

1 INTRODUÇÃO

1.1 PERCURSO

O início das atividades que resultaram na elaboração desta tese deu-se no mesmo período de minha posse no cargo de Professor de Ensino Básico Técnico e Tecnológico no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Campus São Paulo (IFSP-SP), determinando diversas experiências que condicionaram nova perspectiva para a pesquisa.

Após uma carreira já consolidada de 23 anos de atuação como professor de física no ensino básico, me vi diante do desafio de atuar no ensino superior e preparar cursos para licenciandos em física. Ainda que a experiência anterior me desse certa confiança quanto à atuação em sala de aula e, devido à atuação concomitante nas esferas pública e privada, estivesse acostumado a um intenso ritmo de trabalho, tratava-se quase de um recomeço, exigindo uma dedicação efetivamente exclusiva ao novo cargo. Digo isso porque não se tratou apenas de optar pelo afastamento dos empregos nas escolas de ensino básico para aceitar o *Regime de Dedicação Exclusiva* (RDE) do IFSP-SP e, com isso, ter mais condições para iniciar de forma simultânea minha pesquisa de doutoramento. Tratou-se, isso sim, de mergulhar em um novo universo de conteúdos a serem (re)aprendidos, burocracias a serem incorporadas, novas funções e responsabilidades a serem exercidas.

Vale dizer que o IFSP-SP, parte do projeto do Governo Federal de rápida extensão da Rede Federal de Ensino, carece de um número adequado de professores, acarretando intensa jornada de trabalho docente. Acrescente-se a isso as características da Licenciatura em Física do IFSP-SP, com a prática de laboratório e os estágios orientados tendo importante relevância na grade curricular, além do fato da área de física fazer parte do chamado núcleo comum, atendendo a diversos outros cursos. O resultado, especialmente para um professor iniciante na instituição, é uma jornada de trabalho com muita diversificação e variação a cada novo semestre. Assim, em cinco semestres no IFSP-SP já havia lecionado em 10 diferentes disciplinas ou cursos: *Mecânica dos Sólidos e Fluidos* (teoria e laboratório), *Fenômenos Ondulatórios* (teoria e laboratório), *Óptica* (laboratório), *Estrutura da Matéria* (teoria e laboratório), *Oficina de Projetos de Ensino 1, 2, 3 e 4* (teoria e orientações de estágios), *Interface da Física com a Matemática - 3 e 3º ano do Ensino Médio Integrado*. Além disso, em virtude de projetos institucionais, exerci por dois semestres a curadoria do Clube de

Ciências do IFSP-SP, fiz pesquisas sobre evasão no banco de dados da instituição, ofereci dois cursos de extensão sobre *Moodle*, orientei alguns licenciandos no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e, ao longo de 2012 e início de 2013 cumpri a função de coordenador dos projetos EaD do Campus São Paulo.

Se, por um lado, essa intensa atividade tomou parte do tempo que me dedicaria às leituras e estudos mais diretamente vinculados à minha pesquisa de doutoramento, por outro ela deslocou o direcionamento do projeto ao abrir uma nova perspectiva para a tomada de dados e testes de aplicação da ideia central a ser apresentada. No projeto entregue para o processo de seleção, ainda muito próximo à análise teórica apresentada no texto *A Física Moderna e Contemporânea como facilitadora do aprendizado em rede* (CANATO JR., MENEZES, 2009), elaborado para o VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (VII ENPEC), a perspectiva apontada era elaborar um material instrucional com base na premissa do papel da física moderna e contemporânea como facilitadora do aprendizado em rede e aplicá-lo junto aos meus próprios alunos de, então, ensino básico. Conforme se acumulava a experiência no IFSP-SP, fui gradativamente ganhando a percepção de que mais rico e apropriado seria deslocar o foco para a formação de professores, ambientando o universo de minha pesquisa a partir nas orientações a estágios.

É nesse contexto que foram elaborados os trabalhos *Integração de atividades presenciais e virtuais no ensino de física* (CANATO JR., 2010), *Física Moderna e Contemporânea e aprendizado em rede* (CANATO JR.; MENEZES, 2011) e *Construindo redes de conhecimento a partir da Física Moderna e Contemporânea em estágios orientados* (CANATO JR., 2011), apresentados, respectivamente, ao Moodle Moot Brasil 2010, ao VI Encontro da Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências (VI EPIEC) e ao XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XIII EPEF). Também imerso neste percurso está o contínuo desenvolvimento de um domínio próprio (www.fisicaemrede.com) configurado como um ambiente virtual de ensino e aprendizagem *Moodle* que tem sido intensamente utilizado em meus cursos no IFSP-SP. Uma pausa e correspondente desgaste neste processo foram impostos pelo longo movimento paredista dos servidores do IFSP-SP ocorrido no 2º semestre de 2011, resultando em complexo período de reposições de aulas.

