

Educação problematizadora a distância para a inserção de temas contemporâneos na formação docente: uma introdução à Teoria do Caos

Contemporary themes in distance education for teacher training: an introduction to Chaos Theory

Paulo Celso Ferrari¹
José André Peres Angotti²
Marcelo Henrique Romano Tragtenberg³

Resumo: Neste artigo descrevemos um estudo de caso envolvendo a elaboração e aplicação de um mini-curso, na modalidade a distância, sobre o tema Caos em Sistemas Dinâmicos, para a formação de professores. O processo de elaboração do mini-curso foi inspirado no conceito de investigação temática, de Freire, o método de execução foi o dos três momentos pedagógicos, de Delizoicov e Angotti. Utilizamos o ambiente virtual Moodle como mediação tecnológica de educação a distância. Concluímos que a inserção de temas contemporâneos na formação de professores mediada por tecnologia pode ter caráter problematizador. Para tanto, depende da colaboração entre especialistas da área específica e pedagógica na escolha do conteúdo científico e metodologias de ensino, da participação dos futuros professores na co-autoria do material didático e de um ambiente virtual de aprendizagem.

Palavras-chave: Educação problematizadora. Educação a distância. Teoria do Caos.

Abstract: In this article, we describe a case study accomplished by elaborating and applying a mini-course in distance education mode about Chaos in Dynamic Systems for teacher training, based on the problem-posing education, of Paulo Freire. The mini-course elaboration process was inspired by the thematic investigation concept, of Freire, the execution method was based on three pedagogical ideas, by Delizoicov and Angotti. We employed the Moodle virtual environment as technological means for distance education. We concluded that inserting contemporary topics into teacher training by means of technology could and must have problem-posing characteristics. For this, it depends on the collaboration between specialists from pedagogy and the specific area when choosing scientific contents and didactic methodologies, as well as on the teachers or future teachers' participation in adapting and co-authoring the didactic material and on having a virtual environment for enabling the interaction between participants and for adjusting the learning.

Keywords: Problem-posing education. Distance learning. Chaos Theory.

¹ Doutor em Educação Científica e Tecnológica. Docente, Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia, GO. pferrari@if.ufg.br

² Doutor em Ensino de Ciências. Docente, Departamento de Metodologia do Centro de Educação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, SC. angotti@ced.ufsc.br

³ Pós-Doutorado em Física. Docente, Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, SC. marcelotragtenberg@gmail.com

Introdução

Este trabalho nasceu da preocupação com as dificuldades em inserir temas contemporâneos na formação do licenciado em Física. No início não tínhamos definido qual tema contemporâneo tomaríamos como exemplo para investigar sua inserção na formação docente. Ostermann (2000), numa pesquisa com professores do Ensino Médio e Superior, utilizando a técnica Delphi, procurou saber quais temas de Física Contemporânea esses professores consideravam que deveriam ser inseridos no programa do Ensino Médio. Ao final da pesquisa, a autora constatou que a indicação de inserção do tema Caos no Ensino Médio ocupava apenas o 24º lugar na ordem das indicações. No entanto, ao optarmos por adotar critérios mais locais, que nos permitissem identificar as necessidades e possibilidades de uma realidade particular e, em seguida, propor uma metodologia passível de ser executada em outras realidades, nos deparamos com um conjunto de situações favoráveis à eleição deste tema para nossa pesquisa. No item 1 apresentamos outros argumentos em favor dessa escolha.

Reconhecemos que não seria viável propor que sejam oferecidas disciplinas específicas para cada tema inovador, e percebemos, durante nossa investigação, que não poderíamos responsabilizar as disciplinas integradoras por esta tarefa, uma vez que o currículo dos cursos de Licenciatura já é sobrecarregado de disciplinas consideradas imprescindíveis para uma formação inicial consistente. Remeter esse objetivo exclusivamente para a formação continuada seria descomprometer a formação inicial. Estávamos interessados em identificar uma forma de introduzir conceitos contemporâneos na formação inicial de professores de Física, porém, precisávamos encontrar uma forma de estimular e atender, também, os profissionais em exercício. A solução encontrada foi desenvolver um minicurso em ambiente virtual, que pudesse servir simultaneamente à formação inicial e continuada. Os aspectos da modalidade a distância que justificam nossa opção se encontram no item 2.

Este estudo de caso foi iniciado com a imersão do pesquisador entre os estudantes de Física da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no ano de 2005, procurando estabelecer um diálogo para identificar interesses e compartilhar sugestões. O processo de elaboração do minicurso transcorreu de tal forma que pudemos identificar semelhanças com a proposta de **investigação temática** de Freire (1987, 1977), bem como com a metodologia de pesquisa-ação (THIOLLENT, 2002). A análise do desenvolvimento da investigação e o questionário final nos possibilitaram identificar um tema e fazer o planejamento aplicando os três **momentos pedagógicos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento**. É o que apresentamos no item 3 deste artigo.

Numa segunda etapa, discutida no item 4, desenvolvemos e avaliamos o minicurso na modalidade a distância, em duas versões sucessivamente modificadas na Universidade Federal de Goiás (UFG), no ano de 2007. Encerramos esta etapa com uma entrevista semi-estruturada (TRIVIÑOS, 1997), pela qual avaliamos os conteúdos específicos da Teoria do Caos, a utilização do computador e as sugestões de inserção no Ensino Médio.

No item 5, tecemos nossas considerações sobre a pesquisa.

1 Por que a Teoria do Caos?

A principal justificativa para a inserção do conceito de Caos na formação docente está relacionada à Filosofia da Ciência, uma vez que os pesquisadores dessa área de pesquisa utilizam um modo particular de produzir e interpretar o conhecimento científico. Desenvolvida no seio das equações determinísticas clássicas (equações diferenciais ordinárias), que supostamente teriam o poder de prever o comportamento de um sistema, a Teoria do Caos evidenciou a existência de sistemas determinísticos, contínuos e discretos, cujo comportamento é praticamente imprevisível devido à grande sensibilidade a mudanças nas condições iniciais. A percepção de que o poder de previsibilidade da Ciência é limitado pode modificar a visão de Ciência ainda predominante em professores de Física (LUFFIEGO, 1994). A compreensão da sensibilidade às condições iniciais coloca em cheque a concepção de que fenômenos imprevisíveis são descritos somente por sistemas aleatórios. Os sistemas determinísticos também podem se tornar imprevisíveis.

