

Memorial e projeto de pesquisa

apresentado para o provimento...

Ivan Ramos Pagnossin

junho de 2011

Sumário

1	Introdução	1
2	Formação acadêmica	3
2.1	Graduação e iniciação científica	3
2.2	Mestrado	4
2.3	Doutorado	5
3	Formação profissional	9
3.1	Liceu de Artes de Ofícios de São Paulo	9
3.2	Telemática Sistemas Inteligentes	10
3.3	Iniciação científica	10
3.4	Caixa Econômica Federal	10
3.5	Eletropiezo Indústria e Comércio Ltda	11
3.6	Cagnotto & Pagnossin Ltda	12
3.7	Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada	12
3.7.1	O curso <i>Usando L^AT_EX; pensando T_EX</i>	13
3.7.2	O projeto Aulas Interativas	14
3.7.3	Os projetos Univesp e Redefor	15
3.7.4	Resumo	16
4	Perspectivas	19
5	Projeto de pesquisa	21
5.1	Introdução	21
5.2	Justificativa	22
5.3	Objetivo	22
5.4	Proposta imediata	23
5.5	Propostas para o futuro	24

Sumário

5.6 Conclusão 25

1 Introdução

O intuito deste memorial é apresentar a minha trajetória profissional e educacional, destacando as principais atividades que desenvolvi e enfatizando as influências delas em minhas atividades atuais e perspectivas para o futuro, no meio acadêmico e fora dele.

Este material foi escrito com vistas ao concurso de títulos e provas para o provimento de um cargo de Professor Doutor junto ao Departamento de Física Experimental do Instituto de Física (IF) da Universidade de São Paulo (USP), edital IF número 19/2011, de 19 de março de 2011. Ao longo do texto, as palavras destacadas **desta maneira** foram apresentadas no edital como parte da qualificação necessária para concorrer ao cargo.

Este documento também contempla, no capítulo 5, o projeto de pesquisa que pretendo desenvolver como docente do IF.

2 Formação acadêmica

Minha formação acadêmica sempre foi voltada para o estudo da Física Básica e Aplicada, particularmente na área de materiais semicondutores e fenômenos de transporte eletrônico. No entanto, ela sofreu grande influência da minha formação profissional (capítulo 3) — bem como a influenciou —, especialmente no que concerne o desenvolvimento de *software*. As principais correlações são apontadas nas próximas seções.

2.1 Graduação e iniciação científica

Minha formação acadêmica começou em fevereiro de 1997, quando fui aprovado no exame vestibular da USP para o curso de Bacharelado em Física, no *campus* da capital. A escolha pela Física foi moldada, anos antes, pelo contato com circuitos eletrônicos, no ensino médio profissionalizante (seção 3.1), bem como por uma paixão ainda mais antiga: a aviação. Já a opção pelo bacharelado foi feita pelo desejo de aprender profundamente fenômenos físicos e técnicas matemáticas, em muito alimentado pelo aprendizado de cálculo diferencial e integral, ainda no ensino médio.

Na verdade, o fato de eu já conhecer o cálculo diferencial e integral ao começar a graduação ajudou-me enormemente, permitindo-me aproveitar melhor os conceitos e técnicas ensinados, bem como ir além deles, em todas as disciplinas cursadas.

O ensino médio profissionalizante teve outra clara e positiva influência na minha graduação: logo na primeira semana consegui uma bolsa de iniciação científica do CNPq no Laboratório de Física de Plasmas, orientado pelo Prof. Dr. Ivan Cunha Nascimento, e em muito auxiliado pelo funcionário Juan Iraburu Elizondo. A proposta era a de estudar a chamada curva de *breakdown*, que caracterizava a formação de plasma no Tokamak. Os resultados deste trabalho foram apresentados no Simpósio de Iniciação Científica da USP de 1998. Permaneci na iniciação científica até meados daquele ano, quando então fui contratado pela Caixa Econômica Federal (CEF; seção 3.4). No entanto, a menos das grandes e benéficas influências intelectuais que sofri no laboratório, esta experiência pouco contribuiu para a minha carreira.

2 Formação acadêmica

Talvez mais importantes tenham sido as disciplinas de introdução à computação e de cálculo numérico, que contribuíram para um novo rumo na minha formação profissional, dali alguns anos (seção 3.5), e que sigo até hoje. Igualmente importante foi a disciplina de introdução à Física do Estado Sólido, na qual conheci a Prof.^a Dr.^a Euzi Conceição Fernandes da Silva, que me convidou para fazer a pós-graduação no Departamento de Física dos Materiais (DFMT) do IF da USP e que me auxiliou desde então.

Concluí a graduação em 2001 com aproveitamento médio superior a 80% e com habilitação em Física Básica. Meu intuito era obter também a habilitação em microeletrônica, mas isto estenderia a graduação por pelo menos mais um ano, o que eu não estava disposto a aceitar, pois já havia gasto um ano extra no ensino médio profissionalizante, outro no cursinho e mais outro na graduação (quando migrei do período matutino para o noturno, na ocasião de minha contratação pela CEF). Ademais, a oferta de pós-graduação com a Prof.^a Euzi já me levava para a área do transporte eletrônico. Deste modo, desisti da habilitação em microeletrônica.

2.2 Mestrado

Na época em que me candidatei ao mestrado *stricto sensu*, em 2001, logo após concluir a graduação, a FAPESP já iniciava seu movimento em prol do doutoramento direto; sem mestrado. No entanto, apesar do meu desespero em avançar na carreira acadêmica e por orientação da Prof.^a Euzi, decidi pelo caminho mais longo: o mestrado, na certeza de que era um passo importante que não deveria ser pulado (ainda hoje acredito que esta foi uma escolha acertada).

Minha opção por uma pós-graduação experimental é outra que merece explicação: ao longo da graduação eu percebi que tinha muita facilidade com a teoria, mas nem tanto com a prática. Assim, minha expectativa era que um mestrado experimental me permitiria corrigir este desequilíbrio. Isto realmente aconteceu, mas a minha “veia teórica” sempre deu suas contribuições, no mestrado e no doutorado, e ainda hoje é mais expressiva.

A proposta de pesquisa para o mestrado era caracterizar a evolução de pontos-quânticos auto-organizados através de medidas ópticas (fotoluminescência) e de transporte eletrônico (efeitos Hall quântico inteiro e Shubnikov-de Haas) em baixas temperaturas ($\sim 1,4$ K). E deste modo aprendi a manusear nitrogênio e hélio-4 líquidos, bem como equipamentos complexos como criostatos, bombas de vácuo, amplificadores *lock-in*, espectrômetros, *lasers* de alta potência *etc.* Aprendi também técnicas como litografia, microscopias

de varredura (principalmente de força atômica), crescimento epitaxial molecular e confecção de contatos eletrônicos por difusão. Em suma, o mestrado foi um período de intenso aprendizado, como deveria ser.

