

## 4 UMA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA EM REDE

Em vista dos enredamentos analisados no Capítulo 2, a quântica pode cumprir papel privilegiado no processo de ensino e aprendizagem, sendo, por exemplo, mais significativo iniciar a 1ª aula do 1º ano da escola básica com discussões sobre o efeito fotoelétrico e outras fenomenologias do mundo quântico, do que através da tradicional apresentação da cinemática do ponto material. Esta é a premissa que contextualiza as discussões realizadas neste capítulo acerca da concepção do conhecimento como rede de significados e suas implicações educacionais.

Sendo rede, o conhecimento se assemelha muito mais com a multiplicidade de caminhos dos hipertextos e rizomas do que com a linearidade dos textos ou o crescimento verticalizado e enraizado das árvores. A complexidade da aprendizagem indica, assim, a necessidade de que o professor atue mais no sentido de permitir o traçado de percursos alternativos por seus alunos do que em absolutizar o encadeamento de pré-requisitos. Nesse sentido, tem mais eficácia a ação docente que procura mediar relações, tecer a rede de significados, mapear os significados relevantes, narrar o conteúdo a ser trabalhado e avaliar qualitativa e processualmente. Vale também lembrar que em todo esse processo, as tecnologias da informação e comunicação compõem importante ferramenta didático-pedagógica, com o uso de simuladores de experimentos ou modelos científicos e as atividades interativas potencializadas por ambientes virtuais promovendo novas possibilidades de aprendizagem.

Em meio aos argumentos em defesa deste conjunto de pressupostos teóricos, nas páginas desse capítulo já se anunciarão algumas das práticas na formação docente a serem mais bem descritas e analisadas no Capítulo 5, com especial destaque para alguns exemplos de sequências didáticas que promovem conexões entre diferentes campos da física ou áreas. Longe de exemplos de excelência didática, a ideia é viabilizar possibilidades concretas no “tecer quântico” da rede de conhecimentos, de forma a fortalecer a argumentação de que se faz hoje necessário não apenas inserir a quântica no currículo da escola média, conclusão que, embora não efetivamente refletida em sala de aula, já se encontra relativamente consensuada no meio acadêmico: é necessário nela apostar, tanto no ensino básico como no superior, como veículo facilitador da tecedura da rede conceitual.

#### 4.1 HIPERTEXTOS, RIZOMAS E COMPLEXIDADE

O que é carga elétrica? É certo que existam múltiplas respostas a esta pergunta, cada uma delas contextualizada pela rede de significados própria de cada pessoa. No mapeamento apresentado na figura 44 (SALÉM, 1986), por exemplo, vê-se uma visão multifacetada da eletrostática, ficando explícitas diversas relações da carga elétrica com outros conceitos, tais como potencial, energia potencial, força e campo elétricos.

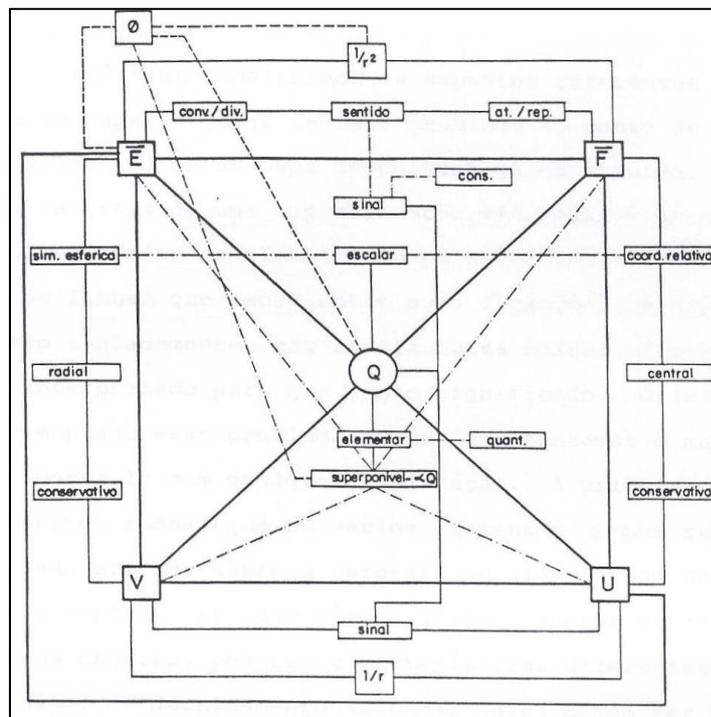


Figura 44 - Mapa conceitual da eletrostática (SALÉM, 1986, p.66).

Mesmo com base nessa única imagem, uma série de narrativas pode ser elaborada, cada qual retratando a escolha de um percurso: do escalar para o vetorial e vice-versa (vertical), da carga isolada para a interação entre cargas e vice-versa (horizontal), da carga elétrica e suas propriedades para as relações entre as demais grandezas físicas e vice-versa (radial). As possibilidades se ampliam ainda mais se imaginarmos um mapa conceitual de todo o eletromagnetismo, com a eletrostática constituindo apenas um de seus possíveis recortes.

Longe de um aspecto restrito a mapas conceituais estruturados por pesquisas acadêmicas, o estabelecimento de feixes de relações é um processo intrínseco ao conhecimento e aprendizado em todos os níveis de maturidade e idade. Independentemente do

professor e do aluno terem ou não consciência disso, ao aprenderem-se conceitos como o de carga elétrica, realizam-se conexões com uma diversidade de outros conceitos, com o conhecimento podendo, assim, ser concebido enquanto feixe de relações entre os nós de uma rede de significados:

- compreender é aprender o significado;
- aprender o significado de um objeto ou de um acontecimento é vê-lo em suas relações com outros objetos ou acontecimentos;
- os significados constituem, pois, feixes de relações;
- as relações entrecruzam-se, articulam-se em teias, em redes, construídas social e individualmente, e em permanente estado de atualização;
- em ambos os níveis - individual e social - a ideia de conhecer assemelha-se à de enredar.

(MACHADO, 1995, p.138).

Rede, aliás, que já existe, com maior ou menor densidade de nós e conexões, antes do aprendizado, com o aluno não sendo uma mente vazia ao início de uma aula. É mesmo provável que nela já existam prévias confusões conceituais, associações equivocadas entre nós que poderão se constituir como um obstáculo para o aprendizado.

Ainda que avaliações diagnósticas possam dar importantes pistas a esse respeito, não há, porém, meios de reconhecer a rede de significados pré-existente em cada aluno, sendo este um primeiro problema para o professor. Mas há outro problema ainda maior associado ao fato de que não se pode ensinar tudo ao mesmo tempo. Assim como a linguagem se constitui como um encadeamento lógico de palavras, uma aula, um curso e mesmo um currículo precisam seguir algum encadeamento lógico pré-programado. Mesmo que se permitam ajustes ao longo do processo, o professor estará sempre fazendo a opção de seguir uma dentre muitas sequências possíveis.

Uma dentre muitas possíveis. Não obstante, os campos de conhecimento historicamente construídos pela física costumam ser ensinados na escola média através de uma única sequência: mecânica, no 1º ano, óptica, física térmica e ondas, no 2º ano e eletromagnetismo, no 3º ano. Cada um desses campos tem, por sua vez, suas subdivisões: cinemática e dinâmica, óptica geométrica e óptica física, termologia e termodinâmica, oscilações e ondas mecânicas, eletrostática, eletrodinâmica e eletromagnetismo. Quando abordada, a física moderna e contemporânea não se exime dessa lógica, com a teoria da relatividade geralmente precedendo a exposição da física quântica.

Não raro, argumentos quanto ao excesso de conteúdo, ao pequeno número de aulas e à dificuldade de aprendizagem do aluno são utilizados para justificar que a abordagem se restrinja aos primeiros itens destas subdivisões ou mesmo a um de seus fragmentos, como é o

caso dos conhecidos *movimento retilíneo uniforme* (MRU) e *movimento retilíneo uniformemente variado* (MRUV), tomados, algumas vezes, como único assunto de todo o 1º ano do ensino médio.

Se assim é na escola média, no ensino superior a fragmentação costuma ser ainda maior, com disciplinas semestrais (Física 1, 2, 3, 4, etc.) consolidando a ideia do “etapismo” para a escalada de uma pirâmide do saber e com cada departamento se especializando em um ou outro campo de conhecimentos da física.

Em nosso cotidiano, no entanto, essa fragmentação não ocorre. Tomemos como exemplo o primeiro parágrafo do texto apresentado no item 2.3 (página 38) que retrata o início de um dia de trabalho de uma pessoa, desde seu despertar:

Ela acorda com um relógio despertador, que mede o tempo pela contagem de pulsações de um cristal de quartzo, feita por um chip eletrônico, que é um microcircuito integrado a um cristal semiconductor. Vai direto ao banheiro, onde ralos, pia e vaso sanitário são providos de sifões hidráulicos, para reter odores. Toma um banho, com água que vem de um reservatório dotado de boia e registro e que passa por um chuveiro elétrico, um resistor sob uma tensão de 220 V, mas que, no apartamento vizinho, circula por um aquecedor de passagem, um tubo metálico sobre um queimador a gás. (MENEZES et al., 2003, p. 5).

A qual parte da física este parágrafo pode ser identificado? Praticamente a todos eles, ou, a depender do tratamento dado, a nenhum, pois a cinemática do ponto material em MRU ou MRUV ou o estudo das forças trocadas entre cargas elétricas estrategicamente posicionadas em lugares geométricos bem escolhidos têm muito pouco a ver com o contexto cotidiano.

Não se trata aqui de negar a necessidade de um sólido aprendizado de conceitos físicos ou uma defesa exacerbada do pragmatismo de somente se ater ao aprendizado daquilo que tenha alguma utilidade em nosso cotidiano. Trata-se, isso sim, de não absolutizar aquela necessidade e não sectarizar esse pragmatismo. Afinal, a própria ciência não se desenvolve de forma linear, primeiramente forjando os conceitos para, então, aplicá-los na explicação fenomenológica ou no desenvolvimento de tecnologias. O desenvolvimento da física quântica, por exemplo, seguiu caminho justamente oposto, com diversas fenomenologias (corpo negro, efeito fotoelétrico, raios espectrais, raios X, radiatividade) atuando como um turbilhão impulsionador da elaboração das primeiras modelagens que, anos mais tarde, levariam ao surgimento de uma verdadeira teoria quântica.

A multiplicidade de caminhos que podem ser trilhados ao longo de um processo de ensino e aprendizagem, ressoa com a flexibilidade inerente a um hipertexto, tal qual caracterizado por Lévy (1993, 1999) em sua identificação dos três polos das tecnologias da

comunicação: a oralidade, a escrita e a informática. Ao “navegar” pela *web*, o leitor toma conhecimento de textos e imagens previamente registrados pelo respectivo autor, uma ação que se aproxima do polo da escrita, forma de comunicação que possibilita o afastamento temporal entre o transmissor e o receptor de uma mensagem. No entanto, através dos múltiplos *links*, o leitor escolhe as partes que lerá de cada texto de acordo com seu próprio interesse, se aproximando, assim, da inerente contextualização que caracterizava as sociedades orais.

Portanto, ao percorrer um hipertexto, o leitor visualiza uma combinação de textos elaborada de acordo com seu contexto e acaba por construir um novo texto, pois tudo ocorre como se “*o autor de um hipertexto constituísse uma matriz de textos potenciais, o papel dos navegantes sendo o de realizar alguns desses textos colocando em jogo, cada qual à sua maneira, a combinatória entre os nós*” (LÉVY, 1999, p.57).

Inferindo que o hipertexto talvez seja “*uma metáfora válida para todas as esferas da realidade em que significações estejam em jogo*”, Lévy (1993) reconhece seis características a ele inerentes: *metamorfose, heterogeneidade, multiplicidade e encaixe das escalas, exterioridade, topologia e mobilidade dos centros* (ver quadro 3).

Significados como os de onda e partícula constituem-se nítidos exemplos da permanente *metamorfose* presente no hipertexto da física. Classicamente independentes, tais conceitos se associam de forma inseparável na intimidade quântica da matéria. Não se trata de extinguir os nós “onda” e “partícula” da rede: no efeito fotoelétrico a luz se comporta, de fato, como partícula; ao passar por entre átomos de quartzo, o elétron se comporta, de fato, como onda. A dualidade onda-partícula inaugura, isto sim, novas pontes entre aqueles dois conceitos, além de acrescentar novos nós à rede tal qual o próprio significado dessa dualidade.

Ao permitir a emergência de técnicas como a microscopia eletrônica, ou do sensoriamento fotoelétrico, o comportamento dual da matéria também se manifesta como exemplo de *heterogeneidade* hipertextual, ultrapassando os limites da física para se entrelaçar com áreas como a biologia, a química e a engenharia de materiais. Em vez da rede mais global, pode-se ater a apenas um de seus elementos para se perceber a *multiplicidade* e o *encaixe de escalas*: diretamente vinculado aos nós “partícula” e “onda” pode-se imaginar o nó “átomo” que encerra dentro de si vasta rede de significados tais como elétrons, núcleo, prótons, nêutrons e níveis quânticos de energia. O reconhecimento da dualidade onda-partícula não emergiu por ordem de um motor interno à própria física, mas sim, como fruto de evidências de início desconexas e por vezes a ela *exteriores*: antecedente à interpretação de Einstein para o efeito fotoelétrico, a dedicação de Planck ao problema do corpo negro não se

deu por mero acaso, haja vista o profundo interesse da metalurgia daquela época no controle da temperatura de fornos.

Pelo exposto nos dois parágrafos anteriores, já se infere a relação entre os princípios de *topologia* e de *mobilidade dos centros* e o recorte do conhecimento físico aqui explorado. Qual a distância entre os nós “onda” e “partícula”? Infinita se não se fizerem presentes *links* entre estes dois comportamentos da matéria. Distância nula quando considerados unidos por meio do conceito onda-partícula. E seriam centrais ou periféricas as posições ocupadas por estes dois nós no hipertexto da física? A depender do foco de observação ou do momento histórico pode ser tanto uma coisa como a outra.

Quadro 3 - Características centrais de um hipertexto de acordo com Lévy (1993).

Características	Descrição
Princípio de metamorfose	A rede hipertextual está em constante construção e renegociação. Ela pode permanecer estável durante um certo tempo, mas esta estabilidade é em si mesma fruto de um trabalho. Sua extensão, sua composição e seu desenho estão permanentemente em jogo para os atores envolvidos, sejam eles humanos, palavras, imagens, traços de imagens ou de contexto, objetos técnicos, componentes destes objetos, etc.
Princípio de heterogeneidade	Os nós e as conexões de uma rede hipertextual são heterogêneos. Na memória serão encontradas imagens, sons, palavras, diversas sensações, modelos, etc., e as conexões serão lógicas, afetivas, etc. Na comunicação, as mensagens serão multimídias, multimodais; analógicas, digitais, etc. O processo sociotécnico colocará em jogo pessoas, grupos, artefatos, forças naturais de todos os tamanhos, com todos os tipos de associações que pudermos imaginar entre estes elementos.
Princípio de multiplicidade e de encaixe das escalas	O hipertexto se organiza em um modo "fractal", ou seja, qualquer nó ou conexão, quando analisado, pode revelar-se como sendo composto por toda uma rede, e assim por diante, indefinidamente, ao longo da escala dos graus de precisão. Em algumas circunstâncias críticas, há efeitos que podem propagar-se de uma escala a outra: a interpretação de uma vírgula em um texto (elemento de uma microrrede de documentos), caso se trate de um tratado internacional, pode repercutir na vida de milhões de pessoas (na escala da macrorrede social).
Princípio de exterioridade	A rede não possui unidade orgânica, nem motor interno. Seu crescimento e sua diminuição, sua composição e sua recomposição permanente dependem de um exterior indeterminado: adição de novos elementos, conexões com outras redes, excitação de elementos terminais (captadores), etc. Por exemplo, para a rede semântica de uma pessoa escutando um discurso, a dinâmica dos estados de ativação resulta de uma fonte externa de palavras e imagens. Na constituição da rede sociotécnica intervêm o tempo todo elementos novos que não lhe pertenciam no instante anterior: elétrons, micróbios, raios X, macromoléculas, etc.
Princípio de topologia	Nos hipertextos, tudo funciona por proximidade, por vizinhança. Neles, o curso dos acontecimentos é uma questão de topologia, de caminhos. Não há espaço universal homogêneo onde haja forças de ligação e separação, onde as mensagens poderiam circular livremente. Tudo que se desloca deve utilizar-se da rede hipertextual tal como ela se encontra, ou então será obrigado a modificá-la. A rede não está no espaço, ela é o espaço.
Princípio de mobilidade dos centros	A rede não tem centro, ou melhor, possui permanentemente diversos centros que são como pontas luminosas perpetuamente móveis, saltando de um nó a outro, trazendo ao redor de si uma ramificação infinita de pequenas raízes, de rizomas, finas linhas brancas esboçando por um instante um mapa qualquer com detalhes delicados, e depois correndo para desenhar mais à frente outras paisagens do sentido.

FONTE: LÉVY, 1993, p. 15-16.

Este breve ensaio de aplicação dos princípios enunciados por Lévy na análise da física enquanto um hipertexto, tomando-se como protagonista o comportamento dual da matéria, pode ser estendido não apenas para outros percursos internos à física ou a outras áreas de conhecimento, como também ao contexto dos processos de ensino e aprendizagem. Aprender um novo significado é incorporá-lo a uma rede de significados pré-existente, que modificada topologicamente por tal incremento, permite ressignificar conceitos anteriormente desconexos ou previamente conectados de forma equivocada. Como em toda rede, o estabelecimento de uma única nova conexão ou a ruptura de outra pré-existente, bem como a inclusão ou exclusão de um determinado nó, pode provocar alterações significativas no fluxo de informações permitido pela rede de significados própria de cada aluno.

