

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ASPECTOS DO PLANEJAMENTO CURRICULAR E DA ATIVIDADE DE ENSINO
EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau
de Mestre em Engenharia Elétrica**

WERNER KRAUS JUNIOR

Florianópolis, 27 de Setembro de 1991.

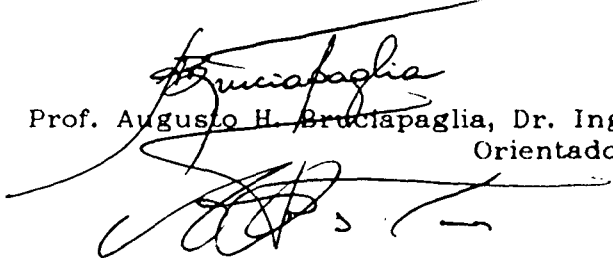
ASPECTOS DO PLANEJAMENTO CURRICULAR E DA ATIVIDADE DE ENSINO EM
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

WERNER KRAUS JUNIOR

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

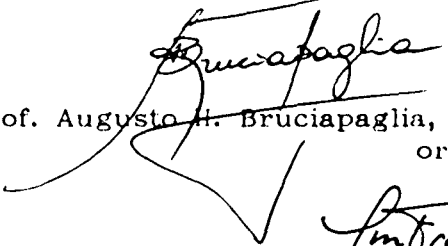
ESPECIALIDADE ENGENHARIA ELÉTRICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO SISTEMAS DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO



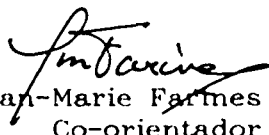
Prof. Augusto H. Bruciapaglia, Dr. Ing.
Orientador

Prof. João Pedro Assumpção Bastos, Dr. D'Etat
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

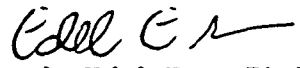
BANCA EXAMINADORA:




Prof. Augusto H. Bruciapaglia, Dr. Ing.
orientador



Prof. Jean-Marie Farnes
Co-orientador



Prof. Edel Ern, Ph.D.



Prof. Fernando Gomde, Ph.D.

A Duke Kahanamoku e ao Melgarejo,
que me trouxeram o prazer de surfar e educar.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas colaboraram para a realização deste trabalho. Sou muito grato a todas, mas em especial agradeço ao prof. Luis Fernando Bier Melgarejo, do Depto. de Ciências Estatísticas e da Computação, pela inspiração e pelas conversas muito frutíferas, ao professor Augusto Humberto Bruciapaglia pela orientação, e ao prof. Jean-Marie Farines pela co-orientação que foi mais que isso. Também gosto de agradecer a **TODOS** os amigos do LCMI, que sempre manifestaram boas doses de amizade explícita; só para registrar alguns na História (elenco em ordem alfabética): Daniel, Élvio, Eraldo, Evandro, Hervé, Júlio, Jony & Jorge, Nacamura, Sandro, Saul, Trofino, Willrich, e Zé. Também agradeço ao CNPq pelo leite das crianças, que chegava sem atrasos! Finalmente, à Silvia, pela sua indignação que ajudou este trabalho, até o fim.

ÍNDICE ANALÍTICO

Agradecimentos.....	iv
Índice Analítico.....	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas.....	ix
Resumo	x
Abstract.....	xi

Capítulo 1

Introdução	1
O Problema.....	1
Objetivos.....	2
Plano de Trabalho	2

Capítulo 2

Desenvolvimento de Currículo	3
2.1 Introdução	3
2.2 O Desenvolvimento do Currículo do CECA: Análise pelo Modelo de Tyler.....	4
2.2.1 Fase I: Formulação de Objetivos.....	5
2.2.1.1 Análise do Trabalho Realizado pelo GPC.....	6
2.2.1.2 Avaliação dos Objetivos Propostos	8
2.2.2 Fase II : Experiências de Aprendizagem.....	10
2.2.2.1 Experiências de Aprendizagem no Contexto do CECA.....	10
2.2.3 Fase III : Organização das Experiências de Aprendizagem.....	13
2.2.3.1 A Grade Curricular do CECA	14
2.3 Avaliação Educacional.....	18
2.3.1 Avaliação no Contexto do CECA.....	19
2.3.1.1 Insumos	19
2.3.1.2 Contexto.....	20
2.3.1.3 Alunos	21
2.4 Conclusão	22

Capítulo 3

O Uso de Um Laboratório Virtual como	
Material Instrucional para Experiências de Aprendizagem	23
3.1 Sobre Experiências de Aprendizagem	
em Engenharia.....	23
3.1.1 Alguns Objetivos e Critérios para o Ensino em Engenharia	23

3.1.2 O Ensino de Controle em Cursos de Engenharia.....	25
3.2 Um Breve Histórico do Computador no Ensino.....	26
3.2.1 O Computador no Ensino de Engenharia.....	28
3.3 Ensino Teórico/Prático em Controle Utilizando um Laboratório Virtual.....	29
3.4 Sistema Proposto.....	31
3.4.1 Introdução.....	31
3.4.2 Observação da Dinâmica dos Sistemas e Atuação Direta do Operador.....	32
3.4.3 Definição das Malhas de Controle, Controladores, Medidores e Atuadores.....	32
3.5 Conclusão.....	33

Capítulo 4.