Como resultado deste trabalho, chegamos à conclusão de que a tensão mecânica acumulada nos pontos-quânticos, por consequência do crescimento epitaxial, afeta as mobilidades dos elétrons. Este foi um resultado inédito na literatura científica (até onde sabemos), o que nos rendeu um artigo [1], uma exposição dele (pôster) no XVII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada (ENFMC), em 2004 [2], e, mais tarde, uma versão expandida dele no XVIII ENFMC e no *12th Brazilian Workshop on Semiconductor Physics* (BWSP), em 2005 [3, 4]. Além disso, este era um resultado importante para o rumo que nosso grupo de pesquisa buscava naquela época: o estudo e confecção de *lasers* e detectores de infra-vermelho baseados em pontos-quânticos.

Além desses resultados, dois outros destacaram-se: o primeiro foi a dedução matemática da técnica utilizada na análise das oscilações de magnetoresistência (efeito Shubnikov-de Haas), que aparentemente perdeu-se na literatura (nós nunca a encontramos). Esta dedução está registrada nos apêndices da minha dissertação de mestrado [5]. O segundo foi o desenvolvimento de um script¹ para automatizar parte dessa análise, o que permitiu reduzir o tempo dela em aproximadamente 90%. Este script, mais a compreensão do método adquirida na dedução matemática dele, permitiu-me desenvolver uma pesquisa informal paralela, e estabelecer os limites da técnica e seus efeitos sobre os dados.

Assim, concluí o mestrado em maio de 2004 com resultados empolgantes (algo incomum de acontecer, segundo a Prof^a Euzi), apresentando-os à Prof^a Dr^a Lucy Vitoria Credidio Assali (IFUSP) e ao Prof. Marcelo Nelson Paez Carreño (da Escola Politécnica da USP), além da Prof^a Euzi.

2.3 Doutorado

A proposta de trabalho para o doutorado era caracterizar as possíveis heteroestruturas-base de detectores de infra-vermelho baseados em pontos-quânticos. A discussão, na literatura científica, sobre qual seria a melhor estrutura para este dispositivo, estava no auge. Além disso, nosso grupo de pesquisa havia conseguido um resultado até então dado como impossível: a absorção, por pontos-quânticos, de ondas de infra-vermelho com comprimento de onda de $1,5\text{ }\mu\text{m}$ [6]. A importância deste resultado, e de todos os

¹Escrito em LabTalk, linguagem de script do *software* de análise de dados Microcal Origin.

2 Formação acadêmica

estudos que se seguiram, residia no fato de que a fibra óptica utilizada em telecomunicações apresenta um mínimo absoluto de absorção nesta frequência, de modo que dispositivos operando nesta faixa trariam grandes benefícios econômicos.

O estudo começou, então, por experimentar algumas possíveis configurações de heteroestruturas, conforme propostas existentes na literatura científica. A ideia era utilizar nossa já conhecida caracterização eletrônica e óptica para determinar as mobilidades de transporte e quântica dos elétrons e, com isso, identificar a melhor configuração do dispositivo.

No entanto, aproximadamente um ano após o início do doutorado, a Prof^a Euzi foi para o *Center for Quantum Devices*, nos EUA, a convite da Prof^a Manijeh Razeghi, e desta maneira fui obrigado a mudar de orientador.

O Prof. Dr. Guennadii Michailovich Gusev, que assumiu a chefia do DFMT com a morte do Prof. Dr. José Roberto Leite, em 2004, cordialmente aceitou orientar-me a partir daí. No entanto, sua linha de pesquisa concentrava-se em fenômenos quânticos de baixíssimas temperaturas (~ 50 mK), como o efeito Hall quântico fracionário, transporte eletrônico em sistemas mesoscópicos, efeitos de *spin* em sistemas bidimensionais *etc.* E deste modo minha pesquisa foi alterada para o estudo de redes de anti-pontos-quânticos.

Esta mudança foi muito benéfica, pois a visão do Prof. Gusev sobre os assuntos da pesquisa era deveras diferente daquele da Prof^a Euzi, de modo que isto me deu perspectivas novas. Ademais, aprendi inúmeras outras técnicas experimentais, como manusear hélio-3, nanolitografia por microscopia eletrônica, confecção de *gates* de ouro por evaporação, além de formalismos matemáticos como o de Landauer Büttiker, entre outros. No entanto, a troca de orientador teve um efeito severo sobre minha pesquisa: eu praticamente a desenvolvi sozinho. Embora o Prof. Gusev sempre se dispusesse a discutir qualquer assunto, sua presença na minha pesquisa não era tão evidente quanto a da Prof^a Euzi. Isto prejudicou um pouco a qualidade do trabalho que desenvolvi, mas também me tornou mais independente.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, encontramos evidências experimentais dos chamados estados de borda contra-rotativos, previstos teoricamente em 1992 [7], mas até então não observados. E a partir daí minha pesquisa voltou-se para este assunto, em particular.

Entretanto, a construção das amostras requeridas para este estudo estava no limiar da capacidade técnica que tínhamos à disposição, o microscópio eletrônico do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica, sob os cuidados do Prof. Dr. Antônio

Carlos Seabra. Não obstante isso, nosso acesso a este equipamento era raro, o que tornava deveras demorado obter um conjunto de amostras. Adicione a isto a constante dificuldade em conseguir hélio-4 para os criostatos (a demanda do grupo era grande), e o resultado é que nunca conseguimos reproduzir as medidas que evidenciavam os estados de borda contra-rotativos.

Apesar disso, conseguimos apresentar as evidências no *28th International Conference on the Physics of Semiconductors*, em 2006, na Áustria [8].

Passados dois anos de doutorado eu estava com um grande problema nas mãos: minha pesquisa inicial, sobre fotodetectores, havia sido interrompida prematuramente, e aquela sobre os estados de borda contra-rotativos não avançava o suficiente para apresentar uma tese de doutorado. Foi então que procurei o Prof. Dr. Ajit Kumar Meikap, do *National Institute of Technology*, na Índia (que estava passando uma temporada no Brasil, a convite do Prof. Gusev), e propus que fizéssemos estudos de localização-fracas em amostras mais simples (poços-quânticos duplos e parabólicos), dentre elas aquelas utilizadas no meu mestrado (pontos-quânticos).