Tocamos aí no coração do problema: a propriedade que certas funções não-lineares possuem de amplificar exponencialmente qualquer erro, por mínimo que seja, impede qualquer predição a longo prazo e acarreta um comportamento errático, que parece obedecer apenas às regras do acaso, apesar do determinismo estrito dessas funções. Esta propriedade de amplificação exponencial dos desvios, que reconcilia as noções de determinismo e de imprevisibilidade, é chamada de “sensibilidade às condições iniciais” ou SCI. Para bem identificar, do ponto de vista da semântica, esse comportamento errático ligado a um processo determinista entre outros comportamentos imprevisíveis, “aleatórios”, ligados, pelo contrário, a processos muito mais complexos e não-deterministas, consagraram-lhe o adjetivo “caótico”. (BERGÉ, 1996, p. 74)

Gleick (1989) cita uma afirmação contundente de Robert May, sobre a omissão da discussão do comportamento dos sistemas não-lineares na formação científica nos anos 1970, que ainda se aplica à formação científica atual.

A ciência do caos deveria ser matéria de ensino, sustentava ele. Era tempo de se reconhecer que a educação padrão de um cientista dava a impressão errônea. Por mais complexa que a matemática linear pudesse ser, com suas transformadas de Fourier, suas funções ortogonais, suas técnicas de regressão, May afirmava que ela inevitavelmente enganava os cientistas sobre o mundo, onde predominava a não-linearidade. “A intuição matemática assim desenvolvida prepara mal o estudante para enfrentar o comportamento bizarro evidenciado pelo mais simples dos sistemas discretos não lineares”, escreveu ele.

Não só na pesquisa, mas também no mundo cotidiano da política e da economia, estaríamos todos melhores se um maior número de pessoas compreendesse que os sistemas não-lineares simples não dispõem necessariamente de propriedades dinâmicas simples. (GLEICK, 1989, p. 75)

Declarações dessa natureza permitem reforçar a hipótese do surgimento de uma nova concepção de ciência, menos confiante no determinismo, mais atenta às variações bruscas dos fenômenos regidos por equações não-lineares, inclusive o próprio meio ambiente, cujo comportamento futuro pode reservar surpresas imprevisíveis. Ao introduzir novos métodos de pesquisa dos sistemas não-lineares utilizando computadores, a matemática do Caos contribuiu também para o surgimento de uma nova episteme, uma nova maneira de produzir conhecimento, na qual a realidade virtual é incorporada ao conhecimento científico básico e aplicado. Lévy (1993) fala em uma nova “ecologia cognitiva”, inaugurada pela introdução dos computadores em todas as atividades humanas, particularmente na cultura, no sentido mais amplo que integra a ciência e a tecnologia, hoje concebida por muitos como tecnociência, determinando uma forma inédita e poderosa de conhecimento, o “conhecimento por simulação”.

Um modelo digital não é lido ou interpretado como um texto clássico, ele geralmente é explorado de forma interativa. Contrariamente à maioria das descrições funcionais sobre papel ou aos modelos reduzidos analógicos, o modelo informático é essencialmente plástico, dinâmico, dotado de uma certa autonomia de ação e reação. Como Jean-Louis Weissberg observou tão bem, o termo simulação conota hoje esta dimensão interativa, tanto quanto a imitação ou a farsa. O conhecimento por simulação é sem dúvida um dos novos gêneros de saber que a ecologia cognitiva informatizada transporta. (LÉVY, 1993, p. 121)

Inúmeros pesquisadores dedicam-se ao estudo dos sistemas dinâmicos não-lineares, porém, mesmo nas universidades onde existe essa linha de pesquisa, a discussão do comportamento caótico em sistemas dinâmicos tem permanecido restrita a pesquisadores especialistas e seus alunos de pós-graduação e iniciação científica, apesar de sua importante contribuição filosófica, tanto para a formação de bacharéis quanto, ou ainda mais, de professores. Em contraposição, a presença desta discussão nos meios de divulgação e comunicação impressos e eletrônicos, até mesmo na TV, é cada vez mais intensa, sempre plena de controvérsias, analogias e extrapolações arriscadas.

2 Por que a modalidade a distância?

Primeiramente, por uma questão propriamente de distância, pois, buscamos contemplar participantes de qualquer Instituição de Ensino, e nem todas as instituições contam com especialistas que possam oferecer disciplinas presenciais sobre Caos Determinístico. Torna-se mais viável a formação de “tutores” que possam intermediar o processo de aprendizagem, sobretudo com a utilização de um **ambiente virtual de aprendizagem**, ou **ambiente vir-**

tual de ensino-aprendizagem (DE BASTOS, MAZZARDO, 2004) especialmente construído para proporcionar a necessária interação entre os participantes.

No ambiente virtual, a flexibilidade da navegação e as formas síncronas e assíncronas de comunicação oferecem aos estudantes a oportunidade de definirem seus próprios caminhos de acesso às informações desejadas, afastando-se de modelos massivos de ensino e garantindo aprendizagens personalizadas. (KENSKI, 2007, p. 95)

A outra razão está associada ao tempo de aprendizagem, pois, na formação inicial, a estrutura dos cursos de graduação nem sempre possui flexibilidade para a inserção de temas contemporâneos em disciplinas regulares, optativas ou de núcleo livre. A opção por um curso mais aberto, que o estudante possa desenvolver em locais, horários e com datas mais flexíveis, torna possível a introdução desses temas sem sobrecarregá-los de atividades presenciais. Belloni (2002) discute o conceito de **aprendizagem aberta** estabelecendo uma relação com a educação a distância.

A EaD é uma modalidade de ensino, ou seja, deve ser compreendida como um tipo distinto de oferta educacional, que exige inovações ao mesmo tempo pedagógicas, didáticas e organizacionais. Seus principais elementos constitutivos (que a diferenciam da modalidade presencial) são a descontiguidade espacial entre professor e aluno, a comunicação diferida (separação no tempo) e a mediação tecnológica, característica fundamental dos materiais pedagógicos e da interação entre o aluno e a instituição (BELLONI, 1999). A aprendizagem aberta, por sua vez, é um modo de aprendizagem - novo no sentido em que é distinto das práticas na maioria de nossas instituições de ensino em qualquer nível - que requer um processo de ensino centrado no aprendente, concebido como um ser autônomo, gestor de seu próprio processo de aprendizagem. As principais características da aprendizagem aberta são flexibilidade e liberdade do estudante (time free, place free, pace free) e oferta voltada para os interesses do estudante (flexibilização do acesso e dos procedimentos de ensino e avaliação). (BELLONI, 2002, p. 156-7)

Flexibilizar não significa criar facilidades, e sim respeitar as diferenças de ritmos dos participantes, criando formas e oportunidades diversas de aprendizagem e avaliação.

Por último, mas não menos relevante, a mediação tecnológica abre um leque de linguagens muito propícia para a aprendizagem de temas contemporâneos, em especial para o Caos em Sistemas Dinâmicos, cuja pesquisa é desenvolvida em grande parte com a utilização de computadores.

Neste trabalho buscamos integrar, à modalidade a distância, a proposta freireana de educação, por meio dos três momentos pedagógicos. Para isso recorreremos à metodologia de investigação-ação, associada ao conceito de investigação temática (DE BASTOS, 2001) para a elaboração do material didático.