Maior consistência pôde-se, então, perceber na pesquisa quando, já ambientado ao IFSP-SP, cumpridos todos os créditos referentes a disciplinas deste Programa de Pós-Graduação e publicados alguns trabalhos sobre minha pesquisa, passei a atuar majoritariamente em disciplinas da licenciatura em física que dialogavam com minha

pesquisa (*Estrutura da Matéria e Oficinas de Projetos de Ensino*) e a coordenar a área de EaD no IFSP-SP, ação consonante com a aprendizagem no gerenciamento do *fisicaemrede.com*.

Nesse âmbito, já visando o Exame de Qualificação, intensificou-se a parceria com o orientador e melhor se definiu o objetivo, os limites e a modelação do trabalho. Como campo e objeto de pesquisa escolheu-se a própria prática do pesquisador como formador de professores junto aos licenciandos em física do IFSP-SP. Do universo de toda a física moderna e contemporânea, recortou-se a física quântica por nela reconhecer de forma mais concreta o papel de enredamento que se quer demonstrar. Além disso, percebeu-se que em vez de apresentar a física quântica como um campo de conhecimento central, tal qual sinalizada pela figura 1A, extraída do trabalho relativo ao VII ENPEC, melhor seria apostar na representação exemplificada na figura 1B, com a física quântica fazendo o papel de fio no tecer conceitual.

