CONSTRUINDO CONCEITOS COM SENTIDO

Marcos Azevedo da Silveira[†]

Resumo — Neste trabalho aborda-se a construção de conceitos pelos alunos de engenharia a partir de experiências que lhes façam sentido, isto é, referidas a seus universos de significados. As noções de "sentido" e "universo de significados" são definidas. Para balizar a ação do professor rumo ao aprendizado significativo e à construção conceitual elas são relacionadas às competências e ao ensino por problemas (ensino concorrente). Descreve-se a aplicação da metodologia indicada à disciplina de Controles e Servomecanismos na PUC-Rio, avaliando-se os resultados obtidos.

Palavras Chave — Educação em engenharia, educação em automação, metodologia didática, psicologia da educação, controles e servomecanismos.

Abstract — This work considers the construction of concepts by engineering students through meaningfull experiences, i.e. experiences refeered to theirs universe of meanings. The notions of "meaning" and "universe of meanings" are defined. To mark teacher's activity in direction to the meaningfull learning and conceptual construction these concepts are related to the notions of competences and learning by problems (concurrent learning). The application of this methodology to the Control and Servomecanism course in PUC-Rio is described and assessed.

Key words — Engineering education, automation education, didatic methodology, psycology of education, control and servomecanisms.

1. INTRODUÇÃO

Um professor que dividia as disciplinas de Controles e Servomecanismos comigo, há alguns anos, dizia-se espantado porque os alunos tinham esquecido no segundo semestre tudo que havia ensinado no primeiro semestre. E, no entanto, esses alunos tinha sido aprovados no semestre anterior, com boas notas obtidas pela resolução de todo um conjunto de testes que ele considerava rigorosos e profundos, cobrindo toda a matéria.

Esta situação não é estranha, principalmente para alunos do Curso Secundário ou do início do Curso Universitário. Em uma pesquisa realizada junto com mais dois colegas[1], acompanhei uma turma de calouros do Curso de Engenharia da PUC-Rio no seu dia-a-dia, por todo um semestre do ano de 1996. Questionados sobre o sentido da palavra "conhecimento" os alunos forneceram duas respostas complementares:

- "o conhecimento dura dois meses";
- "conhecimento é o que resta depois que esquecemos o que o professor disse em sala de aula".

As frases são textuais. "Conhecimento", na Escola, é a fala do professor, é o que é exigido em testes, provas e trabalhos. Este só precisa durar dois meses. O segundo sentido assinalado é, na opinião dos alunos, o verdadeiro conhecimento adquirido, para além daquele trabalhado na Escola.

Os calouros questionados também falaram do "sofrimento" que representavam as aulas de Física que recebiam na Universidade. Alguns disseram que o professor parecia falar grego ou outra língua desconhecida[2]. Outros disseram que seria melhor que o professor falasse grego, pois aí ao menos não teriam a obrigação de entender e não ficariam tão angustiados. O professor usava os mesmos termos que foram usados no Curso Secundário, como "partícula", "massa", "posição", "velocidade", "força", "atrito", etc. Mas o discurso não fazia sentido, e eles não percebiam relação entre o que era falado na sala de aula e o que era exigido nos testes. As palavras pareciam mentir. O professor parecia estar estendendo armadilhas. Os alunos sentiam-se em um campo minado.

A expressão "sofrimento" associada ao aprendizado também aparece nas obras de Stella Baruk [1] analisando o ensino de Matemática no Curso Primário. Por exemplo, "sofrimento" é a

[†] Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL, e-mail: marcos@ele.puc-rio.br.

[1] Luiz A. Meirelles (atualmente na UFRJ) e Maria Isabel Paes e Silva (Departamento de Química da PUC-Rio).

[2] No Brasil fala-se português, a expressão "falar grego" sendo usada para dizer que a fala é incompreensível, da mesma forma que os gregos históricos falavam da língua dos bárbaros.

palavra usada pelas crianças diante de expressões como "seja um conjunto não vazio", sempre presente nos manuais de Matemática. As crianças explicam que um conjunto se define por seus elementos, donde "conjunto vazio" não faz sentido! Na análise de Baruk, a língua da Matemática trai o sentido da língua usada em casa, as palavras perdem sua confiabilidade, o mundo torna-se confuso. O resultado é sofrimento, redobrado com angústia quando o professor propõe um problema cuja solução é exatamente o conjunto vazio!

O aluno de Controles e Servomecanismos de que tratamos acima já está "escolado". Já aprendeu a não se sentir angustiado com a falta de sentido do discurso que lhe é apresentado. Pragmaticamente, busca responder o que o professor deseja, repetir *verbatim* seu discurso. Aceita com resignação as críticas do professor sobre respostas "absurdas", inevitáveis quando o sentido escorrega pelo ralo das frases formais e dos discursos repetidos. Os alunos citados acima reagem como autômatos sem terem aprendido a projetar automatismos. Aprendem, de fato, como se posicionar diante do professor para ter sucesso na disciplina, não o que o professor conscientemente espera.

Estamos falando de perda de sentido. E de professores repetindo discursos, esperando que a repetição de exemplos e exercícios poderá ir além de um treinamento superficial. Treinamento doloroso para os alunos, esquecido tão logo que possível.

Estamos falando de professores concluindo que os alunos não são bons o suficiente, que não possuem capacidade de concentração, que não "compreendem". E, à medida que o professor torna mais precisa sua fala, torna mais douta sua linguagem (reação natural de especialistas e pesquisadores), mais se afasta do universo de significados dos alunos, mais absconso fica seu discurso (do ponto de vista dos alunos), e o professor conclui que os alunos estão cada vez piores.

Neste artigo será discutida a formação do sentido para alunos do Curso Universitário e proposta uma metodologia didática permitindo integrar o conteúdo (conceitos, protocolos e algoritmos) a seu universo de significados. Esta metodologia usará o desenvolvimento de projetos pelos alunos, projetos estes expostos em termos relacionados ao universo de significados pré-existente. São organizados, necessariamente, de acordo com as competências a serem desenvolvidas pela disciplina. Os projetos, que motivam e estabelecem as atividades dos alunos, serão as linhas temáticas que articularãom os diversos quadros conceituais necessários ao desenvolvimento das competências desejadas e à motivaçào possível. De uma certa forma, este artigo revê o conteúdo de [2], mas começando da noção de "universo de significados", obscura naquele artigo, passandp pela noção de "competências a serem adquiridas", hoje em dia presentes nos objetivos das disciplinas e dos currículos, e chegando naturalmente ao aprendizado por projetos. O artigo [2] começava do princípio "aprender por projetos", seguindo uma trajetória inversa à do presente trabalho. Desta forma ficará mais clara a articulação citada acima, o processo de escolha de projetos e o sistema de avaliação embutido.

O exemplo e experimento principal será a disciplina de Controles e Servomecanismos, como ministrada atualmente na PUC-Rio. Em particular, será usada uma experiência "radical" realizada no primeiro semestre de 2001, onde a avaliação dos alunos usou exclusivamente projetos. Esta experiência permitiu estabelecer os limites da metodologia e os compromissos (ou parte deles) que terão de ser realizados (ou gerenciados) pelo professor para um bom aprendizado, ao menos em disciplinas profissionalizantes do curso de engenharia.. Cabe dizer aqui que o autor não propõe o uso da metodologia radical, mas sim o uso de formas atenuadas. A metodologia radical serviu apenas ferramenta de pesquisa para melhor compreender o alcançe e os limites dos princípios aqui estabelecidos.

A próxima seção analisa a situação rapidamente descrita nesta Introdução e busca entender o problema a partir da perspectiva lançada em [2]. A terceira seção precisa alguns conceitos, como "sentido" e "universo de significados", sem entrar em muitos detalhes, e discute a formação do sentido e de conceitos. A quarta seção recoloca estes conceitos no contexto de uma disciplina através das noções de "competências" e ensino por problemas, i.e., "ensino concorrente". A quinta seção apresenta alguns princípios pedagógicos balizando a atuação do professor na metodologia proposta. Finalmente, o caso do ensino de Controles e Servomecanismos é estudado e avaliado nas

seções seis e sete, mostrando a metodologia didática sugerida em seu uso e seus resultados. Algumas conclusões esugestões estão reunidas na oitava e última seção.

2. ANÁLISE DO PROBLEMA

Voltando à disciplina Controles e Servomecanismos, os alunos explicavam que o professor falava de "f(s) e de g(s)" (sic) e aplicava um teste semanal de meia hora sobre o conteúdo da semana. O que simplicava a tarefa de memorização dos algoritmos exigidos. Perguntei o que eram os símbolos utilizados. Ouvi que eram funções racionais. Nenhuma referência a seu significado no contexto da automação ou em algum outro contexto de engenharia. A idéia de que as técnicas ensinadas (mas não aprendidas) resolviam problemas concretos de engenharia sequer lhes aflorava à mente.

Perguntei ao professor se modelava as plantas a serem controladas. Ouvi que "modelagem era com os físicos". O professor limitava-se a dar algumas conferências gerais no início do semestre, passando depois a expor a teoria e os algoritmos de forma sequencial, seguindo a lógica interna do conteúdo, passando das definições e propriedades matemáticas à resolução de problemas abstratos, para terminar, se houvesse tempo, com aplicações. Indicava livros (Fortmann & Hitz [3], por exemplo), mas seguia suas próprias notas, que considerava mais precisas (entenda-se “mais formais”). Os testes de meia hora, naturalmente, só podiam exigir cálculos rápidos, descontextualizados, vistos como "ferramentas indispensáveis para os problemas mais complexos". Estes nunca chegavam a ser tratados.

Torna-se claro o que ocorria. Para este professor conhecer é memorizar os termos e saber operar (mecanicamente) a linguagem da disciplina. Situação a ser aferida em testes simples exigindo treinamento em cálculos padronizados, salvo alguma questão mais difícil, usada para descobrir os "gênios". A avaliação só considerava os resultados, não o raciocínio empregado. Os alunos eram defrontados a uma grande "álgebra" sem relação com problemas conhecidos e cujos conceitos não lhes pareciam necessários: um sistema de símbolos e um código sem sentido aparente. Nada estranho que esquecessem tudo o mais rápido possível.

O ensino de Física segue padrões semelhantes, apesar da aparente facilidade de contextualizar o assunto. O conteúdo é organizado em grandes blocos históricos (Mecânica, Termodinâmica, Ondas, etc.), referindo-se ao que Thomas Khun chama de Física Escolástica [4]. Cada bloco é apresentado de forma sequencial, seguindo a lógica da exposição teórica, com definições, propriedades e teoremas. As experiências de laboratório são demonstrativas, sem chance de descobertas por parte dos alunos. Há um resultado esperado para cada experiência, a ser previsto no trabalho preparatório. Os testes e exames são realizados com tempo fixo, sem consulta. Os problemas exigem a utilização de raciocínios paradigmáticos expostos nos exemplos padronizados apresentados em sala de aula (como podemos ver no texto didático [5], aplicando a conhecida crítica de Thomas Kuhn [6]). O resultado é o distanciamento dos alunos em relação às situações tratadas, agravado pelo acúmulo de fórmulas não fundamentadas decoradas durante o Curso de Segundo Grau.

Conversei com o professor de Física sobre a falta de sentido de seu discurso para os alunos. Explicou-me que era normal, e que, depois de dois meses, os alunos pariam de reclamar. De fato, no tempo previsto os alunos passaram a "compreender" o professor. Conversando com eles (ministrei aulas de exercícios de Física e de Cálculo para os alunos com dificuldades), concluí que os alunos haviam sido condicionados à nova linguagem, que substituiu a aprendida no Curso Secundário. O que pude comprovar mais tarde, ao tomá-los como alunos em Controles e Servomecanismos. Conheciam um discurso, não seu sentido. Sofriam à idéia de trabalhar com pêndulos e assemelhados, ou de modelar fisicamente máquinas e sistemas. Relacionavam o torque à potência de automóveis (brasileiros adoram discutir sobre automóveis), não à variável física. Não conseguiam aplicar com facilidade a Física estudada às novas situações ou relacioná-la à experiência de vida.

Neste exemplo, conhecer é repetir o discurso do professor dentro de regras estabelecidas (os raciocínios paradigmáticos citados acima), sem referências à linguagem usual na qual o universo de

significados do aluno está representado. O sofrimento relatado origina-se na obrigação de operar um código que parece sem sentido, sem relação com a vida pregressa ou com a vida projetada do aluno (um futuro engenheiro). Entre críticas sarcásticas a respostas consideradas absurdas pelo professor, o aluno defende-se desenvolvendo um pragmatismo auto-limitante, indagando primeiro: "O que você quer que eu responda?"

Nos dois casos apresentados, a realimentação da informação ocorre tarde demais e as concepções prévias dos alunos (sempre existentes) são ignoradas. O professor percebe o êrro do aluno somente nos testes, dando notas. Todo êrro é definitivo. Não é possível tentar, ensaiar, corrigir. Estamos muito distantes da conceituação de Bachelard ([7], página 16): "Conhece-se contra um conhecimento anterior. Conhecer é precisar, retificar, diversificar." Cabe notar que este é o conceito fundamental em Controles e Servomecanismos: a realimentação do êrro deve corrigir a trajetória.

Baruk, estudando crianças no início do Curso Primário [1], assinala o choque entre os sistemas semânticos do professor e dos alunos. Entre a língua materna, razoavelmente compartilhada pelo grupo social e na qual se expressa o universo de significados do aluno, a língua da Escola, veicular e oficial, e a língua dos saberes, formal e complexamente articulada. As mesmas palavras assumem sentidos diferentes, aparecem ambiguidades e choques/perdas de sentido, códigos diferentes se superpõem sem que haja domínio dos contextos a que pertencem. As palavras parecem mentir, o sofrimento e as atitudes reativas se estabelecem.