Consciente dessa possibilidade, cabe ao professor refletir acerca dos diversos caminhos que podem ser trilhados para vencer eventuais dificuldades de aprendizagem. Em um discurso ou uma aula não é possível seguir simultaneamente inúmeros caminhos, mas é possível preparar-se para desvios de rotas em caso de se perceberem nós decisivos sem conexão direta. Além disso, em uma escala de tempo maior, como ao longo de uma sequência de aulas ou de um curso ou ano letivo, é também possível apostar em diferentes caminhos trilhados por cada aprendiz, com o professor planejando muito mais orientações de possíveis percursos do que aulas baseadas unicamente em sua própria rede de significados.

Outra metáfora que tem se difundido como representação do conhecimento é a do rizoma, espécie de caule superficial ou subterrâneo que cresce paralelamente ao solo e de cujas gemas, distribuídas ao longo de sua extensão, surgem os brotos de plantas como a grama e a cana de açúcar, que se desenvolvem como tufos alimentados pelo trânsito de nutrientes possibilitado pelas interconexões do rizoma. Cortado, o rizoma continua a se reproduzir originando novas gemas e brotos que se espalham pelo solo e conferem resistência ao vegetal. Diferentemente de uma árvore, não há uma raiz a ser cortada a fim de dar cabo ao rizoma.

É justamente explorando diferenças entre árvores e rizomas que Deleuze e Guatarri (2008) cunharam a metáfora do conhecimento como um rizoma caracterizado pelos princípios da *conexão*, *heterogeneidade*, *multiplicidade*, *ruptura a-significante*, *cartografia* e *decalcomania*, cuja síntese, conforme elaboração de Gallo (2000), é exposta no quadro 4.

Quadro 4 - Características centrais atribuídas ao rizoma por Deleuze e Guatarri (2008), conforme síntese elaborada por Gallo (2000).

Características	Descrição
Princípio de conexão	Qualquer ponto de um rizoma pode ser/estar conectado a qualquer outro; no paradigma arbóreo, as relações entre pontos precisam ser sempre mediatizadas obedecendo a uma determinada hierarquia e seguindo uma ordem intrínseca.
Princípio de heterogeneidade	Dado que qualquer conexão é possível, o rizoma rege-se pela heterogeneidade; enquanto que na árvore a hierarquia das relações leva a uma homogeneização das mesmas, no rizoma isso não acontece.
Princípio de multiplicidade	O rizoma é sempre multiplicidade que não pode ser reduzida à unidade; uma árvore é uma multiplicidade de elementos que pode ser "reduzida" ao ser completo e único da árvore. O mesmo não acontece com o rizoma, que não possui uma unidade que sirva de pivô para uma objetivação/subjetivação: o rizoma não é sujeito nem objeto, mas múltiplo.
Princípio de ruptura a-significante	O rizoma não pressupõe qualquer processo de significação, de hierarquização. Embora seja estratificado por linhas, sendo, assim, territorializado, organizado etc., está sempre sujeito às linhas de fuga que apontam para novas e insuspeitas direções. Embora constitua-se num mapa, como veremos a seguir, o rizoma é sempre um rascunho, um devir, uma cartografia a ser traçada sempre e novamente, a cada instante.
Princípio de cartografia	O rizoma pode ser mapeado, cartografado e tal cartografia nos mostra que ele possui entradas múltiplas; isto é, o rizoma pode ser acessado de infinitos pontos e pode daí remeter a quaisquer outros em seu território.
Princípio de decalcomania	Os mapas podem, no entanto, ser copiados, reproduzidos; colocar uma cópia sobre o mapa nem sempre garante, porém, uma sobreposição perfeita. O inverso é a novidade: colocar o mapa sobre as cópias, os rizomas sobre as árvores, possibilitando o surgimento de novos territórios, novas multiplicidades.

FONTE: (GALLO, 2000).

Importante salientar que Deleuze e Guatarri (2008) não propõem o expurgo das características arbóreas do conhecimento, nem mesmo sua oposição ou mistura com o desenvolvimento característico dos rizomas, mas, sim, a coexistência do primeiro, enquanto modelo que continua a se erigir e se entranhar, com o segundo, enquanto processo que não deixa de se alongar, romper e retomar:

[ ] Existem nós de arborescência nos rizomas, empuxos rizomáticos nas raízes. Bem mais, existem formações despóticas, de imanência e de canalização, próprias aos rizomas. Há deformações anárquicas no sistema transcendente das árvores; raízes aéreas e hastes subterrâneas. O que conta é que a árvore-raiz e o rizoma-canal não se opõem como dois modelos: um age como modelo e como decalque transcendentem, mesmo que engendre suas próprias fugas; o outro age como processo imanente que reverte o modelo e esboça um mapa, mesmo que constitua suas próprias hierarquias, e inclusive ele suscite um canal despótico. Não se trata de tal ou qual lugar sobre a terra, nem de tal momento na história, ainda menos de tal ou qual categoria no espírito. Trata-se do modelo que não para de se erigir e de se entranhar, e do processo que não para de se alongar, de romper-se e de retomar. Nem outro nem novo dualismo. (DELEUZE; GUATARRI, 2008, p. 30-31).

Tal qual há pouco desenvolvido para os princípios hipertextuais de Lévy, é possível explorar a aplicação dos aportes filosóficos de Deleuze e Guatari à Física, seja focando em fenômenos específicos como a dualidade onda-partícula, seja abrangendo a física como um todo. Escolhendo este último percurso, aquela combinação de mapa conceitual e roteiro histórico apresentada no item 2.1 (figura 2, página 20) constitui-se em apropriado material de trabalho.

Enraizada na mecânica e na termodinâmica, a física se assemelha a uma árvore; entrelaçada pela quântica lembra o rizoma. É difícil imaginar evolução histórica alternativa que levasse a física diretamente ao estudo das partículas e fenômenos nucleares sem antes passar pelo desenvolvimento da mecânica e da termodinâmica. Mas é exequível imaginar diferentes percursos pelos quais a teoria quântica poderia ter brotado.

Não há pretensão aqui de explorar em maior profundidade as metáforas do hipertexto e do rizoma. Muito menos em confrontá-las, haja vista a ponderada análise de Oliveira (2012) quanto aos diferentes contextos com que foram formuladas:

A relação entre Deleuze e Lévy não pode ser levada às últimas consequências, na medida em que Deleuze não tem como grande referência em seu pensamento o problema da informática e mesmo quando trata dela, o faz de um ponto de vista crítico, considerando-a ainda como uma atividade modelada sob a estrutura arbórea, não rizomática, onde o computador atua em conformidade com um centro de controle, com um ponto de convergência, com uma placa-mãe geradora. De outro lado, Lévy, apesar de crer nas possibilidades de um tipo de conhecimento rizomático, invoca, em sua obra *Cibercultura*, o modelo da árvore como uma imagem cartográfica adequada ao novo espaço do saber que propõe – embora as determinações dessa imagem sejam ambíguas, ora convergindo para a imagem clássica do pensamento, ora oscilando para a multiplicidade do rizoma. (OLIVEIRA, 2012).

De qualquer maneira, tal qual analisado por este mesmo autor, entendo que a associação entre tais metáforas é permitida na medida em que “*confluem para uma perspectiva do conhecimento que não ignore a multiplicidade, a descentralização, a conexão direta de saberes e a criatividade*” (OLIVEIRA, 2012).

Todavia, a fim de caminhar superficialmente pelas trilhas da teoria da complexidade, vale também registrar a crítica de Demo (2002) à associação direta, lado a lado, entre estas duas metáforas, cabendo somente ao rizoma a incorporação da dinâmica não linear dos sistemas complexos:

Na coluna do rizoma, a complexidade não linear parece clarividente. Pode-se perceber a unidade de contrários de algo, ao mesmo tempo, conectado e heterogêneo, que lembra a formação da consciência: sentido de unidade em meio a componentes altamente diversificados. Não há dono, centro, ponto obrigatório de referência, mas dinâmica processual contínua e reconstrutiva, que permite, ademais,

capacidade de regeneração, ao lado da entropia inevitável. Nada é definitivo ou acabado, dentro da dinâmica desconstrutiva e reconstrutiva própria. Embora a ideia da decalcomania seja em si linear, quer expressar aqui sua capacidade de auto-reconstrução aberta. Na coluna do hipertexto, parece-me imprópria qualquer alegação complexa não linear, a não ser no plano do usuário. Este, sim, usando a base tecnológica, pode imprimir ao hipertexto virtudes criativas, à medida que o interpreta, modifica, refaz, apaga ou recria. O hipertexto como tal, entretanto é peça linear, estruturado por algoritmos sequenciais, cuja confiabilidade de funcionamento não lhe é menos essencial. Parte dos princípios arrolados para o hipertexto, não são do hipertexto, mas do usuário que manuseia com liberdade crescente. (DEMO, 2002, p.171-172).

Com tal opinião, Demo (2002) não pretende negar a relevância do papel do hipertexto e de toda a informática no contexto educacional. Pelo contrário, declara apostar em seu potencial. Alerta, porém, quanto ao prejuízo de se acreditar que o simples fato de se lidar com tais instrumentos seja garantia de aprendizagem:

Assim, lidar com hipertexto ou hipermídia está longe de garantir aprendizagem – pode ser procedimento reprodutivo reles, como muitas vezes de fato é. Entretanto, o abuso não pode comprometer a possibilidade infinita de uso reconstrutivo político. Estou criticando apenas o mau uso da interatividade, mas aposto em sua potencialidade abertamente. (DEMO, 2002, p.185).

Tais posicionamentos são apresentados por Demo no contexto de sua proposição em definir o conceito de complexidade a partir da identificação de sete características que lhe são inerentes: (a) dinâmica, (b) não linear, (c) reconstrutiva, (d) processo dialético evolutivo, (e) irreversível, (f) intensidade, (g) ambiguidade/ambivalência.

A *dinâmica* impõe considerar a complexidade como “*campo de forças contrárias, em que eventual estabilidade é sempre rearranjo provisório*” (DEMO, 2002, p.13). A *não linearidade* implica reconhecer que nas totalidades complexas “*a decomposição das partes desconstrói o todo, de tal sorte que é impraticável, a partir das partes, refazer o mesmo todo*” (DEMO, 2002, p.16): um avião, mesmo sendo algo complicado é linear, podendo ser desmontado e remontado; o corpo humano é não linear, não podendo ser recomposto uma vez separado em partes.

Sendo *reconstrutiva*, a complexidade “*não é propriamente reprodutiva ou replicativa, ou apenas recorrente*”, mas, sim, vai se “*reconfigurando, conforme o fluxo do tempo e as circunstâncias encontradas*” (DEMO, 2002, p.17): a vida surgiu de processo reconstrutivo da matéria, não se constituindo como matéria nova, mas como reorganização da matéria pré-existente. Sendo *processo dialético evolutivo*, a complexidade admite aprendizagem, aspecto alheio ao computador que não sabe errar.

Caracterizar como *irreversível* indica que ser complexo é estar sujeito à ação temporal, sendo a volta ao passado tão impossível quanto o avanço, sem mudanças, ao futuro, com todo produto sendo também processo, sempre incompleto e contendo individualidade: apesar de suas igualdades fisiológicas, nossos cérebros diferenciam-se profundamente porque “*a evolução histórica implica experiências variadas no espaço e no tempo, ativação maior ou menor de certas rotas neuronais no plano fisiológico, seletividades preferenciais de motivação, e assim por diante*” (DEMO, 2002, p.25).

A *intensidade* dos fenômenos complexos “*introduz dimensões produtivas imprevisíveis e incontrolláveis, de tal sorte que toda previsão é apenas aproximação*” (DEMO, 2002, p.27): mais do que a complicação referente ao número incomensurável de componentes de um tufão, é a intensidade do fenômeno que o torna imprevisível. Sendo ambíguo tanto em sua estrutura (*ambiguidade*) quanto em seu processo (*ambivalência*), um fenômeno complexo questiona a perspectiva sistêmica de limites claros e tendencialmente intransponíveis: uma rede só é de fato dinâmica quando tem chance de desfazer-se, sendo necessário “*conceber nó que se desamarra, sobretudo que se destina a desamarrar-se*” (DEMO, 2002, p.29).

É com base no conjunto dessas características da complexidade que conhecimento e aprendizagem se definem como “*atividades humanas que expressam, de maneira exuberante, processos não lineares*” (DEMO, 2002, p.123), aspecto ainda distante do alcance das máquinas computacionais.

Ainda que um pouco mais à frente, já no contexto da problemática da avaliação da aprendizagem, o trabalho com esta definição será parcialmente estendido, muito se teria a pesquisar, sintetizar, associar e contrapor no terreno das definições e implicações da complexidade na área educacional. Sendo esta uma possível via de continuidade da presente pesquisa, o aporte de Demo (2002) foi aqui trazido não como fechamento de discussão e, sim, como sinalização tanto de sua abertura como de alerta quanto ao perigo de vislumbrar vida própria nas modernas tecnologias educacionais e, em decorrência, moderar-se a importância do papel do professor na construção de significados por seus alunos.

## 4.2 MAPA, NARRATIVA, AVALIAÇÃO E FORMAÇÃO DOCENTE

Ainda que o tópico anterior já tenha sinalizado a proposição de uma postura ativa e reflexiva por parte do professor no processo de aprendizagem de seus alunos, o foco esteve na defesa do conhecimento como um feixe de relações entre os nós de uma rede de significados. A argumentação centra-se agora nas quatro ações – mediar, tecer, mapear e fabular – identificadas por Machado (2004, p. 86) como típicas à docência, bem como na decorrente imagem da avaliação como um espectro de instrumentos facilitadores da aprendizagem.

### 4.2.1 Ideias fundamentais e mapas de relevâncias

Concepções do processo de ensino e aprendizagem vinculadas à ideia de um vazio a ser preenchido ou à absolutização da necessidade de encadeamentos de sequências lógicas de pré-requisitos restringem a ação docente à ideia de transmitir o conhecimento, sem necessidade da ação mediadora do professor. Admitindo-se, porém, que o aluno chega à aula já dotado de uma rede de significados construída ao longo de sua vida, que lhe atribui determinados interesses não necessariamente em sintonia com aquilo que o professor considera relevante a ser discutido, Machado (2004) indica que cabe ao professor construir com ele relação de permanente negociação:

Na construção dos significados, portanto, é perfeitamente natural que algumas das relações constitutivas dos nós/feixes sejam apresentadas aos alunos pelo professor. É fundamental, no entanto, que o professor, como um mediador, negocie com os alunos, convencendo-os da relevância delas. Não se pode pretender impor a percepção: é preciso negociar a abertura dos sentidos por parte dos alunos. Na escola a preocupação dominante tem sido a de ensinar a ler, escrever e contar: na verdade, é preciso ensinar a observar, a ver, a experimentar, a projetar, como há tanto tempo já registrou Leonardo da Vinci. (MACHADO, 2004, p. 91).

Nesse processo de mediação, é fundamental o uso de estratégias que aproximem interesses de estudante e professor. Citando o documento *Ensino Médio Inovador* (BRASIL, 2009), Machado (2012, vídeo 7/2) aponta o mundo do trabalho, da tecnologia, da cultura e da ciência como exemplo de possíveis eixos motivadores de tais estratégias. No contexto da presente tese, vale resgatar o livre trânsito apresentado nessa via por diversos conteúdos típicos da física quântica, tal como o amplo uso das radiações em atividades como a medicina, a indústria, a guerra, a ciência ou a arte.

Cativar o interesse é, assim, condição para que o professor consiga desenvolver sua habilidade de tecer junto a seus alunos uma ampla e densa rede de significados que será única para cada turma, conduzindo-o, então, ao problema de mapear relevâncias:

Para tirar proveito da multiplicidade de relações entre os diversos temas, é necessário mapear o que é e o que não é relevante, tendo em vista as intenções e os projetos em curso. É certo que tudo pode ser relacionado a quase tudo, mas discernir o que verdadeiramente importa é, cada vez mais, a grande questão. Nunca duas imagens, duas noções, estiveram tão umbilicalmente ligadas quanto as ideias de rede e de mapa: para não me perder em meio a tantas interconexões nas redes de significações, é imprescindível construir um mapa de relevâncias. (MACHADO, 2004, p. 92).

Portanto, não se trata mais de algo negociável, que envolva certa simetria entre as funções de discente e docente. É o professor quem tem condição de, frente ao seu projeto de curso, discernir aquilo que é relevante para se atingir determinado objetivo educacional ou não. Para nada isto quer dizer que a construção da rede de significados se tratou de falsa democracia. Quanto melhor desenvolvido o enredamento, mais percursos poderão ser percebidos pelo professor para, saindo de A, passar pelos nós B, C e D por ele considerados essenciais, nós que não necessariamente já estivessem todos programados. É a emergência do enredamento que combaterá a cristalização de um único e inevitável caminho, permitindo o traçado de trajetos alternativos mais significativos ao aluno. Porém, não sendo possível a discussão de tudo ao mesmo tempo e em qualquer tempo, o professor necessita utilizar de toda sua competência para mapear a rede, realçando determinados significados e relações.

Como qualquer cartógrafo, na construção deste mapa de relevâncias o professor deverá tomar decisões quanto a aspectos espaciais, tais como a questão da projeção:

Em sentido cartográfico, muitos são os sistemas de projeção que podem ser escolhidos para representar a superfície da Terra em um plano: projeções cilíndricas, estereográficas, etc. Sem entrar em técnicas relativas ao tema, podemos resumir as observações correspondentes da seguinte forma: uma vez que um mapa (plano) nunca poderia ser semelhante em sentido geométrico à superfície da Terra (esférica), a construção de um mapa sempre envolve deformações. Quem quer que tenha tentado embrulhar uma bola para presente já sentiu na pele a inevitabilidade da deformação, do amassamento do papel. O que nos compete, no entanto, é decidir onde deformar e onde manter o papel com rugas. Algo similar ocorre na construção de um mapa.

Muito poderia ser dito sobre a escolha de um sistema de projeção na confecção de um mapa em termos cognitivos, mas vamos nos limitar a registrar que toda construção de um mapa de relevâncias pressupõe a existência de um projeto em desenvolvimento, sustentado por valores acordados: nada é absolutamente relevante ou absolutamente irrelevante; tudo é relevante ou deixa de sê-lo em vista o projeto que se persegue. (MACHADO, 2004, p. 94).