3 O processo de elaboração do minicurso sobre Caos: investigação temática?

Nosso estudo de caso está organizado em duas etapas: o processo de elaboração do minicurso, desenvolvido presencialmente, utilizando-nos de alguns elementos de pesquisa-ação, inspirado na proposta de **investigação temática** de Freire (1987), e a aplicação e avaliação do minicurso na modalidade a distância, finalizada com uma entrevista semiestruturada, que será analisada no item 4.

No processo de elaboração do material didático, contamos com a colaboração de dois grupos de participantes: 12 bacharelados, alunos da disciplina Caos em Sistemas Dinâmicos do curso de Física da UFSC, no segundo semestre de 2004, e 18 licenciandos, participantes que concluíram a primeira versão do minicurso, alunos da disciplina Metodologia e Prática de Ensino de Física, do curso de Física da UFSC, no segundo semestre de 2005, totalizando 30 participantes.

Tínhamos a intenção de desenvolver um material didático que contemplasse os três momentos pedagógicos. Precisávamos, então, pesquisar um tema para desenvolver a “problematização”. A leitura e discussão dos trabalhos de Freire (1987, 1977) nos influenciou no desenvolvimento de uma metodologia inspirada no processo de **investigação temática**, utilizada pelo autor na construção do conteúdo programático em seu método de alfabetização de adultos e adaptada para a educação em ciências pelos pesquisadores Delizoicov (1982, 1991) e Angotti (1982) na implantação de um programa de ensino na Guiné-Bissau. A investigação temática foi sistematizada por Freire (1987) em cinco fases, assim denominadas por Delizoicov (1991): **levantamento preliminar; análise das situações e escolha das codificações; diálogos descodificadores; redução temática e trabalho em sala de aula.**

Não pretendemos identificar uma correspondência integral entre o processo de elaboração do minicurso e o método utilizado por Freire, apenas queremos estabelecer alguns paralelos que tornaram possível a posterior utilização dos três momentos pedagógicos. Em princípio, concordamos com a advertência de Delizoicov (1982) sobre a utilização do “método Paulo Freire”.

A menos que se queira negar a sua dialeticidade ou não praticá-lo integralmente, não podemos confundí-lo com uma “receita”, que numa situação de alfabetização de adultos, pode ser aproveitada simplesmente de modo operacional, como uma técnica instrucional alfabetizadora e não como educação problematizadora. Assim sendo empregado, é também, um instrumento da “educação bancária”, “domesticadora”, negando na prática os pressupostos básicos da educação pro-

blematizadora: a criticidade, a dialogicidade e a intervenção transformadora.

Neste sentido, é importante que se ressalte que o “método” não é unilateral, ou seja, apenas um “instrumento” de trabalho do professor; qualquer roteiro que se assemelhe a isto não pode, a nosso ver, ser chamado ou confundido com “método Paulo Freire”, mesmo que num ou noutro ponto apresente alguns aspectos comuns. (DELIZOICOV, 1982, p. 28)

Isso posto, temos claro que não utilizamos o método na íntegra, mas, nos apropriaremos do conceito de **investigação temática** para compreendermos os fundamentos da proposta de Freire, sobretudo o conceito de problematização. Restam-nos, ainda, muitas dúvidas sobre a pertinência dessa apropriação, por isso manteremos o sinal de interrogação no título deste item.

Por ter sido originalmente elaborada para a alfabetização de adultos (e mesmo quando aplicada à construção de um currículo de Ciências, como na Guiné-Bissau), a investigação temática tem por objetivo identificar temas de interesse da população investigada, para garantir que os conteúdos do programa de ensino contribuam efetivamente para a solução de problemas vivenciados pela comunidade e para a formação crítica do cidadão. No nosso caso, a comunidade a ser investigada era a de licenciandos em Física.

3.1 O círculo de investigação

A proposta de Freire prevê a constituição de um grupo interdisciplinar de pesquisadores e representantes da comunidade, o **círculo de investigação** ou **círculo de cultura** (FREIRE, 1977). O papel dos pesquisadores nesse grupo é sistematizar a investigação com o propósito de definir o conteúdo programático da ação educativa. O grupo de investigação para a produção do material de ensino do nosso minicurso foi constituído pelos alunos de licenciatura e três especialistas, um da área de Física e dois de Ensino de Física (incluindo o primeiro autor deste artigo). Essa experiência nos mostrou que a primeira condição para tornar possível a transposição de tópicos contemporâneos, tanto para a formação de professores quanto para outros níveis de ensino, é a colaboração de um especialista sobre o assunto na equipe responsável pela investigação temática. Sobretudo porque grande parte da produção científica contemporânea ainda não mereceu uma transposição adequada para livros didáticos. Os especialistas conseguem identificar, entre as publicações científicas e as obras destinadas ao ensino, qual é o conjunto de conhecimentos básicos que possibilita um entendimento razoável da teoria. No nosso caso, tivemos a colaboração de um pesquisador em Física e autor de vários artigos relativos ao comportamento de sistemas dinâmicos, coautor deste artigo. Outra colaboração se mostrou indispensável: a de profissionais especializados em Educação em Ciências. Esses profissionais sabem analisar a viabilidade pedagógica e a pertinência dos conteúdos para a formação do professor de Ciências. Trabalhando diretamente com alunos de Licenciatura e investigando as questões da área de Educação em Ciências, possuem a criticidade necessária para realizar as intervenções no grupo de investigação. No nosso caso, além do primeiro

autor, contamos com a colaboração de um pesquisador em Educação Científica e Tecnológica, autor de diversos trabalhos na área, coautor deste artigo.

3.2 Levantamento preliminar, análise das situações e escolha das codificações

Na etapa que corresponderia ao **levantamento preliminar** da investigação, procuramos identificar quais seriam os interesses dos licenciandos e, sobretudo, quais as carências na sua formação. No segundo semestre de 2004, participamos da disciplina Metodologia e Prática de Ensino de Física, do curso de Licenciatura em Física da UFSC, e apresentamos, como sugestão de temas para a elaboração de um material paradidático multimídia (uma das tarefas planejadas para a disciplina), a Teoria do Caos e os fractais. A idéia foi imediatamente acolhida e foram produzidos dois sítios para a Internet sobre esses temas³. Constatamos, no diálogo com os estudantes, que a teoria do caos não era citada nos programas das disciplinas obrigatórias da graduação e que, mesmo sendo oferecida uma disciplina optativa sobre este assunto naquela instituição, não havia registro da participação de alunos de Licenciatura, apesar do notório interesse manifestado naquela ocasião. Percebemos, também, que a palavra caos vem sendo utilizada com muita frequência pelos meios de comunicação, e até mesmo pelos futuros professores de Física, quase sempre com uma conotação que não corresponde propriamente ao conceito científico. Essa ausência e essa deformação nos preocupou, pois, acreditamos que a compreensão da Teoria do Caos pode contribuir para uma melhor formação profissional na área de Educação em Ciências e Tecnologia. Esses indícios e a possibilidade de contarmos com a participação de um especialista dessa área de pesquisa nos levaram a investigar a inserção deste tópico na formação de licenciados em Física.