Descrição dos Programas	34
4.1 Introdução.....	34
4.2 Características Técnicas Gerais.....	34
4.3 Sistemas Simulados.....	35
4.3.1 Tanque de Vazão por Gravidade.....	36
4.3.2 Trocador de Calor.....	37
4.3.3 Reator CSTR.....	39
4.4 Funções Disponíveis.....	40
4.5 Especificações para Alterações Futuras.....	44
4.6 Conclusão.....	45

Capítulo 5

Aspectos Metodológicos do Uso do Laboratório Virtual:

Relato de Experiência e Avaliação	46
5.1 Introdução.....	46
5.2 O Contexto e a Metodologia da Experiência de Aprendizagem Realizada.....	47
5.2.1 As Condições Materiais para as Experiências de Aprendizagem.....	47
5.3 As Experiências de Aprendizagem Realizadas.....	48
5.3.1 Exemplo de Experiência Realizada.....	50
5.4 Avaliação e Resultados Obtidos.....	51

5.5 Avaliação Geral.....	55
5.5.1 Aspectos Cognitivos da Utilização do Laboratório Virtual.....	55
5.5.2 A Motivação para o Uso do AVILAM.....	57
5.5.3 Organização das Experiências de Aprendizagem.....	58
5.6 Conclusão	58
Capítulo 6	
Conclusões e Perspectivas Futuras	60
Bibliografia	62
Anexo 1	
Questionário para avaliação de conteúdos	66
Anexo 2	
Roteiro p/ experiência nº 1 de laboratório	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Modelo de Educação de Tyler	4
Figura 2.2	Cadeias de pré-requisitos com as respectivas áreas de formação do currículo atual do CECA.....	17
Figura 3.1	Etapas a serem percorridas na solução de problemas dentro do enfoque da Teoria de Controle.....	30
Figura 4.1	Tanque de Vazão por Gravidade	36
Figura 4.2	Trocador de Calor.....	38
Figura 4.3	Reator com Tanque Continuamente Revolvido	40
Figura 4.4	Menus e respectivas funções disponíveis para interação com os sistemas.....	41
Figura 4.5	Tela de Definição de Controladores.....	42
Figura 4.6	Gráfico Típico do Programa AVILAM.....	43
Figura 5.1	Ítems do Questionário de Avaliação respondido em entrevista pelos alunos	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	Distribuição de cargas horárias no currículo do CECA	12
Tabela 5.1	Condições Materiais para Experiência de Uso do Laboratório Virtual.....	48
Tabela 5.2	Desempenho em provas teóricas de grupos de alunos submetidos a diferentes métodos de laboratório.	52
Tabela 5.3	Médias das respostas dos alunos ao questionário de avaliação do método empregado.	53
Tabela 5.4	Médias dos alunos sob diferentes métodos e professores de aulas teóricas.....	54

RESUMO

A recente implantação do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação na UFSC motivou o estudo de dois problemas relacionados: o desenvolvimento de currículos e a definição e organização das experiências de aprendizagem. Neste trabalho, é apresentado um estudo de caso que trata estes problemas de forma integrada, pois, sendo as experiências de aprendizagem parte do currículo, estas devem estar desde o princípio em acordo com os objetivos de formação definidos.

Para tanto, utilizou-se um enfoque conceitual de planejamento curricular que acomoda tal preocupação ao relacionar formalmente os dois aspectos. Pelo lado do planejamento do currículo, tal enfoque serviu como guia de um processo de análise avaliativa do trabalho realizado pela equipe envolvida com o planejamento do novo curso.

Pelo lado das experiências de aprendizagem, é feita uma discussão sobre os objetivos de formação desejáveis para a área de atuação do curso, até se chegar a uma proposta de utilização do computador em uma disciplina. Apresenta-se, então, a experiência realizada no âmbito do ensino de laboratório, desde a especificação do material instrucional preparado até os resultados finais após dois semestres de utilização. Como conclusão, procura-se estabelecer os limites da experiência realizada dentro do processo de implantação do currículo.

ABSTRACT

The decision to create a new undergraduate course in Control and Automation Engineering at the Federal University of Santa Catarina (UFSC) has brought up two problems: curriculum development and the definition and organization of the learning experiences. In this work, a case study which deals with these problems in an integrated fashion is presented. It is considered that the learning experiences play a major role in the curriculum, so that the formers must be planned accordingly to the goals defined for the latter.

A conceptual approach for the curriculum planning that formally relates the two aspects was used. On the one hand, this approach has guided an evaluative analysis of the work that has been made by the curriculum planning group for the new course.

On the other hand, the learning experiences are discussed in terms of the desired formation goals for the interest area of the new course. A proposal for the use of the computer in a discipline in the course is also presented. Then, the experience developed in the laboratory is described, beginning with the specification of the instructional material that was prepared for that. The results of the use of the method during two semesters are also presented. As a conclusion, the limits of the experiment within the curriculum development process are established.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

O Problema

Este trabalho está dedicado ao estudo de aspectos do currículo para um curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial. A motivação para tanto é a recente implantação deste tipo de curso na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Como não existem, a nível de Brasil, currículos em operação para esta área específica da Engenharia, devem ser estudadas formas de garantir a qualidade dos profissionais formados.

Os problemas que surgem no planejamento e implantação de um curso novo, para o qual não exista tradição, variam desde os aspectos legais (currículo mínimo, registro profissional) até às práticas pedagógicas a serem utilizadas. Obviamente, não se pretende esgotar o assunto com este trabalho, mesmo porque a própria identificação de todos os problemas é de difícil execução. Neste sentido, propõe-se que o estudo possa abranger pelo menos dois aspectos da questão curricular: (i) o planejamento em si do currículo, e (ii) as experiências de aprendizagem.

Com relação ao primeiro aspecto, o problema se apresenta da seguinte forma: como garantir que o trabalho da comissão encarregada da formulação do programa do curso traga os melhores resultados possíveis, apesar das limitações inerentes ao pequeno número de participantes¹.

