PROGOGINE, I. **O fim das certezas**. São Paulo: Unesp, 1996
- ROBILLOTTA, M.R. **Construção e Realidade no Ensino de Física**. São Paulo:1985.
- SCHEMBERG, Mário. **Pensando a Física**. São Paulo: Nova Stella, 1990.
- ROBILLOTTA, M. B. e BABICHAK, C. C. Definições e conceitos em Física. In: **Cadernos cedex**Vol., São Paulo, Vol.41, pp. 35-45. 1997
- PIAGET, J. **Psicologia e epistemologia**: Por uma teoria do conhecimento. RJ: Forense, 1973.

## 6. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

FEYMANN, R. **Física em seis lições**. RJ: Ediouro, 1995.

HERNANDES, Fernando. **Transgressão e Mudança na Educação**: os projetos de trabalho. P. Alegre: Artes Médicas, 1998.

MORIN, Edgar, **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa, Instituto Piaget.

PETRÁGLIA, I. C. **Edgar Morin: a educação e a complexidade do ser e do saber**. Petrópolis: Vozes, 1998.

SCHÖN, Donald. Formar professores como profissionais reflexivos. In: **Os professores e sua formação**. NÓVOA, A. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Mestranda: Neila S. Rupolo

Este questionário tem a finalidade de fornecer dados que servirão de subsídios para uma dissertação de Mestrado.

1-No seu entendimento, qual das metáforas seguintes, é mais apropriada para representar 'como acontece o aprender':

a ( ) Metáfora cérebro/computador: o cérebro é um processador de informações. A informação está disponível no mundo e é captada por nossos sentidos e processada pelo cérebro. Assim o conhecimento é uma representação da realidade. Aprender significa 'captar' uma realidade que existe independente de quem aprende.

b ( ) Metáfora do modelo de redes conexionais: o conhecimento emerge de conexões armazenadas na memória que contêm os múltiplos aspectos que constituem os eventos e a relação entre eles. Quando alguém aprende algo, encontrar a conexão certa para produzir padrões que possam ser recriados posteriormente, a partir de conexões pré existentes. O conhecimento é uma representação da realidade porém não uma cópia armazenada e sim uma representação mais dinâmica que se organiza de acordo com as circunstâncias.

c) ( ) Metáfora do cérebro/mente como processo que se auto-organiza: O conhecimento emerge das práticas humanas recorrentes. Ele não existe antes do ato de conhecer, não é substancial, ou seja algo que tem significado por si só e possa ser transmitido aos demais. O conhecimento não é uma representação da realidade, ele antes cria a realidade. Quando alguém aprende há uma auto-organização neural que reconfigura não apenas o cérebro/mente mas, toda a corporeidade.

D) \_\_\_\_\_ Outra \_\_\_\_\_ metáfora: \_\_\_\_\_

2-No exercício da sua prática docente você se considera um/uma:

a ( ) Construtivista      b ( ) Apriorista      c ( ) Empirista      d)Outro: \_\_\_\_\_

Mestranda: Neila S. Rupolo