Decidimos, então, estabelecer um diálogo com os interessados, inicialmente infiltrando-nos entre os já motivados – bacharelandos, alunos da disciplina optativa Caos em Sistemas Dinâmicos do curso de Física da UFSC – para, posteriormente, testarmos alternativas entre os que pretendíamos envolver – licenciandos e licenciados. O primeiro autor deste artigo passou a participar da disciplina. Essa seria a fase equivalente à **análise das situações e escolha das codificações**. Desde o início da disciplina, ficou esclarecido que nosso objetivo seria elaborar um minicurso para a formação de licenciandos e, futuramente, para alunos de Ensino Médio, uma vez que é orientada para a formação de futuros pesquisadores na área de Física. Observando as dificuldades dos alunos foi possível perceber que existem conceitos que exigem a compreensão de problemas (exemplares) de difícil solução, porém, pudemos identificar um conjunto de conceitos bastante representativos da teoria, que podiam ser apreendidos a partir de problemas de mais fácil solução. Na concepção freireana, essas seriam as “codificações” (FREIRE, 1987).

³ Disponíveis na página da disciplina: <<http://www.ced.ufsc.br/men5185/>>.

3.3 A versão provisória do minicurso

Para averiguar se as nossas escolhas eram válidas, planejamos a primeira versão do minicurso e a apresentamos aos alunos de Metodologia e Prática de Ensino do curso de Licenciatura em Física da UFSC, no segundo semestre de 2005. Na primeira aula foi aplicado um questionário destinado a identificar o grau de conhecimento e o interesse que os alunos demonstravam sobre o tema, e, em seguida, proposta a leitura do texto “Previsibilidade: A Batida das Asas de uma Borboleta no Brasil provoca um Tornado no Texas?”, de Edward Norton Lorenz.

O questionário inicial (Anexo 1) conteve 8 (oito) perguntas e foi respondido por 26 alunos. A análise das respostas nos levou a concluir que, por já terem ouvido falar na Teoria do Caos, mas não conhecerem seus conceitos básicos nem os desdobramentos filosóficos, esses alunos tinham interesse em discutir o tema. Tanto que, na última pergunta, foram praticamente unânimes em considerar o assunto adequado para a graduação. Para que tivessem uma compreensão razoável da teoria e suas implicações filosóficas, precisariam compreender, pelo menos, um fundamento básico: o da sensibilidade às condições iniciais. Assim, elegemos como conceitos fundamentais (codificações) para caracterizar a sensibilidade às condições iniciais: sistema dinâmico, atrator estranho, espaço de fase e dimensão fractal. Complementamos com um conceito que é uma importante ferramenta de pesquisa na área: o expoente de Lyapunov.

A primeira versão do minicurso foi desenvolvida na modalidade presencial, nas dependências do Laboratório de Novas Tecnologias do Centro de Educação (LANTEC) da UFSC, que disponibilizou um data-show e dez computadores ligados à rede Internet. Os computadores foram previamente preparados com a instalação de um software de compilação para FORTRAN e um visualizador de gráficos. Cada computador foi utilizado por um grupo de dois ou três alunos, no máximo. Teve a duração de duas semanas, num total de 21 horas, distribuídas entre sete encontros de duas aulas de, aproximadamente, 1h30min cada, dentro da disciplina Metodologia e Prática de Ensino de Física. Com o apoio de um texto contendo todo o conteúdo matemático do minicurso, disponível nos computadores dos participantes e projetado através do data-show, cada aula era iniciada com algumas interrogações planejadas para problematizar um determinado conceito. Em alguns casos, foi acrescentada uma breve introdução histórica. Em seguida, os alunos eram convidados a utilizar os softwares previamente instalados para construir gráficos que dependiam do conceito estudado, utilizando os programas em linguagem FORTRAN fornecidos. Durante a utilização dos softwares, abria-se uma discussão sobre os comandos do programa fornecido e eram passadas as orientações sobre modificações a serem realizadas em cada programa, para serem obtidos os gráficos desejados. Os programas contêm comentários explicativos sobre as principais sequências de comandos. Como recurso complementar, foram indicados endereços na rede Internet contendo, sobretudo, *applets* em linguagem Java e textos ilustrativos do conceito abordado. Para encerrar essa etapa, que corresponderia aos **diálogos descodificadores**, na proposta freireana, o minicurso foi avaliado na última aula por meio de um questionário final.

3.4 Análise do questionário final

O questionário final (Anexo 2) conteve apenas três questões. O objetivo principal foi avaliar a realização do minicurso para poder redimensioná-lo - trabalho que corresponderia à

etapa de **redução temática**, por isso não contemplou perguntas sobre os conteúdos específicos. As respostas ao questionário final nos revelaram que o minicurso precisava ser modificado em alguns pontos. As principais modificações, de caráter metodológico, se referiam ao tratamento excessivamente matemático e à carência de aplicações práticas “cotidianas”. Como a Teoria do Caos é uma teoria eminentemente matemática e o minicurso é destinado à formação de professores de Física, decidimos manter o tratamento matemático, porém, orientar o desenvolvimento das aulas de forma a reduzir sua ênfase, criando uma seção interna, isolada, em cada aula, para a dedução matemática. Quanto às aplicações práticas, decidimos eleger um único exemplo cotidiano para nortear todo o minicurso. Percebemos, em conversas com os participantes, que o exemplo mais próximo da realidade seria a previsão atmosférica. Associamos, então, o texto histórico sobre o efeito borboleta de Lorenz ao exemplo de aplicação na previsão atmosférica para definir o eixo problematizador do minicurso: a sensibilidade das condições atmosféricas. Alteramos a sequência dos conteúdos e implementamos subdivisões didáticas nas aulas para a aplicação dos três momentos pedagógicos, conforme descreveremos no subitem 4.2.

Essa experiência nos indicou que a carga horária necessária para a boa compreensão deste e de qualquer outro tema contemporâneo poderia vir a comprometer os objetivos da disciplina, cujo conteúdo programático contempla outras habilidades além da elaboração de material didático. Além disso, pretendíamos apresentar uma proposta acessível a outras instituições de ensino onde não existam especialistas na área específica de Caos em Sistemas Dinâmicos. A alternativa encontrada foi adaptar o minicurso para ser ministrado na modalidade a distância.

A última fase da investigação, equivalente ao **trabalho em sala de aula** da proposta freireana, foi realizada na UFG com participantes do curso de Física e professores do Ensino Médio. Constituiu-se numa segunda etapa do nosso estudo de caso.