Já o segundo aspecto diz respeito a um fator determinante da qualidade do currículo: as práticas de ensino correntes que constituem a parcela mais "controlável" do processo de aprendizagem. O problema central aqui é como obter-se uma qualidade uniforme (ou um nível mínimo aceitável) das experiências de aprendizagem mesmo frente à diversidade dos procedimentos de ensino adotados pelos diferentes professores.

Objetivos

O principal objetivo do trabalho descrito a seguir é situar, do ponto de vista dos dois aspectos colocados, os fatores que vão influir diretamente na qualidade do currículo do CECAL.

Especificamente em relação ao aspecto das experiências de aprendizagem, os objetivos traçados para o estudo foram: (i) desenvolver métodos para uma melhor integração entre ensino prático e teórico numa área escolhida de atuação do novo

¹Esta comissão, no caso do Curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial (CECAI) da UFSC, foi formada por representantes dos departamentos envolvidos com a criação do curso.

currículo (Teoria de Controle), e (ii) determinar o alcance e impactos do uso de computadores no ensino de Controle de Processos.

Plano de Trabalho

Claramente, os dois aspectos do objetivo acima implicam a necessidade de avaliação tanto do trabalho de planejamento curricular como das experiências de aprendizagem previstas para o novo curso. Para a primeira parte desta avaliação, utilizou-se como referencial de análise a metodologia de planejamento curricular proposta por Tyler (74). O Capítulo 2 apresenta tanto esta metodologia como a análise do trabalho realizado pelo Grupo de Planejamento Curricular do CECAI, análise esta baseada no método exposto.

Com relação às experiências de aprendizagem, optou-se pelo trabalho na forma de estudo de caso. Especificamente, foram estudados tanto o desenvolvimento de um simulador dinâmico para ensino de laboratório como sua aplicação ao longo de dois semestres em uma disciplina dos cursos de Eng^a Elétrica e Eng^a de Produção Elétrica (Servomecanismos I). Esta disciplina foi escolhida pelo fato de estar presente no currículo do novo curso. O Capítulo 3 apresenta uma discussão sobre objetivos para o ensino de Engenharia, em particular para a área em questão, bem como dá uma visão sobre o uso de microcomputadores no ensino da área. O programa desenvolvido para aplicação na experiência é descrito no Capítulo 4. No Capítulo 5 é apresentada a metodologia de uso do microcomputador na experiência, sendo então discutidos os resultados desta utilização.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as conclusões finais e perspectivas futuras para trabalhos nesta área.

CAPÍTULO 2 DESENVOLVIMENTO DE CURRÍCULO

2.1 Introdução

O estudo dos aspectos relacionados ao desenvolvimento de currículo a ser realizado neste capítulo atende a dois objetivos:

- . servir de base a uma análise do trabalho que vem sendo realizado pelo grupo de planejamento do currículo (GPC)¹ do recém-implantado curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação Industrial; e
- . situar a questão do planejamento e execução de experiências de ensino no contexto deste desenvolvimento curricular, uma vez que este assunto é o centro de atenção no restante desta dissertação.

Para lograr tais objetivos, será feita uma exposição resumida do método de desenvolvimento de currículos proposto por Tyler (74), o qual servirá de referencial teórico para o estudo. O trabalho do GPC será referenciado com cada uma das etapas do método, a medida em que estas forem sendo apresentadas. Cabe ressaltar que este trabalho tem sido conduzido desde o segundo semestre de 1989, referindo-se à atualização curricular do CECA. Esta atualização se fez necessária devido a:

- . revisão do currículo inicial, cuja parte profissionalizante havia sido planejada por um grupo reduzido de professores como forma de encaminhar a criação do curso; e
- . necessidade de adaptação à Reforma Universitária implantada na UFSC a partir do primeiro semestre de 1991.

O interesse em se proceder a uma análise do currículo em bases formais reside no fato que, diferentemente dos cursos de Engenharia tradicionais, existe pouca ou nenhuma experiência brasileira na implantação de uma proposta como esta. Em várias Universidades do país, também atentas à urgência da solução do problema de formação de recursos humanos bem qualificados para este setor cada vez mais importante nas modernas economias industriais, têm surgido habilitações específicas para áreas de controle e automação atreladas aos cursos de graduação tradicionais de Engenharia Elétrica e Mecânica (e.g., USP, UNICAMP, UFRJ). Isto implica em que a ênfase de formação se dá em aspectos orientados aos processos em si, ao contrário do que se

¹Formado por professores de departamentos relacionados com o curso em questão e com a participação do autor.

objetiva com o novo curso: a formação de um profissional de integração, com visão global da questão da automação.

2.2 O Desenvolvimento do Currículo do CECA: Análise pelo Modelo de Tyler.

Inicialmente, é preciso definir o conceito de currículo conforme concebido neste trabalho, uma vez que este tem sido usado historicamente em situações diversas, de forma a gerar sentidos também diversos. Então, currículo deverá ser entendido como o conjunto de atividades, programas e condições materiais que constituem uma certa unidade institucional de formação. Esta definição abrange, então, as condições concretas de operação de cursos como parte do currículo, ao contrário de alguns autores que empregam o termo para designar apenas o programa e as ementas das disciplinas que formam um curso.

Uma síntese das etapas do planejamento de currículo, bem como de técnicas úteis na orientação das atividades de projeto e implantação de currículo, é fornecida por Tyler (op. cit.), em um trabalho clássico datado da década 40. "Ele descreve educação como um processo no qual três focos devem ser distinguidos: objetivo educacional, experiência de aprendizagem e exame dos resultados" (Lewy, 79). A Fig. 2.1 apresenta esquematicamente o modelo.