Imagine-se, por exemplo, um projeto interdisciplinar com tema transversal centrado na problemática do desenvolvimento sustentável. A controvérsia em torno da energia nuclear seria, claro, assunto de grande relevância em praticamente qualquer região do planeta. Mas, em vista do desastre de Fukushima, o assunto provavelmente ganharia hoje dimensão bem maior em escolas japonesas do que em escolas brasileiras. Logo, um professor japonês, partidário da concepção de conhecimento aqui defendida, conduzirá suas aulas de forma a tecer junto a seus alunos uma rede com destaque a conceitos como fissão nuclear, radiatividade e relação massa-energia. Alternativamente, se o tema transversal tiver foco na manipulação genética, radiações ionizantes, como os feixes de raios X produzidos no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), ganharão maior destaque no diálogo do professor com seus alunos. Em sentido metafórico, poder-se-ia dizer que dada a esfera representativa de toda a física, seriam diferentes as distorções provocadas por sua projeção no plano relativo a cada um desses temas.

Outra propriedade típica dos mapeamentos a ser considerada no processo educacional é a questão da escala:

[ ] Todo mapa é construído segundo alguma escala, que estabelece a relação entre as distâncias representadas no papel e as correspondentes no território. A escolha da escala é decisiva para o discernimento do que vai aparecer ou não na representação: uma vez convencionalizada, define-se o limiar do que é ou não perceptível, e certos elementos simplesmente deixam de existir. A escala determina, pois, um “esquecimento coerente”.

Uma situação similar é vivenciada pelo professor diante de um tema a ser desenvolvido com seus alunos: é preciso escolher uma escala para a abordagem do tema e, dependendo da escolha, certos elementos do assunto devem ser simplesmente esquecidos. Em princípio, é possível abordar qualquer assunto em qualquer número de aulas; tudo depende da escolha de uma escala adequada. (MACHADO, 2004, p. 93).

Como primeira aproximação na interlocução com essa proposição, tal qual ilustrado na figura 45, pode-se considerar como sendo de diferentes escalas os três mapeamentos apresentados no segundo capítulo (figuras 4, 6 e 7) deste texto acerca do papel da física quântica na interligação de diferentes campos de conhecimento: em uma perspectiva de “visão macroscópica”, as ciências são vistas agrupadas como um nó da rede; sob “ampliação microscópica” este nó revela sua estrutura interna, sendo realçadas as relações da química, biologia e astronomia com a física; após nova ampliação de escala percebe-se, enfim, as conexões entre os diferentes campos internos à física.

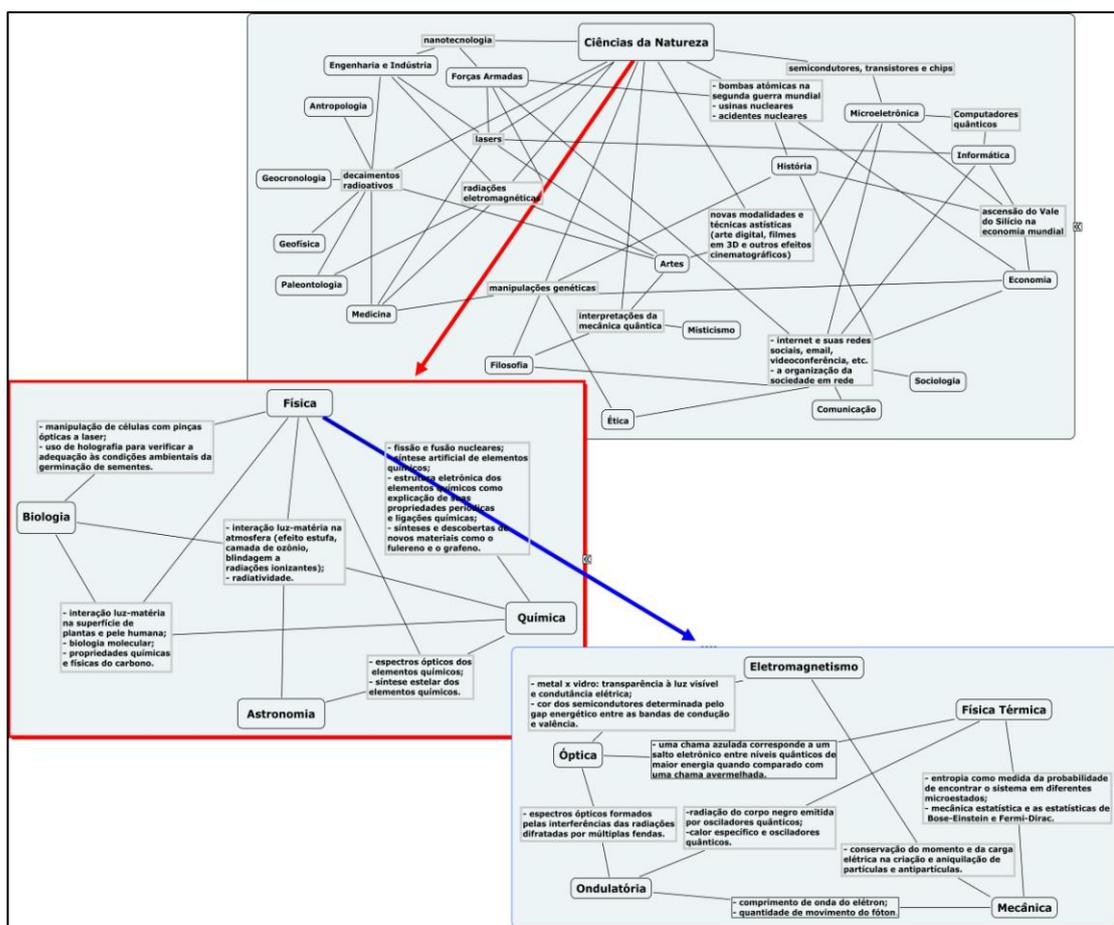


Figura 45 – Os três mapeamentos descritos nos itens 2.1 e 2.2 (figuras 4, 6 e 7 às páginas 27, 33 e 35) percebidos como uma sequência de ampliações de escala, desde o amplo conjunto formado pelas mais diversas áreas de conhecimento aos campos específicos da física.

Contudo, conforme explicitado na citação acima, a metáfora da escala cartográfica também se refere a uma discussão mais profunda: o esquecimento coerente de determinados elementos a fim de permitir a abordagem de um assunto em qualquer número de aulas. Tal afirmação é muito forte e combate com vigor discursos não raramente encontrados em nossas escolas quanto à falta de tempo para ensinar tal e qual conteúdo: *“se não tenho tempo nem para ensinar a física clássica inteira, como é que vou conseguir ensinar quântica?”*.

Tendo como referência os aportes de Machado, evidencia-se que falta de tempo não é o problema, mas a de competência talvez. Claro que competência não é inata, necessitando ser aprendida pela experiência profissional, formação inicial ou em serviço. Mas a questão aqui colocada é que tendo tal competência, ensina-se qualquer coisa em qualquer tempo e para qualquer idade, valendo resgatar conhecida frase de Bruner (1973, p.31) a respeito do problema: *“qualquer assunto pode ser ensinado com eficiência, de alguma forma*

*intelectualmente honesta, a qualquer criança, em qualquer estágio de desenvolvimento*” (desde que se saiba, é claro, com que linguagem e em que aspecto concreto ou abstrato).

Não é por falta de tempo que diversos professores de física prendem-se por todo um ano letivo da escola média na cinemática ou quando muito na cinemática por um semestre e na dinâmica do ponto material no segundo semestre. É por escolha, seja ela motivada por decisão consciente vinculada a determinada visão de mundo, seja pelo despreparo existente em sua formação ou experiência profissional.

Denunciada a falsa questão do tempo, emerge a preocupação quanto a critérios para se determinar o que é fundamental em cada assunto, de forma a tê-lo como baliza para o recorte a ser realizado, tendo em vista, agora sim, o tempo disponível de um semestre, uma aula ou mesmo alguns minutos. Nesse sentido, Machado (2012, vídeo 8/1) aponta que, dada uma disciplina, lhe são fundamentais as ideias que (a) podem ser explicadas na linguagem ordinária do aluno, (b) são vinculadas a outros conceitos ou deles estruturantes e (c) transbordam os limites daquela disciplina.

No caso da Física, Machado identifica a energia como exemplo de uma de suas ideias fundamentais, haja vista que pode ser explicada como algo necessário para se produzir movimento (linguagem ordinária), vincula-se às mais diversas definições de tipos de energia (estruturante) e é discutida em praticamente todas as outras disciplinas (transbordamento). Com esse mesmo critério, proporcionalidade, mapa, rede e narrativa seriam exemplos de ideias fundamentais que transbordaram suas disciplinas de origem (respectivamente, matemática, geografia, história e linguagem) para se tornarem quase onipresentes em todas as áreas.

Embora os exemplos apresentados por Machado estejam contextualizados na identificação das ideias fundamentais de cada disciplina, creio que se pode aplicar os critérios por ele sugeridos para qualquer tema - mesmo que interno a uma única disciplina - e planejamento, de forma que a cada aula ou sequência didática a ser aplicada, o professor reflita sobre quais são as ideias fundamentais a elas associadas. De outra forma: não necessariamente toda aula precisa abordar um conceito identificado como fundamental para a disciplina; mas toda aula (ou sequência didática de algumas poucas aulas) precisa ter como foco ideias que lhe sejam fundamentais, de forma a explicá-las na linguagem ordinária do estudante, apontar conceitos por elas vinculados e permitir a extensão da discussão para outros temas ou áreas. Ao final da aula, o que se objetiva, enfim, é que a rede de significações própria de cada aluno tenha se complexificado, com a incorporação de novos nós e conexões, além de rearranjos de outros previamente existentes.

### 4.2.2 Construção dos significados e narrativas

Dada a rede, já mapeada na escala e projeção associadas ao seu projeto de curso, resta ao professor a tarefa mais importante, ou seja, contar a história:

E chegamos, assim, ao âmago da questão do ensino, ao cerne da ação docente, à finalidade da Educação em sentido lato: a construção do significado. [...] De fato, o significado, em qualquer tema, sempre é construído por meio de uma história, de uma narrativa bem arquitetada. Nesse sentido, o professor eficiente será sempre um bom contador de histórias.

[ ] Não são quaisquer histórias, no entanto, as que devem compor o repertório do professor: em cada uma delas, deve existir a semente de algum recado, de algum ensinamento. Em outras palavras, as histórias que o professor conta são como fábulas: têm uma moral. Trata-se, naturalmente, de uma moral flexível, que pode configurar-se de múltiplas formas, em sintonia com as circunstâncias dos alunos, mas trata-se, sobretudo, de uma moral essencialmente tácita. Não se pode pretender desvendá-la abruptamente, muito menos a priori: quanto mais tacitamente for apreendida, mais facilmente impregnará a teia de significações dos alunos. É preciso contar uma boa história para lograr semear a moral da história. E, decididamente, não funciona dedicar-se apenas à moral, deixando a história em segundo plano, ou dispensando-a como invólucro desnecessário, ou perda de tempo: como seres humanos nós não funcionamos assim. (MACHADO, 2004, p.94).

Sendo como fábulas, as histórias contadas pelo professor não precisam ser factuais. Pouco importa se Arquimedes saiu mesmo pelado pelas ruas de Siracusa gritando “Eureka! Eureka!” ao descobrir que mergulhando a coroa do rei na água bastaria para comprovar se ela continha ouro puro ou seria apenas folheada com esse material. O importante é que a narrativa dialoga, em linguagem ordinária, com a vivência do estudante, lhe auxiliando na construção de um feixe de relações associado ao conceito de densidade que, no final das contas, é a moral da história.

No contexto da quântica, vale citar o livro *Alice no país do quantum*, de Gilmore (1998), declarada alusão a *Alice no país das maravilhas*, que conta as aventuras vividas pela menina Alice após tropeçar e mergulhar por meio da tela da TV para dentro do mundo submicroscópico, no qual passa a conviver com partículas como elétrons e fótons e seus estranhos comportamentos quânticos. Ilustração do potencial da narrativa desenvolvida por Gilmore é o capítulo *Átomos no vácuo* em que após escorregar para dentro de um átomo de cloro ancorado no *Pier Periódico de Mendeleiev*, Alice inicia uma queda que parece nunca terminar, passa por salas de pés direito cada vez mais altos, presencia emissões de coloridos fótons conforme elétrons saltam desde andares superiores para os mais baixos, indaga se ao menos uma vez um daqueles elétrons não poderia parar de correr a fim de educadamente com ela conversar, além de ficar curiosa quanto ao estremecimento provocado nos elétrons sempre

que o assunto núcleo era mencionado. Por fim, um fóton virtual pesado usando óculos escuros a encaminha para uma nova aventura:

Em meio aos agitados elétrons, havia agora uma grande forma, pairando sobre Alice e seus companheiros. Ela percebeu que era um fóton, mas muito mais energético do que qualquer um que ela já tinha visto antes. Como todos os fótons que ela vira, ele estava brilhando, mas de uma maneira especialmente sombria e furtiva. Alice também percebeu uma coisa surpreendente para algo que era em si a essência da luz: esse fóton estava usando óculos muito escuros.

"É um fóton virtual pesado", tremeram os elétrons. "Muito, muito pesado e muito longe da sua camada de massa. É um dos capangas do Núcleo. Fótons como ele transmitem o controle elétrico do Núcleo a seus elétrons clientes."

"Eu soube que tem alguém aqui fazendo perguntas", disse o fóton, em tom ameaçador. "Os núcleons são o tipo de partículas que não gostam de saber que há perguntas sendo feitas por qualquer outra pessoa. Vou levar essa pessoa para fazer um pequeno passeio e encontrar um pessoal, ou melhor, umas partículas. Elas querem muito conhecê-la."

Isso não pareceu um começo muito promissor para um novo relacionamento, e Alice estava considerando se poderia recusar o convite com segurança. Ela nunca conseguiu entender, ao pensar nisso posteriormente, como foi que começaram o 'passeio'. Tudo de que conseguia se lembrar era que eles estavam correndo um do lado do outro e o fóton não parava de gritar "mais rápido" e Alice sentia que não podia ir mais rápido, apesar de não ter mais fôlego para dizer isso. Eles correram sobre o tampo da mesa e mergulharam em um dos átomos representados na superfície. Era um dos átomos de urânio, que cresceu quando eles foram ao seu encontro.

[ ] "Agora, agora!", gritou o fóton. "Mais rápido, mais rápido! O seu momentum está agora quase tão grande para poder localizar você dentro do Núcleo." Eles estavam indo tão rápido que pareciam de desfazer no ar, até que, de repente, quando Alice estava ficando exausta, pararam em frente a uma torre alta e escura que se erguia suavemente, estreitando-se em direção ao topo. Era uma longa e escura torre, totalmente lisa nos andares inferiores mas, a uma determinada altura, no topo, Alice conseguiu ver que ela terminava numa confusão de pequenas torres, terraços e parapeitos. O efeito final, pensou Alice, era de uma atmosfera extremamente proibitiva.

"Aí está o Castelo Rutherford, o lar da Família Nuclear", disse o fóton virtual pesado.  
(GILMORE, 1998, p.135-153).

Neste trecho, Gilmore (1998) essencialmente ensina que as propriedades dos elementos químicos são determinadas por seu núcleo atômico, região de espaço muito bem definida para nela se localizar uma nuvem eletrônica. Mas se a moral da história for diretamente assim contada, dispensando a própria história, em muito se reduz a possibilidade de ampliação da rede de significações do aprendiz.

O mesmo pode ser dito daquele texto que descreve o fictício início de um dia de trabalho de uma secretária de telemarketing apresentado na página 38 deste trabalho e já recorrentemente aqui citado. Em resumo, o que ali se pretende é chamar a atenção para a exuberante presença de elementos tecnológicos na vivência moderna. Mas contada com todo

seu enredo, a história convida o leitor a refletir sobre o mundo em sua volta e propicia a emergência de perspectivas didáticas como a de propor aos estudantes a elaboração de suas próprias narrativas.

Experimento nesse sentido tem sido feito por mim junto a licenciandos de física do IFSP-SP em contexto a ser mais bem descrito e analisado no próximo capítulo, mas que desde já pode ser aqui anunciado. Trata-se do desafio de que com base em investigações sobre a presença da física quântica na vivência dos participantes do espaço escolar em que realizam os estágios (alunos, professores, funcionários, orientadores e diretores, comunidade escolar em geral), elaborem-se textos que propiciem ao leitor um "reconhecimento quântico" do contexto escolar. Como exemplo, segue abaixo uma destas elaborações<sup>18</sup>, com o autor tendo preferido a adoção de um personagem fictício, um aluno de nome Lucas, que desde seu despertar até a volta da escola se envolve com diversas observações e inquietações científicas:

O aparelho Celular com sistema Andróid despertou exatamente às 06h00hs e Lucas o colocou no modo soneca para dormir por mais alguns minutos e pensou consigo mesmo: “o tempo tem passado tão rápido ultimamente ou será que esses relógios digitais são menos precisos e estão se adiantando?”. Levantou na segunda vez que o celular despertou com a mesma canção e com um volume maior desta vez, volume que o fez refletir sobre o timbre da cantora britânica que havia falecido alguns anos atrás e estava sendo tocada novamente naquele aparelho para despertá-lo. Saiu da cama e colocou os pés no chão para procurar um chinelo e rapidamente pôde perceber uma sensação ruim, pois o piso era feito de cerâmica e se lembrou das aulas de sensações térmicas que o professor de Física havia ministrado no ano passado. Bons tempos aquele, pensou. Calçou os chinelos, pegou a toalha e foi para o banheiro tomar uma ducha para despertar realmente, pois ainda estava com muito sono, pois no dia anterior foi dormir tarde porque ficou na casa de um colega do bairro jogando videogame com sensores de presença e dispositivos de vibração de última geração até as 23:00hs e isso lhe rendeu uma boa fadiga por causa dos movimentos proporcionados pelos jogos que necessitavam de uma interação maior dos participantes.