4 Avaliação do minicurso

Os três momentos pedagógicos na modalidade a distância

Na segunda versão, entre os meses de março e abril de 2007, desenvolvemos o minicurso com oito participantes concluintes, entre os quais dois bacharelados e seis licenciandos de diversas disciplinas do curso de Física da UFG. Utilizamos um sítio da Internet como suporte para as aulas, porém, sem o auxílio das ferramentas de comunicação de um ambiente virtual de aprendizagem. Dependíamos exclusivamente da comunicação por correio eletrônico e ela não funcionou a contento.

Somente na terceira e última versão do minicurso, no segundo semestre de 2007, com 13 participantes concluintes, 12 licenciandos em Física da UFG e um licenciado em Matemática, pudemos avaliar a aplicação dos três momentos pedagógicos a distância, pois, ao utilizarmos o ambiente Moodle⁴, tivemos acesso a várias formas de comunicação que possibilitaram o diálogo entre os participantes.

⁴ Acrônimo de Modular Oriented-Object Dynamic Learning, esse ambiente contém diversos recursos criados especialmente para educação a distância.

Em ambas as iniciativas, o número inicial de inscritos preencheu as trinta vagas oferecidas. A evasão foi registrada logo nos primeiros módulos, e os que justificaram, quando solicitados, alegaram indisponibilidade de tempo.

4.1 Problematização inicial: o efeito borboleta

As três versões do minicurso foram iniciadas com a discussão do texto “Previsibilidade: A Batida das Asas de uma Borboleta no Brasil provoca um Tornado no Texas?”, escrito por Edward Norton Lorenz para uma palestra apresentada no 139º Encontro da Associação Americana para o Avanço da Ciência, em Washington, D.C, em 29 de dezembro de 1972, e publicada pelo autor em seu livro *The Essence of Chaos* em 1995. Neste texto o autor faz uma provocação, usando a metáfora da borboleta, sobre as dificuldades da previsão atmosférica.

Na versão presencial nossa intenção principal era avaliar a proposta, por isso não nos preocupamos em registrar as intervenções dos participantes na discussão inicial do texto de Lorenz, a problematização inicial foi desenvolvida apenas oralmente. Na versão seguinte, o único recurso de interação antes do primeiro encontro presencial era o correio eletrônico. Poucos participantes se manifestaram sobre o texto proposto. Já na terceira versão, a ferramenta fórum do ambiente virtual Moodle possibilitou a problematização em toda a sua dimensão. Várias idéias foram debatidas, experiências pessoais compartilhadas, concepções identificadas e, ainda, encaminhadas sugestões para o aperfeiçoamento do próprio minicurso.

4.2 Organização do conhecimento

A organização do conhecimento foi desenvolvida tendo como suporte auxiliar um sítio independente do ambiente virtual, hospedado no mesmo servidor da UFG onde se hospeda o sítio do Instituto de Física⁵, contendo todo o conteúdo programático do minicurso, em nove módulos organizados por páginas de hipertexto. As primeiras duas páginas, intituladas Apresentação e Abertura, tiveram a função de preparar o início do curso. Na página de **Apresentação** descrevemos a estrutura do minicurso, esclarecemos a metodologia adotada, tecemos algumas considerações sobre a linguagem FORTRAN e disponibilizamos o questionário inicial, o mesmo utilizado na primeira versão. Na página de **Abertura** esclarecemos algumas denominações, um texto destacando os principais acontecimentos históricos que deram origem à Teoria do Caos, e disponibilizamos os tutoriais para a utilização dos programas a serem utilizados nas simulações em computador, links para download dos respectivos programas, bem como o texto de Lorenz.

No ambiente virtual, o minicurso foi organizado em nove tópicos semanais, correspondendo aos nove módulos do sítio de apoio. No tópico destinado à Apresentação, foi aberto um link de carregamento de arquivos para recolher o questionário inicial. No tópico de Abertura, abrimos um fórum de apresentação dos participantes. Os seis tópicos seguintes foram dedicados ao desenvolvimento do conteúdo específico. Em cada tópico, foi criado um

⁵ O material do minicurso pode ser consultado no link Extensão do sítio: < <http://www.if.ufg.br>>.

fórum para se discutirem os problemas da aula e um link de carregamento de arquivos para recolher a avaliação.

O conteúdo específico de Caos Determinístico foi desenvolvido em seis aulas. Todas foram planejadas com a preocupação de manter como eixo estruturante a problematização. Para isso, cada aula conteve, em si, os três momentos pedagógicos, subdivididos em sete seções: Para refletir, Teoria, Dedução matemática, Prática, Conclusão, Avaliação e Internet.

A seção **Para refletir** teve como objetivo desenvolver a problematização inicial, a partir de uma série de indagações e informações provocativas. Os conteúdos dessa seção foram reproduzidos em cada aula-tópico do ambiente virtual para subsidiarem as participações nos fóruns de discussão e levantamento de dúvidas.

As seções Teoria e Dedução matemática integram o momento de organização do conhecimento. A seção **Teoria** foi planejada de forma a tornar o minicurso plenamente compreensível independentemente da seção **Dedução matemática**, dedicada a fornecer detalhes sobre o algoritmo do programa fonte em linguagem FORTRAN.

A aplicação do conhecimento em cada aula se dá nas seções: Prática, Conclusão, Avaliação e Internet. A seção **Prática** continha um problema exemplar resolvido e era disponibilizado o programa fonte utilizado. Na seção **Conclusão**, eram comentados os aspectos importantes de cada solução. Na seção **Avaliação**, o participante era desafiado a resolver um problema semelhante, a fim de explorar novos detalhes da solução. Todos os programas-fonte foram fornecidos, sendo exigido que o participante abrisse cada um deles e fizesse modificações antes da compilação e execução dos mesmos. O recolhimento foi realizado no link de carregamento de arquivos do ambiente virtual, que permite a substituição do arquivo depositado. Essa seção teve o caráter de avaliação, porém, com a concepção de avaliação formativa, por isso, na medida em que eram identificados equívocos conceituais na resolução de um problema, ele era devolvido ao participante e novas orientações eram fornecidas para melhorar sua compreensão. A seção **Internet** nem sempre pôde ser utilizada, pois, algumas aulas eram sobre conceitos muito específicos do Caos Determinístico. Quando utilizada, apresentava algumas sugestões de sítios contendo simulações ou informações diversificadas.

4.3 Aplicação do Conhecimento

Na estrutura geral do minicurso, o momento de aplicação do conhecimento se efetivou nos encontros presenciais. O primeiro encontro, realizado na quarta das nove semanas de duração do curso, foi direcionado para a solução de dúvidas. Durante a sua realização, no entanto, o diálogo entre os participantes propiciou o surgimento de novas dúvidas, que possibilitaram tanto a extensão quanto o aprofundamento do conhecimento.