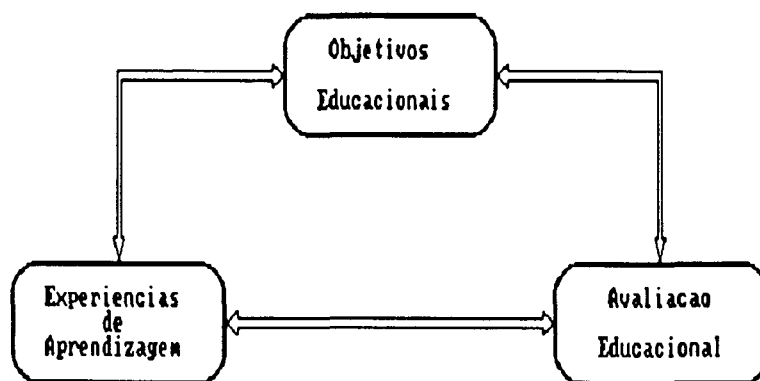


Figura 2.1 Modelo de Educação de Tyler (Lewy, 79, mod.).

As etapas do modelo de Tyler correspondem aos elementos da Fig. 2.1, na medida em que ele vê o desenvolvimento curricular como consistindo, respectivamente, na definição dos objetivos de formação, no planejamento e organização das experiências de aprendizagem e no exame dos resultados, ou avaliação, o qual busca determinar se os objetivos propostos foram ou não alcançados. Cada um destes elementos será discutido detalhadamente nas seções seguintes.

Apesar de antigo, este modelo pode fornecer as linhas mestras para o planejamento de currículo, pois a noção de desenvolvimento de programa subjacente ao método permanece intacta apesar das atualizações que concepções mais modernas têm proposto [ver, por exemplo, Lewy (79), pp.15-24].

Um detalhamento do método é exposto a seguir para guiar a discussão sobre o currículo do CECA. Note-se, ainda, que esta explanação está adaptada para o desenvolvimento de um currículo de formação superior, a partir do modelo geral. Isto implica na simplificação de determinados questões que se tornam controversas quando se utiliza o método para planejamento de currículos de 1º e 2º graus (questões como, p.ex., a definição das "necessidades" dos alunos para que se "integrem" à vida social). Ainda assim, serão feitos comentários com relação às críticas que têm sido feitas ao método, nas respectivas seções apresentadas a seguir.

2.2.1 Fase I: Formulação de Objetivos

Os objetivos de formação constituem um dos tripés do modelo. Estes são expressos em diversos níveis, pois incluem desde os objetivos gerais (em termos do perfil para o profissional que se deseja formar) até os específicos de cada curso ou unidade. Para Tyler, os objetivos são bidimensionais, ou seja, a formulação destes deve ser feita respeitando-se duas componentes: (i) o conteúdo e (ii) o tipo de comportamento. P. ex., poderia-se formular dois objetivos diferentes sobre um mesmo conteúdo, como, no caso do ensino de Física:

1. Aplicar as equações do movimento retilíneo uniforme na solução de problemas;
2. Deduzir e interpretar as equações do movimento retilíneo uniforme.

Segundo o modelo, os objetivos são definidos e formulados com base na consulta a três fontes:

- i. as necessidades dos alunos;
- ii. a vida contemporânea fora da escola;
- iii. especialistas nas disciplinas.

Normalmente, o número de sugestões para a composição dos objetivos é maior do que o curso poderia implantar, além de estarem desorganizadas e até serem conflitantes entre si. O trabalho de seleção e organização destas sugestões é feito de forma a acomodá-las e compatibilizá-las ao quadro mais amplo no qual se insere o sistema de educação formal. Esta seleção deve se apoiar nos seguintes critérios:

- . filosofia geral do curso;
- . capacidade de aprendizado dos alunos;
- . condições humanas e materiais para o ensino;

- . limites de tempo, leis, regulamentos etc.

Kliebard (70) demonstra as inconsistências inerentes ao modelo, principalmente no que se refere ao papel dos especialistas. Segundo ele, tal fonte não poderia fornecer senão sugestões em termos de conteúdo, jamais objetivos de formação conforme o conceito de Tyler. Também, argumenta que, afinal, o trabalho de seleção e organização dos objetivos feito com base nos critérios acima não se apóia em nenhum método particular, estando à mercê dos julgamentos dos responsáveis pela elaboração do currículo.

Entretanto, no caso específico dos cursos de formação superior, particularmente naqueles relacionados às áreas de tecnologia (Engenharias, Computação), tais críticas não têm a mesma força, pois os objetivos da formação estão bem mais definidos do que em cursos para crianças. Os especialistas, como se verá adiante, atuam como profissionais que, com seu conhecimento sobre o estado atual das respectivas áreas, podem definir com razoável precisão qual o tipo de conhecimento e quais as respectivas atitudes um engenheiro deve dominar. Já os critérios de seleção dos objetivos devem ser tais que permitam escolher aqueles que coadunem com o perfil do profissional, o qual pode ser estabelecido com precisão muito maior do que o "perfil" desejado para um recém-graduado no 1º grau, por exemplo.

Para estas áreas, vários trabalhos tem sido publicados com sugestões de objetivos e conteúdos para composição de currículos, em função da necessidade de atualização dos currículos de formação face ao rápido avanço tecnológico observado. A UNESCO (84), p. ex., apoiou um trabalho para a compilação de um modelo de currículo para cursos de computação em países do terceiro mundo; vários autores, tanto do Brasil como do exterior, têm publicado suas experiências no tocante composição de currículos nestas áreas (Baldwin 79; Capper 86; Melkanoff 87; Kerns 89).