O aluno de engenharia é um pós-adolescente ou um adulto. Sente cada vez mais a pressão dos fatos (a vida, a necessidade de um emprego no futuro, as limitações de tempo e espaço, a consciência de seus desejos). Seu universo de significados é mais rico: já domina diferentes contextos comunicativos, mudando a atitude de acordo com o interlocutor. Sua capacidade de abstração é inegável, mesmo que a Escola a tenha negligenciado. Tende a aprender diante de objetivos definidos (esta é uma característica do adulto), cedendo cada vez menos à curiosidade gratuita e ao jogo ocupacional. Já construiu atitudes de defesa diante da Escola, isto é, está "escolado".

Como evitar os problemas mostrados acima, ampliando o universo de significados dos alunos de forma a garantir que ele aprenda conteúdos e métodos, que os saiba utilizar em novos problemas, e que possa prosseguir com sua auto-formação? Como dar sentido às línguas dos saberes, e torná-las instrumentos para resolver problemas concretos na atuação social do futuro engenheiro?

Para dar uma resposta a estas questões será necessário, primeiro, precisar os termos "sentido" e "universo de significados do aluno". Depois estudar os processos de construção do sentido e dos conceitos. Este é o assunto da próxima seção.

3. A CONSTRUÇÃO DO SENTIDO

Começarei esta discussão definindo com alguma precisão o que entendo por "sentido", palavra fácil de usar mas um tanto ambígua nos seus significados. Para isso convém retornar à noção de "produção e interpretação sígnica" cf. Umberto Eco [8]. Na nomenclatura deste autor, os signos percebidos pertencem a códigos de expressão e os significados pertencem a sistemas de significados (ou sistemas semânticos[3]), estruturados por oposição, complementaridade, etc. A estrutura dos códigos expressivos e a dos sistemas de representação é considerada com cuidado em [8]. Aqui nos interessa o fato de que a um signo associamos, inicialmente e sem prévia mediação, um significado, chamado de "significado denotado". Este ainda possui uma grande ambiguidade. Marcas conotativas, dependendo de contexto, lugar, momento, locutores eventuais, interlocutores, etc. poderão retirar esta ambiguidade, tornando o significado preciso. A este significado preciso obtido em uma situação particular chamamos de "sentido", seguindo Prieto (cf. [1]).

Um exemplo tradicional é o signo da caveira com as duas tíbias cruzadas embaixo. Primariamente, denota a idéia de morte. Se presente em uma bandeira no alto de um navio, entendemos que são piratas. Se presente em um frasco contendo um líquido, entendemos que o

[3] A formação e a estruturação de sistemas semânticos a partir de percepções e esquemas está estudada, em profundidade, em [9]. Embora de algum interesse para o tema deste artigo, não será tratada aqui.

líquido é venenoso. Se presente em uma caixa de metal onde chegam fios elétricos, entendemos haver perigo pela alta tensão elétrica. Se presente na camisa preta de um rapaz, entendemos que é um "metaleiro", adepto do *hard rock*. Se a situação apresenta risco ou não, depende de outras informações e das crenças e situação social de quem interpreta.

Assim, quando meu filho mais velho tinha 12 anos (isso foi há muito tempo...), o levei a um *show* de *hard rock* realizado na quadra de uma escola de samba situada em lugar ermo no centro da cidade de Rio de Janeiro. Cheguei cedo, e encontrei o lugar ocupado por rapazes e moças enormes, vestidos com a camisa da caveira, profusamente adornados com *piercings*, e carregando porretes e correntes pesadas. A minha decodificação inicial foi a de "risco", encontro com gente violenta. Meu filho não perdeu tempo. Dirigiu-se a um deles e trocou os cumprimentos padronizados da "tribo" dos metaleiros, com suas torções de mão e gritinhos. Me explicou que eles eram "barra pesada", mas da mesma tribo. Entendi que eram guardas fantasiados garantindo a segurança do local e da festa. Para meu filho eu não corria risco, pois o tinha como passaporte, ele, um integrante da tribo. Para mim eles passaram a ser a garantia de segurança, tanto maior para mim dado que era o financiador de um dos consumidor presentes. Depois a quadra se encheu de carinhas gentis e simpáticas, como a de meu filho, e a segurança foi digna de elogio. A única violência era simbólica, nas letras e fantasias, e nos 120 decibéis que jorravam do palco

O esquema abaixo representa este exemplo, sem grandes detalhes.

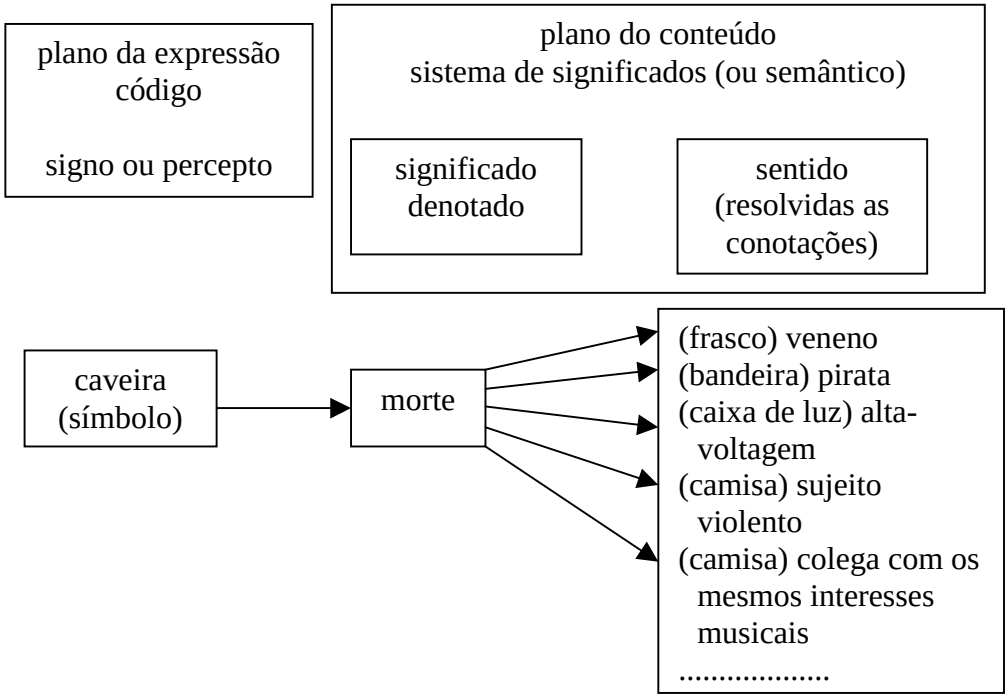

Figura 1: Códigos, significados e sentidos[4].

Eco [8] chama de “função sígnica” a função que associa um signo[5] a um sentido determinado, e de “produção ou de interpretação sígnica” o estabelecimento desta função, de acordo com a direção (páginas 84, 85). Eco considera o ponto de vista da semiótica, analisando os processos de produção sígnica. A nós interessa o ponto de vista da psicologia educacional, que analisa a situação do sujeito interpretante ou emitente. Seguindo Baruk ([1], páginas 119,120), chamarei de “entendimento” a faculdade do sujeito de receber ou de produzir sentido em função do que ele percebe, levando em consideração contexto, lugar, momento, locutores eventuais, interlocutores, etc.

[4] O exemplo da Figura 1 é adaptado de um exemplo de [8], página 103.
[5] Atenção: a definição clássica de Saussure chama de “signo” a relação entre significante e significado, isto é, a “função sígnica” de Eco.

O “universo de significados” para um determinado sujeito é o conjunto de sistemas de significados por ele dominados e dentro dos quais ele entende. Isto é, o conjunto estruturado de sentidos que pode atribuir a signos, de acordo com as marcas denotativas e conotativas. Podemos também falar de universo de significados de uma cultura, representando o conjunto de sistemas semânticos presentes nesta cultura e suas articulações, resolvidos no formato de uma enciclopédia.

Nenhum de nós, em especial crianças e estudantes, domina todo o universo de significados de nossa cultura, nem todos os códigos. Mesmo porque estes estão em contínua reconstrução. Eventualmente, o sujeito, percebendo (ou emitindo) um signo, não é capaz de identificar corretamente o sistema de significações a que seu interlocutor deseja remetê-lo (ou marcar corretamente sua produção sígnica), interpretando-o (ou produzindo-o) em outro sistema de significados não adequado à situação. A comunicação não se estabelece, ou ocorre de forma frustante aos efeitos desejados[6].

Na situação de aprendizagem, o aluno deve aumentar seu universo de significados de maneira a incluir os sentidos correspondendo aos conceitos e signos de interesse no curso, de forma a poder usá-los com competência para resolver os problemas previstos nos objetivos do aprendizado, isto é, enriquecer seu entendimento. O professor, por sua vez, deve ter sempre em mente que conceitos e signos que lhe parecem de fácil uso podem não possuir significado para o aluno, ou possuir outro significado, deslocado em relação àquele pretendido pelo professor. De um lado porque as palavras são ambíguas: seu sentido depende dos sistemas semânticos utilizados. De outro lado porque conceitos tomam seus sentidos dentro de estruturas (sistemas, teorias), e estas são aprendidas aos poucos, por retoques sucessivos, em camadas.

De fato, diante de um problema que tenha de ser resolvido, a primeira atitude de um bom solucionador de problemas (nossos filhos, o mecânico improvisado, nossos alunos em seu dia-a-dia, o pesquisador em seu trabalho de pesquisa) é buscar entre os meios à disposição uma solução provisória. É o que os franceses chamam de *bricolage*, palavra inicialmente utilizada para "reparações com meios de fortuna, trabalho rápido e mal feito" (*cf.* Le Larousse de Poche), mas que passou a ser essencial para a explicação da forma de construção de relatos e teorias desde os trabalhos seminais do antropólogo Levi-Strauss.

Um novo conceito costuma aparecer como solução de fortuna para um problema a ser resolvido, por *bricolage*. O problema fornece o sentido inicial ao conceito, digamos um sentido S_0, meramente operacional. O sentido S_0 é "válido" porque funciona, isto é, porque permite resolver aquele problema específico. Estando à disposição, será usado por *bricolage* para resolver outros problemas, o que modificará a compreensão do conceito, que passa a ter novos sentidos S_1, S_2,...S_n, cada vez mais precisos ou de aplicação mais abrangente.

A necessidade de relacioná-lo com o universo de significados do sujeito (se isto for solicitado, por exemplo, pelo professor ou pelos colegas), integrando-o a seus relatos e a suas explicações anteriores, acaba por reestruturar todo o universo de significados, por agregação do novo conceito e, eventualmente, por reorganização das relações entre significados. É a etapa de abstração reflexiva (*cf.* Piaget [11], ver também [2]). O conceito ganha uma representação significativa para além do pragmático significado inicial S_0, dentro de uma teoria mais estruturada, digamos T_1. À medida que o conceito passa a ser "operado" com outros conceitos no contexto de novos problemas e de novas explicações, as teorias que o contém são modificadas para T_2,...T_n. O conceito passa a ser visto como necessário, não mais como solução de fortuna.

Retomando a questão em outra linguagem, a "significação" (a função sígnica acima) se estabelece no contexto dos esforços do sujeito para solucionar um problema, criando ligações temporárias e dando sentido a estímulos até então neutros (ver Vigotski, [12], página 99). O instrumento, o protocolo, o algoritmo, tem por função modificar o objeto da atividade, é orientado externamente. Já o signo não modifica em nada o objeto da atividade. É uma atividade interna para representação e controle do sujeito, é orientado internamente (ibd., páginas 72,73). O significado

[6] Umberto Eco assinala ambiguidades inerentes aos códigos e aos sistemas semânticos, muito usadas em literatura e artes plásticas, que não nos interessam na situação de ensino/aprendizado, a não ser como um perigo a ser evitado [8], [10].

avança a ação (a partir da adolescência), sua geração (a "adaptação", para Piaget) é dirigida pelas necessidades – a serem criadas pelos problemas e situações propostas (ibd., páginas 131 e 26). Por isso o assunto deve tornar-se relevante à vida. Em nossa aplicação, o aprendizado deve ser conduzido não pela nota a ser obtida pelo aluno, mas pela conexão do tema a problemas de interesse do aluno.

4. PROBLEMAS E COMPETÊNCIAS

Uma das artes do professor é propor problemas que façam sentido aos alunos (o que depende do sistema semântico e da vida dos alunos) deixando os novos conceitos à disposição, na proximidade, para uso por *bricolage* ou por imitação (*mimesis*). A proximidade é o que Vigotski ([12], página 112) chama de "zona proximal de aprendizagem". Adaptando sua definição a nosso contexto, a zona proximal de aprendizagem é determinada pelo conjunto de problemas que podem ser resolvidos sob orientação de um professor ou de colegas, sem que possam ainda ser resolvidos de forma madura e independente pelo aluno. O professor não pode esperar que os novos conceitos sejam absorvidos completamente apenas por efeito do discurso lógico-formal. Ao contrário, há todo um percurso a ser realizado de forma a dotar de algum sentido o novo conceito, relacionando-o pouco a pouco com conceitos já conhecidos e outros novos conceitos. E este percurso começa pela imitação, passa pelo uso, para só então alcançar a compreensão (cf. Vigotski [12][7]). E esta compreensão será modificada ao longo da vida do aluno (como profissional, professor ou pesquisador), passando por diferentes teorias T_n ou níveis mais abstratos de explicação, digamos T_n', T_n'', etc. A passagem de um nível de abstração a outro pode ser facilitada pela discussão do processo de aprendizado em si, colocando em questão o sujeito, o que Piaget chama de "abstração reflexionante" (ver [2], [11]).

O caminho mais simples para escolher os problemas a serem tratados passa pelas competências a serem desenvolvidas pela disciplina. Defendemos a definição dos objetivos de uma disciplina por uma lista de competências, como será visto adiante. Porém, antes, convém entender este conceito e sua relação com os quadros conceituais e os problemas.

O conceito de "competência" merece uma construção cuidadosa, de forma a conter o *know-how* articulado com o *know-why*, não se restringindo ao resultado de mero treinamento, quando poderia se aplicar a crítica de Doll [13]. Aqui citamos Perrenoud [14]: "Só há competência estabilizada quando a mobilização dos conhecimentos supera o tatear reflexivo ao alcance de cada um e aciona esquemas constituídos."