O segundo encontro foi convocado para uma avaliação final, parte constituinte deste terceiro momento. Como a avaliação foi realizada em forma de entrevista, foi possível desenvolver um diálogo enriquecedor, esclarecendo dúvidas e sofisticando a compreensão dos conceitos. O roteiro da entrevista se encontra no Anexo 3. As respostas serão analisadas no subitem a seguir. A rigor, a entrevista ainda integra o momento pedagógico da aplicação do conhecimento, ao mesmo tempo que marca o final da segunda etapa do nosso estudo de caso.

4.3.1 Análise das entrevistas

Ao final da terceira versão do minicurso, entrevistamos 10 participantes, entre os dias 17 de novembro e 8 de dezembro de 2007. A entrevista foi semiestruturada, orientada por um roteiro (Anexo 3). Todas as entrevistas foram gravadas em fita cassete para posterior análise. A duração média foi de quarenta minutos. Antes do início de cada gravação, comunicamos que se tratava também de uma avaliação do curso, e não exclusivamente do cursista, embora a avaliação do curso estivesse intimamente ligada à avaliação do participante, uma vez que o curso tinha objetivos a serem cumpridos, que precisavam ser avaliados, e o principal deles era a aprendizagem dos conceitos. Na primeira pergunta da entrevista, o participante era convidado a elaborar uma explicação simples do que viria a ser a Teoria do Caos, como se estivesse conversando com um amigo ou vizinho, alguém que não fosse iniciado em Física ou Matemática. Durante a explicação, o entrevistador acrescentava seus questionamentos, procurando interpretar e colaborar para o esclarecimento das idéias, sem, no entanto, modificar as concepções do entrevistado. Para a introdução da segunda pergunta, esclarecemos que um dos objetivos do curso era introduzir um vocabulário científico básico sobre a teoria do caos. Seria perguntado o que ele entendia a respeito de alguns conceitos estudados no curso, sugerindo a possibilidade de ele encontrar um daqueles termos num artigo, em revista, jornal, ouvisse pela TV ou em conversas com amigos. Para organizar uma sequência, era situada a aula do minicurso na qual o conceito tinha sido introduzido. Não foram cobradas as definições matemáticas dos conceitos investigados. Houve variações entre as entrevistas. Perguntas que não estavam originalmente no roteiro foram incorporadas de acordo com o interesse do entrevistado. Alguns entrevistados comentaram sobre a utilização dos programas, o editor de gráficos e o compilador de FORTRAN; outros expressaram um esboço de como eles organizariam um material para o Ensino Médio.

Durante o desenvolvimento do minicurso foi possível identificar grandes diferenças na aprendizagem de determinados conteúdos, comuns a grupos de participantes. Um certo grupo assimilava mais facilmente conceitos envolvendo cálculos matemáticos enquanto outros demonstravam dificuldades básicas de aprendizagem. Essa observação nos orientou a procurar características comuns aos participantes de cada grupo, que pudessem compor um “perfil” e nos ajudassem a formular conclusões, conforme veremos no item 5. Ao analisarmos o desempenho durante o curso, as respostas à entrevista e revermos a formação acadêmica dos participantes, identificamos três perfis com características peculiares. O primeiro perfil (L1) foi identificado em cinco participantes, alunos do segundo semestre do curso de Licenciatura em Física da UFG. Sua formação em cálculo era bastante introdutória, ainda não estavam familiarizados com as equações diferenciais nem tinham estudado o pêndulo amortecido forçado; e, embora já tivessem manipulado o programa de edição de gráficos em duas disciplinas de Laboratório, não tinham construído gráficos a partir de simulação e nem tido contato anterior com programação computacional. Por isso, demonstraram muita dificuldade nas conceituações matemáticas, especialmente em relação à dimensão fractal e ao expoente de Lyapunov. O segundo perfil (L2) caracterizou um grupo de quatro participantes: dois alunos dos últimos semestres do curso de Licenciatura em Física, um aluno do primeiro ano que já tinha iniciado um outro curso anteriormente, e um bacharel em Física cursando simultaneamente a complementação de habilitação em Licenciatura e o Mestrado em Física. Já estavam familiarizados com as equações diferenciais, inclusive do pêndulo amortecido forçado, com o progra-

ma editor de gráficos e, por já terem cursado disciplinas de computação, tinham uma noção introdutória de programação. Finalmente, havia um participante licenciado em Matemática há quase dez anos, professor do Ensino Médio, residente numa cidade do interior de Goiás, a 150 Km de Goiânia. Mesmo já tendo concluído a graduação, por estar atuando no Ensino Médio há muitos anos, esse participante tinha dificuldade com as equações diferenciais e com os dois programas utilizados. Além disso, era o único que não residia em Goiânia. Por não se enquadrar nos perfis anteriores, lhe atribuímos um terceiro perfil (MD).

A referência a cada entrevistado será composta por quatro caracteres, separados por um traço. Os dois primeiros caracteres identificam o perfil do entrevistado, segundo o código: L1 para os alunos do primeiro ano de Licenciatura, L2 para os alunos de formação mais avançada, e MD para o licenciado em Matemática e distante de Goiânia. Os dois últimos caracteres serão letras maiúsculas atribuídas aleatoriamente a cada participante.

Analisamos as entrevistas com a técnica de categorização de respostas (GIL, 1999). Agrupamos as respostas em quatro categorias. A primeira categoria diz respeito à **compreensão do conceito de Caos Determinístico**, tema explícito da primeira pergunta, porém, implicitamente presente em diversas outras. Quase todas as perguntas avaliaram a apreensão de um **vocabulário científico**, instrumento de compreensão das discussões científicas sobre o tema, por isso a consideramos uma segunda categoria de análise. Alguns entrevistados manifestaram sua opinião sobre o uso das **simulações em computador**, aparecendo como uma terceira categoria de análise. A quarta categoria reúne as sugestões de **inserção do tema Caos no ensino de nível médio**.

Quanto à compreensão do conceito de Caos Determinístico, ao serem desafiados a explicar a um leigo o conceito de caos, a maioria dos participantes que conseguiu se expressar tomou, como exemplo, o sistema dinâmico de Lorenz, fazendo referência ao efeito borboleta. Um exemplo é a resposta de um participante com perfil L2:

“Uma das primeiras coisas que eu achei mais interessante é que eu não sabia direito onde seria aplicado, onde era aplicável a teoria do caos. Interessante o fato do Lorenz ter descoberto que pequenas variações no sistema inicial provocavam grandes alterações no desenrolar do sistema. Ele fazia uma análise simples baseada em um fluido, ele verificava o movimento de um fluido e um recipiente a temperatura inferior era diferente da temperatura superior, e como a análise nesse estudo ele fazia uma análise de como funciona a atmosfera e tentava fazer previsão do tempo. Então começaria assim... essa parte sobre o caos a gente estudou que para poder verificar como funciona um sistema meteorológico, é necessário você conhecer as condições iniciais, baseando que o sistema é caótico, e essas alterações iniciais vão provocar grandes alterações no final do sistema devido o sistema ser caótico, e não que as interações provocaram a caoticidade do sistema !?!?! Eu pelo menos entendi assim.... a imprevisibilidade do sistema.” (L2-WL)

O problema da previsão meteorológica parece ser o exemplo mais contextualizado da sensibilidade às condições iniciais.