2.2.1.1 Análise do Trabalho Realizado pelo GPC

A definição dos objetivos de formação no caso do CECA foi realizada de maneira não-documentada, isto é, não houve a preocupação em definir exatamente as fontes consultadas. Em Bruciapaglia (90), é apresentada uma síntese dos objetivos do curso, sendo que este artigo baseia a discussão que segue.

Apesar de não explicitadas nos documentos que tratam da criação do curso, algumas das fontes de sugestões para os objetivos do curso foram:

- . Pelo lado das necessidades dos alunos, alguns objetivos foram colhidos através da experiência com as matérias de formação geral e humanística dos cursos de engenharia da UFSC.

- . Pelo lado do mercado de trabalho (relacionado à "vida contemporânea fora da escola" do método de Tyler), a necessidade que se tem de um profissional com formação alternativa às tradicionais em Engenharia pode ser sentida através de:
 - i. perfil dos novos engenheiros requeridos pelas empresas locais e nacionais que atuam na área de Controle & Automação, e depoimentos de empresários em encontros setoriais;
 - ii. periódicos e publicações relacionados à área. Um excelente sumário da situação neste campo é o "Relatório nº 29" da Secretaria Especial de Informática (SEI) (SEI, 88).
 - iii. Pelo lado dos especialistas nas áreas de Controle & Automação, tanto da UFSC como fora dela, a maioria das sugestões teve como origem dois pontos principais:
 - * as experiências destes especialistas na convivência com cursos semelhantes em outros países, principalmente França e Alemanha.
 - * as posições de cada um deles com relação à contribuição de sua área específica na formação global do estudante.

Com base nestas fontes, constatou-se que os objetivos mais gerais relacionados com a atuação do profissional no mercado de trabalho deveriam ser (Bruciapaglia, op. cit.):

- . participação na concepção e na instalação de unidades de produção automatizadas;
- . automatização completa de unidades de produção em operação;
- . otimização do funcionamento e manutenção de unidades de produção já automatizadas;
- . concepção e fabricação em unidades de produção automatizadas;
- . capacidade de uma rápida adaptação ao ambiente industrial;
- . abertura para a pesquisa e desenvolvimento em Controle e Automação Industrial.

Também, com base nesta lista, depreende-se que o principal objetivo para o curso, ou ainda, a orientação mestra para a composição do currículo, é a formação de um engenheiro de integração: "Em suma, pela sua ação integradora, este profissional poderá ser considerado como um Engenheiro de Sistemas orientado para a concepção, a implementação, o uso e a manutenção de sistemas industriais automatizados, diferenciando-se assim do engenheiro de sistemas orientado para o planejamento e dos engenheiros de processo e de fabricação (mecânico, elétrico, químico, etc.)." (ibid.).

Em termos dos conteúdos a serem dominados e seu nível de extensão, os objetivos de formação que foram definidos para atender ao perfil descrito acima são:

- . conhecimentos gerais de eletricidade e mecânica (a nível de instrumentação eletrônica e mecânica e de acionamentos elétricos, mecânicos e hidráulicos);
- . conhecimentos aprofundados em controle, informática industrial e automação da manufatura, destacando-se em particular:
 - * em controle: modelagem, análise, projeto e síntese de sistemas realimentados; abordagens clássicas e modernas de controle; uso de técnicas de otimização;
 - * em informática industrial: modelagem, especificação, concepção de software e de sistemas informáticos; software tempo real; sistemas informáticos distribuídos, redes de computadores, inteligência artificial aplicada;
 - * em automação da manufatura: automação integrada (CIM), aspectos de planejamento da produção automatizada (CAP) e do planejamento de processos (CAPP), comando numérico, robótica, projeto e fabricação (CAD/CAM), e aspectos do controle de qualidade (CAQ);
 - * preparo no uso de técnicas de análise, simulação, projeto, fabricação e controle de qualidade assistidos por computador;
 - * fundamentos básicos de economia, direito, gestão e segurança.

Esta lista de objetivos iniciais fundamentou a definição do elenco de matérias e, posteriormente, das disciplinas do currículo do novo curso, a serem discutidos nas seções seguintes.

2.2.1.2 Avaliação dos Objetivos Propostos

Duas técnicas de documentação e avaliação das sugestões obtidas foram experimentadas em escala piloto. O uso destas foi motivado pela necessidade de registrar aquelas sugestões mais "voláteis", isto é, formuladas oralmente em encontros e reuniões setoriais. A "escala piloto" foi a forma encontrada para avaliar o retorno que se poderia esperar no uso de tais técnicas.

A primeira consiste de entrevistas com pessoas atuantes em Controle e Automação, escolhidas pelo destaque pessoal ou da instituição para a qual trabalham. Os locais visitados foram, entre outros, empresas como Metal Leve Controles Eletrônicos, Arthur Andersen, EMBRAER e instituições com CERTI, ITA e UNESP. O relato completo destes encontros, bem como entrevistas selecionadas, estão registradas em nota interna, no Laboratório de Controle e Microinformática (LCMI) (Kraus, 91a).

Apesar de trazerem opiniões bastante úteis, as entrevistas mostraram dois problemas: o custo de operacionalização, tanto econômico quanto de tempo, e a dificuldade de sistematização das opiniões. A conclusão é de que, ao invés de entrevistas individuais, o mais adequado seria a promoção de seminários de discussão curricular envolvendo um número expressivo de pessoas, otimizando os custos¹. Como síntese das entrevistas, percebe-se que a preocupação de atualização dos cursos de formação em Engenharia tem levado a soluções que apontam na direção de um compromisso entre a necessidade de novos currículos e as restrições impostas pela ordem legal e institucional em vigor (currículos da Mecatrônica, Cursos de Elétrica da USP e UNICAMP). Estas últimas se manifestam principalmente através do currículo mínimo definido pelo Conselho Federal de Educação (CFE, 76) e pela atuação dos CREA/CONFEA no reconhecimento do profissional formado. Neste sentido, a postura tomada no planejamento do currículo do CECA se apresenta como uma solução inédita, na medida em que não está centrada a priori em nenhum currículo mínimo.