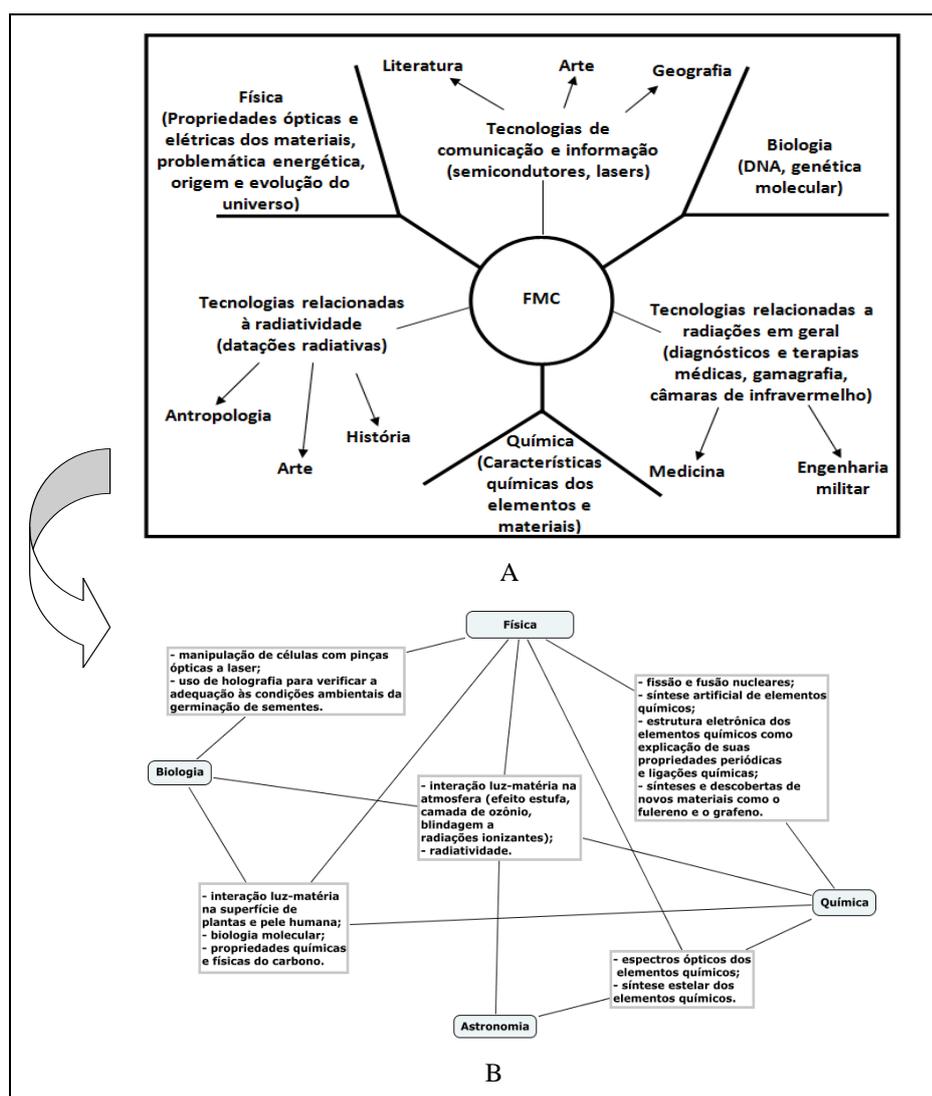


Figura 1 - (A) A física moderna e contemporânea com centro da rede conceitual;
(B) A física quântica como fios da teia conceitual.

O Exame de Qualificação e a participação no XIV EPEF com apresentação do trabalho *A Física Quântica como conhecimento em rede no ensino de física* (CANATO JR; MENEZES, 2012) lançaram luz sobre outros aspectos, como a importância do mapeamento de relevâncias e da narrativa na (re)construção do feixe de relações entre os nós da rede de significados próprias de cada aluno e a possibilidade de contextualizar o trabalho com as redes conceituais tecidas pela quântica no campo das pesquisas sobre as chamadas redes complexas. Tais contribuições demandaram um conjunto de novas leituras, assim como a introdução ao uso de *softwares* comumente utilizados na análise dos nós e *links* de uma rede, com a proximidade do final do prazo para o depósito da tese parecendo determinar a necessidade de uma escolha quanto a necessários recortes dos diversos caminhos abertos pela pesquisa. Felizmente, já na “reta final”, a ampliação do Programa de Qualificação e Capacitação oferecido pelo IFSP-SP possibilitou meu afastamento remunerado e permitiu apostar na perspectiva de um texto que tanto pudesse representar um percurso síntese dos caminhos já trilhados, como apontar possíveis continuidades de pesquisa.

1.2 APRESENTAÇÃO

Que a física quântica esteja presente em boa parte dos materiais didáticos elaborados para a escola média é fato consumado. Por genuína convicção na importância dessa inclusão ou por atender a recomendações educacionais oficiais, assuntos como efeito fotoelétrico, espectros ópticos, átomo de Bohr, dualidade onda-partícula, princípio da incerteza, fissão e fusão nucleares, partículas elementares e modelo padrão lá estão apresentados. Outra conversa é a forma com que tais temas estão inseridos: se distribuídos ao longo da coleção ou concentrados ao final do último volume; se contextualizados na vivência contemporânea ou apresentados como objetos teóricos quase que restritos à área científica; se tratados em sua fenomenologia e modelagem ou como objetos matemáticos para resolução de exercícios.

Por observação própria e pelo acompanhamento a estágios de licenciandos do IFSP-SP em escolas de ensino básico percebo, no entanto, a permanência de significativas resistências do professorado para a inserção da física quântica em suas aulas. Quantidade já excessiva de conteúdos referentes à física clássica, qualificação dos fenômenos e teorias quânticas como entidades por demais abstratas, falta de pré-requisitos do alunado e reconhecimento de sua má formação ou de carência em sua atualização, são algumas das considerações comumente anunciadas como justificativas para tal resistência.

Ainda que a má formação de alunos e professores, associadas às péssimas condições de trabalho, relativas tanto a excessivas jornadas e baixos salários como à inadequada estrutura de muitas escolas, sejam, de fato, um dos principais, senão o principal problema do sistema educacional brasileiro, a dificuldade para com o trato da quântica nas aulas praticadas na escola média parece ter muito mais a ver com a enraizada absolutização do método cartesiano de dar-se sequência a um encadeamento linear de pré-requisitos. E nesse sentido, a discussão extrapola o ensino básico, com o ensino da quântica sendo normalmente previsto nas grades curriculares apenas na segunda metade dos cursos de licenciatura e bacharelado em física.

Independentemente das condições de trabalho e do nível de escolaridade, no ensino de física há predomínio, em larga escala, da sequência que, iniciada pelas mecânicas de Galileu e Newton, segue internamente à física clássica até o eletromagnetismo de Maxwell, quando, então, se apresenta a chamada física moderna, quase sempre com a discussão da relatividade de Einstein antecedente à apresentação dos fenômenos quânticos.