Quanto ao vocabulário científico, entre todos os novos conceitos introduzidos no minicurso, o de **atrator** parece ter sido o mais significativo. Vejamos a tentativa de definição de um participante com perfil L1: “É uma espécie de histórico de um sistema, ou o destino dele. Pelo que eu

andei observando na primeira aula, sobre atratores, a gente vê que são caminhos do sistema, de onde ele veio, pra onde ele tende” (L1-GU).

Praticamente todos os participantes demonstraram saber interpretar corretamente este conceito. Por outro lado, os dois conceitos mais incompreendidos, para participantes de todos os perfis, foram os temas das duas últimas aulas: **dimensão fractal** e **expoente de Lyapunov**. A dedução matemática da “dimensão de capacidade” acabou ocultando a definição de fractal, persistiu a concepção de que fractal é uma parte muito pequena:

“O fractal é, exatamente, é um pedaço, de algo maior, uma parte pequena de algo grande, isso é um fractal. Ou seja, se você for estudar o fractal no caos acho que você vai estudar uma parte pequena você pode, de uma certa forma, prever em algo maior, uma coisa bem simples de um sistema, um pedacinho dele”. (L1-GU)

No caso do expoente de Lyapunov, a dedução matemática também era de difícil compreensão e acabou ofuscando a importância do conceito na mensuração da sensibilidade às condições iniciais. Os que conseguiram se expressar se lembraram que o expoente pode indicar o comportamento caótico, porém, não o associaram à medida da sensibilidade às condições iniciais: *“Ele é um λ que está na exponencial. Na equação que vai descrever o movimento é que é uma equação exponencial. E que através do coeficiente, do expoente de Lyapunov, é que eu vou determinar se ele tiver um certo valor eu vou observar se ele é um sistema caótico ou não” (L2-JO).*

Estes dois conceitos foram deixados para o final do curso porque foram considerados conceitos complementares. Uma boa noção do comportamento caótico poderia ser obtida nas quatro aulas anteriores, uma vez que o minicurso está estruturado na problematização sobre a previsibilidade dos fenômenos atmosféricos.

Mesmo não tendo sido perguntado, a todos os participantes, sobre a contribuição do curso para o desenvolvimento de habilidades relacionadas com o uso do computador, os depoimentos dos que se manifestaram sobre essa questão nos permitem inferir que, ao fornecermos os programas fonte em FORTRAN e orientarmos algumas modificações nos parâmetros e variáveis, contribuimos para desmistificar a programação computacional e aprimorar o uso do editor de gráficos, especialmente para os participantes com perfil L2, já com alguma noção de programação e experiência com o editor:

“Contribuiu porque no laboratório melhora e muito na hora de construir o gráfico... Na aula de laboratório... eu tomo conta dos gráficos. É porque às vezes no laboratório você tira os dados e vai fazer os gráficos e às vezes você não sabe se fez direito, se você colocou os dados direito, se você “plotou” direito. E não... e fazendo ali, você está sozinho e você só tem você para fazer os gráficos e enviar para o senhor corrigir e devolver, então, o cuidado é redobrado em usar as ferramentas... e mesmo ali, antes de mandar, eu mesmo sempre colocava vários pontos diferentes, colocava bolinhas, colocava quadradinho para ver... sempre brincava com os gráficos e isso ajuda. Aquele no espaço de fase que era... eu mandei de bolinha colorida porque era o melhor, que tinha melhor visualização. O senhor viu que cada bolinha colorida era um ponto do sistema e isso ajudou bastante. Eu não tinha idéia do FORTRAN, que parecia uma coisa complicada, mas, era uma coisa tão simples! Acho que foi útil isso aqui no decorrer do curso.” (L2-WL)

Evidentemente, manipular um programa já pronto é muito mais fácil que criar um programa para resolver um problema, mas não era objetivo do minicurso formar pesquisadores em sistemas dinâmicos, e sim, desfazer a impressão de que a programação é de domínio exclusivo desses pesquisadores.

As sugestões de organização de conteúdo para o Ensino Médio foram marcadas pela preocupação em utilizar exemplos próximos da realidade dos estudantes, sem sobrecarregar informações, procurando desfazer a impressão de que a Teoria do Caos é uma teoria praticamente incompreensível. Na resposta de um participante que já leciona, fazendo referência ao filme “Efeito Borboleta” de Eric Bress, pudemos notar o reconhecimento do interesse pelo assunto entre alunos do Ensino Médio:

“Eu acho assim, o que provocou para mim talvez possa ser provocado neles, sabe, talvez não a necessidade de entender tudo o que é o caos, isso precisa de dedicação, de fazer um curso mais longo, mas essa sensação do novo, despertar nos meninos, sabe, é uma coisa nova, se você chegar lá, todo mundo tem interesse nisso, ainda mais depois do filme, pros meninos, porque a maioria já viu, né? Então, assim, aquele texto, de abertura ali, que você vai falar das condições, da meteorologia, tal, muito bacana aquele texto, então eu acho assim, é um texto que gera muita discussão em sala. [...] Eu acho que é isso aí, dá pra levar, instigar sabe, essas coisas... é bem melhor do que ficar ensinando esse monte de besteira que a gente fica ensinando em física aí... e não desperta nada. Eu acho que dá pra trabalhar, eu pensei que se preparar bacana assim, levar umas simulações, dá pra encantar a galera, explicar o porquê do nome daquele filme, discutir aquelas frases lá da questão do tufão, do bater de asas da borboleta, acho que dá para ficar um negócio bem bacana, instigar eles, né, ao novo, né, porque o que provocou em mim foi isso, me deu vontade de aprender mais, sinceramente...” (L2-LU)

Esta e as outras sugestões, associadas às tentativas de explicação para leigos apresentadas na primeira pergunta da entrevista, fornecem alguns indícios para a elaboração de propostas de transposição para o nível médio de ensino, porém, ainda não temos resultados para investigar essas propostas.

5 Considerações finais

A inserção de temas contemporâneos na formação docente não pode ser realizada numa concepção meramente “bancária” de educação. A elaboração de cursos de complementação requer metodologias inovadoras, participativas, especialmente porque a grande maioria dos temas contemporâneos já está divulgada nos meios de comunicação.