A segunda técnica é baseada num trabalho de avaliação de currículo na área de microeletrônica realizado nos Estados Unidos (Kerns, 89). Uma relação dos conteúdos de formação (ver Apêndice 1) foi enviada para várias pessoas, separadas em três estratos: indústria, escolas, e pesquisadores. Solicitou-se que, ao lado de cada ítem, fosse atribuído um nível de importância de 0 a 10 no contexto da formação em Controle e Automação Industrial. O retorno dos questionários foi muito baixo, menor que 5% dos enviados; além disso, as respostas não mostravam discernimento suficiente dos tópicos listados, sendo freqüentemente atribuídos níveis muito semelhantes para todos os ítems. Devido a este resultado, abandonou-se tal técnica para avaliação dos objetivos, podendo-se ponderar que algumas causas deste fracasso se localizam em:

- . estado incipiente das associações e sociedades de âmbito nacional na área. No trabalho de Kerns (ibid.), tais associações tiveram papel importante na divulgação e incentivo às respostas dos questionários enviados;
- . pouco amadurecimento das discussões sobre formação de profissionais no Brasil, envolvendo setores interessados como a indústria, as universidades, e mesmo os centros de pesquisa.

De qualquer forma, apesar do grupo relativamente pequeno de pessoas envolvidas no planejamento, a formulação dos objetivos está embasada numa necessidade concreta do mercado pelos "produtos" do novo currículo. Esta tem sido manifestada em várias ocasiões

¹A experiência da Universidade Estadual Paulista (UNESP) com este método foi descrita pela Prof^a Maria Helena Peterossi, coordenadora da implantação do curso de Tecnólogo em Instrumentação e Controle na Faculdade de São Caetano do Sul, vinculada à UNESP (Kraus, 91a).

e documentos, inclusive com depoimentos favoráveis à criação de novas modalidades em Engenharia, com a revisão do atual legislação de currículos mínimos (SEI, 88; CREA, 91).

2.2.2 Fase II : Experiências de Aprendizagem

As experiências de aprendizagem formam outra componente do "tripé" do modelo de Tyler. Ele as define como "a interação entre o aluno e as condições exteriores do ambiente a que ele pode reagir". Desta definição, depreende-se que se deve direcionar as atividades do estudante para que os produtos de sua interação com o meio estejam de acordo com os objetivos do ensino.

No modelo, são propostos cinco princípios gerais para guiar a seleção das experiências de aprendizagem:

1. Para atingir um objetivo, o estudante deve praticar tanto os conteúdos como o tipo de comportamento implicados pelo objetivo.
2. A experiência de aprendizagem deve ser tal que o aluno sinta satisfação em seguir a espécie de comportamento implicada.
3. As reações as quais se têm em vista devem estar no âmbito de possibilidades dos estudantes.
4. Existem muitas experiências diferentes suscetíveis de serem utilizadas para atingir-se os mesmos objetivos.
5. A experiência de aprendizagem produzirá diversos resultados, tanto no mesmo aluno como entre os diferentes alunos.

O papel das experiências de aprendizagem no modelo mostra duas coisas:

1. A descrição sem ambiguidades dos objetivos de formação é indispensável para possibilitar o planejamento. Como fica claro agora, não basta mencionar conteúdos, é preciso explicitar os comportamentos para que se possa definir as atividades que tentarão cumprí-los;
2. Não existe uma melhor forma a priori para o ensino. As diversas maneiras e atividades do ensino dependem do que se pretende alcançar. Deve-se partir dos objetivos para então definir métodos, e não o contrário, isto é, partir de um método "consagrado" (o qual, na nossa realidade, tem sido o expositivo) e então definir quais são os resultados possíveis.

2.2.2.1 Experiências de Aprendizagem no Contexto do CECA

Nesta seção, serão discutidas apenas as orientações que diferenciam o desenvolvimento do currículo do CECA da utilização irrestrita de aulas expositivas.

As preocupações iniciais do planejamento do currículo incluíam a necessidade de diminuição da ênfase naquele tipo de experiência de aprendizagem: "vencer a formação livresca, característica de muitos cursos de Engenharia no Brasil, propiciando uma forte ligação do estudante com a realidade prática" (Bruciapaglia, 90; p. 208).

As experiências de aprendizagem planejadas para atingir este critério foram:

- i. utilização expressiva de aulas de laboratório, cuja distribuição é apresentada no Quadro 2.1;
- ii. instituição de uma grande carga horária de estágios, em torno de 600 horas, a serem completadas num período de dois a três anos em laboratórios da UFSC e empresas da região;
- iii. inclusão de disciplinas dedicadas ao estudo de casos de problemas reais;
- iv. inclusão do Projeto de Fim de Curso, ao qual o aluno estará exclusivamente dedicado durante o último semestre, sob a supervisão de um professor-orientador.

O Projeto de Fim de Curso representa também um passo na direção da consecução do objetivo de formar um engenheiro com visão integradora. Esta atividade, além de reforçar as atitudes desejáveis em termos de contato com a prática da profissão, serve ao propósito de permitir ao aluno uma síntese dos conhecimentos adquiridos ao longo de sua formação. Uma ênfase semelhante é descrita por Cory (81), que reforça o papel dos estágios em indústrias como componente na formação de engenheiros no Imperial College, Universidade de Londres. Ver também, a este respeito, Astrom (91), onde a formação de engenheiros na Suécia é contrastada com a filosofia de ensino nos Estados Unidos.