O Prof. Meikap havia desenvolvido, durante sua estada no Brasil, todo o ferramental para analisar dados conforme os mais recentes estudos sobre localização-fracas, mas não tinha o que analisar. Eu, por outro lado, tinha um enorme conjunto de medidas já prontas, e inúmeras outras que podiam ser feitas com facilidade, pois na época eu estava fazendo um estágio de dois meses e meio no *Grenoble High Magnetic Field Laboratory*, na França, sob supervisão do Prof. Dr. Jean-Claude Portal, com equipamentos à minha disposição quase exclusiva.

Esta parceria rendeu dois artigos [9, 10] e uma exposição no *13th BWSP*, em 2007 [11].

Na tese de doutorado apresentei, então, três conjuntos de resultados: aqueles dos fotodetectores (embora incompletos, já era possível tirar algumas conclusões que guiassem a confecção de fotodetectores baseados em pontos-quânticos), aqueles dos estados de borda contra-rotativos (os que eu mais gostei, apesar de tudo) e aqueles relacionados às medidas de localização-fracas.

A defesa da tese de doutoramento ocorreu em abril de 2008, tendo como banca examinadora o Prof. Dr. Antônio Carlos Seabra (EPUSP), o Prof. Dr. Eliermes Arraes Meneses (UNICAMP), a Prof^a Dr^a Euzi Conceição Fernandes da Silva (IFUSP), o Prof. Dr. Fernando Iikawa (UNICAMP) e a Prof^a Dr^a Lucy Vitória Credidio Assali (IFUSP).

3 Formação profissional

Minha formação profissional distribuiu-se em três vertentes: eletrônica, desenvolvimento de *software* e, não menos importante, atendimento ao público. Delas, a segunda foi a que mais influenciou minha formação acadêmica.

3.1 Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo

Minha formação profissional começou com o colégio técnico profissionalizante em eletrônica, no Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo, de 1991 a 1995, e paralelamente a ele, auxiliando no empreendimento comercial de meus pais, onde tive meu primeiro contato com o atendimento ao público.

À primeira vista, o tino para com o público pode parecer uma característica dispensável, especialmente para alguém com uma formação majoritariamente técnica e científica, como a minha, mas aprendi que isto não é verdadeiro, e confirmo essa certeza todos os dias. É, portanto, uma qualidade que prezo.

Durante o colégio técnico, aprendi muito sobre eletrônica, tanto sobre a parte prática quanto sobre a teórica. Mas eu era apenas um aluno mediano, com dificuldades medianas para apreender os conceitos ensinados. Isto mudou em 1994, quando comecei a estudar cálculo diferencial e integral por conta própria. Esta foi uma de minhas maiores conquistas pessoais, em muito responsável pelas minhas escolhas futuras; dentre elas toda a formação acadêmica descrita no capítulo anterior.

Nesta época tive meu primeiro contato formal com o desenvolvimento de *software* (PASCAL), e embora eu já exibisse alguma admiração pela ideia, obtive apenas resultados medianos, a exemplo das demais disciplinas. Curiosamente, desenvolvi, como trabalho da disciplina, um *software* para explicar a diferenciação e a soma de Riemann: um prenúncio do que eu faria anos mais tarde (seção 3.7). Foi nesta época também que desenvolvi práticas de **desenho técnico** e artístico, que emprego ainda hoje.

3.2 Telemática Sistemas Inteligentes

No último ano do ensino médio (1995), eu fiz um estágio (meu primeiro emprego registrado) na Telemática Sistemas Inteligentes Ltda, também conhecida como Icatel, e responsável pela manutenção de grande parte dos telefones públicos da cidade de São Paulo. Ali coloquei em prática os conhecimentos práticos adquiridos, mas não tirei grandes proveitos: minha única preocupação na época era cumprir as horas do estágio para concluir o ensino médio.

Quando terminei o estágio e o colégio técnico, fui fazer cursinho (1996). Esta parte não se encaixa bem nem na formação acadêmica nem na profissional, mas foi um período muito importante, pois consolidou os conhecimentos teóricos que eu havia desenvolvido no ensino médio, além de corrigir as falhas de formação básica inerentes ao colégio técnico (com muito tempo investido em disciplinas relativas à eletrônica, as disciplinas básicas são prejudicadas). De fato, minha classificação no vestibulinho para o Liceu de Artes e Ofícios, na Escola Técnica Estadual de São Paulo e no Instituto Tecnológico de Osasco (ITO) foi apenas suficiente para me permitir entrar, e não fui aprovado no vestibulinho para a Escola Técnica *Federal* de São Paulo. Mas quando fiz o vestibular, cinco anos mais tarde, fui aprovado em 12º na USP para Bacharelado em Física, em 1º na UNESP para Ciências da Computação e em 1º na classificação geral do FITO (Faculdade Instituto Tecnológico de Osasco). Também fui aprovado para a UNICAMP, mas não sei qual foi a classificação. Resumindo, os anos de 1991 a 1995 foram de grande crescimento intelectual e profissional, e o cursinho é parte importante deste processo.

3.3 Iniciação científica

Logo que comecei a graduação, a iniciação científica no Laboratório de Física de Plasmas tornou-se minha única ocupação profissional (veja a seção 2.1 para mais detalhes). Isto durou até meados de 1998, quando fui aprovado, em 52º, num concurso público para técnico bancário na Caixa Econômica Federal (CEF).

3.4 Caixa Econômica Federal

Na CEF voltei a desenvolver a habilidade de lidar com o público: eu fui inicialmente designado para o setor de FGTS (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço), onde ocorriam os mais distintos e complexos problemas. Trabalhei também como caixa, com empréstimos

pessoais e estudentís, com financiamentos de habitação e com aplicações, mas foi no FGTS que me destaquei e me especializei, criando procedimentos e mecanismos para otimizar o atendimento daquele setor.

Outra contribuição importante desse período foi a compra do meu primeiro computador, que iniciou a trajetória que percorro até hoje (com salário de bolsista do CNPq isto teria sido impossível). Até então eu só tinha acesso a computadores na sala pró-aluno do IF e na própria CEF.

Permaneci na Caixa Econômica Federal até o começo de 2001, quando então fui contratado para desenvolver *software* na Eletropiezo Indústria e Comércio Ltda.