Como estava uma temperatura ambiente já agradável, foi modificar o seletor de temperatura do chuveiro desde o modo inverno para o modo primavera quando saiu uma faísca de dentro do chuveiro lhe proporcionado o maior susto, levando-o a refletir sobre qual seria a relação de potência e corrente. Seriam elas proporcionais? Pensou então em perguntar isso para o professor de Física assim que tivesse oportunidade. Terminado o banho e já quando estava se trocando, pegou o desodorante e se lembrou que era o desodorante da marca específica que dizia que sua composição tinha um minério que quando em contato com pele fazia a mesma diminuir até 2 °C e riu raciocinando consigo mesmo[:] será que aquilo era realmente possível? Que processo que permitiria tal feito? Entrou no quarto da mãe escondido para usar um creme no rosto e procurando o produto adequado encontrou um produto que dizia usar em sua composição nanopartículas através de estudos da nanotecnologia. “Meu Deus” disse baixinho “O professor de Química estava certo então? Ou seria a [professora] de Biologia?

Trocou-se e chegando pra tomar café, sua mãe disse que estava terminando de ferver a água para preparar o café, alegando que estava um pouquinho atrasada porque

---

<sup>18</sup> O conjunto dos textos elaborados nestas investigações podem ser lidos em <<http://fisicaemrede.com/course/view.php?id=12&topic=1>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

aquele gás da empresa “X” não era bom porque a chama não era totalmente azul e pediu para ele ir até a padaria comprar pães. Ele prontamente obedeceu e chegando à padaria ouviu o padeiro dizer que os pães estavam uma delícia, pois havia tirado do forno agora e estavam quentinhos e realmente pode perceber que estavam quentinhos mesmo através do saco que foram embalados se lembrou que esse calorzinho era transmitido através da irradiação que o professor de Física havia ensinado no ano passado. Chegando da padaria esquentou o leite no forno Microondas na potência alta e tomou o café rapidamente, pois já estava em cima da hora. Deu um beijo em sua mãe e saiu rapidamente chegando à esquina encontrou dois amigos que estudam na mesma sala e perguntou a um deles porque não havia comparecido na noite anterior para jogar videogame? A resposta do amigo era que ontem a noite ele estava com dores de cabeça e achava que era por causa dos óculos, pois já havia 2 anos que não comparecia no oculista para ver se a miopia juntamente com o astigmatismo tinha melhorado ou piorado e que desta vez iria investir em lentes fotocromática e antirreflexo o outro amigo respondeu que fotocromática são aquelas lentes que mudam de cor quando estão expostas a algum tipo de luz.

No caminho da escola [...] Lucas e os amigos visualizaram um serralheiro soldando um portão em umas das casas nas imediações e perceberam que o serralheiro cobria os olhos apenas com as mãos e um amigo comentou se aquilo não era prejudicial para os olhos do serralheiro? Lucas respondeu que sim, mas não tinha certeza [;] era melhor perguntar ao professor quando tivessem aula de física [;] e [porque] as faíscas [...] saiam daquela cor alaranjada?

Chegando à escola um dos colegas disse que precisava ir à secretaria da escola, pois não estava conseguindo acessar o sistema da secretaria da educação para visualizar as notas do 1º bimestre e o inspetor disse pra ele resolver isso fora do horário de aula. No pátio antes de bater o sinal percebeu que as luzes do jardim que fica na entrada principal estavam acesas e perguntou [sobre isso] ao inspetor que prontamente respondeu que alguns sensores fotocélulas estavam com defeito e iria comunicar ao diretor assim que possível, foi chegando à sala que percebeu que as luzes da sala de aula eram diferentes das externas, as externas o inspetor disse que iria propor para serem trocadas por lâmpadas de Led e as internas eram fluorescentes e ficariam como estão.

Durante a aula pôde perceber que nunca mais tinha utilizado a sala de informática, pois lá tinha 14 computadores todos com internet banda larga e só podiam utilizar com autorização e ainda com um professor responsável junto isso era um absurdo pensou consigo mesmo.

Na troca de professores uma colega da turma se aproximou e mostrou as fotos no seu Tablet que foram tiradas em uma festa de aniversário que ela tinha ido ao final de semana e disse que havia ligado, mas o celular dele só acusava que estava fora de serviço e ele prontamente reclamou dizendo que a operadora dele estava muito ruim e que estava pensando comprar outro chip de outra operadora, mas usaria a portabilidade, pois gostava daquele número.

Na aula de Física perguntou para o professor quando eles teriam a oportunidade de terem uma aula utilizando o projetor multimídia? O professor respondeu que somente em Maio ou Junho, pois deveria preparar as atividades ainda.

Voltando pra casa novamente com o amigo e colega de sala comentou que seu pai havia comprado uma TV de Led de 42” Full HD [...cujo] controle remoto dá para [... ser substituído] pelo smartphone ou tablet e que agora ele iria almoçar [...assistindo] os programas esportivos com imagens em alta definição e lhe surgiu mais uma dúvida[:] qual seria a diferença entre Tvs de Led e de Plasma?

Na próxima aula combinou Lucas consigo mesmo que se lembraria de todas as questões desse mundo quântico e perguntaria ao professor.

Para melhor realce do citado “mundo quântico” presente no texto, elaborou-se a figura 46 que agrupa pelos locais frequentados por Lucas os aparelhos, dispositivos, substâncias, fenômenos e funcionalidades claramente associados a processos quânticos.

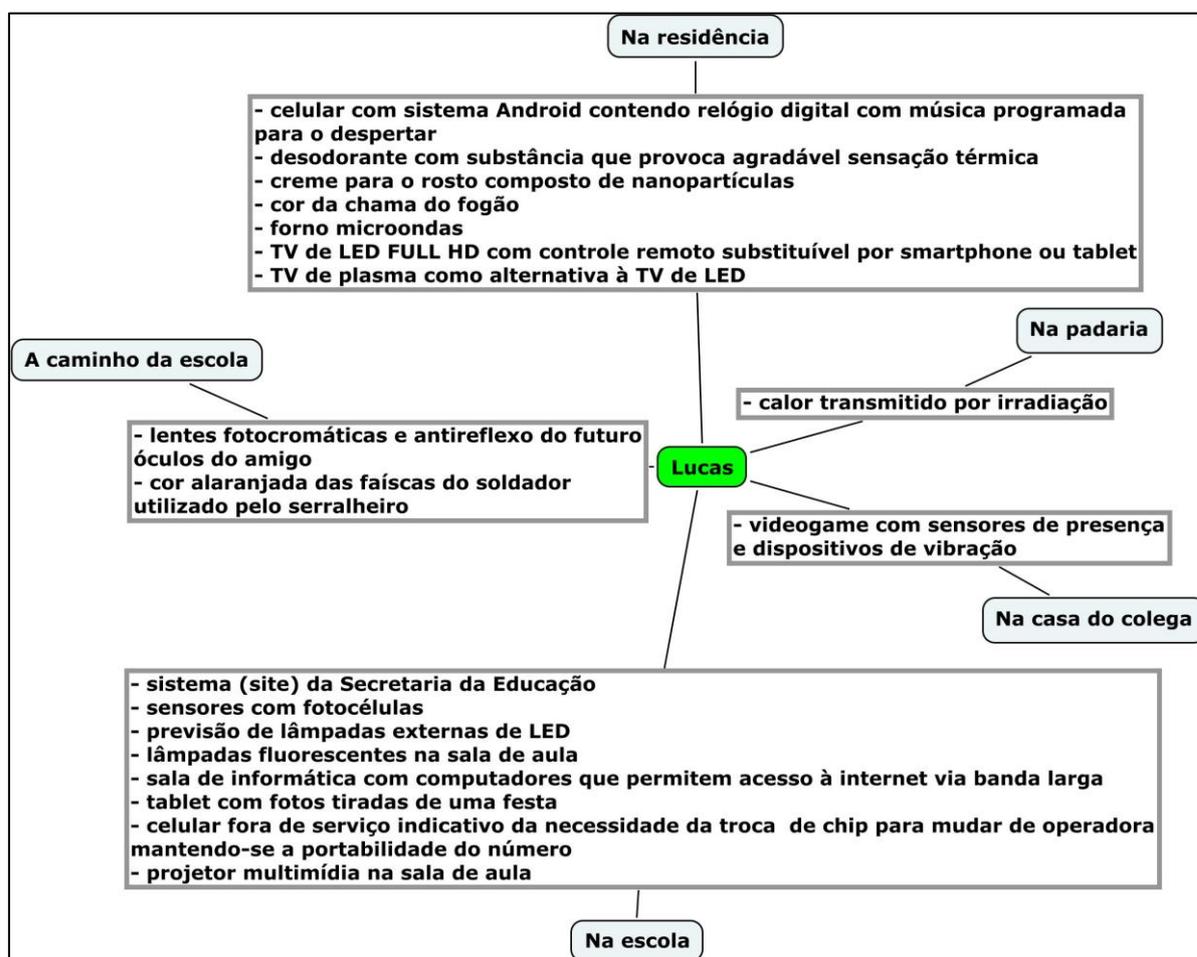


Figura 46 – O “mundo quântico” do personagem Lucas.

Textos que descrevem vivências como o do menino Lucas acima exposto ou daquela secretária de telemarketing (ver página 38) afastam-se, claro, do estilo literário de uma fábula, geralmente entendida como “*pequena narrativa em que se aproveita a ficção alegórica para sugerir uma verdade ou reflexão de ordem moral, com intervenção de pessoas, animais e até entidades inanimadas*”<sup>19</sup>. Não deixam por isso de serem ricas narrativas que auxiliam na expansão da rede de significações e que transmitem uma mensagem central, senão uma moral, ao longo de seu desenvolvimento. Assim também, livros e sequências didáticas que apostem

<sup>19</sup> Definição extraída do Dicionário Michaelis online:

<<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues-portugues&palavra=f%E1bula>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

no diálogo com o estudante a fim de fornecer-lhe diversas vias de acesso aos conceitos centrais neles objetivados, podem, a meu ver, serem percebidas como narrativas no sentido aqui desenvolvido do termo.

Com base nessa consideração e no intenso uso que dele tenho feito junto a licenciandos de física do IFSP-SP, vale mencionar o texto *Radiações, materiais, átomos e núcleos* (CANATO JR.; MENEZES, 2003)<sup>20</sup>. Analisado “tópico a tópico” em minha dissertação de mestrado (CANATO JR., 2004), o percurso nele escolhido para expor a física quântica ao aluno da escola média pode ser assim sintetizado:

[...] partindo-se do domínio antropológico e de uma discussão global sobre matéria e radiação, caminha-se ao domínio atômico e à interpretação quântica de fenômenos essencialmente dependentes de sua configuração eletrônica, dirige-se ao domínio nuclear e ao modelo padrão das forças e partículas fundamentais para, então, realizar o percurso contrário, começando pela associação das propriedades ópticas e elétricas dos materiais com sua configuração eletrônica por bandas de energia, seguindo com a explicação básica do funcionamento de dispositivos como diodos e transistores que compõem os circuitos integrados e terminando com o retorno ao uso das radiações e do estudo de sua interação com a matéria. (MENEZES et al., 2010, v.3, Manual Teórico-Metodológico, p.15).

Importante realçar que a discussão introdutória sobre matéria e radiação que ocupa todo o primeiro capítulo do texto corresponde a cerca de um quarto de sua extensão total. Conceitos formais sobre o *quantum de ação* e sua aplicação na explicação de fenômenos como o efeito fotoelétrico e o espectro fatiado dos gases incandescentes, são apresentados somente no segundo capítulo. Longe de um “invólucro desnecessário”, ou “perda de tempo”, trata-se do desenvolvimento do enredo que dará suporte à futura conceituação. Vale também interpretar o percurso acima descrito como uma sequência de variações de escala: tal qual esquematizado na figura 47, “navegando” primeiramente do macro ao micro, faz-se ao final percurso oposto, retornando ao macro.

---

<sup>20</sup> Originalmente elaborado como um dos seis fascículos de Física da Coleção Primus da Rede Pueri Domus de Escolas Associadas, a versão atual deste texto, contendo alterações mais de forma do que conteúdo, compõe a primeira unidade do terceiro volume da Coleção Quanta Física, obra didática aprovada no Programa Nacional do Livro Didático de 2012 (PNLD 2012).

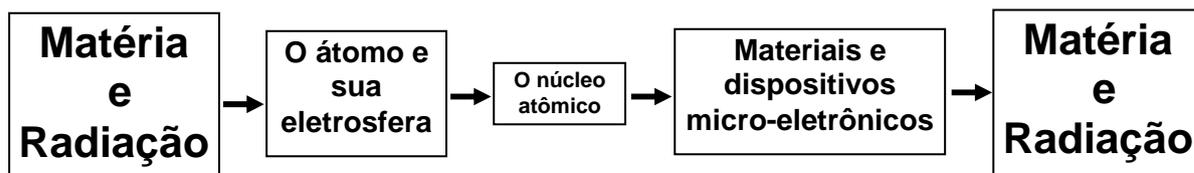


Figura 47 – Esquema dos assuntos discutidos em *Radiações, materiais, átomos e núcleos* com destaque ao percurso nele realizado da escala do macro ao micro com posterior retorno ao macro.

Além de favorecer a perspectiva de construção de feixes de significados tanto internos a determinada escala como entre diferentes escalas, essa estrutura lembra a disposição de alguns filmes que deixam o espectador curioso ao lhe apresentar como primeira imagem a cena final da história a ser contada. Outra característica do texto de interesse para a argumentação aqui desenvolvida é sua focalização em ideias fundamentais, sem enveredar-se pela exposição de detalhes que não fariam mais do que poluir a rede de significações do aprendiz.

Independentemente da aferição quanto à clareza e coesão do texto, estas características de *Radiações, materiais, átomos e núcleos* o diferenciam abruptamente de alguns manuais didáticos amplamente utilizados no ensino de física moderna, geralmente caracterizados tanto por um encadeamento linear em que a quântica dos átomos e núcleos é precedida pela apresentação da dilatação do tempo e contração do espaço, quanto pelo foco em expressões matemáticas norteadoras da resolução dos exercícios propostos, muitas vezes presos a detalhes que parecem ser o aspecto central a ser compreendido<sup>21</sup>.

Causa de possível desconforto por parte de professores mais apegados a cristalizados percursos no ensino de física, infiro que seja justamente seu caráter narrativo que me tem permitido agora utilizá-lo com boa desenvoltura no ensino superior, assim como anteriormente o fazia no ensino médio. Apesar das diferenças quanto ao contexto, extensão e profundidade dos diálogos estabelecidos em cada nível de ensino, as ideias centrais são as mesmas, com a flexibilidade do texto permitindo diferentes percursos, esquecimentos conscientes de um ou outro assunto, assim como incorporações de novos tópicos.

---

<sup>21</sup> De título quase idêntico, “(Os) *Fundamentos da Física*”, os livros de Ramalho et al., escrito para a escola básica, e o de Halliday et al., voltado ao ensino superior, são típicos exemplos disso.

### 4.2.3 Avaliação qualitativa e formação docente

Concepções de conhecimento e avaliação costumam andar de mãos dadas. Na perspectiva do conhecimento restrito à ideia de um encadeamento linear de conceitos, a ação docente tende a se resumir à transmissão de saberes pelo professor ao aluno, com a aprendizagem sendo medida por provas supostamente objetivas. No entanto, como bem observado por Machado (2012, vídeo 9/1), a ação de medir pressupõe a adoção de um padrão, fator não condizente com a tradicional prática de se aferir notas de disciplinas pela média das notas de duas ou três provas aplicadas ao longo de um curso ou período letivo. Mesmo supondo que cada prova tenha sido cuidadosamente elaborada e precisamente corrigida mediante um padrão adequado ao seu conteúdo, a média das notas (seja ela aritmética, ponderada ou geométrica) não possui padrão próprio e tão pouco avalia uma boa condição de saída do aluno, que pode ter tido péssimo desempenho no início, mas alto aprendizado no percurso.

Avaliar a aprendizagem é, assim, algo muito mais complexo do que fazer médias, sendo merecedor da elaboração de instrumentos que favoreçam a emergência do conhecimento tácito construído pelo estudante, normalmente fora do alcance de perguntas objetivamente vinculadas ao conhecimento explicitado pelo professor. Claro que aqui já se está considerando não apenas a imagem do conhecimento como rede, mas também a do conhecimento como um *iceberg*:

[...] Nesse caso, a ideia norteadora é a de que nosso conhecimento sobre qualquer tema é sempre apenas parcialmente explícito, ou passível de explicitação, sendo, na maior parte, tácito, subjazendo como a parte submersa de um iceberg. [...] A parte submersa do conhecimento de que dispomos, que aprendemos ou que ensinamos é, no entanto, absolutamente fundamental para a sustentação do que conseguimos explicitar. [...] Como seres humanos, nosso conhecimento pessoal sempre estaria representado por estes dois domínios fundamentais: o tácito e o explícito. Articulá-los, arquitetando estratégias de emergência do tácito, seria a função precípua do trabalho escolar. (MACHADO, 2004, p.18).

No entanto, da mesma forma que na construção de um mapa de relevâncias não se intenciona abordar todos os nós da rede de significados com a mesma atenção e ao mesmo tempo, é importante compreender que nenhum processo de avaliação dará conta de tornar explícito todo o conhecimento que se tenha:

[...] mas sabemos que nunca será possível explicitar tudo o que se conhece. Assim como em cada pessoa convivem e articulam-se as dimensões consciente e inconsciente, também estamos “condenados” a um permanente ir e vir entre o que se sabe tacitamente, o que se incorporou por meio de vivências, hábitos ou estratégias culturais e o conhecimento de que precisamos dar “provas” explícitas nos processos de avaliação. (MACHADO, 2004, p.18).