Ainda com relação ao Projeto de Fim de Curso, cabe salientar a importância deste com relação à prática docente, a qual estará sendo constantemente solicitada à uma atualização nos tópicos da área de Controle e Automação, cuja dinâmica é acelerada.

Do ponto de vista da formação geral do estudante, instituiu-se um espaço para palestras e discussões com a participação de palestrantes da comunidade, viabilizado na disciplina de Estudos de Problemas Brasileiros.

Finalmente, a utilização do computador como meio de aprendizagem também tem sido planejada. Isto porque "nesta área, o computador é instrumento fundamental (...) nas funções a serem exercidas na vida profissional [do aluno]" (Bruciapaglia, op. cit.). Esta preocupação motivou o trabalho de desenvolvimento e aplicação de um ambiente de ensino baseado em computador, com o objetivo de:

- i. criar condições para uma melhor organização dos elementos do currículo, em termos de continuidade, seqüência e integração (ver seção seguinte); e
- ii. fornecer um meio alternativo às aulas expositivas tradicionais em matérias de fundo teórico.

Disciplinas	Fase	Nº Horas Total	Nº Horas Laborat.
ELETRICIDADE/ELETRÔNICA			
Circuitos Elétricos	4a.	108	36
Eletrônica Digital	4a.	90	36
Metrologia	7A.	72	-
Eletrônica	5a.	108	54
Princípios de Comunicação	6a.	36	-
Eletricidade Industrial	5a.	36	-
<i>Intr. Proj. Circ. Integr.</i>	-	54	1
	Total:	450	126
INFORMÁTICA			
Introdução à Informática	1a.	90	36
Estruturas de Dados	2a.	54	-
Cálculo Numérico p/ Eng ^a Elétrica	3a.	72	-
Microprocessadores e Microcomputadores	5a.	90	36
Sistemas Comput. p/ Contr. e Automação	5a.	36	-
Informática Industrial I	6a.	72	18
Informática Industrial II	7a.	54	18
Metodologias e Técnicas de Desenvolvimento de Sistemas e Programas	6a.	36	-
Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores	8a.	90	36
Inteligência Artificial Aplicada ao Controle e Automação	9a.	72	36
Fundamentos de Sistemas de Bancos de Dados	8a.	36	-
<i>Tópicos Especiais em Informática Industrial</i>	-	54	-
	Total:	702	180
CONTROLE			
Sinais e Sistemas Lineares	5a.	108	18
Sistemas Realimentados	6a.	108	18
Instrumentação p/ Controle e Automação	8a.	72	-
Acionamentos Elétricos p/ Automação	6a.	54	18
Controle Multivariável	8a.	72	18
Acionamentos Hidráulicos e Pneumáticos para Controle e Automação	7a.	54	18
Processos em Engenharia	5a.	54	18
<i>Controle Estocástico e Ótimo</i>	-	54	-
<i>Tópicos Especiais em Controle</i>	-	54	-
	Total:	522	108
AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA			
Processo de Fabricação Metal-Mecânica	6a.	72	-
Sistema de Comando Numérico	7a.	54	-
Programação de Sistemas Automatizados	8a.	54	-
<i>Dispositivo de Manipulação: Robótica</i>	-	54	-
<i>Intr. ao Proj. e Fabric. Assist. por Comp.</i>	-	54	-
<i>Tópicos Especiais em Automação da Manufatura</i>	-	54	-
	Total:	180	-
SISTEMAS DE PRODUÇÃO			
Pesquisa Operacional II	6a.	54	-
Elementos da Eng ^a de Produto	7a.	54	-
Sistema Integrado de Manufatura	9a.	90	-
Planejamento do Processo	8a.	54	-
Gerência da Produção	7a.	72	-
Modelagem e Avaliação de Desempenho	9a.	72	-
	Total:	396	-
	TOTAL:	2412	414

Quadro 2.1 Distribuição de cargas horárias no currículo do CECA

¹Itálico indica disciplina optativa, a qual não será computada como carga horária da respectiva área.

Tal trabalho, discutido a partir do Capítulo 3 desta dissertação, mostra como se pode construir e utilizar meios de ensino que busquem tornar mais eficiente o processo de aprendizagem.

2.2.3 Fase III : Organização das Experiências de Aprendizagem

A organização das experiências de aprendizagem se distingue claramente da definição destas experiências, segundo o modelo de Tyler. Três critérios fundamentais devem guiar esta organização: continuidade, seqüência e integração.

Por continuidade entende-se a reiteração "vertical" dos elementos principais do currículo, i.e., a repetição de certos conteúdos e práticas ao longo dos anos para a fixação destes.

A seqüência se relaciona com a continuidade, mas vai além: é preciso aprofundar os elementos revistos, revelando novos conceitos e relacionando-os à medida que os elementos reaparecem para estudo. Ela reforça a importância de fazer com que cada experiência sucessiva parta da anterior, mas penetrando mais ampla e profundamente nos assuntos envolvidos.

A integração refere-se à relação horizontal das experiências curriculares, i.e., os elementos diversos abrangidos contemporaneamente devem estar integrados entre si para que o estudante tenha uma visão cada vez mais unificada destes.

A composição dos elementos do currículo, respeitados os critérios acima, é feita em vários níveis: desde a definição mais geral de uma área temática ou matéria (manufatura, informática industrial, p. ex.) até a preparação de temas específicos para uma ou duas aulas, passando pela definição das disciplinas e suas respectivas unidades.