Comecemos, então, com o conceito de "esquema" *cf.* Piaget: estruturas invariantes de uma operação ou ação, isto é, a forma abstrata das ações regidas pelas leis de conservação associadas aos conceitos (citadas acima) e a capacidade de usá-las em casos ou contextos particulares. Hábitos são esquemas, mas estes, em geral, não são limitados à repetição inconsciente. Permitem resolver problemas parecidos por meio de pequenas acomodações, levando em conta as características particulares de cada situação. Recebem o mesmo nome na Lógica, onde a aplicação de um esquema de demonstração a um caso particular, para demonstrar um teorema, é chamada de "instanciação" do esquema. A demonstração particular assim obtida é uma "instância" do esquema.

Uma "competência" é a capacidade de acionar e adaptar esquemas, de forma consciente, para enfrentar uma dada situação concreta. Em particular, saber procurar e encontrar os conhecimentos devidos para resolver um problema. Integra o *know how* com o *know why*, ao menos em um determinado nível de compreensão. Perrenoud [14] apresenta uma discussão deste conceito e de seu histórico nas obras de pedagogia, sem, no entanto, separá-lo completamente dos esquemas. A razão é que uma competência desenvolvida em um dado momento, após repetições e fixação inconsciente, pode tornar-se um esquema (ou mesmo um hábito), a ser acionado em competências de nível mais alto. Por exemplo, a passagem da construção de uma fórmula de integração (uma competência) ao seu uso quase automático para resolver equações diferenciais. Esta última

[7] Em [12] encontramos uma explicação para a formação de conceitos e sentidos na criança.

competência passou a usar as fórmulas de integração como esquemas a serem adaptados para encontrar a solução. Pense em equações não-lineares, para as quais não existe um método geral, mas uma coleção de métodos particulares a serem adaptados ou integrados em cada caso particular. Na disciplina Controle de Servomecanismos, saber projetar um controlador em uma dada situação é uma competência que exige o domínio de esquemas particulares, como o método do lugar das raízes ou a resolução de equações diofantinas. A imagem das bonecas russas (mamouchka) encaixantes aparece muito na literatura de Educação: competências e esquemas em um nível são necessários para gerar competências e esquemas em níveis superiores.

Assim, toda competência está relacionada a situações ou problemas (mais particulares ou mais gerais) a serem resolvidos de forma consciente e adaptada. Isto é, competências são objetivos de aprendizado, e estão estreitamente relacionadas com problemas. Porém, em geral, acionam conhecimentos e conceitos pertencentes a quadros conceituais diferentes, articulando-os em torno do problema a ser resolvido. É o problema da interligação de disciplinas diferentes, via pré-requisitos ou co-requisitos. Não basta possuí-los, é preciso saber encontrá-los, adaptá-los, instanciá-los à situação sob análise.

A tendência atual, subscrita pelo autor, é definir os objetivos da disciplina (e do curso) como capacitações de ações sobre o mundo, isto é, por competências, como definidas acima. Muito já foi dito sobre a escolha de objetivos de ensino, sendo habitual a defesa do uso de verbos de ação. Em [15] defende-se o uso de determinados verbos de ação, buscando excluir palavras como "estudar" ou "conhecer", que reduzem o conhecimento a listagens de conteúdo – problema crônico na estruturação curricular [16]. Uma forma mais eficaz é escolher como objetivo de ensino a capacitação do aluno a agir sobre o mundo, a realizar ações que o modifiquem, como sujeito, cidadão, técnico ou engenheiro. "Ser capaz de projetar interfaces entre microprocessadores e equipamentos diversos de forma a controlá-los, realizar medidas ou dotá-los de inteligência computacional" é um exemplo de competência técnica exigida no curso de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, por exemplo. A definição é fluida, pois não fixa completamente o contexto. De fato, novos equipamentos e novos microprocessadores estão sempre surgindo, e a noção de "equipamento" não está claramente fixada.

Para desenvolver esta competência é necessário dominar certos quadros conceituais e operacionais, domínio este a ser medido contra a competência, e não por independentemente. A idéia, já discutida em [2], é organizar o curso em torno de problemas que exijam esta competência, de forma a cobrir os quadros conceituais, articulando-os entre si e com a competência através dos diversos problemas a serem tratados. Propomos começar pela definição das competências a serem desenvolvidas ao longo do curso ou disciplina, daí montar os quadros conceituais necessários para tal, considerando o nível a ser atingido e os esquemas necessários. Então procurar problemas que façam sentido para os alunos (referidos ao seu mundo e ao seu universo de significações), cruzando competências e quadros conceituais de forma transversal, articulando-os em torno de uma ação sobre o mundo – uma das ações que exige a competência ou as competências a serem desenvolvidas. A "ação sobre o mundo" explica o uso de "projeto" no lugar de "problema" na área de Educação em Engenharia.

Dito de outra forma, as competências restringem a generalidade aos quadros conceituais pela escolha de direções para sua utilização. Em contrapartida fornecem os contatos com o contexto de forma a formação de conceitos – com sentido. Depois,se necessário, ou por interesse do aluno, os quadros conceituais poderão ser estudados em maior profundidade e generalidade. Afinal, tenho alunos em Teoria dos Sistemas lineares (só estuda sua representação).

Evidentemente, como ocorreu com os conceitos, as competências serão desenvolvidas em níveis, por retoques, mesmo porque exigem o desenvolvimento de esquemas e a formação de conceitos. E serão definidas, no ensino de Engenharia, a partir dos problemas a serem enfrentados pelo futuro engenheiro, considerando sua atuação técnica, econômica e social. Em consequência, a metodologia assim sugerida inverte a ordem demonstrativa habitual, passando dos problemas concretos à criação, por necessidade, de conceitos e esquemas, gerando competências. Não é outra coisa que faz um matemático ao buscar um novo resultado: começa de uma idéia sobre o que quer

demonstrar e, na tentativa de demonstração, descobre as hipóteses de que necessita, tornando cada vez mais preciso o enunciado do resultado. Porém, quando expõe o resultado, inverte a ordem da descoberta, passando das hipóteses à tese. A demonstração torna-se um cálculo, a aplicação de fatos e esquemas demonstrativos conhecidos. Assim é mais fácil expor e compreender a demonstração, mas perde-se sua história e a competência do matemático parece mágica. A passagem desta metodologia ao ensino de Engenharia leva à metodologia esboçada em [2].

O último exemplo mostra um dos limites da metodologia: não é possível fazer os alunos percorrerem todas as hipóteses possíveis, reconstruindo a história da técnica e da ciência. Alguma direção deve ser dada (ou cortada), sem cair no treinamento de hábitos. Contextos explicitando todos os dados, com a apresentação prévia dos esquemas, geram a formação de hábitos e esquemas rígidas, não ao desenvolvimento de competências ou ao aprendizado no sentido pleno que aqui defendemos. No entanto, esta foi a atitude defendida por Bobbit e Tyler, gerando o "aprendizado por repetição de exemplos", tão presente na literatura didática norte-americana. Para uma excelente crítica desta vertente da Teoria da Educação, comparando-a com as idéias de Dewey, ler o Capítulo 2 de [13]. A crítica de Doll, que subscrevo, poupa-nos de uma seção de revisão da literatura.

Antes de apresentarmos o exemplo anunciado de aplicação desta metodologia, será interessante fixar parte do que já foi dito e desenvolver outros caminhos e técnicas no formato de princípios pedagógicos, assunto da próxima seção.

5. Alguns princípios pedagógicos

Na lista abaixo há diversos tipos de princípios misturados: princípios filosóficos, princípios ideológicos, princípios metodológicos. Antes de apresentá-la, será importante lembrar duas concepções de "conhecimento" antagônicas que apareceram nos casos citados acima e que são discutidas em [2].

Nos casos criticados na Introdução, o conhecimento era definido como a lista de teorias e algoritmos usados para resolver um problema de determinada maneira. O procedimento para apresentar este conhecimento segue exatamente a estrutura lógico-formal de desenvolvimento da teoria, das definições definitivas às conclusões. Em [2] este procedimento foi denominado de "ensino sequencial". A lógica do aprendizado é subsumida à lógica do conteúdo. Observe que o ensino sequencial aparece tanto no ensino técnico quanto, e principalmente, no ensino de teorias científicas formalizadas.

Outra definição de conhecimento é a habilidade em identificar problemas e buscar ou desenvolver métodos para resolvê-los. Para isso é necessária uma visão geral do assunto, com conceitos organizados em função dos problemas. O procedimento de desenvolver este conhecimento a partir da resolução de problemas, passando pela construção dos conceitos e teorias por retoques sucessivos, foi denominado de "ensino concorrente" em [2]. A lógica do aprendizado é a lógica da necessidade e da descoberta. A técnica a ser empregada deve levar em conta o aluno e seu grupo, o que a torna mais complexa e trabalhosa, principalmente se lembrarmos que um mesmo conceito será tratado diversas vezes, até chegar à forma definitiva, ou melhor, à última forma provisória pretendida.

Evidentemente, é utópico esperar que todo o aprendizado seja regido pelo ensino concorrente em sua forma pura. Etapas "reflexionantes" ou de estruturação da linguagem precisam seguir a estrutura sequencial, sob pena de nunca chegarmos aos objetivos do aprendizado. Mas devem ser sucedidas de momentos onde a conceituação deve ganhar sentido através de problemas ancorados no universo de significados dos alunos – esta é uma das teses deste trabalho.

(1) A construção dos conceitos se faz por necessidade de resolver problemas. Primeiro por *bricolage* de conceitos anteriores, depois ensaios de conceitos semi-formados, ainda ambíguos e polivalentes. Por último, precisa-se um dos usos, recortando-o dos usos não necessários para a resposta enfim obtida. Basta ver a história da ciência ou de uma pesquisa qualquer. Ver, por exemplo, [4], [6], [7] (em especial, a página 14), [17]. Aliás, o sentido de "solução" de um dado problema esclarece bastante a conceituação subjacente. Não se começa a resolver um problema de

sua solução, ela é consequência. Mas, dado um problema, primeiro pergunta-se o que pode ser sua solução, qual sua forma. Em geral, aí começa a pesquisa e a busca por *bricolage*.

(2) O entendimento é sempre saturado ([1], página 144). Isto é, todo sujeito sempre atribui um sentido a tudo o que faz ou percebe, de forma coerente com suas concepções e seu universo de significados.

Experimente falar uma palavra de duplo sentido a seus alunos. A risada será instantânea. Os sentidos conhecidos se impõem à mente. Este sentido pode ser "outro" sentido que não o esperado pelo professor, ou pode ser reativo (uma interpretação de segundo grau). Por exemplo, lembro de uma colega que, após ouvir uma longa explicação do problema de movimento de um foguete com massa variável por parte de seu grupo de estudo, afirmou: "Entendi, é apenas uma fórmula." Neste curioso exemplo, o sentido foi dado pela semelhança da fórmula de Física com as fórmulas de cálculo de derivadas. Outros sentidos reativos são os que originam o bloqueio de aprendizado em adolescentes, por medo (do professor, dos colegas, de se expor e falhar) ou por onipotência (já sabe tudo) – cada frase ou atitude do professor sendo interpretada de acordo com estas marcas conotativas.

Todo aluno é lógico[8]. Ou, na falta de encadeamentos lógicos, todo aluno busca a coerência, trabalhando por associações e aderências ao que conhece [1] (página 245 ss). Reage "ilogicamente" (na opinião do professor) por perda de sentido ou uso de outro sentido. Por outro lado, excesso de sentidos leva ao vazio de sentido. Como mostra o raciocínio mágico [1], [18].

(3) Novos sentidos formam-se a partir de sentidos anteriores ([1], página 144). Outra forma da frase de Bachelard: “Todo conhecimento é construído a partir de um conhecimento anterior” ([7], páginas 13, 14). Dito assim é óbvio. No entanto, professores estão continuamente recusando este fato, ministrando aulas como se os alunos pudessem absorver novos conceitos e teorias unicamente porque elas são construídas logicamente (do ponto de vista formal), supondo responder dúvidas ao tornar mais precisa ou mais formal a linguagem de seu discurso. O ensino sequencial descrito acima ignora o aluno, suas concepções prévias e seu entendimento. Frequentemente superpõe linguagens sem alterar crenças anteriores por ignorar completamente sua existência e a resistência do aluno a mudá-las. Baruk [1] fala de “um saber antes do saber” e titula um de seus textos por “A escola ou a perda de um saber”. Ou, citando explicitamente sua obra (página 148): "... a essência de seu funcionamento [o entendimento] é buscar relações entre significantes e significados, e de produzir ou receber sentido de dentro do sentido. A partir daí se vê apenas um princípio de ensino, para qualquer saber em vista: ensinar a alguém não o que ele já sabe, mas com aquilo que ele já sabe,..."[9].

A arte de usar os saberes pré-existentes é muito pouco desenvolvida na Universidade. É necessário fazê-los aparecer para que possam ser criticados (didática do contra-exemplo, ver [2], [7]) ou utilizados como base. O ponto de encontro entre os entendimentos do aluno e do professor pode estar nos problemas propostos pelo professor a serem resolvidos pelos alunos, fixando o contexto e o sentido de “solução”.

O professor deve estar atento ao escorregamento do sentido por interpretação em sistemas de significados diferentes. Lembrar que encontros de entendimentos não se fazem sem conflitos. Neste caso o contra-exemplo, a argumentação factual ou o uso de objetivação externa (ver “verificação objetiva” abaixo) são essenciais para que a divergência não se torne matéria de opinião – o que leva à recusa da nova concepção.

Um exemplo curioso é o uso da metáfora da esponja indicando capacidade de absorção, muito comum em Biologia e Química. Bachelard [7] escreveu um estudo sobre a superinterpretação desta metáfora, levando a conclusões errôneas. Pudemos observar, recentemente, adolescentes para quem

[8] Ver o comentário de Levi-Strauss sobre o pensamento dos selvagens [18]. Pode estar voltado para outros problemas, mas uma vez estes entendidos pelo antropólogo, o pensamento selvagem sempre revela-se estritamente lógico. Baruk [1] demonstra exaustivamente o mesmo fenômeno com crianças em idade escolar.