3.5 Eletropiezo Indústria e Comércio Ltda

Em abril de 2001, por indicação de um colega da graduação, fui contratado pela Eletropiezo Indústria e Comércio Ltda, uma empresa que produz *software* para atendimento telefônico (URA, de Unidade de Resposta Audível). Foi neste meio que comecei a programar comercialmente e passei a ter um tutor na área de programação de computadores: o colega e amigo Gerson de Souza Faria.

Aprendi a programar em T-REXX, uma linguagem proprietária da IBM usada para produzir URA, especificamente para o único projeto de URA IBM em Windows no Brasil, utilizando uma ferramenta chamada DirectTalk (hoje parte do pacote Websphere da IBM). Este trabalho foi desenvolvido para a Fidelity International Systems (FIS), que administra cartões de inúmeros bancos e agentes financeiros, como o Banco Itaú, Panamericano, e até os extintos Banco Rural e BMG. Na época do atentado terrorista às torres gêmeas, este projeto tomava a forma que manteve por quase dez anos.

Aprendi muitas técnicas novas de programação, os princípios da programação orientada a objetos, bem como a trabalhar em equipe e sob a pressão de prazos e responsabilidades: na graduação um erro custava nota; ali custava — muito — dinheiro.

Deixei a empresa no início de 2002, para começar o mestrado, mas continuei dando suporte significativo até muito recentemente, pois acabei me tornando um dos poucos profissionais capacitados para este trabalho no Brasil. Para isso precisei abrir uma empresa de desenvolvimento de *software*, a Cagnotto & Pagnossin Serviços de Informática Ltda.

O projeto foi um sucesso para todos os envolvidos e manteve-se ativo até dezembro de 2010 (se você, leitor, tem um cartão de crédito, muito provavelmente já foi atendido por

essa URA), quando então foi integralmente substituído por uma versão mais recente (da qual eu não participei).

3.6 Cagnotto & Pagnossin Ltda

Esta é a empresa da qual sou dono. Ela foi inicialmente aberta, em novembro de 2005, para a prestação de serviço de desenvolvimento de *software* e suporte técnico das URAs da FIS. Mas desde então esta empresa tem prestado serviço para outros clientes, como o Instituto de Pesquisas Eldorado e a própria FUSP (Fundação de Apoio à USP).

3.7 Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada

Minhas atividades no Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada (CEPA) representam a confluência das minhas trajetórias acadêmica e profissional, e certamente consistem nas minhas mais relevante contribuições para a sociedade e para a USP.

No final de 2007 eu estava bastante descontente com os resultados obtidos no doutorado e desiludido com a morosidade da pesquisa experimental (ao menos na área em que eu atuei). Mais que isso, o prosseguimento padrão seria conseguir uma bolsa de pós-doutoramento, uma ideia que não me agradava.

Nesta ocasião, e por intermédio da Prof^a Euizi, conheci o Prof. Dr. Gil da Costa Marques, criador e responsável por um grupo do Departamento de Física Experimental dedicado à criação de material didático, o CEPA. Ele precisava de algum programador para desenvolver *applets* Java de simulação de fenômenos físicos, como parte do projeto TIDIA-Ae [12], e minha formação acadêmica e profissional fazia de mim a pessoa certa para o trabalho.

Para mim era uma conjunção favorável: congregar Física e desenvolvimento de *software*, as duas principais áreas nas quais eu vinha investindo há dez anos. Além disso, a confecção da minha dissertação de mestrado e da minha tese de doutorado desenvolveram em mim a capacidade de criar ilustrações, animações e simulações agradáveis aos olhos (**ferramentas de produção gráfica**); e mais importante, a capacidade de simplificar a apresentação de ideias complexas.

E assim comecei a trabalhar no CEPA, com bolsa da FAPESP, em dezembro de 2007. Nos primeiros seis meses eu trabalhei sozinho, pois era o único programador de simulações da equipe, e desenvolvi *applets* sobre campos vetoriais, integrais de linha, lançamento

balístico com resistência do ar, ângulos de Euler (o primeiro que envolvia o uso de programação tridimensional), entre vários outros [13].

No início esses *applets* distinguiam-se dos demais, encontrados na Internet, apenas pelo **design da interação** (ou, de forma mais ampla, a **experiência do usuário**), embora ainda sutilmente. Mas esta preocupação guiou meu trabalho com *applets* nos meses seguintes, onde procurei desenvolver métodos para trabalhar conjuntamente com artistas, que então ficariam responsáveis pela parte visual. A ideia era que um recurso *didático* precisava não apenas passar o conceito a que se propunha, mas tão importante quanto isso, precisava também cativar o usuário. Os resultados deste trabalho podem ser obtidos no meu perfil na **comunidade social** Stoa [14].

3.7.1 O curso *Usando L^AT_EX; pensando T_EX*

Ainda no primeiro semestre de 2008, o Prof. Gil pediu que eu montasse um curso sobre L^AT_EX, um **sistema de produção de documentos** que eu havia aprendido a utilizar na graduação, para os relatórios de laboratório. Desta encomenda surgiu o curso “Usando L^AT_EX; pensando T_EX”, que foi oferecido para a comunidade USP através da Coordenadoria de Tecnologia da Informação (CTI).

O curso foi concebido inicialmente para ser semi-presencial, com 20 horas de duração. O enfoque dele era totalmente prático (usando L^AT_EX), mas explorava profundamente os conceitos fundamentais do sistema (pensando T_EX). E por ser semi-presencial, todo o conteúdo do curso, como tutoriais, apresentações, atividades práticas, exercícios e lições (muitos deles com avaliação automática e um extenso e cuidadoso sistema de *feedbacks*), foram montadas no sistema de gerenciamento de cursos Moodle (usado hoje nos projetos Univesp e Redefor, mais a frente). Não obstante isso, a parte não-presencial valia-se também das mais modernas ferramentas de aprendizado colaborativo e da **web 2.0**, como fóruns, chats e **wikis**. Já a parte presencial do curso ocorria na sala multimeios do IFUSP, que contava com 25 *notebooks* e uma lousa eletrônica, equipamentos que foram realmente utilizados no curso.

A primeira turma oficial foi aberta, tendo eu como professor (um trabalho *pro bono*), no segundo semestre de 2008¹, e foi um grande sucesso, mostrando que havia de fato interesse por um curso assim na USP: em menos de duas horas após a abertura das inscrições, na

¹A primeira turma de fato (experimental) ocorreu em julho e agosto de 2008, e contou com a presença do Prof. Gil e de funcionários do IFUSP, CEPA e CTI que precisavam daqueles conhecimentos, principalmente para auxiliar os professores na escrita de seus artigos científicos.

comunidade Stoa, as 25 vagas já estavam completas; e antes do final daquele dia, já havia mais de 150 inscritos.