Para complexificar ainda um pouco mais a discussão, também é importante resgatar a questão da avaliação das competências em se mobilizar o que se sabe para realizar aquilo que se deseja ou se projeta (MACHADO, 2012, vídeo 9/1). São, aliás, diversos os documentos oficiais que apontam nesse sentido, tais como os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (BRASIL, 1999) que explicitam três conjuntos de competências - *comunicação e representação, investigação e compreensão, contextualização social ou histórica*, e a *Matriz de Referência para o Exame Nacional do Ensino Médio* (BRASIL, 2009) que aponta cinco competências gerais: *dominar diferentes linguagens, compreender processos, diagnosticar e enfrentar problemas reais; construir argumentações e elaborar proposições solidárias*.

Também nos documentos oficiais que normatizam o ensino superior, essa questão se faz presente, haja vista as *Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física* (BRASIL, 2001) que indica cinco competências essenciais desejadas a um profissional graduado em física:

A diversidade de atividades e atuações pretendidas para o formando em Física necessita de qualificações profissionais básicas comuns, que devem corresponder a objetivos claros de formação para todos os cursos de graduação em Física, bacharelados ou licenciaturas, enunciadas sucintamente a seguir, através das competências essenciais desses profissionais.

1. dominar princípios gerais e fundamentos da Física, estando familiarizado com suas áreas clássicas e modernas;
  2. descrever e explicar fenômenos naturais, processos e equipamentos tecnológicos em termos de conceitos, teorias e princípios físicos gerais;
  3. diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados;
  4. manter atualizada sua cultura científica geral e sua cultura técnica profissional específica;
  5. desenvolver uma ética de atuação profissional e a consequente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sócio-políticos, culturais e econômicos.
- (BRASIL, 2001).

Essa breve exposição do multifacetar dos processos avaliativos convida a revisitar a caracterização de Demo (2002) acerca da aprendizagem como algo complexo não linear (ver também p.101). Criticando os pressupostos lineares que costumam marcar o debate em torno da avaliação, o autor enfatiza três aspectos nele não reconhecidos:

Primeiro, avaliar a aprendizagem dos outros, é profunda aprendizagem, desafio e risco reconstrutivo político, além de emocional. Dada a complexidade da situação, é impraticável qualquer proposta “justa” de avaliação: todas são injustas, porque sua formalização encurta e empobrece a dinâmica. Segundo, toda maneira selecionada de apresentação dos resultados, quantitativa ou qualitativa, é apenas aproximação possível, sempre sujeita a revisões de ambas as partes. [...] Terceiro, como a única razão de ser da avaliação é o compromisso com a aprendizagem do aluno, precisa ser feita de modo que colabore na aprendizagem: quando o trabalho avaliado é

considerado insuficiente, é mister detalhadamente aduzir os argumentos da avaliação, tanto para que o avaliado possa reagir, contestar, quanto para que possa melhorar. (DEMO, 2002, p. 139).

Em vez dos usuais instrumentos da frequência e da prova, o processo avaliativo deveria concentrar-se na intensidade de sua complexidade, lançando mão de instrumentos qualitativos, *“tais como: capacidade de argumentar, fundamentar, definir e distinguir; habilidade de reconstruir texto com alguma originalidade própria; virtude interpretativa e criativa”* (DEMO, 2002, p. 140). Tal proposição não se contrapõe à estipulação de notas quantitativas, com uma nota 5, por exemplo, podendo expressar dimensões qualitativas fundamentais para aprendizagem, *“tais como: processo (não produto) que se desenvolve a contento, mas apenas a contento; deveria melhorar e valeria a pena observar melhor como se poderia melhorar; indicaria aluno sobre o qual é mister deter sua atenção, para evitar que caia ainda mais; poderia incluir esse aluno em programas alternativos para que a aprendizagem seja mais bem cuidada”* (DEMO, 2002, p. 140). Mesmo a inevitável classificação inerente ao processo quantitativo pode ser expressão não linear desde que tenha *“por único objetivo diagnosticar com propriedade para permitir mudar e garantir os rumos do processo de aprendizagem”* (DEMO, 2002, p. 140).

É com base nesses mesmos pressupostos que Demo (2002) analisa a extrema complexidade envolvida na orientação ao aluno, papel docente hoje em muito aludido:

Perscrutar as motivações do aluno, entender seus anseios, tocar as cordas corretas da emoção, provocar sem oprimir, admoestar sem imbecilizar, é fina arte, sensibilidade sutil, perspicácia a toda prova. Tem sempre a vantagem de evitar o tratamento unificado de pessoas tão diversificadas, provocando contextos mais flexíveis e alternativos de socialização: ao mesmo tempo que é mister encaixar-se nas normas e valores sociais, cada aluno tem direito a tornar-se sujeito próprio, inconfundível.” (DEMO, 2002, p. 141).

Nem sempre é fácil jogar o jogo proposto por Demo (2002), com a temática da avaliação entrelaçando-se, assim, com a da formação docente, hoje carecendo, segundo este mesmo autor, de práticas que valorizem virtudes como a da pesquisa e da autoria:

Aprender exige pesquisa, elaboração e produção próprias, autoria individual e coletiva, participação ativa, virtudes que as pedagogias e as licenciaturas não praticam ou desfiguram, em geral por conta de seus professores não autores. Entendo que sem pesquisa não pode haver aula: vai ser mera cópia. Por isso, não faz sentido universidade de mero ensino, pois é instituição desnecessária: “treina” (não forma), como diz Toffler (2009), para trás, para o século passado. Pedagogos e licenciados não sabem “aprender”, não leem assiduamente, não pesquisam e elaboram, não são autores, fiando-se em apostilas reprodutivas, porque aprender nunca foi primordial. Primordial é aula, ensino, instrução. Na greve, suspendem-se as aulas. Quando há oportunidade, o MEC propõe o aumento dos dias letivos, como foi aumentado em um ano o ensino fundamental, para haver mais aula. Confundem-

se aula e aprendizagem: precisamos de 220 dias de aprendizagem, não de aula! (DEMO, 2012).

Faz-se necessário, portanto, um professor que não tenha na aula sua pedagogia central e que saiba “*organizar o trabalho produtivo do aluno, com problematizações atrativas e realistas dos conteúdos curriculares, [...] um professor-autor, uma habilidade que é imprescindível para problematizar com qualidade visível: transformar conteúdos curriculares em problemas pertinentes e interessantes*” (DEMO, 2012). Sem desprezar os conteúdos, mas libertando-se do apego obsessivo à sua transmissão, o professor precisa desenvolver as habilidades de pesquisar, elaborar, argumentar e aprender, de forma a ser capaz de, em casos como o do estudo do teorema de Pitágoras, “*montar ambientes de problematização tão realistas e desafiadores que o estudante acabe tendo a impressão de que foi ele que o inventou!*” (DEMO, 2012).

Nesse contexto, creio ser pertinente resgatar a análise de Machado (2012, vídeo 9/2) quanto ao indicativo da qualidade de uma aula dado pela própria manifestação do aluno acerca do assunto nela trabalhado. Péssima aula seria aquela em que ao seu término o aluno reproduzisse a expectativa do dependente, do usuário do conhecimento, dirigindo-se ao professor, até com elevada admiração, algo como “*professor, entendi tudo, mas nunca que eu teria pensado nisso; continua, conta mais que está interessante*”. Em oposição, ótima aula seria aquela em que o aluno se colocasse na expectativa do autônomo, do produtor de conhecimento, elaborando frases como “*puxa vida, porque é que eu não pensei nisso antes?*”.

Forma privilegiada de se desenvolver a autonomia do estudante é, para Demo (2012), a aposta em sua produção textual, podendo-se entender como texto não apenas as páginas escritas, mas também desenhos, arte gráfica, imagens e sons. Para o autor, o acompanhamento da evolução da produção textual de cada aluno favorece o que ele denomina de avaliação processual, termo que indica a necessidade de que a avaliação se torne “*dinâmica do mesmo processo de aprendizagem*” e que avalie “*se o aluno está aprendendo – se está se tornando autor, se produz com autonomia, se lê e estuda adequadamente, se argumenta e fundamenta com propriedade, etc.*” (DEMO, 2012). Nesse contexto, Demo (2012) ressalta que não vê como proibido o uso de outros instrumentos de avaliação, nem mesmo a prova: o central é que os instrumentos utilizados conclamem “*a virtude preventiva e diagnóstica como instrumentação para garantir a cada estudante seu direito de aprender bem*”.

Com isso, a inter-relação entre avaliação da aprendizagem e formação docente é novamente realçada:

A referência fundamental da avaliação qualitativa é o olhar do professor dedicado; sua convivência diária com os estudantes, em diálogo incessante; sua orientação devota e exigente. Essa condição trabalha naturalmente com percepções subjetivas, mas que poderiam não ser subjetivistas. Podem ser aplicadas “notas” a textos, não porque elas expressem mais fidedignamente sua qualidade, mas como expediente numérico mais palpável e comparável, sob risco. Saber expressar na nota a qualidade de um texto só pode provir de um professor que produz texto e sabe discutir texto. O que mais importa não é se a avaliação é expressa em notas ou anotações, mas seu uso qualitativo para monitorar a qualidade da aprendizagem. Por exemplo, em nosso sistema de ensino nunca conseguimos introduzir leitura e estudo como componentes indispensáveis da aprendizagem. Aula e prova bastam. (DEMO, 2012).

Entendendo o ensino e aprendizagem de física como um recorte de toda a problemática educacional aqui trabalhada, creio ser fundamental ampliar ainda mais, ou melhor contextualizar a esse campo de conhecimento, o significado estendido de texto indicado por Demo. Construções de gráficos e tabelas, demonstrações e resoluções matemáticas de problemas e elaborações de relatórios de observações experimentais são também exemplos de textos que podem envolver pesquisa e autoria individual ou coletiva. Tudo depende de como o professor apresente a questão: como problema a ser enfrentado pelo aluno de forma criativa ou como mera ação reprodutiva de uma resposta predeterminada.

Além disso, considerando os conhecidos problemas socioeconômicos e estruturais hoje presentes na profissão docente, bem como a arraigada presença do instrucionismo na cabeça de professores e alunos, não vejo mal algum em esporadicamente utilizar-se até mesmo do expediente das questões meramente reprodutivas. O que vejo como vital é para onde aponta o conjunto das atividades propostas pelo professor a seus alunos. Claro que, para isso, é preciso existir tal conjunto, ou espectro de instrumentos (MACHADO, 2012, vídeo 9/1). Se, pelo contrário, for comum ouvir diálogos entre professores do tipo “e aí, já aplicou a P-II?”, com alusão às duas únicas e tradicionais atividades de avaliação, provas I e II, aplicadas ao longo de um semestre letivo, a configuração instrucionista estará selada e “fim de papo”.

### 4.3 VIRTUAL E REAL

Conceber a aprendizagem como (re)construção de feixes de relações entre significados pressupõe entender que ela assim se desenvolve em qualquer contexto, mesmo em situações como a das antigas sociedades orais em que nem escrita se tinha. As modernas tecnologias da informação e comunicação podem, no entanto, potencializar o processo de ensino e aprendizagem, haja vista a facilitação no acesso à informação possibilitada pelos adventos da

*web* e do hipertexto, o uso de *softwares* que simulam experimentos científicos e o desenvolvimento dos ambientes virtuais cada vez mais usados tanto nos cursos a distância como nos presenciais.

Nesse contexto ganha importância a compreensão do termo virtual em oposição à presença física imediata e não em oposição ao real. Uma operação de compra ou venda de ações por meio de um ambiente virtual é tão real quanto essa mesma operação feita presencialmente por um corretor. Como bem expressa Demo (2002), a noção de virtualidade nem mesmo está restrita ao advento das modernas tecnologias, com um quadro que retrata o rosto de uma pessoa podendo ser entendido como uma presença virtual tanto dessa pessoa como do próprio pintor:

[...] Existe, sem sombra de dúvida, presença virtual, para além da base física. Não foi inventada agora com o computador, apenas tornou-se mais ostensiva e, de certa forma, crescentemente avassaladora. Nas gravuras em pedra encontradas hoje de povos “primitivos”, temos sua presença virtual. Na carta que a mãe guarda de seu filho que mora do outro lado da Terra, temos, sob o signo da saudade, presença virtual. Na fé da comunidade religiosa, Deus está presente de modo virtual e talvez mais forte que o modo físico. Com o ciberespaço, esse tipo de presença invade nossas vidas de modo crescente e irreversível, não se podendo mais igualar virtual com fictício, fantasmagórico, simulado, irreal. O contrário de virtual é físico, não irreal. (DEMO, 2002, p.34).

A confusão em torno da associação entre os conceitos de virtualidade e irrealidade é também analisada por Lévy (2009, p.47) que aponta que na “*acepção filosófica, é virtual aquilo que existe em potência e não em ato, o campo de forças e de problemas que tende a resolver-se em uma atualização*”. Ou ainda, é virtual “*toda entidade ‘desterritorializada’, capaz de gerar diversas manifestações concretas em diferentes momentos e locais determinados, sem contudo estar ela mesma presa a um lugar ou tempo em particular*”. Uma árvore, por exemplo, está virtualmente presente na semente que a engendrará. Assim também, diversos contextos estão virtualmente presentes no vocábulo “árvore” que, enquanto não pronunciado em algum lugar e momento, tem “em si” existência virtual.

Em vista dessas definições, Lévy (2009) aponta dois motivos pelo qual a digitalização da informação pode ser qualificada como virtual: (a) embora fisicamente localizada em determinado suporte (DVD, *pen drive*, disco rígido), a informação está virtualmente presente em todos os nós da rede que necessitarem acessá-la; (b) sendo ilegíveis ao ser humano (combinações dos dígitos 0 e 1), os códigos de computador atualizam-se no tempo e no espaço como textos legíveis, imagens visíveis e sons audíveis.

Lévy (2009) analisa que há também outros movimentos de virtualização que hoje se manifestam em virtude do desenvolvimento das tecnologias da informática. A comunicação,

por exemplo, absolutamente presencial nas antigas sociedades orais, tem seu caminho rumo à virtualização potencializado por sua digitalização. Da comunicação recíproca, assíncrona e a distância, já alavancada pelo correio ou pela escrita em geral, permite-se agora que “*membros de um grupo humano (que podem ser tantos quanto se quiser) se coordenem, cooperarem, alimentem e consultem uma memória comum, e isto quase em tempo real, apesar da distribuição geográfica e da diferença de horários*” (LÉVY, 2009, p. 49).

Tal característica da comunicação contemporânea conduz, avalia Lévy (2009, p. 49), à virtualização das organizações que “*tornam-se cada vez menos dependentes de lugares determinados, de horários de trabalhos fixos e de planejamentos a longo prazo*”, bem como acentuam o caráter virtual que as transações econômicas e financeiras possuem desde a invenção da moeda e dos bancos.

É precisamente o caráter virtual da informação que Lévy (2009) identifica como a marca distintiva do ciberespaço, termo por ele assim definido:

Eu defino o ciberespaço como o espaço de comunicação aberto pela interconexão mundial dos computadores e das memórias dos computadores. Essa definição inclui o conjunto dos sistemas de comunicação eletrônicos (aí incluídos os conjuntos de redes hertzianas e telefônicas clássicas), na medida em que transmitem informações provenientes de fontes digitais ou destinadas à digitalização. Insisto na codificação digital, pois ela condiciona o caráter plástico, fluido, calculável com precisão e tratável em tempo real, hipertextual, interativo e, resumindo, virtual da informação que é, parece-me a marca distintiva do ciberespaço. (LÉVY, 2009, p. 92-93).

Os extensos e profundos reflexos culturais do advento e crescimento do ciberespaço motivam o uso do termo cibercultura, contextualizado por Lévy (2009) como uma terceira etapa da história das sociedades humanas marcada pela potencialização da virtualidade e universalidade inaugurada pelas sociedades baseadas na escrita, combinada com o relativo retorno à contextualização e singularidade das sociedades orais. Exemplo disso são os experimentos realizados nos modernos aceleradores de partículas:

É impressionante constatar que algumas experiências científicas realizadas nos grandes aceleradores de partículas mobilizam tantos recursos, são tão complexas e difíceis de interpretar que praticamente só ocorrem uma vez. Cada experiência é quase singular. Isso parece contra o ideal da reprodutibilidade da ciência clássica. No entanto, essas experiências ainda são universais, mas de outra forma que não a possibilidade de reprodução. Delas participam, de fato, grande número de cientistas de diversos países, que formam uma espécie de microcosmo ou de projeção da comunidade internacional. Mas, sobretudo, o contato direto com a experiência praticamente desapareceu em benefício da produção maciça de dados numéricos. Ora, esses dados podem ser consultados e tratados em grande número de laboratórios dispersos graças aos instrumentos de comunicação e de tratamento do ciberespaço. Assim, o conjunto da comunidade científica pode participar dessas experiências muito particulares, que são também eventos. A universalidade repousa, então, na interconexão em tempo real da comunidade científica, sua participação cooperativa mundial nos eventos que lhe dizem respeito em vez da depreciação do

evento singular que caracterizava a antiga universalidade das ciências exatas. (LÉVY, 2009, p. 164-165).

Como parte da cultura humana, a educação também ganha novas dimensões com o desenvolvimento do ciberespaço e da cibercultura. No que se refere aos objetivos da discussão aqui apresentada, as questões da interatividade e da simulação computacional assumem particular importância. A fim de melhor concretizar a argumentação, faço nova imersão em minhas práticas de ensino junto a licenciandos de física do IFSP-SP, com destaque a uma atividade referente ao modelo atômico de Bohr.

A proposta é que após o ganho de uma visão panorâmica de um conjunto de simulações disponíveis na *web*<sup>22</sup>, o licenciando "adote" uma ou várias delas (ou ainda outras que encontre em suas próprias pesquisas pela *web*) para elaborar um roteiro visando a introdução do modelo atômico de Bohr na escola média. Elaborados os roteiros, a tarefa seguinte é postá-lo em espaço próprio do ambiente virtual utilizado no curso a fim de disponibilizá-lo para leitura e análise de seus colegas que deverão, então, apresentar uma análise crítica a esse roteiro. Finalmente, o autor do roteiro terá completada sua tarefa ao expor seu posicionamento de concordância ou insatisfação para com tais análises críticas.