[9] Tradução do autor.

a esponja era um material de limpeza semelhante a um pequeno pano sem propriedade de absorção, pois nunca haviam usado uma esponja na cozinha! Para eles a metáfora é inócua, levando a interpretações enfraquecidas e errôneas do discurso do professor que a usa.

(4) Não há produção de conhecimento sem realimentação da informação. A realimentação de informação é necessária para precisar, retificar ou diversificar sentidos provisórios ou explicações alternativas. Assim a ciência é construída (e continuamente retificada), assim aprendemos, assim geramos novos conhecimentos. Porém, na Escola usual, toda diferença de entendimento a ser retificada é vista como êrro, e todo êrro é definitivo. A realimentação de informação ocorre essencialmente em testes, provas e trabalhos, vistos pelo professor apenas depois de terminados e entregues, com resultado influindo diretamente na nota do aluno. Ou o aluno acerta de primeira ou perde nota. Não há tempo para tentar, ensaiar, propor, errar e corrigir. O aluno é inspecionado apenas no final, e rejeitado se não atingiu o nível desejado. A solução pragmática (e responsável) do aluno é mimetizar as respostas e atitudes do professor, sem perder tempo com "compreensão". A cola e demais subterfúgios para enganar o professor são a consequência natural, assim como a tentativa do aluno de estudar o mínimo.

Dirá o professor que trabalhos sem nota não levam o aluno a se esforçar, fato fácil de explicar diante da agenda repleta de trabalhos dos alunos. Laboratórios costumam ser lugares onde há uma realimentação corretora por parte de instrutores ao longo da execução das experiências, apesar da pressão da nota, o que se revela positivo, ver [2]. Este fato explica o sucesso das Escolas Técnicas em cumprir seus objetivos (menos ambiciosos que o de uma Escola de Engenharia).

Uma das sugestões deste trabalho é a de propor testes e provas que sejam trabalhos realizados ao longo de um tempo razoável (várias aulas, no mínimo três), para que os alunos possam interagir com o professor. As dúvidas podem ser expostas e as correções podem ser realizadas em sala de aula (os alunos costumam ter as mesmas dúvidas), evitando ocupar todo o tempo do professor com atendimentos individuais. Incrementos no aprendizado podem ser conseguidos sem a máscara da "inspeção final." Essa técnica implica em trabalhos com consulta livre, prevendo (e forçando) o uso de outras fontes de informação, prevendo (e forçando) a consulta entre colegas. Aqui sugiro relatórios finais individuais, onde a qualidade de texto a ser exigido é essencial. Costumo dizer que o texto deve me convencer que a solução apresentada resolve o problema proposto, e que os argumentos principais devem ser explicitamente citados. Só examino o que estiver escrito. Ver a próxima seção para a descrição de uma aplicação destes princípios.

Nas tentativas dos alunos, que aparecem ao longo das interações professor-alunos, surgem as concepções e saberes anteriores. Os sentidos dados pelos alunos ao material apresentado pode ser percebido pelo professor. E abre-se espaço para contra-exemplos apropriados, explicações orientadas, ou descobertas. Aí ocorre o aprendizado.

(5) Usa-se antes de entender [12]. O aprendizado começa pela tentativa de imitação (*mimesis*) dos procedimentos apresentados ou pela tentativa de utilização de procedimentos aprendidos ao novo problema (*bricolage*). Passa por diferentes etapas, como mostrado acima, até chegar aos conceitos e esquemas. Se a compreensão antecedesse necessariamente o uso, o homem não teria saído dos estágios iniciais do Paleolítico.

Mas a elaboração do conceito científico, sistematizado, volta ao cotidiano, mudando seu sentido e ampliando suas possibilidades. Esta não é a finalidade da Escola? Mais profundamente, a formação do sentido é realizada de forma dialética entre o uso e o entendimento, entre a aplicação e o instrumento, de um lado, e o conceito, do outro. A formação (e a retificação e ampliação) do conceito só é realizada na superposição de sucessivas etapas estruturadas, com a complexificação e diversificação dos problemas que exigem a aplicação dos novos conceitos, em novas etapas do uso por *bricolage* à descoberta, recomeçando e imbricando novos ciclos.

(6) Todo aprendizado é social [12]. Aqui remeto a Vigotski, que, a partir do fato que o entendimento individual é gerado por e dentro de um conjunto de códigos e universos semânticos

culturais, mostra que todo aprendizado se realiza dentro de uma "comunidade de aprendizado". A classe de alunos, inserida na Escola e na sociedade à sua volta, forma uma dessas comunidades, que foi chamada acima de "grupo de aprendizado". A identificação ao grupo é uma das principais ferramentas para a motivação, se usada através de desafios e cooperações.

Citando Vigotski, "quem aprende deve ensinar" (também [7], página 244). A explicação ao colega exige a representação do conhecimento de forma clara ao entendimento do outro – encontramos aqui um dos avatares da abstração reflexionante, etapa essencial à formação de conceitos (cf. Piaget [11], ver [2]). O sentido individual é, antes de tudo, um sentido social, ferramenta de comunicação. Ao professor preparar sua estratégia didática usando o grupo de aprendizado a seu favor, e não contra.

Vendo de outra forma, a zona proximal de aprendizagem é, em grande parte, partilhada pelo grupo de aprendizagem. O que permite trazer conceitos e metodologias a esta zona, para cada aluno, trabalhando com o grupo.

(7) Construindo o conceito (reunindo o que foi dito acima). A adaptação é dirigida pelas necessidades. O sentido inicial aparece diante de um problema a ser resolvido, por *mimesis* ou *bricolage*. Sentidos mais elaborados aparecem diante da necessidade de comunicar-se com um grupo, a partir das necessidades em comum, e do código/universo semântico comum. O conceito, no início é operacional. De operações específicas, diante de novos problemas, passamos a operações comparadas, por necessidade e com experimentações. A necessidade de explicação ou representação leva à descoberta das leis de conservação operatórias e permite (ou exige) representações mais abstratas e de operações em novo nível de abstração. Ou, dito de outra forma, o conceito começa a ser criado por analogias, passando à classe dos análogos, daí a classes de análogos, depois a operações entre classes, até ser percebida a existência de leis de conservação entre as classes: o conceito encontrou seu lugar dentro de uma teia de relações[10].

Passamos agora a princípios mais metodológicos.

(8) Centrar o aprendizado nos conceitos, não nos resultados. Perder tempo com a compreensão, não com a resposta final. O tempo não será perdido... Exigir explicações completas, não cálculos ou frases soltas. Creio não ser mais necessário justificar este princípio, tão discutido na literatura atual. Mais ainda, é um pressuposto político, na medida em que nos afastamos da noção de ensino como treinamento, como vista por Bobbitt e Tyler.

(9) Considerar a situação de ensino. Todo aprendizado ocorre dentro de um diálogo (ao menos com os grandes autores) dentro de uma situação e de um ambiente de aprendizado. Donde põe em questão o discurso e quem o emite, o problema em si e o seu enunciado. O aluno não apenas considera a pergunta feita pelo professor, mas quem é o professor e porque faz a pergunta. Por outro lado, o aluno distribui seu tempo e seu esforço entre as diferentes disciplinas, cada uma com sua exigência.

A situação de ensino cria uma reação por parte dos alunos, o que modifica sua conduta e influi no que é aprendido. As reações à Escola, ao professor e ao grupo de aprendizado devem, em princípio, reforçar o objetivo de ensino, não o substituir. O professor de Controles e Servomecanismos citado na Introdução gerava uma reação não desejada em decorrência da situação de ensino por ele criada: aulas usando linguagem muito formalizada e testes rápidos semanais geram o aprendizado de protocolos de rápida aplicação para fazer cálculos sem atentar ao sentido do que se está fazendo. O que o professor desejava? Segundo os alunos, pragmáticos por necessidade, que eles fossem capazes de calcular rápido. O restante, inclusive o esquecimento do

[10] A última enumeração fala da estrutura de formação do conceito, por adaptações sucessivas tornadas necessárias diante de desequilíbrios, cf. Piaget [11]. As enumerações anteriores falam da causa dos desequilíbrios e adaptações, a necessidade diante de problemas colocados pelo grupo de aprendizado e fazendo sentido na zona proximal de aprendizado do aluno, cf. Vigotski [12].

que fora ensinado, é consequência. Afinal, com um número grande de disciplinas, não iriam perder tempo com um material que não lhes parecia com muito significado, “cálculos com f(s) e g(s)”.

Assim, a atuação do professor ou tutor deve ser controlada frente à situação de ensino e à realidade dos alunos. Comentários sobre esta atuação complementares ao presente trabalho aparecem em [2]. Ver também o seção sobre avaliação, onde um aluno observa que é importante "não ser tratado de forma infantil". A reação é natural: os alunos adaptam-se ao professor, passando a reagir de forma infantil. Tratados como profissionais, tendem a reagir de forma mais madura, apesar de eventuais casos de comensalismo ([2] e suas referências).

(10) Considerar os obstáculos ao aprendizado e à formação de conhecimento. Uma análise de obstáculos à formação do espírito científico pode ser encontrada em [7], onde vários obstáculos diferentes são mostrados e analisados. O seu conhecimento permite adotar a didática de contra-exemplos, levando as concepções anteriores ao necessário desequilíbrio, condição essencial para que novas concepções sejam construídas e aprendidas (i.e., ocorra a adaptação).

Como exemplo, a substancialização do conceito de energia, vista como um fluido passando de um sistema a outro. Este é o conceito popular associado à palavra “energia”, muito usada no discurso esotérico com finalidades mágicas. A capacidade de realizar trabalho, consequência do estado da matéria, não é sequer aflorada por este significado espúrio. Ora, só o trabalho (variável física) é mensurável. Os meus alunos, após passarem por quatro disciplinas operando o conceito de energia, ainda trabalham intuitivamente com o conceito espúrio. Muito natural que não estranhem a relatividade restrita e seu $E = mc^2$. Afinal, entendem que consiste em dizer que duas substâncias reduzem-se a uma: energia. O fato de que as limitações das medidas físicas, que levou à integração das categorias do tempo e do espaço em um único contínuo, também integra matéria e energia, ontologicamente diferentes (uma trata de substância, outra de propriedades desta em um determinado contexto), não é percebido por meu aluno típico. Para que o fosse, teria sido preciso que o professor de Física considerasse o conceito espúrio e o comparasse com o conceito científico. Seria preciso que os alunos trouxessem à discussão sua concepção baseada no conceito espúrio. A situação de ensino habitual não permite isto.

Cabe observar que a conservação da energia limita o desejo dos que se sentem “energéticos”, donde, no linguagar psicanalítico, “onipotentes”. O que gera um outro obstáculo, agora de caráter psicológico, principalmente para alunos pouco maduros. Basta ver o sucesso das histórias em quadrinhos dos X-men entre os alunos. Esta observação explica o sucesso do conceito espúrio de energia, e mostra a dificuldade de trocá-lo pelo conceito científico.

Um outro exemplo de obstáculo foi dado acima, ao falarmos da metáfora da esponja.

(11) Aprender por etapas. Consequência das etapas de formação dos conceitos, passando do sentido imediato a sentidos mais e mais elaborados, como discutido acima. Como já foi dito, os conceitos se formam por retoques, em camadas. Ver a noção de "ensino recorrente" em [7], página 235.

(12) O objetivo do aprendizado é a capacitação para a ação sobre o mundo. Este princípio foi justificado acima e mostra como escolher competências que não sejam mero treinamentos. A incerteza, exigindo adaptação aparece pela definição a partir do contexto, do cliente, do mundo. E sugere o aprendizado por problemas.

Há uma mudança radical no aprendizado quando o objetivo passa a ser resolver problemas concretos e não o conhecer a técnica de resolução: o aprendizado ganha sentido para o aluno mas perde as balizas habituais para o professor. Técnicas habituais (para o professor) podem não aparecer e técnicas desconhecidas (para o professor) podem vir a ser utilizadas. Por isso a introdução dos objetivos (b) e (c) acima. Estes exigirão algumas conferências de cultura geral, que não desaparecem de todo.

A noção implícita aqui é de que o conhecimento serve para algo, responde a algum interesse, soluciona alguma necessidade. Neste ponto é instrutivo, para os que tem fôlego para tal, estudar a

história da filosofia e a da ciência relacionando-as com os problemas sócios-culturais das diversas épocas e com seus interesses, ou aindar ler [19].

(13) Verificação objetiva. O ideal é que a avaliação não dependa do professor: deixe o ônus de apontar o êrro à realidade. Programar as atividades para que um cliente, a simulação do computador, uma realização em laboratório ou os colegas venham a ser os juízes da eficácia da solução preparada pelo aluno. A facilidade atual em fazer simulações digitais (MAPLE, MATLAB, etc.) permite que, de certa forma, as dúvidas sejam levadas à prova dos fatos – ao menos simulados.

Neste ponto é essencial a boa escolha da sequência de problemas a serem tratados para que não se perca o objetivo de formação conceitual, isto é, para que o resultado do aprendizado não se limite à antiga formação técnica no esquema mestre-aprendiz, à velha "formação na prática". Deseja-se não apenas fazer funcionar (*know-how*), mas saber porque (*know-why*) e estar pronto a inovar, adaptar, generalizar. Donde não basta a avaliação externa, mas a explicação convincente por parte do aluno. O autor costuma exigir um relatório onde o aluno deve convencê-lo de sua solução. Explica que agirá como o cliente ou o Diretor Técnico a ser convencido. Os alunos sempre entram no jogo. O ideal, é claro, é que o aluno seja levado a convencer os colegas, árbitros mais imparciais e mais acatados, deixando ao professor a geração de contra-exemplos que ponham em cheque sua explicação (uma forma de contra-prova factual no campo da argumentação), se preciso.