A proposta de educação problematizadora mediada pela tecnologia da Internet torna-se viável a partir da utilização de um ambiente virtual de aprendizagem, por agregar as ferramentas de comunicação que permitem a interação *on-line*, como o fórum, o blog e o chat. A mediação da Internet concedeu ao minicurso a dinâmica necessária para que os participantes conciliassem seus horários de estudo e incrementassem pesquisas auxiliares para a compreensão da teoria, explorando os recursos dessa tecnologia digital. Além de ler textos científicos e interpretar gráficos estáticos, linguagens comuns do ensino presencial, os participantes tiveram acesso a: diversos textos alternativos, animações digitais, desenhos e fotografias de siste-

mas dinâmicos reais, enfim, uma série de outras linguagens complementares que possibilitaram um constante diálogo problematizador.

A participação de especialistas da área específica e da área de educação na elaboração do material didático é essencial, sobretudo quando se propõe um diálogo entre educadores e educandos, ou antes, entre os conhecimentos científicos e os conhecimentos de senso comum. A interferência desses especialistas contribuiu para reduzir a distância epistemológica entre esses conhecimentos. Entre a disciplina optativa Caos em Sistemas Dinâmicos do Departamento de Física da UFSC e o minicurso que desenvolvemos existem continuidades e rupturas: o especialista em sistemas dinâmicos nos ajudou a definir quais seriam os conceitos fundamentais da teoria, e os especialistas da área de educação contribuíram elegendo uma metodologia apropriada para a formação de professores, que é sensivelmente diferente da adotada para a formação de pesquisadores na área específica.

Percebemos, pelas entrevistas, que o curso se mostrou mais adequado aos participantes com perfil L2, ou seja, pessoas que tiveram contato recente com as equações diferenciais e com os programas computacionais. Apesar da advertência feita logo no início do curso, de que a leitura e compreensão da seção “Dedução matemática” em cada aula era facultativa, as maiores dificuldades demonstradas pelos participantes com perfis L1 e MD, nas entrevistas, foram relativas a essa seção. Embora tenham demonstrado dificuldades semelhantes, são qualitativamente distintas, uma vez que L1 corresponde a alunos no início da graduação em Física, e MD corresponde a um professor de Matemática licenciado há mais de dez anos e residente no interior do Estado. Considerando que as dificuldades de MD se estendam a outros professores em exercício, numa próxima versão do minicurso teremos de providenciar uma revisão dos conceitos matemáticos. Para o perfil L1, que se aproxima da situação do Ensino Médio, ao contrário, precisaremos adaptar a linguagem, sem, no entanto, omiti-la, uma vez que a Teoria do Caos é, eminentemente, uma teoria matemática.

Referências

- ANGOTTI, J. A. P. **Solução alternativa para a formação de professores de Ciências:** um projeto educacional desenvolvido na Guiné Bissau. 188 f. 1982. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.
- BELLONI, M. L. Ensaio sobre a educação a distância no Brasil. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 23, n. 78, p. 117-42, 2002.
- BERGÉ, P.; POMEAU, Y.; DUBOIS-GANCE, M. **Dos ritmos ao caos**. São Paulo: Editora da Unesp, 1996.
- DE BASTOS, F. P.; MAZZARDO, M. D. Investigando as potencialidades dos ambientes virtuais de ensino aprendizagem na formação continuada de professores. **Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 1-5, 2004.

_____. **Investigação-ação emancipatória e prática educacional dialógico-problematizadora em ciências naturais na formação de professores.** In: MION, R. A.; SAITO, C. H. (Orgs.). **Investigação-ação: mudando o trabalho de formar professores.** Ponta Grossa: Gráfica Planeta, 2001. p. 39-47.

DELIZOICOV, D. **Concepção problematizadora para o ensino de Ciências na educação formal.** 227f. 1982. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

_____. **Conhecimento, tensões e transições.** 214f. 1991. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido.** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

_____. **Extensão e comunicação?** Trad. Rosisca Darcy de Oliveira. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas, 1999.

GLEICK, J. **Caos: a criação de uma nova ciência.** Rio de Janeiro: Campus, 1989.

KENSKI, V. M. **Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação.** Campinas: Papirus, 2007.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência.** Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

LUFFIEGO, M. et al. Epistemologia, caos y enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 1, p. 89-96, 1994.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores.** 162f. 2000. Tese (Doutorado) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 2002.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1997.

Anexo 1

Questionário inicial para o minicurso: Introdução ao Caos em Sistemas Dinâmicos

- 1- Onde e quando você ouviu falar ou leu algo sobre o assunto Caos?
- 2- Qual é a principal característica dos sistemas dinâmicos que apresentam comportamento caótico?
- 3- O que você entende por “Efeito Borboleta”?
- 4- O que você entende por “Atrator Estranho”?
- 5- Qual é a relação entre a Teoria do Caos e os “Fractais”?
- 6- Qual a diferença entre um sistema caótico determinista e um sistema aleatório?
- 7- Qual a importância da Teoria do Caos para o pensamento científico?
- 8- Você considera o assunto adequado para ensino/aprendizagem em nível introdutório:
 - a) nos cursos de Licenciatura? Por quê?
 - b) no Ensino Médio? Por quê?

Anexo 2

Questionário final para o minicurso: Introdução ao Caos em Sistemas Dinâmicos

1. Do total de 7 sessões do curso (14 aulas), você participou de:
2. Faça comentários sobre o curso Caos em Sistemas Dinâmicos observando os seguintes aspectos:
 - a) Conteúdos priorizados
 - b) Metodologia adotada: exposições breves, utilização de softwares, interpretação formal/analítica e gráfica.
 - c) Recursos utilizados e prazos destinados aos tópicos
 - d) Autoavaliação: compreensão, considerando sua familiaridade com o assunto antes, durante e agora, ao final do curso.
3. Considere limites e possibilidades para a introdução do tema Caos no Ensino Médio por uma equipe docente com sua participação, ou mesmo individualmente.

Anexo 3

Roteiro da entrevista

1- Tente explicar a um leigo o que você entende por Teoria do Caos

Um dos objetivos do minicurso foi introduzir um vocabulário científico sobre o caos. Coloque-se na situação de encontrar alguns desses termos, que iremos propor, em um artigo científico, livro, numa revista, reportagem de TV ou, mesmo, numa conversa com amigos.

2- O que você entendeu sobre mapa logístico, estudado na Aula 1? Você se lembra da história do surgimento desse mapa? E sobre atratores?

3- E sobre espaço de fase, estudado na Aula 2?

4- E sobre pêndulo amortecido e forçado, estudado na Aula 3?

5- E sobre atrator de Lorenz, estudado na Aula 4? O que o atrator de Lorenz tem a ver com o efeito borboleta?

6- E sobre dimensão fractal, estudada na Aula 5? Para que serve no estudo do comportamento caótico? O que é um fractal?

7- E sobre expoente de Lyapunov, estudado na Aula 6? Para que serve no estudo do comportamento caótico?