Mas o curso exigia muito dos alunos, pois concentrava-se em atividades: metade da *toda* aula presencial era composta por exercícios. E no Moodle existiam inúmeras atividades e exercícios para serem feitas, com graus de complexidade crescentes. De fato, apenas 11 pessoas concluíram a primeira turma, e cada uma recebeu um diploma endossado pelo Prof. Gil, então coordenador da CTI.

Em seguida o curso foi reformulado e expandido para 24 horas, e uma nova turma foi oferecida no primeiro semestre de 2009 (eu novamente como professor). Delas, 7 chegaram ao final.

Este curso foi uma das minhas mais significativas produções no CEPA e ele continua disponível através da Internet [15], mas nenhuma outra turma foi oferecida (ainda há procura), pois a proposta inicial era que se tornasse um curso a distância. Ademais, um novo projeto entrava em cena, que requereria toda a minha atenção: o projeto Aulas Interativas.

3.7.2 O projeto Aulas Interativas

Ainda no primeiro semestre de 2009, o CEPA foi procurado pela Prof^a Maria Alice Pereira, então Assessora de Tecnologia Educacional da Secretaria de Estado da Educação (SEE), para um projeto em parceria com a Dell Computadores do Brasil. A proposta era instalar uma lousa eletrônica em cada uma das 26 escolas públicas da região de Hortolândia, interior de São Paulo, e caberia ao CEPA produzir os conteúdos interativos para as lousas, para as disciplinas de Língua Portuguesa e Matemática da 6^a série do Ensino Fundamental e do 1^o ano do Ensino Médio.

Na verdade, o CEPA fora convidado a apresentar uma proposta de aula interativa, com lousa eletrônica (concorríamos com outras empresas, como Clickideia, Klick educação e Fundação Conesul). E coube a mim montar essa aula e apresentá-la² para membros da SEE e da Dell. O tópico, escolhido pela SEE, era “as relações métricas do triângulo-retângulo”. Ao montar a aula, tomei o cuidado de partir de conceitos cotidianos (algo que em pedagogia se chama construcionismo), e usando a lousa eletrônica, mostrei como a dedução das relações métricas do triângulo-retângulo tornava-se simples quando valendo-se de um *software* que eu produzi especialmente para esta apresentação. A proposta

²cabe mencionar que as habilidades desenvolvidas na criação do curso de L^AT_EX contribuíram bastante, especialmente no que se referia a falar em público, uma tarefa que eu passei a não ter dificuldade.

agradou, pois o CEPA foi escolhido para o trabalho (e eu fui convidado a reapresentar esta aula inúmeras outras vezes).

Curiosamente, convém mencionar que este projeto quase não foi concretizado devido às falhas encontradas nos cadernos de Geografia, naquele ano, e que causaram a queda da Secretária da Educação.

Assim o projeto começou, pouco antes do segundo semestre de 2009, com enfoque voltado para a produção de *softwares* interativos para lousas eletrônicas. E eu passei a liderar uma pequena equipe de programadores (com estagiários da USP, inclusive), bem como a coordenar a produção desse material com a equipe de arte do CEPA, até então ausentes na criação desse tipo de conteúdo (lembre-se: até então eu era o único programador do CEPA). Mais especificamente, eu tornei-me responsável pela produção de todo o material de Matemática, e embora oficialmente eu não fora indicado para definir os conteúdos interativos, com base nos cadernos desenvolvidos pela SEE, pois minha formação não era a de matemático, eu muito influenciei esse material, num trabalho conjunto com os professores indicados pela SEE (e que haviam criado os cadernos) e com os Professores Coordenadores das Oficinas Pedagógicas (PCOP).

Cheguei também a treinar professores da rede pública, usuários das lousas e do material por nós criado, em uma aula temática criada para a abertura oficial do projeto, em novembro de 2009. Esta apresentação teve as presenças ilustres do então Secretário de Educação, Carlos Vogt, e do fundador da Dell, Michael Dell.

Este projeto permitiu ao CEPA evoluir muito em termos de profissionalismo, e deu a ele condições de assumir outros dois grandes projetos: a Univesp e a Redefor.

A participação do CEPA, na produção de material, terminou em dezembro de 2010. Mas o projeto continua em funcionamento, utilizando o material produzido por nós.

3.7.3 Os projetos Univesp e Redefor

Após a assinatura do Governador José Serra para a criação da Univesp (Universidade Virtual do Estado de São Paulo), em março de 2010³, o CEPA passou a produzir parte do material que seria disponibilizado aos alunos através do sistema Moodle (usado no curso de L^AT_EX). A primeira turma do primeiro curso, Licenciatura em Ciências, teve início no segundo semestre de 2010.

A partir daí eu adquiri a tarefa dupla de garantir a produção de materiais (*softwares*

³A aprovação deste projeto vinha sendo adiada há pelo menos um ano por pressões de setores da sociedade contrários ao ensino a distância.

interativos) tanto para a Univesp quanto para o projeto Aulas Interativas. Além disso, eu oficialmente faço parte do projeto Univesp como Educador II (ou professor de atividades) das disciplinas de Dinâmica dos Corpos e Eletromagnetismo, responsável pela criação de atividades *online*; no Moodle.

É importante mencionar também que, com a Univesp, os *softwares* que desenvolvemos passaram a ser desenvolvidos para a **Internet** (isto é, levando-se em conta diferentes **navegadores** e **sistemas operacionais**), uma vertente que não era desenvolvida no projeto Aulas Interativas.

Além da produção, grande parte do meu esforço atual é dedicado à evolução dos processos internos do CEPA, como a implantação do sistema ágil de desenvolvimento de projetos chamado *Scrum* (parcialmente empregado no momento) e a utilização do padrão **SCORM** (*Sharable Content Object Reference Model*) nos *softwares* que desenvolvemos (*Learning Objects*, na terminologia *e-learning*). O SCORM é o padrão de fato da indústria de *e-learning* no exterior, mas ainda é muito pouco difundido no Brasil.

A equipe que hoje lidero e coordeno é composta por 7 pessoas, além de mim: um ilustrador, três programadores e três estagiários (de programação). No entanto, eu participo de praticamente todas as decisões que envolvem o CEPA. Além disso, tenho também participado do desenvolvimento do novo leiaute do Moodle, juntamente com a equipe de Apoio Técnico e Pedagógico (parte do CEPA), liderada pelo Prof. Dr. Ewout ter Haar, e a *designer* instrucional Prof^a Vani Kenski (e, anteriormente, com a *designer* instrucional Andrea Filatro); e da modelagem do processo de criação dos cursos, com a consultora Ely Joana Beloto.