De fato, são necessários alguns pré-requisitos para se explicar o porquê dos coeficientes angular e linear da reta traçada no gráfico do potencial de corte em função da frequência da luz incidente sobre um material sujeito ao efeito fotoelétrico corresponderem, respectivamente, ao *quantum de ação*, h , e à *função trabalho*, ϕ , do material. Não há, porém, qualquer lacuna quanto a algum conhecimento prévio formal que impeça uma apresentação fenomenológica do efeito fotoelétrico logo na primeira aula do primeiro ano do ensino médio. Pelo contrário, discussões sobre a segurança das portas de elevadores que não fecham enquanto entre elas estiverem posicionados objetos ou pessoas, a abertura automática de portas de lojas e aeroportos, o funcionamento de um controle remoto, o acionamento da iluminação pública ao anoitecer e a conversão de energia solar em elétrica por telhados contendo placas fotovoltaicas, são muito mais pertinentes a uma aula inaugural de física do que a apresentação de definições como as de ponto material e corpo extenso.

Com isso, já se anuncia um dos motes desta tese: a compreensão da física quântica como conhecimento em rede. Todas as partes em que a física é tradicionalmente compartimentada estão presentes nesse conjunto de exemplos relacionados ao efeito fotoelétrico: ótica, mecânica e eletromagnetismo no mecanismo de abertura de portas ao se interromper o fluxo de luz sobre uma célula ou sensor fotoelétrico acoplado a um motor elétrico que fornece a energia mecânica para o movimento da porta; ondulatória, óptica e eletromagnetismo na transmissão de informações pelo controle remoto que a cada tecla ou botão apertado envia luz infravermelha de comprimento de onda precisamente necessário para

acionar determinado circuito elétrico no aparelho remotamente localizado; óptica e eletromagnetismo nos dispositivos presentes nos postes de iluminação pública que tem sua resistência elétrica variada de acordo com a luminosidade; física térmica e eletromagnetismo na conversão de energia solar em elétrica pelos ou nos telhados com células fotovoltaicas. A quântica, manifestada neste caso pelas tecnologias associadas ao uso do efeito fotoelétrico, atua como fio que tece a rede de conhecimentos constituída pelos diferentes campos da física.

É na perspectiva de estender e aprofundar esta discussão que no Capítulo 2, de título *Física Quântica: tecido de várias redes*, será analisado o papel desempenhado pela quântica no enredamento de diversos domínios: interno à própria física, em seu desenvolvimento histórico e conceitual; na interligação das ciências e destas com outras áreas; no cotidiano contemporâneo; como catalisadora da atual evolução social.

Na sequência, *O mundo das redes*, Capítulo 3, abordará o campo das redes complexas que tem seu desenvolvimento intimamente vinculado à emergência da microeletrônica e das tecnologias da informação e comunicação. O processamento de bases de dados cada vez mais extensas tem motivado inúmeras pesquisas sobre as características das mais diversas redes, tais como as interações proteicas no campo da biologia, as conexões neuronais mapeadas no estudo do cérebro, as empresas-rede na área econômica, os hipertextos da *web*, as interconexões entre roteadores e outros dispositivos via *internet* e os mapeamentos de coautorias e citações em trabalhos acadêmicos.

A distribuição dos nós e a verificação da importância de suas relativas centralidades para aspectos como a vitalidade da rede ou a transmissão de informações por meio dos *links* que os conectam são elementos centrais da teoria de redes que têm possibilitado caracterizar como topologicamente semelhantes redes de natureza muito diferentes. Como parte desse processo, a frequência e disposição das palavras presentes em um texto, ou em um conjunto de textos, têm sido investigadas como forma de caracterizar, dentre outros estudos, aspectos culturais refletidos na língua escrita, estilos e qualidades autorais, a relativa importância entre os personagens de um enredo, mapeamentos de redes de conceitos e de redes de influências entre avanços científicos.