Há simuladores que focam a emissão de fótons, permitindo ao usuário manipular apenas os saltos eletrônicos no sentido da maior para a menor energia. Outros, elaborados com a intenção de diferenciar os processos de absorção e emissão de fótons, permitem ao usuário controlar o sentido energético a ser observado. Há também aqueles que favorecem a abordagem estatística, com elétrons inicialmente posicionados no estado fundamental, automática e aleatoriamente saltando para níveis superiores ao absorverem um fóton para, então, retornarem a esse mesmo estado fundamental, seja através de um único salto ou de uma sequência de saltos progressivos e aleatórios. Há simulações em que fótons são representados coloridos de acordo com sua frequência de valor numérico apresentado em destaque na tela. Outros focam o comprimento de onda correspondente a cada fóton. Por vezes, apresenta-se uma faixa representando o espectro eletromagnético. Outras vezes são apresentadas duas destas faixas, uma correspondente à emissão de fótons e outra à sua absorção. O valor do *quantum* associado a cada fóton é outra variedade encontrada entre os diversos aplicativos, com alguns deles apresentando diretamente tal valor ao usuário, ao passo que outros induzem ou explicitamente sugerem sua efetuação. Mesmo o modelo atômico em seu conjunto pode

---

<sup>22</sup> Tal conjunto pode ser acessado a partir do tópico associado aos simuladores do modelo de Bohr na seguinte página eletrônica: <<http://fisicaemrede.com/course/view.php?id=7&topic=2>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

ser alvo de investigações, sendo possível encontrar simuladores que permitem alternância entre as simbolizações do elétron girando como partícula ou distribuído como onda estacionária ao redor do núcleo.

Dentre este universo de alternativas, todas gratuitas e de fácil acesso, qual a melhor? Talvez nenhuma, haja vista que uma pesquisa no “oráculo” Google certamente encontrará outras opções. Por outro lado, talvez o melhor seja utilizar todas ou um combinado de duas ou três delas a fim de estimular o exercício de comparações entre os estudantes da escola média. Nem mesmo surpreso deve-se ficar se determinado licenciando, inspirado pelas variedades observadas, ou pelas interações possibilitadas a partir das referidas análises críticas, resolver apostar em seus conhecimentos de programação para elaborar seu próprio simulador.

A questão de fundo é que a simulação, sendo um “*modo de conhecimento próprio da cibercultura*” (LÉVY, 2009, p.165), permite trabalho mais eficaz com a modelagem da realidade:

O conhecimento por simulação [...] só tem validade dentro de um quadro epistemológico relativista. Se não, o criador de modelos poderia se deixar levar pela crença de que seu modelo é “verdadeiro”, que ele “representa” no sentido forte a “realidade”, esquecendo que todo modelo é construído para determinado uso de determinado sujeito em um momento dado. [...] a proliferação contemporânea dos instrumentos de simulação, seu baixo custo e sua facilidade de uso representam, sem dúvida, o melhor antídoto contra a confusão entre modelo e realidade. Um modelo determinado, entre cem outros que poderiam ter sido criados sem muito esforço, aparece como aquilo que ele é: uma etapa, um instante dentro de um processo ininterrupto de bricolagem e de reorganização intelectual.

[ ] A simulação por computador permite que uma pessoa explore modelos mais complexos e em maior número do que se estivesse reduzido aos recursos de sua imagística mental e de sua memória de curto prazo, mesmo se reforçadas por este auxiliar por demais estático que é o papel. A simulação, portanto, não remete a qualquer pretensa irrealidade do saber ou da relação com o mundo, mas antes a um aumento dos poderes da imaginação e da intuição. (LÉVY, 2003, p. 76-77).

A proliferação de cursos a distância é fenômeno também contextualizado no desenvolvimento da cibercultura. No item 2.3 deste texto já foi assinalada a incrível velocidade com que na sociedade contemporânea se renovam os artigos que compõe nosso mundo material (ver página 37). Reflexo disso no mundo do trabalho é que cada vez mais rapidamente a formação inicial cede terreno frente à formação contínua e alternativa. Contínua seja pelas permanentes inovações inerentes a cada profissão, seja pela alternância de profissões que hoje caracteriza uma “carreira profissional”. Alternativa porque cursos técnicos de curta duração presenciais ou a distância, muitas vezes oferecidos pelas próprias empresas ou por seus consórcios, soam não raramente mais acessíveis e proveitosos do que cursos universitários presenciais de longa duração.

O ensino presencial também sofre influências de todo esse processo, sendo cada vez mais comum em seu seio o uso de técnicas típicas do ensino a distância, tal qual o desenvolvimento de ambientes virtuais de ensino e aprendizagem:

Dois ambientes de aprendizagem que historicamente se desenvolveram de maneira separada, a tradicional sala de aula presencial e o moderno ambiente virtual de aprendizagem, vêm se descobrindo mutuamente complementares. O resultado desse encontro são cursos híbridos que procuram aproveitar o que há de vantajoso em cada modalidade, considerando contexto, custo, adequação pedagógica, objetivos educacionais e perfil dos alunos. (TORI, 2009, p. 121).

Dentre os diversos *softwares* disponíveis para a gestão de ambientes virtuais de ensino e aprendizagem, destaca-se o *Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (Moodle)*. Gratuito e de relativa facilidade de instalação, administração e uso, este programa tem encontrado bom trânsito ao redor do mundo<sup>23</sup>. É nesse quadro que se insere o *fisicaemrede.com*, ambiente *Moodle* por mim desenvolvido em meio à problemática gerada pela suspensão de aulas nas redes de educação básica em agosto de 2009 devido à pandemia da gripe H1N1.

Mediante a autorização oficial de se realizar a distância parte da reposição de aulas, a ideia foi desenvolver uma ferramenta mais efetiva para o aprendizado do que o registro da simples troca de mensagens eletrônicas com o aluno, procedimento então sugerido pela coordenação pedagógica. Acessando com nome de usuário e senha o *fisicaemrede.com*, meus alunos da EE Alberto Levy liam breves orientações e textos e realizavam as tarefas compostas basicamente de cruzadas e outros passatempos interativos sobre transformações energéticas. De minha parte, ao acessar o ambiente podia verificar não somente as notas obtidas pelos alunos, conforme correção automática feita pelo sistema, como também extrair registros de suas presenças virtuais, incluindo-se, se desejada, até mesmo a identificação dos pontos de acesso<sup>24</sup> por eles utilizados.

Em vista da contínua utilização que venho fazendo da ferramenta, é pertinente apresentar breve descrição do *Hot Potatoes*, programa que permite a resolução *online* de palavras cruzadas e outros passatempos que podem ser configurados com o recurso do fornecimento de pistas para sua resolução. Cliques sucessivos na pista de um determinado termo presente em uma cruzada, por exemplo, leva à sua revelação letra a letra. O uso de tal

---

<sup>23</sup> De acordo com as estatísticas disposta na página oficial do programa, <<https://moodle.org/stats/>> (Acesso em 31 Mar. 2014), no momento da escrita deste texto, eram quase 70 mil os sites *Moodle* até então registrados, mais de 67 milhões os usuários deles participantes e 235 os países a eles referentes, sendo o Brasil o terceiro país em termos de sites registrados.

<sup>24</sup> Por ponto de acesso me refiro ao Internet Protocol, ou IP, do dispositivo (computador, tablet, etc) conectado na internet.

recurso acarreta, no entanto, em decréscimo na valoração da atividade, de forma que se o aluno resolver “trapacear” e descobrir por meio destas pistas todas as letras de todos os termos presentes no passatempo, o programa lhe dará ao final da atividade uma primeira mensagem de felicitação quanto ao integral acerto, seguida de outra informando a atribuição da nota zero. Claro que a questão de fundo aqui não é a eficácia do programa quanto à inibição de eventuais fraudes na conquista de uma nota, mesmo porque sempre se podem inventar novas maneiras de burlar um sistema. O que é fundamental é a possibilidade de potencialização do aprendizado mediante a interatividade permitida:

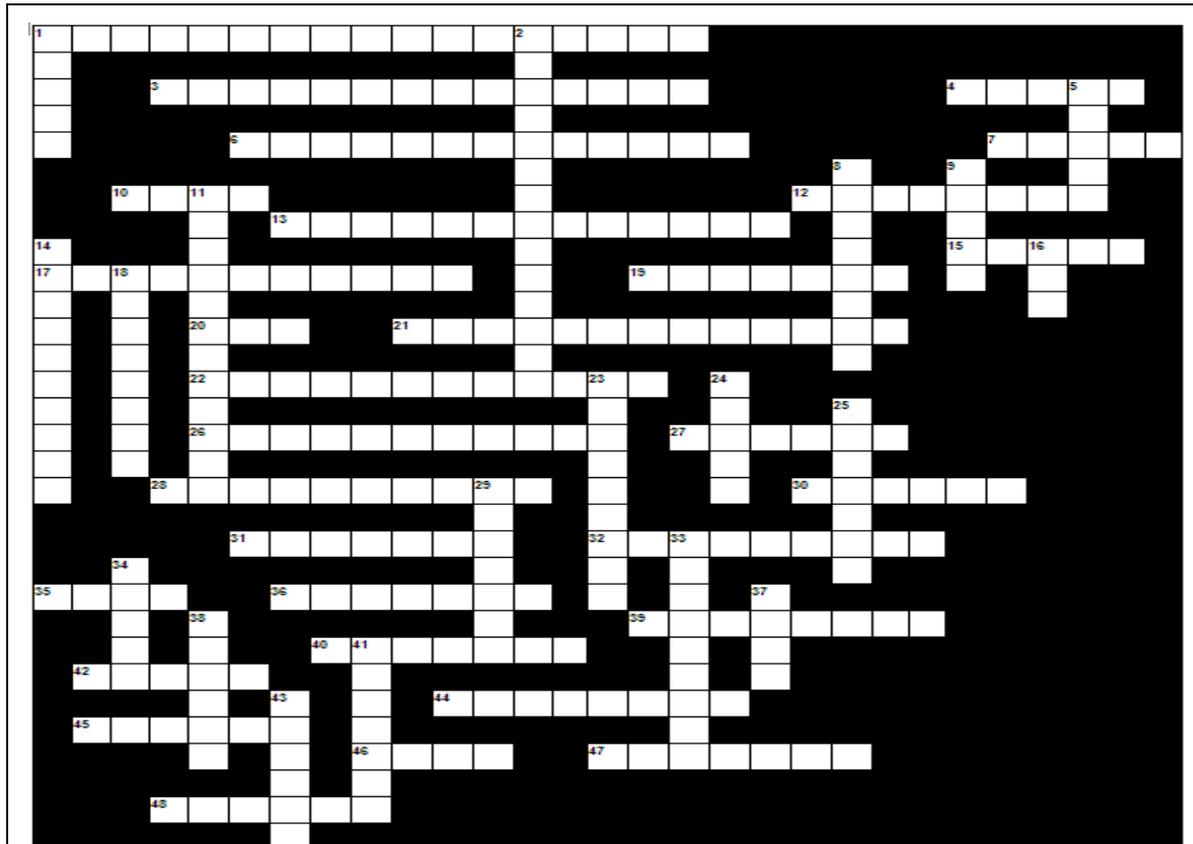
[...] quanto mais ativamente uma pessoa participar da aquisição de um conhecimento, mais ela irá integrar e reter aquilo que aprender. Ora, a multimídia, interativa, graças à dimensão reticular, não linear, favorece uma atitude exploratória, ou mesmo lúdica, face ao material a ser assimilado. É, portanto, um instrumento bem adaptado a uma pedagogia ativa. (LÉVY, 2003, p. 40).

Mas é na integração do *Hot Potatoes* ao *Moodle* que a ferramenta revela toda sua versatilidade, com o professor podendo estipular o número de tentativas permitidas para cada passatempo, bem como se a nota final será composta pela nota média das diversas tentativas ou se somente será validada a nota da última tentativa ou, alternativamente, apenas a maior nota dentre todas as tentativas. Como todas as atividades *Moodle*, é também possível estipular o período de disponibilidade de cada passatempo, de forma que cliques tardios no ícone do passatempo resultarão em mensagens automáticas informando ao usuário algo como “sinto muito, mas esta atividade foi encerrada em tal data”. Se desejado, pode-se ainda vincular diversos passatempos em sequência, de forma a simular ou mesmo validar uma avaliação com diversas questões.

A título de exemplo e sem contar com as interatividades acima mencionadas, apresenta-se na figura 48 uma cruzada sobre termos característicos do estudo da estrutura da matéria normalmente por mim utilizada como avaliação diagnóstica junto a licenciandos de física do IFSP-SP<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> O acesso interativo ao passatempo pode ser apreciado no seguinte endereço eletrônico: <<http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=325>> (Acesso em 31. Mar. 2014).

**Horizontais:**

1. Princípio enunciado por Bohr acerca da natureza dual da matéria.
3. Usina elétrica que utiliza material físsil em seu funcionamento.
4. Sem divisão, em grego.
6. Fenômeno que provoca regiões claras e escuras alternadas devido à superposição de ondas luminosas.
7. Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.
10. Partícula correspondente ao núcleo de hélio.
12. Era por meio dela que se procurava a transmutação do chumbo em ouro.
13. Quando ela se encontra com a partícula correspondente há aniquilação da matéria e surgimento de energia.
15. Elemento químico descoberto por Marie Curie.
17. Técnica utilizada para visualizar fraturas em ossos.
19. Um dos efeitos que comprova o caráter corpuscular da radiação eletromagnética de alta frequência.
20. Famoso acelerador de partículas.
21. Técnica que consiste na captação de emissões de raios gama por substâncias radiativas introduzidas no organismo.
22. Junções PNP ou NPN de materiais semicondutores.
26. A luminosa não é um fator determinante para que ocorra o efeito fotoelétrico.
27. Matéria prima na fabricação de bombas de fissão e no funcionamento de nucleoeletrônicas.
28. Técnica em que feixes muito finos de raios X percorrem toda a extensão do tecido a ser analisado.
30. A nuclear é associada à energia liberada pela fragmentação de um núcleo pesado e instável.
31. Material semicondutor muito utilizado como matéria prima pelas indústrias de computadores.
32. Princípio que postula que uma maior precisão na determinação do momento de uma partícula implica em uma maior imprecisão no conhecimento de sua localização.
35. Luz de frequência maior que a luz vermelha.
36. Constituído por dois quarks down e um quark up.
39. O eletromagnético corresponde ao conjunto de todas as radiações conhecidas.
40. Partículas elementares como o elétron e o múon.
42. Partícula de luz.
44. Partículas que, como os elétrons, "se excluem", nunca ocupando um mesmo estado quântico em determinado sistema.
45. Eletrodo emissor de elétrons.
46. Radiação de alta energia.
47. Uma das partículas fundamentais.
48. Quantidades de energia associadas aos fótons.

**Verticais:**

1. O eletromagnético é medido em newton por coulomb no Sistema Internacional.
2. O de Michelson foi construído para testar a existência do éter.
5. A energia liberada nas reações nucleares é associada à sua diminuição.
8. Subproduto da fissão do urânio que tem sido um dos motivos para a forte relação entre a indústria bélica e a indústria energética nuclear.
9. Material que com sua propriedade de isolante elétrico e transparência à luz visível, revela a intimidade quântica entre a Óptica e o Eletromagnetismo.
11. Efeito associado à extração de elétrons de um metal devido à incidência de luz sobre ele.
14. Somente quando ela é suficientemente alta, é possível observar o efeito luminoso da luz arrancando elétrons de um metal.
16. Em sua superfície há cerca de 1500 sulcos por milímetro, característica que explica o porque da luz nele incidente e refletida sofrer difração e interferência.
18. Fenômeno ondulatório associado ao espalhamento da onda ao passar por um orifício.
23. Imã elétrico.
24. Elemento químico que decai em rádio após a emissão de uma partícula alfa.
25. Diz-se da faixa do espectro eletromagnético compreendida entre o infravermelho e o ultravioleta.
29. Assim é denominado o trítio com relação ao deutério ou ao hidrogênio.
33. A de Planck é medida em J.s (produto do Joule pelo segundo) no SI.
34. A nuclear é associada à energética das estrelas.
37. Radiação correspondente à emissão de elétrons desde o núcleo de um átomo.
38. Partícula constituída por dois quarks up e um quark down.
41. Para um fóton, seu valor é proporcional à frequência.
43. Partículas que, como os fótons, "se imitam", podendo ocupar o mesmo estado quântico em determinado sistema.

Figura 48 – Cruzadas sobre termos característicos no estudo da estrutura da matéria.

Da única sala virtual disponível ao conjunto de meus alunos do EE Alberto Levy, o *fisicaemrede.com* tem sido amplamente e continuamente reestruturado a partir de meu ingresso, em 2010, como professor na Licenciatura em Física do IFSP-SP, passando a contar com um espaço de trabalho para cada disciplina por mim ministrada, além de áreas destinadas à livre realização de passatempos e de aprendizagem quanto à sua elaboração, à aprendizagem sobre *Moodle* em geral e à exposição do desenvolvimento da própria investigação vinculada ao doutoramento. Vale observar que com exceção de uma área de testes, todo o ambiente é aberto a visitas, sem necessidade de registro de usuário. Há, sim, recursos e atividades que somente são visualizados e praticados a partir de tal registro, mas dentro da ideia central de permitir a visualização global do ambiente e de facilitar suas conexões internas.

