

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**FACULDADE DE EDUCAÇÃO, INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS,  
INSTITUTO DE FÍSICA, INSTITUTO DE QUÍMICA**

**OSVALDO CANATO JÚNIOR**

**FÍSICA QUÂNTICA E FORMAÇÃO DOCENTE:  
CONFLUÊNCIA DE VÁRIAS REDES**

**São Paulo  
2014**



# **OSVALDO CANATO JÚNIOR**

## **FÍSICA QUÂNTICA E FORMAÇÃO DOCENTE: CONFLUÊNCIA DE VÁRIAS REDES**

Tese apresentada à Universidade de São Paulo  
como parte dos requisitos necessários à obtenção  
do título de doutor em Ensino de Ciências  
Área de concentração: Ensino de Física.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Ivã Gurgel (IFUSP)

Prof. Dr. Luís Carlos de Menezes (IFUSP)

Prof. Dr. Osvaldo Frota Pessoa Jr (FFLCH)

Prof. Dr. Nilson José Machado (FEUSP)

Prof. Dr. Pedro Demo (UNB)

**Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos de Menezes**

**São Paulo  
2014**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

-  
-  
-

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

Canato Júnior, Osvaldo

Física quântica e formação docente: confluência de várias redes. São Paulo, 2014.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Luís Carlos de Menezes

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física (Estudo e ensino); 2. Física quântica; 3. Redes complexas; 4. Formação de professores; 5. Complexidade e aprendizagem.

USP/IF/SBI-006/2014

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Luís Carlos de Menezes, pela orientação e parceria, sempre voltadas ao desenvolvimento da autonomia e ao convite a novas e desafiantes perspectivas.

Aos professores Nilson José Machado e Manoel Roberto Robilotta, pelas contribuições feitas no exame de qualificação.

À professora Yassuko Hosoume, pela colaboração na reescrita do projeto de doutoramento, bem como por suas valiosas dicas quanto a possibilidades de novos trajetos acadêmicos e profissionais que acabaram por me levar ao IFSP, inaugurando perspectivas muito mais abrangentes para o próprio doutoramento, bem como para o desenvolvimento profissional.

Aos colegas do IFSP, pela acolhida quando da entrada na instituição e no apoio e sugestões referentes ao desenvolvimento das disciplinas por mim ministradas, incluindo-se nisso a própria escolha/atribuição de disciplinas que dialogassem com esta pesquisa de doutoramento.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), pela concessão de afastamento remunerado durante o último ano de doutoramento, que tornou possível apostar em pesquisa de maior abrangência, bem como recolher minhas práticas na formação docente sem estar em meio ao processamento de novas práticas e afazeres profissionais.

À Direção Geral do Campus São Paulo do IFSP, pelo convite e parceria quanto ao trabalho na coordenação EaD que possibilitou maior experiência na gestão de ambientes virtuais, bem como a toda a equipe de professores e servidores do IFSP (Campus SP e Reitoria) envolvidos de uma forma ou outra na gestão das práticas em tais ambientes, com especial menção ao colega Márcio Corrallo pelo aceite em assumir a referida coordenação quando de meu afastamento para qualificação.

Aos licenciandos do IFSP, especialmente àqueles que participaram de versões por mim ministradas das disciplinas Oficinas de Projetos de Ensino e Estrutura da Matéria, pela parceria na evolução das aulas e na realização das atividades.

À Veranice, pelo companheirismo, apoio, paciência, e inúmeras outras qualidades e ações, incluindo-se as leituras de diversas versões deste texto e das constantes conversas sobre o desenvolvimento da pesquisa, fonte de valiosas sugestões.



## RESUMO

CANATO JR., O. **Física Quântica e Formação Docente: Confluência de Várias Redes**. 2014. 210 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Física, Instituto de Biociências, Instituto de Química, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2014.

Tendo reformulado a mecânica surgida da termoestatística das radiações eletromagnéticas, a física quântica abriu o caminho nas baixas energias para a complexidade dos materiais e da vida, e nas altas energias para as partículas elementares e conexões cosmológicas. Entre as demais ciências, ela fundamenta a química fina, a biologia molecular e inúmeras aplicações práticas. No cotidiano tecnológico, através dos semicondutores e *lasers* da microeletrônica, a quântica é a alma conceitual das telecomunicações e das redes informáticas, instrumentando todas as atividades humanas, das relações pessoais às práticas médicas, e condicionando a emergência de uma sociedade em rede. Em associação com as tecnologias que promove, o domínio quântico tem sido central na investigação das redes complexas que transforma a compreensão de processos naturais, tecnológicos e sociais. Das redes neurais às sociais, qualquer campo de atividade e de conhecimento está sendo modificado ou desequilibrado pela percepção de seu caráter complexo. Impactada pelo novo ambiente, a educação já se desenvolve com recursos em rede amplamente difundidos e revê a conceituação do aprender como algo complexo e em rede em lugar da velha sequência linear de conteúdos. Sendo convergência e fonte de várias redes, a quântica pode cumprir importante papel na trama de redes de significados no processo de ensino e aprendizagem. Formar os professores com e para tais práticas pode dar mais significado a esse domínio científico já presente em nossa escola básica, mas cujo sentido real frequentemente escapa para quem aprende tanto quanto para quem ensina. Esta tese busca apresentar uma visão em rede do conjunto das redes entretecidas com a física quântica, tendo como contexto prático a formação inicial de professores.