Observação: os objetivos da disciplina exigem e desenvolvem capacidades psicológicas a serem lembradas, que podem ser organizadas de forma não exaustiva como:

- capacidade de representação (construir representações abstratas mais abrangentes): dominar determinadas representações e criar novas representações;
- memorizar de forma estruturada,
- enriquecer o universo de significados:
  - criticar concepções anteriores,
  - alterar ou marcar (marcas denotativas) estas concepções,
  - criar novas concepções e relações,
- usar protocolos e procedimentos com sentido,
- adaptar/alterar/enriquecer códigos, significados e protocolos em vista da resolução de determinados problemas.

(14) Levar o aluno a aprender a aprender. Exigir material não apresentado, em função de sua necessidade. Levar o aluno a estudar por conta própria, a buscar material novo na Internet, na biblioteca ou alhures. O autor não mais ministra aulas sobre algoritmos muito particulares, como os critérios tipo Routh-Hurwitz ou Jury. Os cita como sugestão para responder às perguntas dos alunos (geradas pelos problemas). São meras técnicas (no nível desta disciplina) para as quais há excelentes explicações nos livros didáticos. O autor limita-se a contar história destas técnicas (muito interessante, por sinal) e a mostrar como encontrar um título ou uma referência na biblioteca ou no índice remissivo de uma obra. Ensinar a pescar, nunca pescar pelo aluno.

6. Exemplo: a disciplina de Controles e Servomecanismos

Aqui usaremos como exemplo a disciplina de Controles e Servomecanismos na PUC-Rio, em especial a forma como foi ministrada nos últimos semestres.

O objetivo original da disciplina Controles e Servomecanismos era levar o aluno a conhecer as principais técnicas e conceitos da Teoria de Controle, frase que era seguida por uma lista de conteúdos onde eram citados, inclusive, "análise e síntese de sistemas de controle". Os objetivos atuais são: (a) a capacitação do aluno a projetar e simular sistemas de controles simples de forma a resolver os problemas mais habituais na área (servomecanismos e reguladores) sobre sistemas eletro-mecânicos e térmicos, usando controladores analógicos ou amostrados, (b) a capacitação do aluno a ler e estudar a literatura da área de forma a aprender por si mesmo novas técnicas de projeto e ampliar seu conhecimento, (c) conhecer algumas técnicas usuais (lugar das raízes, controladores

PID) de forma a poder entender as aplicações industriais mais usuais atualmente, analisar projetos mais antigos e conversar com os técnicos em atuação.

Cada objetivo está relacionado a uma ação que pode ser usada para avaliação do aprendizado, além de ser orientadora do aprendizado em si. Isto é, o aluno deverá projetar controladores para resolver problemas concretos, aprender por conta própria algoritmos e técnicas não ensinados em sala de aula em vista da resolução de problemas propostos (o que inclui a busca do material adequado), e analisar projetos industriais que lhe forem apresentados (usando controladores PID ou exigindo análises via lugar das raízes).

Podemos expressar estes objetivos na forma de "competências" um pouco mais específicas:

- reconhecer e modelar problemas de controle, em especial os de estabilização, de rastreamento assintótico de sinais de referência, de rejeição assintótica de distúrbios e ruídos, de imposição do transitório do sistema controlado;
- representar sinais e sistemas no tempo e na frequência, interpretar o significado de pólos, zeros e ganhos estacionários;
- analisar sistemas lineares frente aos problemas de controle, à controlabilidade e observabilidade, à minimalidade da realização e à filtragem de sinais indesejados;
- síntese de controladores resolvendo os problemas de controle já citados por mais de uma metodologia (escolhemos metodologias polinomiais, lugar das raízes e regulação de estado);
- usar os diagramas de Bode, Nyquist e o lugar das raízes para análise e síntese de sistemas lineares;
- amostrar sistemas lineares, analisando efeitos secundários da amostragem (falseamento, novos zeros, dinâmica escondida);
- simular e analisar sistemas controlados (usando o MATLAB ou outro programa equivalente), inclusive quanto à robustez da estabilidade e das demais especificações;
- analisar projetos prontos e propor melhoras (engenharia inversa).

Naturalmente, esta lista de competências pressupõe o domínio de outras competências mais básicas, como o uso da linguagem gráfica, o cálculo com números complexos, a representação de ondas por exponenciais complexas ou o uso do computador. Cabe lembrar que o aluno da PUC-Rio, ao cursar esta disciplina, já conhece bem Álgebra Linear, Cálculo e suas aplicações, já cursou Modelagem de Sistemas Dinâmicos (uso de grafos de ligação) e, parte deles, cursou Sinais e Sistemas (séries e transformada de Fourier, transformada de Laplace, contínuas e discretas, FFT). Parte da conceituação a ser construída corresponde ao diagrama a seguir:

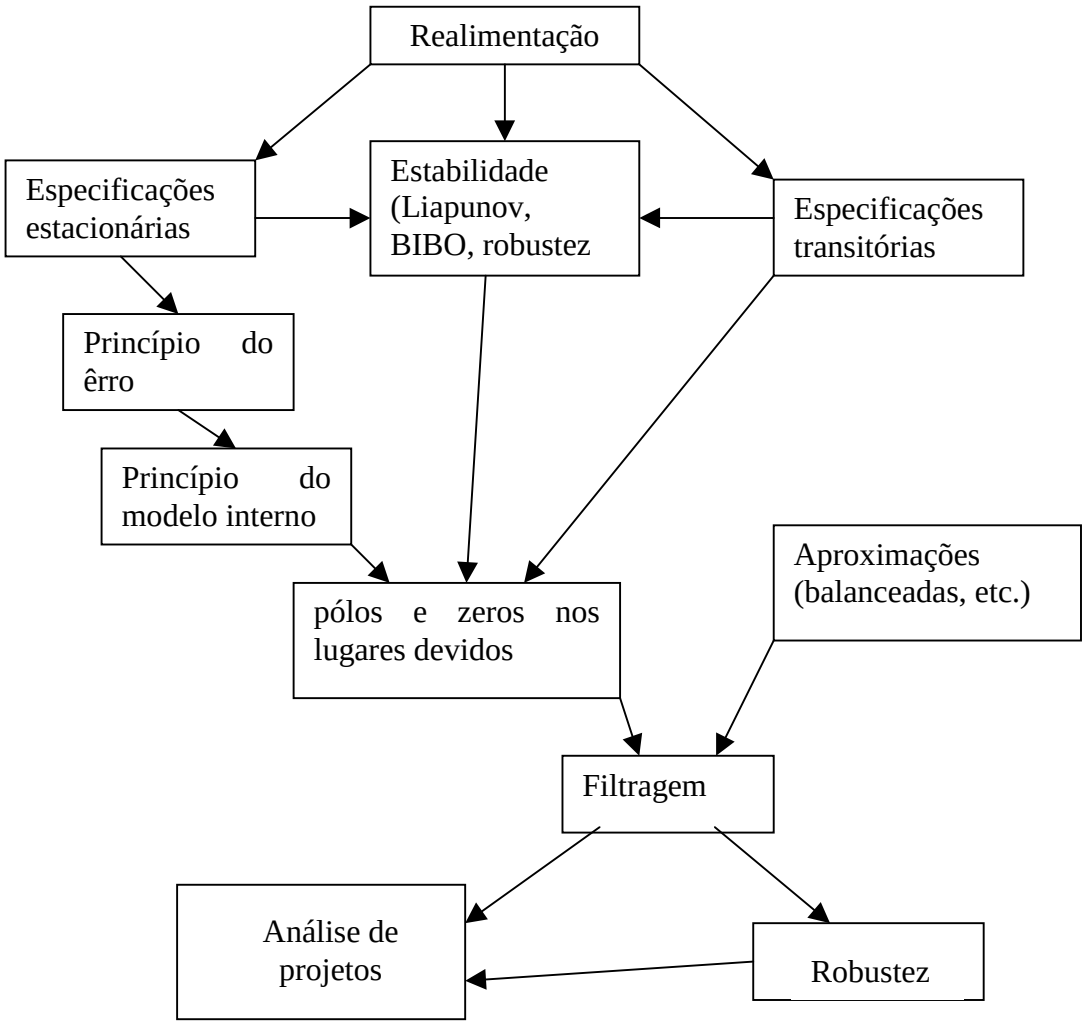

Figura 2: Diagrama conceitual de Controles e Servomecanismos

Além deste conjunto conceitual, há a aprender outros blocos de conceitos e técnicas, interligados entre si:

- Representações (equações dinâmicas no tempo, representação frequencial, diagramas de blocos, diagramas de Bode e de Nyquist, sistemas amostrados), sistemas a tempo contínuo e a tempo discreto,
- Tipos de controladores (um e dois graus de liberdade, regulador de estado, regulador geral de Wolovich, P, PI e PID – teórico e real) e seu uso,
- Modelagem e identificação (resposta a um degrau e resposta em frequência, uso de qualquer figura de mérito),
- Amostragem e projeto de controladores amostrados,
- Simulação digital (MATLAB, problemas numéricos),
- Técnicas particulares (critérios de Routh-Hurwitz, Jury, resolução de equações diofantinas, etc.),
- Decomposição canônica de Kalman, realizações mínimas e formas canônicas.

Outras especificações (controladores ótimos, por exemplo), controle de sistemas não-lineares e a construção (física) de controladores amostrados ficam a cargo das disciplinas Controle Avançado e Controle de Processos.

De fato, temos quatro "quadros conceituais" como acima, articulados: o da Figura 2, centrado no projeto de controladores, o das representações de sistemas lineares, o dos tipos de controladores e suas relações, e o das técnicas particulares eventualmente necessárias.

No curso atual de Controles e Servomecanismos, as duas primeiras aulas são dedicadas à apresentação geral da disciplina, seus objetivos, métodos e conteúdos. Muitas aplicações são descritas por discursos coloquiais, já frisando o conceito central de realimentação. Não se espera que o aluno compreenda este conceito em todas as suas implicações, apenas que perceba a palavra e seu uso filosófico. O aluno compreende que medir o êrro e usar esta informação para corrigir o comportamento é uma estratégia que ele usa para aprender, e a situa no seu dia-a-dia. Parece-lhe uma estratégia natural demais para ser comentada, donde não muda seu comportamento. Explica-se que a avaliação da disciplina seguirá o mesmo caminho. Na terceira aula propõe-se resolver um problema completo de controle, projetando um controlador que imponha a posição final de um braço articulado de um robô. É um desafio ao professor e aos alunos. O aspecto lúdico é essencial para desarmar os mecanismos de defesa dos alunos (contra a atitude professoral). Os alunos sempre demonstram incredulidade diante da possibilidade de entender um projeto logo na terceira aula.

O professor começa analisando uma articulação movida por um motor elétrico, usando com muito cuidado a linguagem coloquial. O motor elétrico é descrito como um aparelho transformando tensão elétrica em torque. Discute-se posição de fios, energia, o conceito de torque (sempre mal aprendido, deve ser relacionado com o torque-motor de automóveis). O professor chega à representação $T(t) = K_m u(t)$, K_m uma constante fornecida pelo fabricante. Depois discute a carga, suposta constante (o braço gira em um plano horizontal). Considerando um pouco de Física, o atrito, e o momento de inércia, constrói uma equação diferencial de primeira ordem. Como já conhecem a transformada de Laplace, obtém-se uma representação matemática para o motor+carga:

$$\hat{\omega}(s) = \frac{a}{s+p}\hat{u}(s),$$

sempre retornando ao significado físico de cada variável. Aqui $\omega(t)$ representa a velocidade de rotação do eixo do motor. Sendo o interesse controlar a posição, usa-se que a velocidade angular $\omega(t)$ é a derivada da posição angular $\theta(t)$, e constrói-se um modelo para o braço articulado:

$$\hat{\theta}(s) = \frac{a}{s(s+p)}\hat{u}(s),$$

justificando fisicamente o integrador. Curiosamente, os alunos sempre se espantam com o bloco integrador, pois inverte o sentido habitual (que leva da posição à velocidade). Bom momento para falar de simulação analógica, Lord Kelvin e de derivadores como amplificadores de êrro de alta frequência. Esta história e o seu correspondente a tempo discreto (sistemas impróprios a tempo discreto são máquinas de prever o futuro) será repetida diversas vezes ao longo do semestre.

A seguir o professor representa a realimentação do êrro:

$\hat{u}(s) = K[\hat{r}(s) - \hat{\theta}(s)]$, $r(t) = \alpha$ (constante, o valor desejado) ou $\hat{r}(s) = \alpha / s$,

K o ganho do amplificador a ser encontrado. Passa muito tempo discutindo a transformação de posição $\theta(t)$ em um sinal elétrico. Há sempre um aluno que sugere usar um potenciômetro e permite a discussão sobre potenciômetros lineares ou não, variáveis utilizadas, etc. A partir daí o problema passa a ser o de como verificar que $\theta(t)$ tende a α quando t tende a ∞. As contas podem ser feitas explicitamente, e descobre-se que, para $K > 0$, o braço articulado se comporta como o desejado. Por último discute-se a possibilidade de construir um amplificador com o ganho escolhido, sempre com referências aos termos dos alunos (o autor é matemático de origem, e pede ajuda aos alunos que já estudaram eletrônica).

Resultado alcançado até o momento: o uso apropriado da matemática e da estratégia de controle permite resolver o problema. Os conceitos de "realimentação do êrro" e "função de transferência" foram postos à disposição para uma possível utilização <u>por imitação</u>.