O CEPA e, particularmente, a equipe de criação de objetos de aprendizagem, produzem material para outro grande projeto, também em parceria com a Secretaria de Estado da Educação: a Redefor, ou Rede São Paulo de Formação Docente. Contudo, minha participação neste projeto ainda é pequena, mas tem crescido nos últimos meses com a divulgação dos objetos de aprendizagem criados para a Univesp.

3.7.4 Resumo

Entrar no CEPA foi a reunião de duas paixões: a Física/Matemática e a programação. Eu hoje percebo que estou no lugar certo, mas há um ponto onde ainda pecamos: a pesquisa. O CEPA é hoje um centro de produção, mas eu gostaria (juntamente com alguns colegas acadêmicos) de torná-lo num centro de transposição de materiais didáticos, capaz não apenas de produzi-los, mas também de estudá-los, a exemplo do PhET, da

Universidade do Colorado, nos EUA [16].

4 Perspectivas

Eu tive a oportunidade de experimentar os meios acadêmico e corporativo, e a felicidade de trilhar o “caminho do meio”, a despeito de todas as dúvidas, que sempre estiveram presentes. Muito foi realizado, especialmente no CEPA, e em grande parte sem a recompensa financeira que eu poderia obter no meio corporativo. Mas esta é uma escolha que faço lucidamente, pois as minhas maiores recompensas são pessoais, e acima de tudo minha intenção é construir algo de que me orgulhe e que contribua para a nossa sociedade. Eu tenho conseguido seguir este caminho, bem ou mal, com a ajuda de todas as pessoas que encontrei nessa jornada. Mas ela não tem fim...

Criação e produção de objetos de aprendizagem, e pesquisa sobre eles. Esses são os três ingredientes que preciso. Atualmente tenho os dois primeiros, e já começo a lutar para conseguir o terceiro. E é justamente onde este cargo de docente pode auxiliar. Dito de outra forma, ter entrado no CEPA foi o primeiro passo; ser docente da USP é um possível segundo (mas certamente não único).

Independentemente disso, meu trabalho no CEPA continua, e para o próximo semestre (até o final do ano) tenho algumas metas bem claras:

- Finalizar a implantação do Scrum no CEPA;
- Buscar *feedback* dos alunos, tutores e educadores quanto aos objetos de aprendizagem disponibilizados;
- Difundir os objetos de aprendizagem entre os professores autores, educadores e tutores (muitos deles sequer sabem que eles existem, e outros não imaginam que existe uma equipe capaz de realizar suas ideias);
- Difundir o padrão SCORM entre os professores autores, educadores e tutores;
- Submeter dois ou três trabalhos, em parceria com colegas acadêmicos do CEPA, para os próximos congressos da ABED (Associação Brasileira de Ensino a Distância), baseados nas experiências nos projetos Aulas Interativas, Univesp e Redefor.

5 Projeto de pesquisa

5.1 Introdução

O processo de ensino-aprendizagem assistido por computador (TICE, de Tecnologia da Informação e Comunicação para a Educação), como laboratórios de informática, cursos a distância [27, 19], lousas eletrônicas [17] e dispositivos móveis [18], entre outros, tem se tornado cada vez mais presente como uma complementação de qualidade à educação tradicional. E particularmente no caso do Ensino a Distância (EaD), constitui também numa alternativa mais econômica e acessível, capaz de transpor barreiras geográficas e integrar diferentes culturas, de modo a realizar o que hoje se conhece por aprendizado colaborativo.

Devido a este sucesso das TICE, a demanda por *softwares* desenvolvidos para este fim também ganha espaço. Exemplos já bastante difundidos são as comunidades virtuais (Facebook, Orkut, Stoa *etc*), *blogs*, *chats*, fóruns *etc*. E dentre elas há um subconjunto de *softwares* educativos que exploram a capacidade de cálculo do computador para facilitar ou otimizar a compreensão de conceitos e técnicas [20]. Por exemplo, é possível explorar a ocorrência de prefixos e sufixos nos vocábulos da língua portuguesa em dicionários digitais. Ou ainda, pode-se explorar os efeitos de se ignorar a aproximação de ângulos pequenos na modelagem do pêndulo simples como um oscilador harmônico. De fato, algumas iniciativas já estão disponíveis, como o Projeto Homem Virtual [23] e *softwares* de geometria dinâmica [25, 26].

Outro exemplo de grande sucesso e muito difundido são os simuladores de voo: *softwares* como o Flight Simulator e o X-Plane permitem a um candidato a piloto aprender muitos conceitos, antes mesmo de entrar num avião. Realmente, nas normas da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) consta que “30 horas de voo podem ser substituídas por 30 horas de instrução em simulador” (RBHA 61, para a habilitação em voo por instrumentos). E com relação a isso eu posso dar um testemunho: eu, como piloto de planador, aprendi algumas das técnicas que uso em voo (real) num simulador chamado Condor Soaring.

Assim, este tipo de recurso pode ser utilizado desde o ensino básico [21] até o ensino superior [16], e mesmo em pós-graduação e cursos técnicos [22].

Mas apesar de todo este potencial, a indústria deste tipo de material ainda não existe de fato. Ao invés disso, tudo que se tem são iniciativas isoladas, a maioria amadoras [28, 29]. Apenas recentemente algumas universidades no exterior começaram a se dedicar à produção e estudo desses materiais [16, 24], e algumas empresas (também no exterior) começam a enxergar mercado para eles. É onde esta proposta se encaixa, particularmente (mas não exclusivamente) no âmbito da Universidade Virtual do Estado de São Paulo (Univesp).

5.2 Justificativa

A criação desses *softwares* educacionais [ou, mais ambiciosamente, Objetos de Aprendizagem (OA)] exige uma interdisciplinaridade ainda escassa hoje em dia, entre a área do saber a ser ensinado, a pedagogia e a área tecnológica. Como consequência, o processo de produção de OA é ainda pouco desenvolvido. Pelo lado tecnológico, a indústria que mais se aproxima dele é a de jogos eletrônicos; pelo lado pedagógico, o que mais se aproxima é o *designer* instrucional, profissão ainda pouco difundida no Brasil.