De potencial interesse para o campo educacional, as investigações em neurociência vêm crescentemente vinculando processos de aprendizagem com alterações cerebrais. Não parece, no entanto, estar no horizonte próximo a descoberta de uma relação direta entre anatomia cerebral e cognição. De qualquer forma, pelo próprio desenvolvimento da linguagem, entende-se que o conhecimento se desenvolve por meio de redes de significados. Esta é, aliás, uma premissa do Capítulo 4, intitulado *Uma educação científica em rede* que se

apoia na validade das metáforas do hipertexto e do rizoma na esfera educacional, qualifica a aprendizagem como fenômeno complexo, argumenta quanto à necessidade de não apenas tecer redes de significados, mas também de mapear relevâncias e desenvolver narrativas, explora a necessidade de se avaliar de forma qualitativa e processual, além de defender o uso de simulações computacionais e dos ambientes virtuais de ensino e aprendizagem.

Ainda neste mesmo capítulo, se estabelece uma ponte com a discussão apresentada no Capítulo 2, já projetando as práticas de ensino a serem analisadas no Capítulo 5: se o conhecimento se constrói como uma rede de significados e se a física quântica cumpre destacado papel na interligação entre os mais diversos campos de conhecimento, então é possível nela apostar como veículo privilegiado para se tecerem redes conceituais no processo de ensino-aprendizagem. Nesse sentido se apresentam algumas sequências didáticas praticadas junto aos licenciandos do IFSP-SP que visam concretizar essa ideia e se argumenta quanto à maior facilidade em se aprender física quando os fenômenos quânticos são abordados ao longo do processo de ensino e aprendizagem. É também neste capítulo que se problematizam algumas dificuldades e resistências do professorado para com a inserção da física quântica na escola média e se defende a necessidade do professor perceber-se como um pesquisador, devendo-se apostar muito mais em mudanças emergentes da própria escola média do que esperar-se por reformas universitárias promotoras de uma formação inicial caracterizada por uma concepção mais integradora do conhecimento.

O conjunto das premissas apresentadas nos capítulos anteriores balizam as práticas educacionais descritas e analisadas no Capítulo 5, denominado como *Práticas na formação de professores*. Procede-se aqui à descrição e análise de minhas práticas junto aos licenciandos do IFSP-SP, com a orientação a estágios pautados na investigação da quântica como promotora de conexões entre diferentes campos de conhecimento cumprindo papel de destaque. Também realçadas são as práticas relativas a um curso sobre a estrutura da matéria e ao uso do *fisicaemrede.com*.

Fechando o trabalho, em *(IN)Conclusão: redes abertas*, Capítulo 6, identificam-se perspectivas para a continuidade da pesquisa, seja quanto a lacunas nela percebidas, seja quanto a novos caminhos por ela abertos. Trata-se, nesse caso, de entender que eventuais trilhas abertas por uma pesquisa, como a aqui apresentada, possam ser pensadas tanto como lacunas ainda a cumprir, como perspectivas de novos percursos, ou seja, conclusão que não se resume a fecho.

Em tempo, vale ponderar de que algum “didatismo descritivo” que eventualmente se perceba nos capítulos iniciais pode ser compreendido (ou desculpado) no sentido de adiantar

elementos e roteiros essenciais para a formação em rede defendida, especificamente, nos capítulos 4 e 5. Afinal, quanto maior a compreensão que se tenha do papel desempenhado pela quântica no desenvolvimento científico e social, mais facilidade se tem em visualizar caminhos alternativos em seu uso como teia no processo de ensino e aprendizagem. Por sua vez, uma visão global dos emergentes estudos sobre a teoria de redes lança luz sobre possíveis maneiras de se visualizar produções discentes em seu conjunto e nelas caracterizar tendências e discrepâncias.

Também há interação na via inversa, com a prática no ensino da quântica e a orientação a projetos envolvendo redes de conceitos por ela tecidas proporcionando constantes aprofundamentos e extensões quanto à percepção daquele papel de conexão atribuído à quântica. Papel ainda mais claramente caracterizado quando se aplica ao desenvolvimento histórico e conceitual da física algumas das metáforas atribuídas ao conhecimento: tal como uma árvore, a física se enraíza na mecânica e na termodinâmica; entrelaçada pela quântica lembra o rizoma.

Este texto pode ser, enfim, percebido como a confluência de várias redes: as conexões estabelecidas pela quântica (Capítulo 2); a visão global dos estudos emergentes sobre a teoria de redes (Capítulo 3); o conhecimento como rede (Capítulo 4); práticas na formação docente articuladas por essas redes (Capítulo 5). É justamente na exploração dessas redes em um só texto que reside uma das contribuições desta tese.