A seguir (e na mesma aula) o professor propõe usar o mesmo controlador considerando variações na carga. Variações constantes, representadas como "perturbações". Por linearidade, aparece um segundo termo na expressão de $\theta(t)$. Repetindo as contas (e sempre dialogando com os alunos) verifica-se que o método não funciona! O professor pergunta sobre a diferença entre os casos. Como os cálculos estão todos no quadro, e foi tomado o cuidado de indicar o cancelamento

do pólo na origem em cores fortes, há sempre um aluno indicando a falta do integrador na expressão que liga a perturbação à saída, necessário para o cancelamento do pólo na origem na expressão de $\hat{\theta}(s)$. O professor pede sugestões. Sempre, algum aluno indica colocar o integrador junto com o amplificador:

$$\hat{u}(s) = \frac{K}{s}[\hat{r}(s) - \hat{\omega}(s)],$$

o que resolve o problema. O que vale uma explicação sobre controladores PI, os mais usados na indústria, com exemplos (controle de atitude de aviões e de satélites, em especial do telescópio espacial Hubble, como apresentado pela NASA) e fotografias.

O resultado obtido impressiona os alunos, mas não os torna capazes de utilização imediata ou compreensiva. Porém estratégias, termos e conceitos foram trazidos à zona proximal de aprendizado dos alunos, já estão à disposição para *bricolage*. Os alunos estão quase preparados para enfrentar um primeiro problema, onde as estratégia de "realimentar o êrro" e "controlador PI" poderão, enfim, ganhar um sentido e serem integradas, em um primeiro retoque, ao universo de significados dos alunos.

Ainda na mesma aula, o professor propõe a realização de um primeiro teste, a ser realizado na aula seguinte, onde os alunos projetariam um controlador. Os alunos reagem, com razão. Não conhecem o suficiente sobre as equações diferenciais representando sistemas lineares, apenas ouviram falar de funções de transferência, viram uma rápida aplicação, e o objetivo do problema foi formalizado de forma um tanto rápida. O professor, em uma atuação teatral, concorda, e organiza as próximas aulas apresentando a descrição de sistemas lineares (a tempo contínuo e a tempo discreto) e as especificações estacionárias para sistemas de controle. Aulas a serem apoiadas (informa) nas referências da disciplina (mais de 15 obras clássicas existentes na Biblioteca da PUC-Rio) e em textos um tanto formais, de autoria do professor e de seus colegas, disponíveis na Internet junto ao projeto Maxwell (ver http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br). De minha experiência pessoal, o professor irá perder audiência até aplicar o primeiro teste. Talvez a simulação de equações, em aula (uso de *data-show*) e provas teóricas se aplique, como será discutido nas duas últimas seções.

Até aqui, o professor dialogou com a turma, buscando que esta se visse como um grupo. A formação concreta deste grupo dependerá dos testes e trabalhos. Os problemas resolvidos pelo professor em sala de aula já trataram de forma inicial dos conceitos apresentados no diagrama. Na realidade apenas foram colocados na zona proximal de aprendizado dos alunos, ainda sem real significado para eles.

O primeiro teste versou sobre o controle de oscilação de uma plataforma marítima para exploração de petróleo, considerando a possibilidade de medir a frequência de oscilação das ondas que chegam. A notar que a plataforma P-36, da Petrobrás, vinha de afundar na costa do Estado do Rio de Janeiro.

O teste começa com uma longa história, colocando o problema e usando o acidente recente como motivação. A seguir apresenta o resultado de 5 medidas estacionárias, realizadas no estaleiro e usando ondas senoidais, uma das quais com êrros grosseiros. Discutida a modelagem em sala (é extremamente complexa, mas os alunos cariocas entendem muito de escorregamento e flutuação sobre ondas), sugere-se abordar a plataforma como um pêndulo com atrito, embora de cabeça para baixo. O efeito dos aerofólios e das ondas é pensado como fornecendo torque para a oscilação do pêndulo. Convencê-los disto é a etapa mais difícil da modelagem.

Os alunos passaram uma aula inteira compreendendo o problema e ensaiando usar a tabela de dados para calcular os parâmetros do pêndulo. O trabalho foi extendido por mais duas aulas, em princípio, com relatório final individual, onde cada aluno deveria convencer o professor (um cliente substituto) de que sua solução funciona. Combinou-se que as notas das simulações seriam separadas das notas dos relatórios teóricos, e que os alunos teriam de ser aprovados em simulação e em teoria, separadamente, para depois ser calculada uma nota final. Uma prova final da disciplina, convencional e realizada em sala de aula, obrigatória, questionaria a compreensão individual dos trabalhos, para verificar se todos entenderam os relatórios entregues.

O problema de identificação jogou os alunos dentro da problemática de sistemas de equações com números complexos, a serem resolvidos por módulo e fase. Cinco ou seis grupos apareceram no dia seguinte na sala do professor, com perguntas pertinentes. O professor sempre explica além da pergunta, falando do risco de êrros de medida, de mínimos quadrados, etc. Note que são 3 parâmetros e 5 equações.

Na segunda aula dedicada ao teste a maior parte da turma, claramente trabalhando em grupo, já tinha obtido o modelo. O professor solicitou que os que já o tinham feito o explicassem aos outros. O diagrama de Bode apareceu nesta discussão. O cálculo das funções de transferência da malha foi indicado. Os alunos repetem de tal forma este cálculo em malhas diferentes que acabam por achá-lo natural, aprendendo esta forma de representação. O professor lembrou do princípio do êrro e assinalou que todos deveriam explicar em seus relatórios a idéia de que, para e(t) anular-se assintoticamente, é necessário e suficiente que todos os pólos de ê(s) estejam na região de estabilidade. Este conceito será usado e repetido diversas vezes ao longo do semestre, a cada vez de forma diferente. O professor não explicou como obter a estabilidade. Um primeiro grupo de alunos concluiu que deve haver cancelamento do denominador da transformada de Laplace da onda, $(s^2+\omega^2)$, ω a frequência (medida) da onda. Donde este termo deverá estar presente no denominador da função de transferência do controlador. A notícia se espalha em minutos entre os alunos! O conceito retornou como *bricolage*, em uma forma mais geral que a apresentada pelo professor em suas aulas expositivas.

A estabilidade BIBO aparece como condição complementar, mas necessária. Parte dos alunos optou por usar um controlador com ganho simples. Outros procuraram usar controladores com dois ganhos (a melhor solução exige um numerador de primeiro grau). O professor sugeriu um método polinomial, com imposição de pólos. E avisou que teria nota máxima quem fizesse comparação entre métodos. Parte dos alunos tentou nota máxima. Como reconhecer que um polinômio tem suas raízes na região de estabilidade? O professor sugeriu procurar na bibliografia o critério de Routh-Hurwitz, que os alunos estudaram por conta própria.

A etapa de simulação gerou numerosos problemas numéricos (os dados foram escolhidos para isso). A versão do MATLAB utilizada altera o tipo de problema, e há alunos usando da versão 4.2 à versão 6.0! Mas eles descobriram o sentido de instabilidade ante o gráfico aparentemente incongruente de uma linha reta que, de repente, explode a 10^{25} ou números maiores. A estabilidade deixa de ser um nome e uma noção vaga e passa a ser um conceito necessário e "palpável".

Os diversos controladores utilizados pelos alunos apareceram relacionados, uma vez corrigido o teste e discutidos os resultados obtidos. Muitos alunos projetram um controlador parametrizado pelo frequência medida da onda, usando um sensor apropriado. O que generaliza o conceito de controlador. Outros tentaram um controlador válido para todas as frequências no intervalo fornecido pela Petrobrás. Não é possível com os dados fornecidos. Os conceitos de controlador e de realimentação começaram a ser manipulado para além de um simples truque funcional por grande parte dos alunos, mas não por todos. Apareceram as primeiras “classes de controladores”. Mas quem avalia o desempenho do controlador é a simulação: os alunos se medem contra ela e não contra o professor!

Ao longo do período de teste os alunos pediram uma aula de uso do MATLAB. O professor usou como exemplo de aplicação do MATLAB o estudo do comportamento transitório de sistemas de primeira, segunda e terceira ordem, mostrando o efeito da posição dos pólos e como a posição dos zeros pode provocar ultrapassagem positiva e/ou negativa. As respostas do professor sempre apontam para considerações mais gerais, assuntos ainda não tratados e problematizam os temas já estudados.

O primeiro teste já operou com a cadeia de conceitos exposta no diagrama, além de outros conceitos e representações tratados na disciplina. Porém estes são vistos pelos alunos como conceitos operacionais, truques convenientes resolvendo os problemas. Apenas o princípio do êrro aparece em posição mais importante, pois é o elemento principal da argumentação desenvolvida. As primeiras classes de controladores e um controlador parametrizado (pela frequência das ondas) foram introduzidos para enfrentar as diferentes questões que apareceram, isto é, por necessidade. O

conceito de "controlador" começou a se desenvolver em um nível mais abstrato. Conceito este que se articula com os demais conceitos do diagrama conceitual e com os objetivos do problema de controle e da disciplina: os controladores são as soluções procuradas[11]. Cinco das competências assinaladas acima começaram a ser exercitadas.

Os relatórios e simulações apresentados possuem uma razoável qualidade de texto e de argumentação, ao contrário do habitualmente propalado pelos professores da Universidade. Poucos alunos os desconsideraram, e a qualidade das argumentações faz juz a alunos de engenharia. Mas o sentido pleno dos princípios do êrro e do modelo interno ainda não estava presente na maior deles – estes princípios ainda não passavam de truques convenientes (para os alunos). É possível separar os grupos de trabalho (formados por amizade, em sua grande parte) pelos relatórios, mas não houve cópias diretas (salvo nas simulações). Para controlar o resultado entrevistei individualmente os alunos com pior desempenho ou com relatórios muito parecidos. Descobri que as explicações orais eram superiores às escritas (característica desta geração), que havia sutis escorregamentos de sentido gerando explicações ambíguas (para o professor), e que os alunos que trabalharam juntos tinham alcançado uma melhor compreensão exatamente pela discussão em grupo. Pude perceber que alguns alunos tinham absorvido o discurso professoral sem atentar à profundidade conceitual – o que é normal neste nível.

Terminado o teste, o professor formalizou as especificações transitórias e apresentou rapidamente (sobre exemplos de sabor aplicado) outras estruturas de controle e a resolução das equações polinomiais. A frequência às conferências teóricas foi muito baixa. Elas serviram mais para treinar os futuros “alunos explicadores” – estruturando os grupos de estudo.

O segundo teste versou sobre o controle amostrado da velocidade de um carro de metrô. Foi aplicado pouco depois de um acidente no metrô do Rio de Janeiro. A primeira aula do teste foi gasta mais com histórias sobre o metrô (o autor já prestou consultoria à companhia) que com o tema do teste. O controlador sendo naturalmente amostrado, o professor foi obrigado a explicar os procedimentos de amostragem e suas consequências. Exigiu, no teste, que comparassem duas estruturas de controle a tempo contínuo (uma delas o regulador geral de Wolovich), que as discretizassem, e que também projetassem dois controladores com estruturas diferentes para o sistema discretizado. Exigiu também que fossem usadas duas técnicas diferentes de discretização, uma delas, obrigatoriamente, a invariância ao degrau. Esta última deveria ser verificada, no caso em apreço, via funções de transferência e via equações de estado. As simulações deveriam comparar os 6 controladores assim obtidos. As especificações transitórias incluíam a constante de tempo ($\tau \leq 1/8$ u.t.) e ultrapassagem nula, facilmente justificáveis de um ponto de vista físico.

O teste ocupou duas semanas de trabalho dos alunos. De fato, o trabalho foi excessivo, o que obscureceu parte dos conceitos. Mas o conceito de controlador evoluiu, passando a classes de controladores, suas relações e vantagens relativas. A planta já possuía um pólo na origem, donde bastava a estabilidade da malha para que fosse obtido o rastreamento assintótico. Mas uma perturbação foi localizada de tal forma que o controlador também precisava ter um pólo na origem. Em consequência, a transformada de Laplace do êrro para o controlador com um grau de liberdade, o mais simples conceitualmente falando, tinha dois zeros na origem: não era possível ultrapassagem nula na resposta a um degrau.

Os alunos começaram a descobrir este problema nas simulações e o trouxeram ao professor. Em aula, os problemas encontrados até aquele momento pelos alunos foram analisados. Temos aqui uma realimentação de informação, corretora de sentido porque significativa para os alunos. O professor mostrou que o controlador com um grau de liberdade não permitia impor ultrapassagem nula, mas o com dois graus de liberdade e o geral de Wolovich o permitiam. Além desta questão, outras foram analisadas, sempre aprofundando os conceitos, ampliando-os ou corrigindo-os. Os princípios do êrro e do modelo interno já puderam ser enunciados. As técnicas de resolução de

[11] Não resisto a comentar a inversão da ordem dedutiva, que permite induzir sua descoberta de forma controlada. Este artifício didático, essencial no ensino concorrente, remonta ao menos a Bachelard ([7], página 236), mas acaba sendo desconsiderado pelos professores, pela facilidade em expor teorias dedutivas, transformando a descoberta em "lições" ([7], página 247).

equações polinomiais foram necessárias e usadas, mas ainda não completamente aprendidas. Apareceram sugestões inovadoras, como a utilização de um controlador em malha aberta. O que deu ensejo ao professor de voltar a mostrar a importância da realimentação, da estabilidade interna da malha e o perigo do cancelamento de pólos e zeros fora da região de estabilidade, usando argumentos de robustez. Finalmente, as simulações despertaram os alunos para o problema das especificações transitórias a tempo discreto. Uma rápida explicação da transformação exponencial para pólos e a distribuição do diagrama desta transformação foram suficientes, de início. Mais tarde apareceram dúvidas quanto ao uso de pólos negativos ou imaginários puros, o que permitiu discutir e reforçar o conceito.

Podemos ver a lenta construção dos conceitos apresentados no diagrama, movidos pelo conceito de classe de controladores, isto é, pelas soluções dos problemas propostos. Conceitos abstratos formados por retoques e correções a partir de soluções por *bricolage* ou por *mimesis* para problemas fazendo sentido aos alunos. Retoques necessários para as novas dificuldades presentes no novo problema, levando à reestruturação conceitual. Novas representações sendo dominadas e utilizadas como ferramentas poderosas na resolução dos problemas.