Existem ferramentas capazes de auxiliar educadores na criação de conteúdos mais interessantes que aqueles normalmente utilizados (textos, imagens e vídeos), como o eLML e o Adobe Captivate, mas em geral esses conteúdos não usufruem das vantagens do computador. Por exemplo, é comum ver questões com efeitos especiais sem qualquer utilidade pedagógica. São, por assim dizer, recursos para agradar aos olhos. Eles têm seus méritos, mas estão aquém do que proponho desenvolver.

5.3 Objetivo

Deste modo, o objetivo fundamental desta proposta é desenvolver e difundir conhecimento na criação e produção¹ de Objetos de Aprendizagem, e deste modo, estabelecer um caminho de formação para futuros profissionais nesta área.

Por outro lado, *não* é objetivo desta proposta criar ferramentas que facilitem a criação de Objetos de Aprendizagem por *educadores*, a exemplo do Adobe Captivate. Ao invés disso, o intuito é permitir a formação de pessoas com vocação tanto para as áreas do saber

¹ A *criação* é a fase em que o OA é identificado e aperfeiçoado de modo a cumprir um objetivo pedagógico. A *produção* é a etapa de realização da ideia surgida na criação.

a ser ensinado quanto para a tecnológica, supondo a existência do suporte pedagógico de um profissional qualificado para tal, como o *designer* instrucional.

Convém enfatizar que o projeto Aulas Interativas (seção 3.7.2), financiado pela Dell e em parceria com a SEE, evidencia o interesse comercial dessa empresa neste mercado, indicando uma possível tendência econômica e, por conseguinte, postos de trabalho para profissionais qualificados na criação e produção de Objetos de Aprendizagem. É, portanto, mais uma justificativa para o desenvolvimento deste projeto.

5.4 Proposta imediata

Neste momento, o curso de Licenciatura em Ciências pela Univesp está em fase de criação e oferecimento, tornando-o a plataforma ideal para começar este trabalho. Por esta forma, a proposta *imediata* deste trabalho é, nesta ordem:

1. Criar e produzir Objetos de Aprendizagem para as disciplinas do curso;
2. Oferecer esses OA para os alunos, como parte das atividades *online* (essas atividades, conforme o coordenador executivo do projeto Univesp, Prof. Dr. Gil da Costa Marques, são os recursos centrais do ambiente virtual de aprendizagem, *ie*, o Moodle);
3. Entrevistar os alunos, tutores e educadores acerca dos prós e contras desses OA, bem como obter sugestões de melhoria (dados úteis podem ser obtidos também através das avaliações automáticas do Moodle e de seus registros de log);
4. Aperfeiçoar os OA produzidos.

Este processo de pesquisa e produção é similar àquele utilizado no projeto PhET [16], e junto com sua extensa lista de estudos já efetuados [30], constitui o modelo a ser seguido nas etapas iniciais.

Conforme apresentado no memorial, nos capítulos anteriores, os passos 1 e 2 acima já são executados pelo CEPA, para qualquer disciplina dos projetos Univesp e Redefor. Porém os passos 3 e 4, que constituem a pesquisa propriamente dita, serão implantados, inicialmente, apenas nas disciplinas de Física e Matemática do projeto Univesp, áreas nas quais sou capacitado.

5.5 Propostas para o futuro

A longo prazo algumas propostas de trabalho e pesquisa já podem ser feitas, embora a realização delas dependa do andamento da proposta imediata (seção anterior), bem como do desenvolvimento das TICE nos próximos anos. São elas, em ordem crescente de complexidade:

- Pesquisa, criação e produção de OA para lousas eletrônicas. O CEPA já detém algum conhecimento sobre este assunto, desenvolvido no projeto Aulas Interativas (seção 3.7.2), de modo que é bastante simples continuar este trabalho.
- Pesquisa, criação e produção de OA para dispositivos móveis, como celulares e *tablets*. O CEPA comprou recentemente um *tablet* baseado no sistema Android, e já começa a desenvolver conhecimento nessa linha.
- Incorporação de princípios de internacionalização e acessibilidade nos OA, o que ampliaria o público-alvo dos Objetos de Aprendizagem e beneficiaria pessoas com necessidades especiais. Além disso, um trabalho de pesquisa sobre como aplicar princípios de neurolinguística nos OA potencialmente os tornariam mais eficazes.
- Integração ente OA e vídeos, compondo um “laboratório didático virtual”. A ideia é disponibilizar para o aluno equipamentos virtuais e vídeos pré-gravados que o orientam em cada tomada de decisão, certa ou errada. O aluno poderia inclusive chegar a “destruir” o aparelho se, por exemplo, permitir que muita luz atinja um fotodetector sensível.
- Extensão da pesquisa para outras áreas. A pesquisa proposta na seção anterior limita-se à Física e à Matemática apenas por que esta é a minha formação. No entanto, à medida que o projeto tomasse proporções maiores, parcerias poderiam ser feitas e pesquisas similares, desenvolvidas em outras áreas.

Cada um dos itens acima, além de compreender um produto a ser desenvolvido, requer pesquisa similar àquela da seção anterior. Outros itens, como os abaixo, são contribuições que eu e uma equipe de criação de Objetos de Aprendizagem podemos realizar.

- Retomada do curso “Usando L^AT_EX; pensando em T_EX” (seção 3.7.1). Atualmente este curso encontra-se disponível nos servidores da CTI, mas o curso é oferecido de modo assíncrono e individual. No entanto, a demanda por esse conhecimento na USP e em outros centros de pesquisa justifica sua reativação, com a dedicação de tutores *online* aos alunos.
- Comunidade social de usuários de OA, integrada ao repositório de OA que já estamos desenvolvendo, e que permitiria a troca de ideias e experiências entre usuários de

OA, bem como valioso *feedback* para a equipe de criação e produção deles. Mais do que isso, essas informações podem definir as necessidades mais imediatas dos educadores, de modo a guiar a criação e produção de OA.

- *Framework* para a criação de OA baseado em tecnologias e padrões abertos. A produção de Objetos de Aprendizagem requer a participação de programadores e ilustradores (pelo menos), e no que concerne a integração dos esforços de cada um desses profissionais, a plataforma Flash é hoje a melhor opção. Existem ferramentas livres que substituem o Flash na parte de programação, assim como existem ferramentas livres que substituem o Flash na parte de arte. Mas essas ferramentas não produzem resultados facilmente integráveis.
- Cursos de capacitação em programação para OA, desde paradigmas de programação (procedural, estruturada, orientada a objetos, protótipos, lógica e funcional) e técnicas (*design patterns*), passando por métodos numéricos (como derivação e integração numérica, quaternions *etc*) até chegar nas diversas tecnologias disponíveis para a produção de OA, para *desktop*, Internet e dispositivos móveis.
- Estabelecer o CEPA como centro de criação de materiais didáticos para qualquer faculdade da USP que necessite deles. Este é um trabalho mais político que técnico, e por isso ainda bastante incerto.