**Palavras-chave:** Física (estudo e ensino). Física quântica. Redes complexas. Formação de professores. Complexidade e aprendizagem



## ABSTRACT

CANATO JR., O. **Quantum Physics and Teacher Training: Confluence of Several Networks**. 2014. 210 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Física, Instituto de Biociências, Instituto de Química, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2014.

Quantum Physics, a reconceptualization of Mechanics that emerged from the thermo statistics of electromagnetic radiation, has paved the way to the complexity of materials and life, at low energies, and to elementary particles and its cosmological connections, at high energies. Among the other sciences, quantum physics is the foundation to the new fine chemistry, as well as to the molecular biology and to their numerous practical applications. In everyday technology, through semiconductors and lasers of the microelectronic, quantum physics is the conceptual soul of telecommunications and informatics networks, giving tools to all sort of activities, from social relationships to the medical practices, and conditioning the emergency of a network society. In relation with technologies, the quantum domain has been central to the research of complex networks that changes the understanding of natural, technological and social processes. From neural to social networks, every field of activity and knowledge is nowadays modified or unbalanced by the perception of its complex character. Impacted by this new environment, education already develops with highly available network resources and reevaluates the concept of learning, as something complex instead of the old linear sequence of subjects. As convergence and source of many networks, quantum physics can play important role in the network of meanings of teaching and learning process. The training of teachers with and for these practices can give broader meaning to this scientific field already present in our basic school, but whose real meaning frequently is missed both by who learns as well as by who teaches. This thesis wants to presents a network vision of the ensemble of the networks weaved togheter with quantum physics, in the practical context of training future teachers.

**Keywords:** Physics (study and teaching). Quantum physics. Complex networks. Teacher training. Complexity and learning.



## SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Percurso.....	11
1.2	Apresentação.....	14
2	Física quântica – tecido de várias redes.....	19
2.1	Na construção histórica e interligação conceitual da física.....	20
2.2	Na interligação entre as ciências e outras áreas.....	32
2.3	Na vivência contemporânea.....	37
2.4	Na catálise da evolução social e tecnológica.....	43
3	O mundo das redes.....	49
3.1	Nós, <i>links</i> e suas propriedades.....	50
3.2	Redes biológicas.....	57
3.3	Redes cerebrais.....	61
3.4	<i>Internet</i> e <i>web</i> .....	64
3.5	Empresas em rede.....	67
3.6	Coautorias.....	69
3.7	Coocorrência de citações.....	71
3.8	Mineração de textos e redes conceituais.....	75
3.9	O enredo como rede.....	83
3.10	Histórias contrafactuais e redes de influências entre avanços.....	87
3.11	Conexões.....	90
4	Uma educação científica em rede.....	91
4.1	Hipertextos, rizomas e complexidade.....	92
4.2	Mapa, narrativa, avaliação e formação docente.....	102
4.2.1	Ideias fundamentais e mapas de relevâncias.....	102
4.2.2	Construção dos significados e narrativas.....	107
4.2.3	Avaliação qualitativa e formação docente.....	114
4.3	Virtual e real.....	118
4.4	Ensino, aprendizagem e física quântica.....	129
5	Práticas na formação de professores.....	141
5.1	Oficinas de Projetos de Ensino.....	142
5.1.1	OFICINAS – Fase I.....	144
5.1.2	OFICINAS – Fase II.....	149
5.1.2.1	Respirando quântica.....	152
5.1.2.1.1	Nuvens de palavras como filtros de relevâncias.....	155
5.1.2.1.2	Redes de palavras como realce ao individual dentro do coletivo.....	159
5.1.2.2	Redes conceituais.....	164
5.1.3	Novas percepções sobre a quântica e seu ensino.....	171
5.2	A disciplina Estrutura da Matéria.....	177
5.2.1	As radiações como teia quântica.....	178
5.2.2	Perguntas quânticas.....	182
5.2.3	Um feixe de atividades.....	185
5.3	Um ambiente virtual.....	190
6	(IN)Conclusão: redes abertas.....	201
	Referências Bibliográficas.....	205
	APÊNDICE A - Exemplos de inserções da quântica como rede.....	213
	APÊNDICE B – Textos reflexivos de licenciandos - OFICINAS_V4.....	229
	APÊNDICE C – Avaliação diagnóstica – OFICINAS_V5 - 2012_01.....	231
	APÊNDICE D - Macros desenvolvidas no <i>Word</i> .....	235
	APÊNDICE E - Classificação dos nós da rede conceitual - OFICINAS_V7.....	237
	APÊNDICE F – Respostas da avaliação diagnóstica aplicada na OFICINAS V_7.....	241
	APÊNDICE G - Exemplo de texto utilizado em ESM.....	247
	APÊNDICE H – Perguntas quânticas.....	251
	APÊNDICE I – Cruzadas e outros passatempos <i>online</i> utilizados em ESM.....	259
	APÊNDICE J – Roteiros referente ao experimento de Millikan.....	263
	ÍNDICE DOS AUTORES CITADOS.....	271