A atitude do professor é completamente diferente da atitude clássica. Não espera a compreensão a partir do discurso teórico. Corrige e responde sem pressionar pela nota. Uma situação comum exemplifica esta atitude: alunos perguntando o que fazer ao perceberem, na última etapa do trabalho, um êrro de cálculo no início do projeto, já quase todo escrito. Precisariam reescrever tudo (mais de 20 páginas de cálculos)? A resposta do professor é a de que devem indicar o êrro e suas consequências ao longo do texto já escrito, sempre explicando porque é um êrro e o que muda. Corrigir e refazer só a última etapa. A percepção do êrro e a explicitação de suas consequências e de sua correção é mais importante para a compreensão do conceito que a correção completa e mecânica. Ainda mais se o êrro foi percebido por um colega: os alunos funcionam em tribos e dão fé aos colegas.

O terceiro teste considerou o controle de tensão de um gerador da usina hidroelétrica de Estreito (do grupo Furnas), onde a realimentação de estado aparece naturalmente e permite soluções muito mais econômicas. A técnica do lugar das raízes foi sugerida para ajustar os parâmetros de projeto, observando que, por razões práticas, há interesse em ultrapassagem nula e ganhos de realimentação (de estado) de módulo inferior à unidade. O problema é todo a tempo contínuo. Foi ainda exigido a análise do sistema a perturbações na carga em frequências de 60 Hz e seus harmônicos. Pediu-se sugestão de como filtrá-las[12].

Este problema exigiu o projeto de um controlador de estado, com análise de controlabilidade e observabilidade, ajustando os pólos de forma a que os ganhos fossem pequenos (via fórmula de Ackerman) e verificando a possibilidade de ultrapassagem nula. O lugar das raízes permite delimitar faixas de ganhos onde a ultrapassagem pode ser nula, situação a ser verificada por simulações. A maior parte dos alunos testou o sistema para diferentes ganhos, verificando empiricamente limites para a ultrapassagem nula, principalmente depois que descobriram o comando rltools, do MATLAB. Finalmente, o diagrama de Bode da carga à saída mostrava que o sistema não filtrava as perturbações de interesse, por ser um filtro passa-alta. A estrutura do sistema impõe esta propriedade: nada a fazer, a não ser colocar pólos no controlador nas frequências indesejáveis.

A reação de 90% dos alunos foi apropriada, manejando o diagrama do lugar das raízes e o diagrama de Bode (já exercitado na disciplina Circuitos Elétricos), e projetando controladores apropriados. Poucos usaram mudanças de base, pois o problema admite soluções usando apenas cálculos polinomiais.

O quarto teste considerou uma situação de "engenharia inversa". Foi fornecido o projeto de um controlador para um laminador de aço a quente, com todos os parâmetros explicitados numericamente. Informou-se que, ao colocar em funcionamento a máquina, a lâmina de aço saía ondulada regularmente. Pediu-se a explicação do fenômeno (qual parâmetro havia sido alterado),

[12] Este problema não tem solução na forma em que foi colocado. Os alunos o perceberam depois de muitos testes.

um projeto corretivo e a análise da margem de estabilidade e do efeito de distúrbios e perturbações no projeto nominal e no corrigido. Observou-se que seria mais barato alterar o "filtro", de fato o controlador nominal. Naturalmente, foi exigida argumentação completa.

Com este trabalho, orientado da mesma forma que os anteriores, a técnica do lugar das raízes foi utilizada para resolver um problema inverso, forçando a sua compreensão para além de um simples algoritmo. O domínio conceitual dos alunos permitiu que não houvesse problemas na análise, os fatores determinantes do comportamento do sistema e influenciando o projeto do controlador estando bem compreendidos. Aqui, as últimas competências foram utilizadas e verificadas.

Parte dos alunos verificou sistematicamente o efeito da variação de cada um dos parâmetros do controlador, concluindo que a explicação apontada era a única razoável (ao menos para variações de um parâmetro por vez). Alguns alunos foram direto ao ponto, usando argumentos qualitativos para descartar variações em parte dos parâmetros. É preciso dizer que dúvidas neste sentido foram trazidas ao professor, que as discutiu e induziu parte das respostas. Foram exigidas explicações completas nos relatórios. Os alunos utilizaram competentemente as ferramentas de análise, posto que eram a chave para resolver um problema contextualizado, e não um fim em si.

O curso terminou com uma prova final, em sala de aula, com perguntas conceituais (sem cálculos) sobre os trabalhos realizados. Os alunos tiveram dificuldade em explicar rapidamente o que fizeram, via grandes princípios. Sabiam resolver os problemas, passo a passo, usar as ferramentas, mas não fixaram nomes como o princípio do modelo interno, nem eram capazes de citá-los espontaneamente. Emboram reconhecessem controladores particulares, como o PID, não os citavam ou usavam espontaneamente: acabavam deduzindo-os a partir de sua capacidade de resolver o problema, ancorada em uma compreensão fina dos argumentos. Sabiam passar de árvore a árvore, mas não reconheciam a floresta. De um lado, faltou abstração reflexionante, dado que foram muito absorvidos pela resolução dos problemas. Por outro lado, a prova final com referência aos trabalhos foi um fiasco didático. Bons alunos perdiam-se nos detalhes dos trabalhos mais antigos, mostrando a necessidade de exercícios de fixação de linguagem.

7. AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Começaremos pelos resultados do questionário de avaliação preenchido pelos alunos logo após a prova final., no primeiro semestre de 2001.

Caracterizando os alunos, seu coeficiente de rendimento (CR) acumulado segue uma distribuição normal com média 7,2 (a média habitual na Engenharia Elétrica é 7,5) e variância 0,85. 13% não responderam este quesito. A média do coeficiente de rendimento no último período é dois décimos mais alta. Observe-se que esta turma possui alunos vindos de formações diferentes, incluindo Engenharia de Produção Elétrica e Engenharia de Controle e Automação, que não seguem o currículo básico pleno da Engenharia Elétrica. Nenhum dos alunos seguia (nos semestres examinados) o currículo mais recentemente implantado para esta habilitação, tendo alguns cursado Sinais e Sistemas, outros Métodos Matemáticos da Física, e alguns outros nenhuma destas disciplinas. Há alunos do sétimo período de créditos a formandos (décimo período).

2/3 dos alunos considerou ter uma idéia clara da especialidade pretendida. Esta era Engenharia de Produção ou Finanças para metade da turma, a outra metade escolhendo, quase toda, Engenharia de Telecomunicações. Apenas 6 em 46 escolheram outras opções e 2 ainda não a haviam escolhido. Havia forte correlação positiva entre os que escolheram Telecomunicações e os que não tinham idéia clara da profissão escolhida, e também com os que consideravam a disciplina inútil para sua formação. Esse resultado mostra a necessidade de disciplinas de Introdução às Telecomunicações (introduzidas no currículo novo) ou ter uma das provas versando sobre o assunto. Os fatores apontados como os que mais influenciaram a escolha da profissão foram interesse ou vocação, em primeiro lugar, e oportunidade de bons salários ou progressão na carreira, em segundo lugar. Os demais fatores (família, influência de um profissional conhecido, facilidade em obter emprego, ou fatores mais altruistas) pouco foram citados. 3/4 dos alunos considerou escrever bem, mas só metade disse entender completamente as demonstrações da disciplina.

Revelaram uma certa decepção com seu desempenho na Universidade. Enquanto 14 esperavam resultado excelente e 25 um bom resultado, só 8 consideravam ter obtido resultado excelente, 28 resultado bom e 5 resultado médio. Questionados diretamente, 19 se consideraram satisfeitos com seu resultado, 13 não e 18 não responderam. Poucos destes apontaram as razões desta última resposta, a maioria acusando a Universidade (professores, metodologia ou estrutura do curso) e apenas 6 considerando ser sua falta (desinteresse, carga horária excessiva). No entanto, a maioria absoluta considerava ter trabalhado bem na disciplina em estudo.

A maioria absoluta (mais de 85%) considerou conhecer os objetivos da disciplina e que estes foram atingidos, que a quantidade de aulas foi suficiente e os trabalhos realizados necessários, que aprendeu os principais conceitos e que a metodologia empregada é boa. No entanto, 2/3 assinalou o trabalho ter sido excessivo e o 1/3 restante ter sido suficiente. Esta resposta tem sido encontrada cada vez mais frequentemente por todos os professores de disciplinas voltadas para projetos. Metade dos alunos considera que a disciplina mudou sua visão da engenharia e aumentou seu interesse em Controle e Automação. Solicitados a escrever a primeira palavra que lhes viesse à cabeça ao pensar na disciplina, 54% dos alunos associou palavras indicando dificuldade (trabalhosa, difícil, complexa, cansativa), 26% indicando a disciplina ser interessante ou inovadora, havendo quem associou "fácil", "profissionalizante" e 3 enigmáticos "controladora". 38% preferiu o primeiro trabalho, 39% o quarto trabalho, 17% os outros dois trabalhos, os demais não respondendo ou indicando vários trabalhos. Quase todos assinalaram ter feito esta escolha porque o trabalho os remetia a uma situação concreta, onde sentiam o contexto da aplicação ou da vida prática. Isto é, um mesmo trabalho pode ser considerado "concreto" por um aluno e não tanto por outro. De fato, esta motivação indica que o trabalho remeteu o aluno ao que considera ser o contexto da aplicação, o que varia por aluno e depende das condições históricas – ver o naufrágio da plataforma P36 associado ao primeiro trabalho.

Dado que a metodologia foi aplicada de forma radical (essencialmente apoiada em trabalhos realizados em grupo, embora respondidos individualmente), pode aparecer o problema do comensalismo de uma parte do grupo em relação ao resto[13]. Alguns alunos chegaram a comentar que a situação de comensalismo difere da situação de simbiose com liberdade[14], onde um grupo divide o trabalho em partes, de acordo com as capacidades de cada de um, o que corresponde ao que ocorrerá em sua futura vida profissional (no que eles tem razão). Mas a questão de princípio posta pela valorização do trabalho exclusivamente individual (a atitude quase onipresente na Universidade) contra o trabalho em grupo é sentida como uma questão moral por parte dos alunos: a regra aceita implicitamente valoriza o esforço individual, sem ajuda externa. O fato do relatório final ser individual e, obrigatoriamente, explicitar todo o raciocínio empregado, gerou comentários sobre o controle do professor ("é melhor que a simples cópia"). Um conjunto de perguntas abordou diretamente estes temas. 52% considerou ser possível o comensalismo, contra 41% de opinião contrária. Mas apenas um aluno assumiu ser comensal de seu grupo. A maioria considera que trabalhou bem, mas acusa a facilidade dos alunos "se esconderem atrás dos grupos", embora 33% digam que o controle do professor evitava que isto ocorresse. O autor não sabe dizer se os alunos que reclamam do comensalismo o estão confundindo com simbiose, mas leu e ouviu comentários expontâneos sobre a vantagem de um aluno explicar ao outro: "os dois aprendem mais", o colega "conhece melhor as dificuldades que o professor", "é assim que vamos trabalhar em empresas". Donde a conclusão de que está mudando a posição dos alunos frente à troca de informações – desde

[13] Comensalismo é quando uma parte faz o trabalho e outra se aproveita, mas sem que alguém seja prejudicado. No parasitismo, os que vivem às expensas dos outros ainda o s prejudicariam. É o caso de argüições ao grupo, com escolha do aluno a ser argüido ao acaso, quando o escolhido apenas copiou o trabalho.

[14] Neste tipo de simbiose, os alunos podem se reagrupar em outros grupos ou trabalhar sozinhos. Ao agir "simbioticamente"estão apenas procurando a condição de máxima produtividade. Diferente é a simbiose completa, onde os participantes do grupo não conseguem trabalhar em separado ou como membros de outro grupo. Não estão associados, mas dependentes.

que sem comensalismo, com esforço individual de compreensão. Os alunos estão se tornando mais pragmáticos e menos moralizantes[15].

No espaço destinado a críticas expontâneas encontramos superpostos elogios à metodologia (20) e críticas à didática do professor em sala de aula (19) e ao trabalho gerado pela disciplina (9). De fato, diante da baixa frequência às aulas teóricas no meio do semestre, o professor perdeu a paciência, tornando-se irônico. Três outros comentários merecem ser citados: dois alunos assinalaram ser possível passar sem saber, o que consideram "injusto", um aluno disse que "o importante é motivar o aluno interessado" e outro aluno assinalou não terem sido "tratados de forma infantil". Estes alunos revelam uma questão de princípio subjacente à metodologia: o importante é motivar o aluno interessado (ao custo de deixar passar o parasita) e induzí-lo (exigindo) a uma atitude profissional e madura ou o importante é ser "justo" nas avaliações, buscando cortar quem não trabalha ou não aprende? O autor considera que um compromisso deva ser atingido, mas que este problema deva ser tratado seriamente pelo curso como um todo, não apenas pelas disciplinas, individualmente. As considerações habituais nos textos que tratam do assunto escorregam pelas "habilidades mínimas necessárias" para o profissional a ser formado, esquecendo que estas são desenvolvidas ao longo do curso, por exigências sucessivas e superpostas, não sendo verificáveis em provas rápidas a menos que se reduzam a simples aplicação de procedimentos padronizados.

No dizer de um dos alunos deveria haver "mais matérias e professores que realmente nos fazem pensar e não copiar técnicas matemáticas". Ora, é mais fácil selecionar os alunos que repetem o discurso correto ou aplicam corretamente as fórmulas ensinadas a problemas padronizados em provas individuais, que levar alunos a pensar diante de problemas não completamente definidos, como os usados nesta metodologia. Esta abordagem faz aparecer a incerteza inerente à resposta humana (alunos bons nem sempre descobrem o caminho a tempo) e à enorme capacidade de adaptação dos alunos às situações escolares (falseando o planejamento da avaliação). Afinal, os alunos estão em situação de risco imediato, não os professores. A adaptação é condição de sucesso em uma Universidade meritocrática como a PUC-Rio.