5.6 Conclusão

Sob a minha perspectiva, o mais importante do que foi exposto até agora é que *essas ideias já estão sendo colocadas em prática*, desde 2007, quando entrei no CEPA. Ou seja, são propostas com chances reais de se concretizarem. Algumas podem ser alteradas ou adaptadas, ou mesmo tornarem-se obsoletas. Mas a ideia principal está clara, e provavelmente se tornará realidade sendo eu aprovado ou não para o cargo a que me candidato, pois é uma tendência mundial.

Referências Bibliográficas

- [1] I. R. Pagnossin, E. C. F. da Silva, A. A. Quivy, S. Martini e C. S. Sergio, *The quantum mobility of a two-dimensional electron gas in selectively doped GaAs/InGaAs quantum wells with embedded quantum dots*, J. Appl. Phys. **97**, 113709 (2005).
- [2] XVII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, *A influência de pontos-quânticos de InAs sobre a mobilidade quântica de gases bidimensionais de elétrons confinados em poços-quânticos de GaAs/InGaAs seletivamente dopados*, 2004 (Poços de Caldas).
- [3] XVIII Encontro Nacional de Física da Matéria, *The influence of strain fields around InAs quantum-dots on the transport properties of a two-dimensional electron gas confined in GaAs/InGaAs wells*, 2005 (Santos);
- [4] 12th Brazilian Workshop on Semiconductor Physics, *The influence of strain fields around InAs quantum-dots on the transport properties of a two-dimensional electron gas confined in GaAs/InGaAs wells*, 2005 (São José dos Campos);
- [5] I. R. Pagnossin, *Propriedades de transporte elétrico de gases bidimensionais de elétrons nas proximidades de pontos-quânticos de InAs*, Dissertação de Mestrado, IFUSP, São Paulo (2004).
- [6] M. J. da Silva, A. A. Quivy, S. Martini, T. E. Lamas, E. C. F. da Silva e J. R. Leite, *InAs/GaAs quantum dots optically active at 1.5 μm* , Appl. Phys. Lett. **82**, 2646 (2003).
- [7] B. L. Johnson, C. Barnes, G. Kirczenow, *Theory of the Hall effect in two-dimensional quantum-dot arrays*, Phys. Rev. B **46**, 15302 (1992).
- [8] 28th International Conference on the Physics of Semiconductors, *Quantum Hall effect in bilayer system with array of antidots*, 2006 (Áustria).

- [9] I. R. Pagnossin, A. K. Meikap, A. A. Quivy, G. M. Gusev, *Electron dephasing scattering rate in two-dimensional GaAs/InGaAs heterostructures with embedded InAs quantum dots*, J. Appl. Phys. **104**, 073723 (2008).
- [10] I. R. Pagnossin, A. K. Meikap, T. E. Lamas, G. M. Gusev, J. C. Portal, *Anomalous dephasing scattering rate of two-dimensional electrons in double quantum well structures*, Phys. Rev. B, Condensed Matter and Materials Physics **78**, 115311 (2008).
- [11] 13th Brazilian Workshop on Semiconductor Physics, *Weak localization and interaction effects in GaAs/InGaAs heterostructures with nearby quantum-dots*, 2007 (São Paulo).
- [12] TIDIA-Ae (Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada — Aprendizado Eletrônico), em <http://tidia-ae.usp.br/portal>.
- [13] Alguns *applets* desenvolvidos na fase inicial do meu trabalho no CEPA: <http://goo.gl/t4xk4>, <http://goo.gl/TR4Ap> e <http://goo.gl/RH98f>.
- [14] Relatórios sobre a utilização de Java e SVG como plataforma para o desenvolvimento de Objetos de Aprendizagem, em stoa.usp.br/irpagnossin/files, item “Apresentação e relatórios técnicos”.
- [15] Curso *Usando L^AT_EX; pensando T_EX*, em <http://goo.gl/bz6ST> (2011.06.15).
- [16] Projeto PhET, em phet.colorado.edu (2011.06.15).
- [17] Por exemplo, “Lousas digitais ligadas à internet são usadas em escolas do interior de São Paulo”, em <http://goo.gl/T3dz0> (2011.06.15).
- [18] Veja, por exemplo, *Escola brasileira substitui apostilas de papel por iPad*, em <http://goo.gl/eJ1pP>, *iPad: escola do Ceará vai utilizar o tablet como ferramenta de ensino*, em <http://goo.gl/2B1MK>, ou *New York orders thousands of iPads for schools*, em <http://goo.gl/Pkecg> (2011.06.15).
- [19] Rede São Paulo de Formação Docente, em redefor.usp.br (2011.06.15).
- [20] Guia didático sobre as tecnologias da comunicação e informação, Daniela Melaré Vieira Barros, Vieira e Lent, Rio de Janeiro, 2009.

- [21] Coelho Sabido, *software* educativo para o ensino fundamental, em coelhosabido.com.br (2011.06.15).
- [22] Amplificador *lock-in* virtual, da National Instruments, em <http://goo.gl/HBvKX> (2011.06.15).
- [23] Projeto Homem Virtual, em projetohomemvirtual.com.br (2011.06.15).
- [24] Repositório de Objetos de Aprendizagem MERLOT, em merlot.org/merlot (2011.06.15).
- [25] Geogebra, *software* de geometria dinâmica, em <http://www.geogebra.org/cms/> (2011.06.15).
- [26] iGeom, *software* de geometria dinâmica desenvolvido pelo Prof. Dr. Leônidas de Oliveira Brandão, do Instituto de Matemática e Estatística da USP, em www.ime.usp.br/~leo/imatica/igeom (2011.06.15).
- [27] Cursos a distância do MIT (Massachusetts Institute of Technology), em ocw.mit.edu (2011.06.15).
- [28] *Applets* Java para a visualização de conceitos de Física, Matemática e Engenharia, em falstad.com (2011.06.15).
- [29] *Applets* Java de Física, traduzido pelo CEPA: walter-fendt.de/ph14br (2011.06.15).
- [30] Lista de artigos sobre as pesquisas acerca das simulações ciradas no projeto PhET[16], em phet.colorado.edu/en/research (2011.06.15).