Outras características do *fisicaemrede.com* serão realçadas no próximo capítulo. Por ora, a descrição aqui feita deste ambiente, somada à anterior apresentação do trabalho com os simuladores do átomo de Bohr, já permite suficiente clareza no rumo tomado pelo pesquisador quanto ao uso das tecnologias da comunicação e informação no ensino de física e no motivo pelo qual o assunto é abordado nesta tese. Não se trata de procedimento autoavaliativo da qualidade do material produzido, das aulas ministradas ou da própria pesquisa. Trata-se, sim, de, resgatando aquele alerta quanto ao cuidado de não vislumbrar vida própria nestas tecnologias (ver p. 101), posicionar-se com clareza a favor de seu uso em qualquer nível e modalidade de ensino de forma a aproveitar ao máximo seu potencial na perspectiva da expansão da rede de significados do estudante. Ínfima contribuição didático-pedagógica pode ser associada ao uso de ambientes virtuais como meros repositórios de arquivos, de simulações como simples complementos às exposições teóricas do professor ou de questionários *Hot Potatoes* que se assemelhem a testes de vestibulares.

Nesse contexto, resgato o posicionamento de Demo (2012) a respeito da necessidade em apostar no desenvolvimento de ambientes virtuais que promovam a autoria docente e discente, sendo retrógradas as atitudes de ignorar ou depreciar esta inovação educacional:

A essas alturas, o que é inovação educacional se torna algo óbvio: iniciativas que aprimoram a oportunidade de aprender bem, tais como [...] os ambientes virtuais de aprendizagem (AVAs) [que] só são importantes se os estudantes aprenderem bem com eles. Estão, porém, avançando sobre as instituições de educação de maneira crescente e compulsória. Assim, inovação educacional, hoje, implica AVAs também, tornando-se atitude retrógrada simplesmente contrapor-se a eles, depreciá-los, ignorá-los, como faz o Plano Nacional de Educação (PNE), quando, falando da formação de professores, admite apenas “cursos presenciais”. Primeiro, usa-se uma linguagem obsoleta que, no fundo, se rende ao instrucionismo da aula, como se não fosse possível aprender fora da sala de aula. Quem estuda está presente, do que se conclui que a distinção não é entre curso presencial e não presencial, mas entre cursos com presença física e cursos com presença virtual, de preferência híbridos. [...] postular que o estudante só aprende frequentando aula é uma velharia infame

que só as pedagogias do arco da velha pleiteiam. Todo pedagogo que não sabe lidar com AVAs está fora do mapa. (DEMO, 2012).

O mérito dos ambientes virtuais de ensino e aprendizagem<sup>26</sup> não é, portanto, substituir a sala de aula física ou ser dela mero anexo ou apêndice, mas abrir o horizonte para a invenção de práticas educacionais que sem o virtual dificilmente se imaginaria realizar. Nessa via, merece atenção as considerações de Franco e Lessa (2012) sobre as características a serem contempladas na construção de ambientes virtuais interativos:

- (a) que a plataforma seja multifluxo;
- (b) que existam na plataforma funcionalidades que ensejem a configuração de uma topologia mais distribuída do que centralizada, possibilitando a precipitação da nova fenomenologia da interação (ou, em outras palavras, que a plataforma de aprendizagem seja realmente uma plataforma de rede);
- (c) que a experiência de uso implicada no design da plataforma parta do que a pessoa conectada à plataforma pode desejar fazer e não do que a plataforma pode oferecer; e
- (d) que o design da plataforma contemple mecanismos e funcionalidades que compreendam a adesão e a participação, mas que consigam chegar à interação, permitindo a adaptação mútua, a imitação e a colaboração e ensejando a manifestação daqueles fenômenos capazes de gerar auto-organização [...] O ideal é que esses mecanismos e funcionalidades sejam baseados em um gradiente de interação do tipo: adesão -> adesão-participação -> participação -> participação-interação -> interação. (FRANCO, LESSA, 2012).

Com tais considerações, Franco e Lessa (2012) procuram responder ao que denominam por *concepções e práticas mais acordes à estrutura e dinâmica da sociedade-em-rede que está emergindo ou – o que é a mesma coisa – à fenomenologia da interação social*, posicionamento que pode ser entendido como imerso ao desenvolvimento das pesquisas sobre “aprendizagem em rede”, termo que apesar de contemplar diversas conotações, envolve quase sempre a ênfase nos contextos colaborativos e/ou cooperativos de aprendizagem potencializados pela conectividade fomentada pela tecnologia digital.

Parte desse processo é a emergência do conectivismo e sua polêmica proposição de ser uma nova teoria de aprendizagem que se mostraria mais adequada para lidar com a rapidez e complexidade que caracteriza o fluxo de conhecimento hoje potencializado pelas tecnologias digitais:

---

<sup>26</sup> Vale aqui observação acerca de minha preferência pelo uso da expressão “*ambiente virtual de ensino e aprendizagem*” frente a “*ambiente virtual de aprendizagem*”, de uso mais popular. Apesar de concordar com as considerações de Demo e outros educadores quanto à necessidade em ter como centro a aprendizagem, combatendo-se o característico foco dado pelo instrucionismo ao ensino, este último não se tornou para nada desprezível ou dispensável, sempre tendo alguém que alimenta e estrutura, com suas convicções educacionais, o ambiente virtual e que, portanto, direta ou indiretamente, ensina.

[ ] Todas as teorias existentes posicionam o processamento (ou interpretação) do conhecimento no indivíduo que está aprendendo. Este modelo funciona bem se o fluxo de conhecimento é moderado. Uma visão construtivista de aprendizagem, por exemplo, sugere que nós processamos, interpretamos e derivamos significados pessoais a partir de diferentes tipos de informação. O que acontece, porém, quando o conhecimento é mais um dilúvio do que uma gota? O que ocorre quando o conhecimento flui rápido demais para ser processado ou interpretado?

Uma vez que o fluxo se torna tão rápido e complexo, nós precisamos de um modelo que permita aos indivíduos aprender e atuar apesar do ritmo e fluxo. Um modelo de rede de aprendizagem (um atributo do conectivismo) descarrega algumas das funções de processamento e interpretação do fluxo de conhecimento para nós internos a uma rede de aprendizagem. Em vez do indivíduo ter que avaliar e processar cada pedaço da informação, ele/ela cria uma rede pessoal de nós confiáveis: pessoas, conteúdos, potencializados pela tecnologia. O aprendiz agrega nós relevantes e conta com cada um dos nós para prover o necessário conhecimento. O ato de conhecer é descarregado para a própria rede. Esta visão da aprendizagem condiz bem com a contínua complexidade e ritmo do desenvolvimento do conhecimento. (SIEMENS, 2006, p. 33, tradução nossa).

Embora agregadora de diversos tópicos explorados nesta tese, tais como o conhecimento como rede, a teoria das redes complexas, a complexidade do conhecimento e da aprendizagem, a proposição de Siemens (2006) sobre o conectivismo é aqui resgatada com cautela, haja vista que seu reconhecimento por este pesquisador somente se deu nas vésperas do fechamento do trabalho e que, como indicado por Demo (2011), há entre os pesquisadores da aprendizagem em rede significativas dúvidas a respeito da legitimidade em considerá-la como uma nova teoria de aprendizagem:

Pode-se afirmar que aprender é o processo de criar redes, a exemplo do que ocorre no cérebro entre os neurônios (Siemens, 2006). Este exemplo cerebral poderia ser estendido para pessoas, organizações, bibliotecas, sites, livros, revistas, bases de dados ou qualquer fonte de informação. A questão que sobra é se esta visão significa de direito e de fato uma nova teoria da aprendizagem. Num sentido, é sim, porque a própria ambiência nova e inovadora das plataformas digitais implica outros cenários obviamente. Noutra, não precisa ser, porque não é muito difícil reconfigurar teorias anteriores, trazendo-as – reconstruídas, naturalmente – para outros contextos. O conectivismo só não basta. É indispensável qualificá-lo. Por exemplo, construir conhecimento juntos é processo já bem reconhecido, em particular frente a casos convincentes como a Wikipédia. Esta novidade, no entanto, não substitui as outras enciclopédias, como se, de agora para frente, a única maneira de aprender e produzir conhecimento seria aquela mediada pelas novas tecnologias e tendencialmente amadoras. As plataformas da web 2.0, por si, já indicam o quanto novas tecnologias são impactantes no campo da aprendizagem, não podendo mais ser ignoradas. Mas elas não são, por si, a própria aprendizagem. Por isso, dizem Ryberg et alii: “Permanecemos incertos da epistemologia fundamental do conectivismo, e nos sentimos inseguros sobre onde se localiza em termos de outras teorias existentes” (2011:51). (DEMO, 2011).

Como manifestado pelo próprio Demo (2011), mais do que cultivar polêmicas, o fundamental é, no entanto, aproveitar ao máximo o potencial educacional das novas

tecnologias, posicionamento que incorporo como válido para todo o caminhar pelo virtual feito nesta tese:

Na prática, porém, mais que seguir polêmicas sem fim, o mais importante é saber aproveitar o potencial imenso das novas tecnologias. Embora estas não dispensem outras teorias da aprendizagem, as reconfiguram de maneiras radicais por vezes, e vão se tornando indispensáveis para a nova geração. Pode-se aprender perfeitamente bem sem novas tecnologias. Mas, cada vez mais, fica estranho dispensá-las, porque invadiram já nosso dia a dia. Não cabe o determinismo tecnológico, porque não podemos ficar de fora como meras marionetes de algo que, no fundo, nós mesmos inventamos. Cabe menos ainda a pura resistência, em especial da pedagogia, porque, além de inútil e tola, impede que nos postemos à altura das novas gerações. (DEMO, 2011).

#### 4.4 ENSINO, APRENDIZAGEM E FÍSICA QUÂNTICA

A concepção do conhecimento como feixe de relações entre significados, associada ao destacado papel que cumpre a física quântica na interligação entre os mais diversos campos de conhecimento, permite apostar em seu potencial como veículo privilegiado na tecedura de redes conceituais no processo de ensino-aprendizagem. A fim de melhor concretizar tal proposição, apresentam-se nesta seção alguns exemplos já trabalhados junto aos licenciandos de física do IFSP-SP, além de outros construídos em meio à reflexão proporcionada pela elaboração do presente texto.

Quais as diferenças de procedimento para ver e tirar fotografias e radiografias? O que são os raios X e porque conseguimos enxergar ossos e órgãos com ele? A apresentação destas perguntas problematizadoras em associação com a mostra e manuseio de algumas fotografias (acompanhadas de seus respectivos negativos) e radiografias compõem a introdução à sequência didática intitulada *Fotografia, radiografia e grãos de luz*, cujos slides podem ser observados no APÊNDICE A.1. A ideia é que após alguns minutos de reflexão individual ou em pequenos grupos, o professor conduza em torno daquelas questões iniciais um diálogo com os estudantes de modo a favorecer o relato de experiências por eles vividas ou presenciadas.

Despertado o interesse e dada a contextualização, prossegue-se com a apresentação das diferenças básicas entre a visualização e a produção de fotografias e radiografias. Em seguida, a fim de evidenciar semelhanças e diferenças entre a luz visível e os raios X, são tecidas algumas considerações teóricas sobre o espectro eletromagnético e o caráter granular da luz, incluindo-se nesta discussão comparações entre as unidades de energia *quillowatt-hora*, *joule* e *elétron-volt*, prevendo-se neste momento algum tempo para os estudantes se

familiarizarem com os cálculos das energias ( $E = hf$ ) correspondentes aos fótons das radiações infravermelha, vermelha, ultravioleta, raios X e raios gama. A sequência é, então, encerrada com o retorno àquelas questões motivadoras, mas agora para respondê-las com base ao modelo teórico discutido ao longo das aulas.

Qual a série da escola média mais apropriada para a aplicação dessa sequência didática? E quanto ao conteúdo? Faria ela parte do campo de estudo da óptica, do eletromagnetismo ou da física quântica? A resposta estará no planejamento adotado pelo professor, podendo-se até mesmo imaginá-la como a primeira sequência de aulas de física do primeiro ano do ensino médio, a partir da qual os campos específicos da óptica, do eletromagnetismo ou da própria física quântica poderiam ser trilhados. Alternativamente, trajetos menos usuais, como a exploração simultânea de aspectos da mecânica e da ondulatória, poderiam também ser construídos. Estender a própria sequência a outros processos de obtenção de imagens, tal qual a holografia, é outra via pertinente. Tão pouco é necessário restringir-se ao ensino médio, sendo o assunto plenamente adequado a cursos superiores de licenciatura ou bacharelado.

Claro que, escolhido o período, a série ou nível de ensino, adequações serão necessárias a fim de melhor contextualizar, limitar ou expandir o assunto. Mas isso não significa conceber a existência de pré-requisitos gerais e absolutos que indiquem restrições quanto ao seu desenvolvimento em alguma etapa escolar.

Não é necessário aguardar que o aluno tenha sólidos conceitos de óptica geométrica e boa compreensão da técnica fotográfica para que se lhe apresente a quântica da radiografia. Mesmo porque só se conhece bem o fenômeno fotográfico mediante o efeito granular da luz. Sem essa compreensão, faz-se a discussão da imagem projetada por câmaras escuras, mas não da inscrição desta imagem no filme fotográfico, efeito muitas vezes relegado pelo professor de física ao terreno dos “processos químicos”. Curioso é que hoje em dia um professor de química bem poderia devolver a questão referindo-se a filmes fotográficos como algo antiquado e realçando os “processos físicos” que ocorrem nas câmaras digitais. Fato é que são quânticos todos esses processos e quanto mais cedo o estudante puder ter uma noção disso, mais possibilidade ele terá de tecer relações entre os significados inerentes a cada um deles. Em outra sequência didática que tenho trabalhado junto aos licenciandos de física do IFSP-SP, intitulada *Ondas, música e quântica* (APÊNDICE A.2), apresentam-se as seguintes perguntas problematizadoras: (a) “Qual a diferença entre um som alto (agudo) e um som baixo (grave)?” (b) “Analise a seguinte afirmação: a voz fina está para a luz azul assim como a voz grossa está para a luz vermelha”; (c) “O que é uma onda estacionária e por que ela é

assim chamada se, como onda, implica a necessária propagação de uma perturbação?"; (d) "Como se faz para produzir sons mais altos (mais agudos) e sons mais baixos (mais graves) em um instrumento musical de corda?"; (e) "Qual o significado de uma frequência fundamental e de seus harmônicos?"; (f) "De que forma um átomo se assemelha a um violão ou a um tamborim?".

A fim de promover maior interesse e contextualização, após alguns minutos de reflexão individual ou em grupo sobre tais perguntas, solicita-se a um aluno que toque algumas notas musicais em seu violão, cuja presença em sala de aula havia sido previamente acordada. O diálogo é, então, conduzido de forma a primeiramente incentivar que alunos sem experiência com instrumentos musicais observem o que é feito pelo músico a fim de provocar a emissão de uma nota mais aguda ou grave por seu violão. Para tanto se solicita ao aluno músico que mostre à turma todas as formas possibilitadas pelo instrumento para a emissão das notas musicais. Posteriormente, incentiva-se o diálogo entre músicos e demais alunos na busca de respostas àquelas questões motivadoras.

Sem, no entanto, permitir o estabelecimento de respostas definitivas, interrompe-se a discussão para se realizar uma primeira interlocução teórica com a apresentação dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda, velocidade e amplitude, bem como com a realização de uma comparação entre as frequências da luz visível e das notas musicais. Resgatam-se, então, as duas primeiras questões.

Tendo em mãos molas *slinks*, além de acesso a vídeos e simulações computacionais, avança-se para a observação de ondas estacionárias em cordas e molas, enfatizando-se a produção dos harmônicos da frequência fundamental de vibração. À luz da apresentação dos conceitos de interferência construtiva e destrutiva, resgata-se a terceira questão explicando-se a onda estacionária como resultado das interferências dos pulsos que transitam em sentidos opostos na corda.

Em seguida, associando as discussões sobre as diferentes formas que um músico dispõe para emitir notas agudas e graves de seu violão e sobre a produção de ondas estacionárias, apresenta-se a expressão matemática para o cálculo dos harmônicos, realçando que quanto mais tensa, fina e curta se caracterizar a corda vibrante, mais agudo é o som produzido.

E o que a quântica tem a ver com tudo isso? Tal qual observado por Menezes (2005), enquanto analogia entre os estados quânticos dos átomos, em seus níveis de excitação, e os modos vibracionais de instrumentos musicais, tem tudo a ver:

É preciso desenvolver uma nova forma para compreender os sistemas quânticos, como átomos, em termos dos estados quânticos desses sistemas. Ainda que um sistema possa ter componentes, como o átomo tem elétrons, um estado quântico, de um átomo ou de uma célula cristalina, deve ser tomado como uma totalidade não decomponível em partes. É possível comparar um estado quântico ao estado vibracional de um instrumento musical, em que os movimentos da corda de um violão, ou do couro de um tamborim não podem ser separados da vibração do tampo, ou do corpo desses instrumentos, porque este estado é do conjunto.

É impossível “reconstruir” um modo de vibração de um violão, pois é das ressonâncias do tampo e de todas as cordas sustentadas pelo braço do instrumento que depende o conjunto das frequências com que vibra a corda, e é este conjunto que definirá tom e timbre. O mesmo vale para o tamborim, cujo som depende não só da tensão do couro, mas também do volume, do formato e do material do corpo do instrumento, para não falar na forma com que ele é segurado por quem batuca.

Tomando cuidado contra o risco de analogias, e lembrando que a onda quântica, diferentemente da de som, não é a oscilação de um meio ou de um objeto, mas sim uma amplitude de probabilidade, pode-se dizer que os estados quânticos dos átomos, em seus níveis de excitação, se parecem mais com modos vibracionais de instrumentos musicais do que com sistemas planetários, ou com elétrons circulando em torno de núcleos. (MENEZES, 2005, p. 153).

Associado ao uso de algumas simulações computacionais sobre modelos atômicos, o texto de Menezes (2005) fecha, então, a sequência *Ondas, música e quântica* que deixa portas abertas para uma série de discussões tanto sobre a modelagem atômica como para aprofundamentos e extensões teóricas quanto aos sons produzidos pelos instrumentos musicais.