Aqui reaparece a questão ética. A cola é produto da escola e de suas exigências artificiais, mas a maioria dos alunos conserva uma visão ética estrita (defendida, mas nem sempre seguida). O comensalismo discutido acima pode ser um problema ético e/ou uma atitude de defesa ao excesso de trabalho. Principalmente se este trabalho não é visto como necessário por uma parte que se sente oprimida. O professor discutiu estes temas em sala de aula, assinalando não abdicar do poder do professor, essencial para gerar a pressão necessária para levar ao trabalho em meio às outras disciplinas, mas estar também buscando uma relação mais madura, onde o aluno trabalharia por estar convencido da importância dos desafios propostos. Busca um formação ideológica, sabendo que esta se bate contra as dificuldades e pressões concretas sentidas pelos alunos. Afinal, não há garantia de sucesso para ninguém, e os alunos serão sempre os mais penalizados.

Vários alunos deram sugestões para melhorar a metodologia, mostrando uma aguda perspicácia. Resumindo:

(a) Realizar provas individuais em sala de aula, versando sobre conceitos (sem cálculos ou simulações).
(b) Evitar trabalhos muito difíceis ou complexos, talvez aumentando o número de trabalhos de forma a que a dificuldade aumentasse progressivamente. Trabalhos mais fáceis chamam mais a atenção dos alunos, trabalhos muito difíceis os desesperam.
(c) Um último trabalho deveria levar à comparação dos diversos controladores considerados na disciplina.
(d) O professor deveria apresentar mais exemplos em suas aulas.
(e) Os trabalhos deveriam ser realizados apenas durante o horário de aula (eventualmente nos laboratórios), com a avaliação sendo realizada computando o trabalho realizado dia a dia.

[15] O autor agradece a Manuel R. Freitas, seu co-autor em [20], ter lhe chamado a atenção para a classificação dos grupos simbiontes neste uso particular.

Comentaremos adiante as sugestões, após uma avaliação da metodologia considerando o resultado dos trabalhos e as perguntas dos alunos ao longo dos quatro semestres em que a metodologia foi parcialmente aplicada.

Podemos afirmar que o quadro conceitual foi construído, como pode ser verificado pelas perguntas ao longo do semestre, pelas entrevistas individuais, pela prova final e pelos resultados obtidos nas disciplinas seguintes. Nestas disciplinas temos usado as técnicas e conceitos aprendidos em Controle e Servomecanismo sem grandes problemas e sem necessidade de repetições: os alunos parecem ter aprendido, de fato, o esperado na disciplina anterior. Os conceitos do diagrama conceitual tem sido aplicados (e ampliados) a Controle Ótimo, Controle Não-Linear e Controle Digital aplicado, continuando a transformação do conhecimento do aluno. O efeito "esquecimento" não foi observado, a menos de técnicas menores – às quais recomenda-se o aluno voltar a estudar por conta própria. Afinal, não nos lembramos de tudo o que já estudamos. Por outro lado, o re-estudo é mais rápido se o estudo anterior foi significativo.

As representações próprias à disciplina foram absorvidas, o que foi verificado pela mesma argumentação do item anterior.

A competência de projetar e de simular controladores foi verificada diretamente, dentro dos limites da disciplina, assim como a capacidade de analisar projetos dados (engenharia inversa). Quem trabalhou corretamente projetou controladores e enfrentou problemas que exigiram a adaptação do que fora tratado em aula, sem possibilidade de cópia ou aplicação mecânica de algoritmos.

A consulta à literatura na área foi exigida e utilizada com êxito, ao menos quanto aos temas próprios àdisciplina. Note-se que os problemas tratados não se enquadram exatamente na linha que podiam encontrar nos livros didáticos norte-americanos que compõem a maior parte das referências, todos baseadas no ensino/treinamento de técnicas particulares. O uso da bibliografia exigia a adaptação do que era lido ao novo tipo de problema, isto é, compreensão do assunto.

O resultado foi uma reprovação baixa: 2 a 3 alunos por semeste, com turmas de 30 a 40 alunos. Os alunos ficaram cansados (com razão e mérito), mas entusiasmados, se levarmos em consideração seus interesses profissionais. Temos tido alunos para as disciplinas seguintes, optativas, de Controle Avançado, Controle de Processos e Identificação & Estimação, o que não ocorria em períodos anteriores. Observo que a concorrência de outras áreas, na PUC-Rio, é grande, e o mercado de trabalho no Rio de Janeiro é mais orientado para o setor de serviços, com um aumento esperado (e anunciado) no setor de Telecomunicações.

8. DIFICULDADES E SUGESTÕES

A seguir serão discutidas as principais dificuldades encontradas, apresentando-se sugestões para enfrentá-las.

A principal dificuldade é a escolha dos trabalhos de forma a criar os problemas de interpretação e resolução sem gerar dificuldade excessiva, de forma contextualizada. O autor confessa que, apesar da organização conceitual, esta escolha ainda está no estado de arte, não de técnica. Ao longo do texto foram apresentados alguns princípios para esta escolha, onde o incremento de dificuldade – nunca exigir exatamente o que foi ensinado – é essencial.

A sugestão (b) dos alunos – trabalhos mais fáceis e mais numerosos – é interessante, mas leva ao problema de controle do tempo de execução dos trabalhos. A realimentação de informação exige tempo, com muitas idas e voltas, o que limita bastante o número de trabalhos – e os alunos ainda não criaram a disciplina necessária para otimizar o emprego de tempo nesta atividade. A sugestão (c), por exemplo, é um trabalho longo e demorado, pois exige muitas simulações e considerações sobre diferentes tipos de sistemas lineares. É um trabalho complexo, que chegou a ser realizado no primeiro semestre de 2001 ao longo do período, sem que os alunos o percebessem claramente.

De fato, ao radicalizar o uso da metodologia (usando apenas trabalhos de média duração), o professor não foi feliz em levar os alunos a terminar a construção dos conceitos. Faltou a etapa de abstração reflexionante, onde o aluno toma consciência plena do que realizou no trabalho e nomeia princípios e conceitos. As aulas teóricas reservadas para este fim foram pouco freqüentadas, pois os

alunos perceberam que não afetavam diretamente a nota, e as usaram para estudar outras disciplinas. Em conseqüencia, poucos alunos chegaram a citar o "princípio do modelo interno", apesar da presença exaustiva desta expressão nos textos colocados na Web. Este fato dificulta a referência futura ou mesmo a leitura de textos mais avançados pelos alunos.

Uma solução seria controlar a frequência dos alunos de forma clássica. Mais interessante é usar a sugestão (a) realizando provas conceituais em sala de aula, individuais, versando sobre os conceitos tratados no trabalho anterior, após sua entrega e discussão em sala de aula. Desta forma os teoremas principais e a nomenclatura tradicional seriam revistos de forma refletida, corrigindo o problema. Evidentemente, esta estratégia aumentará o trabalho dos alunos e o do professor, mas há espaço e tempo para tal, se o professor dividir bem o tempo entre os diversos trabalhos.

Esta nova estratégia reduz o comensalismo e o parasitismo, já que cada aluno, individualmente, terá de saber discursar sobre o trabalho realizado e sobre os conceitos envolvidos. O inconveniente é que os alunos com estilo de aprendizado absorvente (*cf* Kolb) serão privilegiados. Estes transformam mais rapidamente leituras e experimentos em discursos organizados. A realidade é que nem todos os alunos aprendem da mesma forma ou no mesmo ritmo. O trabalho em grupo permite uma aceleração da aprendizagem para parte da população de alunos e permite misturar os diversos estilos de aprendizagem. A prova em aula faz retornar a diferenciação tradicional. Uma forma de enfrentar este viés é calcular a nota da parte teórica do trabalho como uma média entre o relatório e a prova em sala. Mas então o problema do comensalismo reaparece, se bem que com menor intensidade.

A metodologia utilizada exige dos alunos capacidade de comunicação. Ao professor a habilidade de soltar a língua dos tímidos, o que nem sempre é fácil. Alunos que freqüentam assiduamente a sala do professor e o questionam sobre o trabalho acabam sendo privilegiados, mesmo que as respostas usem a técnica de reverter as perguntas. A solução é criar um sistema de comunicação entre os alunos, de forma que as descobertas do aluno perguntador sejam passadas à turma. A comunidade de alunos, discutindo fora de sala de aula, já preenche este papel. Mas há sempre alunos isolados e perguntas reprimidas. Para isso as aulas presenciais são essenciais: é o espaço onde o professor pode trazer descobertas individuais ao conjunto de alunos e induzir novas perguntas esclarecedoras. A aula transforma-se em uma discussão em torno das questões colocadas pelos problemas, com descobertas trazidas por alunos e eventuais explicações técnicas ou sínteses trazidas pelo professor. Desde que haja presença maciça dos alunos às aulas. Aí entra a prova em sala, curta mas convincente para estimular a freqüencia à aula.

Resumindo, as aulas presenciais são importantes para a apresentação e discussão dos problemas, para a motivação em torno deles, para a troca de informações e comentários & explicações & sínteses por parte do professor, e são o local privilegiado para a abstração reflexionante. Os trabalhos, executados parte em sala, parte em laboratório, parte em espaços para discussão em grupo (biblioteca, por exemplo), fornecem a motivação central e estruturam perguntas e questionamentos, de forma a fazer o aluno pensar e construir conceitos, relacioná-los e aplicá-los. Os trabalhos sobre temas contextualizados e o controle do discurso referido ao vocabulário já dominado permitem a criação e correção de sentido, junto com as diversas estratégias de realimentação da informação.

O espaço e o tempo utilizados nesta metodologia se alteram. O laboratório deve estar sempre disponível, o professor deve possuir horários extendidos de atendimento, só parte do trabalho é realizado em sala de aula. As aulas presenciais nem sempre são convencionais, havendo conferências, demonstrações, discussões, "aulas de dúvidas" e, seguindo a sugestão acima, algumas provas.

Alguns alunos sugeriram o uso de monitores de laboratório. Já observamos, em outras disciplinas, que os alunos tem mais facilidade de se expor ao monitor, visto como um quase-colega. O uso de monitores bem treinados permite atenuar o problema do comensalismo [21] e fazer aparecer dúvidas nos grupos de trabalho que seriam reprimidas diante da turma inteira ou do professor.

Como críticas negativas específicas, as técnicas de projeto na frequência aparecem apenas subsidiariamente, não sendo claramente fixadas. Temas como "loop recovering" não chegam a ser tratados, pois exigem, para ganhar potência resolutiva e sentido, o domínio de técnicas H^{∞} (alunos neste nível reagem a metodologias por tentativa e êrro, como as usadas nas técnicas clássicas). Estes são assuntos para outra disciplina, se houver interesse por parte dos alunos. Esta crítica expõe a quantidade de trabalho exigida dos alunos pela nova metodologia, limitando o que pode ser aprendido (em média) por semestre. Mas, talvez, a construção de conceitos sempre exija muito trabalho por parte do aluno, e o sonho de, com pouco trabalho e sem esta atividade própria do aluno, "ensinar" grandes massas de conteúdo, seja uma falácia. A não ser para os alunos que não precisam de professor.

REFERÊNCIAS

[1] S. Baruk, *L'Âge du Capitaine*. Paris: Éditions du Seuil, 1985.

[2] M. A. da Silveira e L. C. Scavarda-do-Carmo, Sequential and Concurrent Teaching: Structuring Hand's-On Methodology, *IEEE Trans. Education*, Vol. 42, n. 2, pp. 103-108, May 1999.

[3] T. E. Fortmann e K. L. Hitz, *An Introduction to Linear Control Systems*. New York: Marcel Dekker, 1977.

[4] T. Khun, Mathematical Tradiction versus Experimental Tradiction, in *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: The Un. of Chicago Press, 1977.

[5] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentals of Physics. New York: John Wiley & Sons, 1993.

[6] T. Khun, *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, USA: The Un. of Chicago Press, 1970.

[7] G. Bachelard, A Formação do Espírito Científico *La Formation de l'Esprit Scientifique.* Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1998 (édition de poche).

[8] U. Eco, *Tratado Geral de Semiótica*. São Paulo, Ed. Perspectiva, 1997 (trad. de Trattato di Semiotica Generale, Indiana Un. Press, 1976).

[9] U. Eco, *Kant e l'Ornitorinco*. Milano, Ed. Bompiani, 1997.

[10] U. Eco, *Lector in Fa*bula. Milano: Ed. Bompiani, 1979.

[11] J. Piaget, *Abstração Reflexionante.* Porto Alegre, Brasil: Ed. Artes Médicas, 1995 (trad. de Recherches sur l'Abstraction Réfléchissante. Paris, France: Presses Universitaires de France, 1977).

[12] L. Vigotski, *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 1999 (trad. de Mind in Society – The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, USA: Ed. Harvard, 1984)

[13] W. E. Doll Jr., *Currículo: Uma Perspectiva Pós-Moderna*. Porto Alegre: Ed. Artes Médicas, 1997 (trad. de A Post-Modern Perspective on Curriculum, Teachers College, 1993).

[14] P. Perrenoud, *Construire des Compétences dès l'Ëcole*. Paris: ESF Ed., 1997.

[15] ver citação em Doll ou texto com o Calixto

[16] M. A. da Silveira, L. C. Scavarda-do Carmo, J. A. Parise e T. S. da Costa, Changes in the Enginnering Curriculum: the PUC-Rio's Experience", *Proceedings of the ICEE99, Ostrava*, CDROM. Rep. Tcheca: Technical University of Ostrava, 1999

[17] G. Bachelard, *Le Nouvel Sprit Scientifique*. Paris: Presses Universitaires de France, 1968.

[18] C. Levi-Strauss, *La Pensée Sauvage*. Paris: Plon, 1962.

[19] J. Habermas, *Erkenntnis und Interesse*. Franfurt: Suhrkamp Verlag, 1973.

[20] M. A. da Silveira, M. S. da Silva, M. R. de Freitas e C. R. Kelber, Hand's-On Teaching and Entrepreneurship Formation: An Example on Electrical Circuits Courses, *Proceedings of the ICEE98*, CDRom. Rio de Janeiro, Brasil: CTC/PUC-Rio, 1998.