Claramente mais densa que aquela comparação entre fotografia e radiografia, são diversas as adequações que se poderia realizar nesta sequência de aulas a fim de torná-la mais significativa a alunos deste ou daquele nível de ensino. Novamente, no entanto, o que me parece foco de atenção para o contexto do presente trabalho é tê-la como exemplo da possibilidade de se discutir quântica a partir de, ou em conjunto com, discussões típicas da física clássica.

Outra sequência de aulas que julgo pertinente aqui brevemente expor envolve a questão da radiatividade no contexto do incidente com a pequena cápsula de césio-137 abandonada pelo *Instituto Radiológico de Goiânia* em terreno baldio da *Rua 57 do Bairro Popular de Goiânia*, em setembro de 1987. Após leitura e discussão de texto estruturado com excertos do rico relato *O nuclear na terra do Sol*, de Gabeira, sobre os trágicos acontecimentos que ocorreram a partir da fragmentação da cápsula por sucateiros, apresenta-se uma síntese teórica acerca da constituição nuclear e da radiatividade natural, seguida de atividade de familiarização com as séries radiativas naturais, sendo a sequência finalizada com o estudo de texto explicativo do processo de decaimento que caracteriza o isótopo 137 do césio (APÊNDICE A.3).

O destaque para esta sequência de aulas não está no enlace de aspectos clássicos e quânticos, mas nas conexões estabelecidas com as demais disciplinas das ciências da natureza através do próprio conteúdo teórico e com outras áreas partir dos desdobramentos sociais, culturais e políticos associados ao evento. Trata-se, pois, de um conjunto de textos e atividades não apenas adaptáveis a qualquer curso de física, mas também a cursos de outras disciplinas ou a projetos interdisciplinares.

Antes de apontar outras possibilidades de inserções curriculares da física quântica que fortaleçam o tecer de redes conceituais no processo de ensino e aprendizagem, é oportuno ponderar que esse enredamento também pode ser reforçado com temáticas como a da energia. As matrizes energéticas brasileira e mundial, por exemplo, constituem excelente material de trabalho para utilização com as devidas adequações em qualquer série, nível de ensino e, talvez, qualquer disciplina. Não é preciso, enfim, lecionar física quântica para auxiliar o aluno na expansão de sua rede de significados. Mesmo o processo de ensino e aprendizagem de cinemática pode ser pensado no contexto das ações de mediar, tecer, mapear e fabular propostas por Machado (2004). Conceber o conhecimento como feixe de relações entre os nós de uma rede de significados é, enfim, ação independente e mesmo precedente à consideração da física quântica como veículo privilegiado na textura da rede conceitual desenvolvida pelo aluno ao longo de seu aprendizado.

Da mesma forma que teriam desconforto no tratamento em rede dos conteúdos da física clássica, professores de prática avessa a essa concepção, apresentarão natural resistência à abordagem da física quântica em suas aulas na escola média ou à antecipação desta abordagem para as primeiras aulas de um curso universitário. Pelo contrário, professores que consciente ou inconscientemente têm essa concepção incorporada às suas ações pedagógicas, agregam contextos reais às suas aulas e “tropeçam”, querendo ou não, nos fenômenos quânticos. A aprendizagem pode se desenvolver tanto no primeiro como no segundo caso. Não fosse assim, eu mesmo não estaria escrevendo este texto, haja vista que minha formação de física na escola básica e no ensino superior sempre seguiu o caminho previsto nos tradicionais manuais didáticos.

O que aqui se defende, no entanto, é que seja qual for a prática adotada pelo professor, o aprendizado se dá pela (re)construção do feixe de significados próprio de cada estudante e que, em vista do papel da física quântica como tecido de várias redes, é hoje mais fácil aprender física quando os fenômenos quânticos são abordados ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Sim, mais fácil, contrapondo-me, portanto, a alegações do tipo “*já é difícil ensinar física clássica, quanto mais a física quântica!*”. A facilidade ou dificuldade de

aprendizado de um conceito nem sempre está nele em si, mas na sua relação com a vivência do aprendiz. E quanto a isso a quântica promove enorme facilitação.

Será mesmo mais fácil aprender primeiramente toda a mecânica e óptica clássicas para, somente então, conhecer o comportamento dual da luz? Ou seria melhor, logo de início, aprender que portas automáticas de elevadores, lojas e aeroportos, assim como diversos outros dispositivos presentes na vivência contemporânea, funcionam devido ao comportamento corpuscular da luz? Será mesmo mais fácil aprender primeiramente todo o eletromagnetismo clássico para somente então conhecer a propriedade dos materiais semicondutores? Ou seria melhor aproveitar-se da presença destes materiais na base de todo desenvolvimento da informática e apresentá-los como introdução ao estudo dos circuitos elétricos?

Não se trata de inverter o problema e pressupor uma compreensão completa do efeito fotoelétrico e das propriedades dos semicondutores, desprezando-se o estudo dos fenômenos clássicos. Trata-se, sim, de apostar que estes assuntos não deveriam apresentar-se em completa separação e, sim, em certa sintonia e recorrência ao longo do processo de ensino e aprendizagem.

Outro obstáculo por vezes anunciado para a abordagem da física quântica na escola média se vincula a lacunas presentes na formação do professor: “*se não aprendi física quântica em minha licenciatura, como posso agora ensiná-la?*”. Se o problema a isso se resumisse, ainda que real e grave, poderia se imaginar uma solução futura a partir da melhoria e correção de rota dos cursos universitários. Mas isso resolveria apenas em parte o problema, haja vista que ao longo de sua carreira, este professor certamente se deparará com novidades teóricas e tecnológicas não discutidas e talvez nem mesmo existentes quando realizado aquele excelente curso universitário.

Importante esclarecer que as considerações críticas acima não pretendem atribuir ao professorado a responsabilidade por sua dificuldade no trato da quântica na escola média. Tão pouco se tem a intenção em subestimar um problema que, tanto por minha própria vivência profissional, como pelo acompanhamento a estágios de licenciandos do IFSP-SP em escolas de ensino básico, percebo generalizado. Generalização, aliás, confirmada por alguns trabalhos acadêmicos.

Exemplo disso é a pesquisa relatada por Sanches (2006, p. 59) junto a seis professores de física de escolas públicas de nível médio do noroeste do Paraná, cuja análise apontou que embora todos tivessem apresentado concordância com a inserção da física moderna e contemporânea (FMC) no ensino de nível médio, a maioria se avaliou despreparada para seu ensino, sendo que apenas um dos entrevistados tinha formação em física “*e mesmo esse*

*respondeu que gostaria de preparar-se mais para ministrar tópicos de FMC em sala de aula, enquanto a maioria, graduados em Matemática, respondeu negativamente à questão [de estar ou não preparado], pois o curso de Matemática não oferece a disciplina de Física Moderna”.*

Assim também, em pesquisa realizada junto a dez professores de física atuantes no ensino médio, público e privado, da cidade do Rio de Janeiro, todos cursando ou já tendo concluído algum programa de pós-graduação, Oliveira et al. (2007) relatam que apesar da maior parte mostrar-se favorável à utilização de tópicos de física moderna neste nível de ensino, sete nunca o fizeram, sendo que os outros três realizaram abordagens apenas superficiais. Indagados especificamente com relação à temática dos raios X, *“os professores sinalizaram a matematização do tópico como um problema e, portanto, trabalhariam apenas a parte conceitual. Além disso, indicam a terceira série do ensino médio como o melhor momento para trabalhar o tópico e apontam a necessidade de um material didático para auxiliá-los em sala”.*

Em outra pesquisa, Monteiro et al. (2009) analisaram os discursos de cinco professores de física atuantes no nível médio de ensino em um município da região nordeste brasileira, com a peculiaridade de que à época das entrevistas todos tinham recente formação em física, incluindo-se em tal formação alguns componentes curriculares relacionados à FMC, tal como *Estrutura da Matéria I* e *Física Moderna*, cursadas por todos eles, além de *Mecânica Quântica*, cursada por quatro deles e *Estrutura da Matéria II*, cursada por dois dos professores entrevistados.

Explicam os autores que a escolha por professores recém-formados teve por objetivo garantir que as defesas para a introdução da FMC no nível médio da educação básica já tivessem adquirido representatividade na pesquisa em educação em ciências, *“sendo razoável esperar-se que tais pesquisas já tivessem deixado suas marcas nas formações de professores de Física, como também alcançado a Educação Básica”.* No entanto, o que se constatou foi que apesar da relevância que todos os entrevistados atribuíam à proposição de se trabalhar FMC no ensino médio, *“nunca haviam introduzido a FMC em seus planejamentos de ensino, como também desconheciam quem o fizesse entre os seus pares”.*

Pela grande ressonância para com os discursos por mim já presenciados ou relatados por meus alunos estagiários, vale a pena observar a explicitação feita no quadro 5 de alguns trechos das entrevistas realizadas por Monteiro et al. (2009) no que se refere às justificativas apresentadas por alguns dos entrevistados para a não inserção de FMC na escola média ou quanto à proposição de sua inserção somente ao final do ensino básico.

Quadro 5 – Trechos expostos por Monteiro et al. (2009) de entrevistas realizadas com professores de física visando reconhecer seus posicionamentos sobre a proposição do ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na escola média.

Problema	Depoimentos (1)
Conteudismo	<p>(P1) Primeiro. Temos muitos conteúdos e pouco tempo. Não vejo como. Não vejo como fazer isso. Normalmente a gente sabe que começa com a mecânica, mas onde vai terminar, o que vai avançar, é imprevisível. Às vezes a gente chega no terceiro ano e não conclui a parte de mecânica. Além da programação em si, existem aquelas turmas que não tiveram professor de física. São muitas coisas.</p> <p>(P5) O tempo não é suficiente nem pra trabalhar a Física Clássica da programação. A Física Moderna nem pensar. São apenas duas aulas por semana e com as dificuldades dos alunos, a gente não consegue avançar muito. Assim não dá pra terminar a Física Clássica.</p>
Apego à excessiva formalização matemática	<p>(P1) Olha. Não tenho como dizer agora. Precisaria de um tempo pra pensar. [...] Olha. Como falei. Não tenho como dizer agora. Realmente preciso de um tempo. De um tempo pra pensar em tudo isso. Não vejo como trabalhar aquele formalismo matemático no Ensino Médio. Eu não tenho uma resposta pra essa situação, porque é muito nova pra mim. É totalmente nova [...] Os alunos não compreendem o formalismo matemático. Não vejo como trabalhar aquele formalismo matemático no Ensino Médio.</p>
Alegada falta de experiência	<p>(P4) Não tenho experiência nenhuma com a Física Moderna e Contemporânea nas aulas de Física. Nas minhas aulas, aqui na escola. Como eu não tenho experiência com essa situação, eu preciso, é, eu teria que ter um tempo pra analisar, saber o que é possível fazer. Mas, é muito difícil. Eu acho.</p> <p>(P5) Como ainda não trabalhei a Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, prefiro não opinar no momento. Também não tive a Física Moderna nas aulas de Física quando eu estudava o Ensino Médio. Assim, preciso de conhecer alguma experiência.</p>
Absolutização da sequência linear tradicional, com a FMC somente podendo ser abordada ao final do ensino médio	<p>(P1) Com certeza, depois de todos os conteúdos do volume três. Aí eu ia trabalhar na sequência o volume um, volume dois e depois do volume três. Com isso, já no último ano, o aluno ia ter base para que a Física Moderna fosse trabalhada.</p> <p>(P5) Física Moderna seria a parte final da programação. Na parte final da programação do terceiro ano. Depois que trabalhasse a mecânica, a termodinâmica, ondas, quem sabe ótica, a eletricidade que no terceiro ano. Assim, quando terminasse toda a programação da Física Clássica, aí começava com a Física Moderna.</p>
(1) Os símbolos P1, P2, etc, referem-se à identificação dos cinco professores entrevistados.	

A fim de investigar possível relação entre tais posicionamentos e as características do ensino superior cursado por estes jovens professores, os pesquisadores incluíram em suas entrevistas diálogos acerca do desenvolvimento das disciplinas relativas ao ensino de FMC por eles cursadas, revelando-se que as aulas de mecânica quântica eram especialmente marcadas pela “*repetição dos conteúdos pelo docente, seguindo a mesma sequência dos livros didáticos, exercícios de fixação e repetição dos mesmos pelos licenciandos nas avaliações*”. Constatada tal evidência de uma formação alheia à perspectiva de uma educação científica crítica e emancipatória, Monteiro et al. (2009) opinam que para se alcançar sucesso nas

propostas de inserções contextualizadas de FMC é imprescindível discutir outras perspectivas para a formação de professores de física, sendo mais urgente dotar os futuros professores de uma compreensão efetiva da ciência em geral do que preocupar-se em demasia com a modernização curricular da educação básica.

Concordo com Monteiro et al. (2009) no que tange à necessidade de uma transformação radical nos cursos superiores que tenha como perspectiva uma educação crítica e emancipatória, necessidade essa que vejo extensível aos programas de formação contínua e em serviço. Pondero, no entanto, que me parece utópico supor que as instituições públicas possam oferecer tal formação na quantidade, qualidade e agilidade necessárias, sendo inclusive preciso reconhecer que os educadores eventualmente responsáveis por tal formação não necessariamente teriam a concepção do conhecimento em rede defendida nesta tese.

Nesse sentido, é pertinente observar o movimento internacional de inserção da física quântica nos currículos oficiais da escola média. O quadro 6 sintetiza os resultados da pesquisa realizada por Lobato e Greca (2005) na qual se constata que na maioria dos casos analisados (Portugal, Espanha, França, Canadá e Itália) a quântica somente é introduzida ao final da escola básica, com Suécia e Dinamarca se diferenciando pela presença da física de partículas no primeiro ano, relacionada com a constituição da matéria e no segundo ano, com as reações nucleares. Segundo as pesquisadoras, especial destaque merece o Reino Unido em que a física das partículas aparece logo no início do curso, antes mesmo da mecânica e com referências à eletrodinâmica quântica (QED) de Feynman.

Ainda que a pesquisa de Lobato e Greca (2005) não tenha abordado o assunto, me parece razoável supor que educadores de física de reconhecido renome em seus países tenham participado na elaboração de cada um dos currículos oficiais por elas analisados, educadores esses geralmente exercendo a função de formadores de professores em cursos universitários. Mesmo no Brasil, em que os documentos educacionais oficiais, construídos com a participação de profissionais de reconhecida trajetória em prol de uma educação integradora, combatem o conteudismo e orientam para o desenvolvimento de competências e habilidades, em que o *Programa Nacional do Livro Didático* (PNLD) tem incentivado a elaboração de obras didáticas que privilegiem o enredamento de conteúdos e em que os currículos oficiais de alguns Estados (como São Paulo e Minas Gerais) apresentam boa interação interdisciplinar, as grades curriculares das licenciaturas em física mais se assemelham à absolutização do sequenciamento linear de conteúdos do que a uma perspectiva de ensino e aprendizagem em rede.

Quadro 6 – Inserção da Teoria Quântica (TQ) nos currículos oficiais da escola média em alguns países.

País	Estratégias de introdução de TQ	Altura de introdução da TQ	Tempo previsto	Temas abordados	Aplicações TQ mencionadas
Portugal	Tradicional (1); mudança de Paradigma (2).	Fim do ensino secundário.	17% do currículo do último ano.	Quantização; dualidade; princípio de incerteza.	Microscópio eletrônico; radioatividade; fusão e fissão nucleares.
Espanha	Tradicional; mudança de Paradigma.	Fim do ensino secundário.	30% do currículo do último ano.	Quantização; dualidade; princípio de incerteza; determinismo.	Física nuclear; radioatividade; fusão e fissão; física de partículas.
França	Mudança de Paradigma.	Fim do ensino secundário.		Quantização; constante de Planck.	
Reino Unido	Física de partículas; QED.	Início do ensino secundário e retomado em seu final	28% do currículo de 2 anos.	Interferência; difração; dualidade; quantização.	Efeito fotoelétrico; microscópios eletrônicos.
Dinamarca		1º ano + 2º ano.		Física atômica e nuclear	Astrofísica .
Suécia		1º ano + 2º ano.		Física atômica e nuclear	Astrofísica; estado sólido
Canadá		Último ano (pelo menos).		Física de partículas; quantização	Contribuições canadenses à Física Moderna.
Austrália				Física atômica e nuclear.	Dualidade; dispersão; Espectros.
Itália	Tradicional.	Fim do ensino secundário.		Constante de Planck; efeito fotoelétrico; modelos atômicos; dualidade; princípio de incerteza.	
Finlândia	Tradicional/experimental.			Quantização; física de partículas.	Efeito fotoelétrico.

FONTE: Lobato e Greca (2005).

(1) Estratégia de desenvolver o ensino da quântica (e o da física em seu conjunto) de acordo com a sequência histórica, cronológica dos acontecimentos.

(2) Estratégia que destaca a mudança de paradigma promovida pela TQ frente à física clássica.

O problema é, enfim, bem mais complexo, não parecendo fazer sentido delegar a necessária mudança da escola média a uma improvável reforma universitária. Talvez seja mesmo o caminho oposto aquele a ser trilhado, com as mudanças na universidade sendo decorrência de profundas alterações na escola média. Ao menos de imediato não há, enfim, escapatória: professores convencidos da necessidade da inserção curricular da física quântica na escola média e cientes de lacunas na sua formação, além de reivindicarem ações governamentais quanto ao incentivo à melhoria dos programas de formação inicial e contínua,

precisam promover sua própria atualização em serviço e, nessa medida, atuarem como professores pesquisadores.

Essa discussão sobre algumas das dificuldades apontadas para a inserção curricular da física quântica na escola média tem a intenção de não somente contribuir para sua superação rumo à percepção de facilitações ao processo de ensino e aprendizagem que podem ser proporcionadas por abrangentes abordagens da física quântica. Como reflexo disso no campo das pesquisas em ensino, diria que é preciso ultrapassar a fase da defesa da inserção curricular da física quântica na escola média com esse ou aquele tópico e avançar à percepção de que ela auxilia na tecedura da rede conceitual, tanto no nível médio, como superior.