Em se tratando de cursos superiores no Brasil, a adoção do modelo universitário norte-americano organizado em Departamentos de Ensino e com sistema de créditos praticamente define as condições sob as quais se pode organizar o currículo. Basicamente, define-se um elenco de disciplinas e a respectiva cadeia de pré-requisitos, criando-se a assim chamada grade curricular. Esta solução utiliza implicitamente fatores como:

- i. estrutura matricial das Universidades;
- ii. a tradição que as disciplinas representam na organização dos conteúdos, implicando em disponibilidade de material didático já programado para "cursos" de duração semestral;
- iii. separação entre básico e profissionalizante, nas áreas de Engenharia. Para uma discussão mais detalhada das consequências desta separação, ver Conforti (85).

Cada um destes fatores implica em algumas falhas na organização das experiências de aprendizagem, como por exemplo:

- i. Conflitos entre conteúdos de disciplinas distintas¹;
- ii. na prática, uma vez definidas, as disciplinas passam a ser território estanque, com uma vinculação fraca com o todo curricular, na medida em que não existe a integração do conteúdo ministrado com os demais elementos do currículo;
- iii. em termos mais amplos do que no ítem anterior, e no caso específico das Engenharias, o Ciclo Básico separa-se do Ciclo Profissionalizante de maneira total, isto é, tanto no tempo como nos conteúdos.

Na solução destes problemas, o papel das instâncias reguladoras do funcionamento dos cursos (colegiados de curso, conselhos universitários, câmaras de ensino) como agentes da harmonização das diversas disciplinas não tem surtido o efeito pretendido devido à autonomia dos departamentos de ensino que oferecem as disciplinas.

As conseqüências destes problemas na organização do currículo do CECA serão discutidas na seção de avaliação, juntamente com sugestões sobre formas de ultrapassar as deficiências deste esquema que, na prática, não pode ser completamente abandonado.

2.2.3.1 A Grade Curricular do CECA

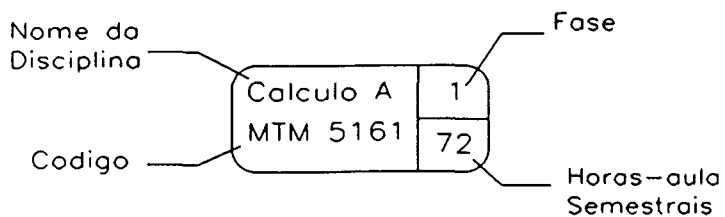
Em sua forma atual, o currículo do curso tem a estrutura apresentada na Figura 2.2, que mostra as cadeias de pré-requisitos que constituem as áreas de formação do currículo. O detalhamento das ementas das disciplinas está disponível junto à coordenação do curso (CECA, 90). A organização das experiências de ensino está de acordo com as orientações da reforma acadêmica da UFSC, sendo que nenhum semestre letivo ultrapassa as 25 horas/aula semanais fixadas naquela reforma.

A Figura 2.2 acrescenta, em relação ao quadro 2.1, as cadeias de pré-requisitos para as disciplinas do curso. Além disso, são apresentadas também as disciplinas correspondentes ao ciclo básico (com as respectivas cadeias de pré-requisitos) e aquelas de formação geral. As áreas de formação nas quais foram agrupadas as disciplinas são:

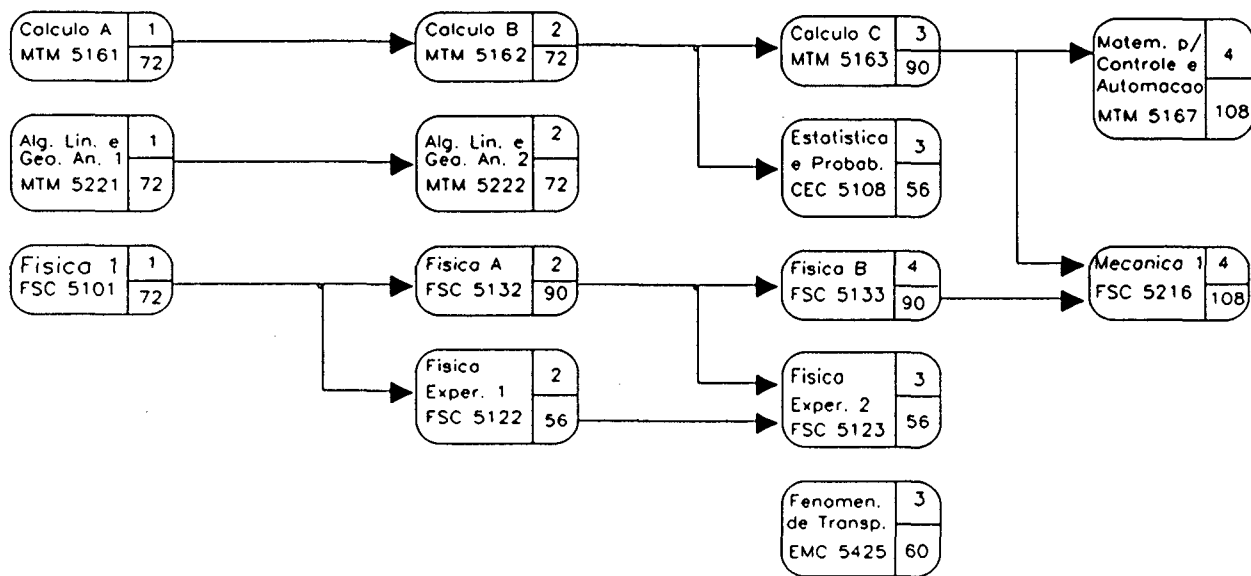
- (a) Física e Matemática
- (b) Formação Geral
- (c) Eletricidade e Eletrônica
- (d) Sistemas de Controle
- (d) Automação da Manufatura
- (e) Sistemas de Produção
- (f) Informática (Geral e Industrial)

A simbologia dos retângulos utilizados é explicada pela figura abaixo:

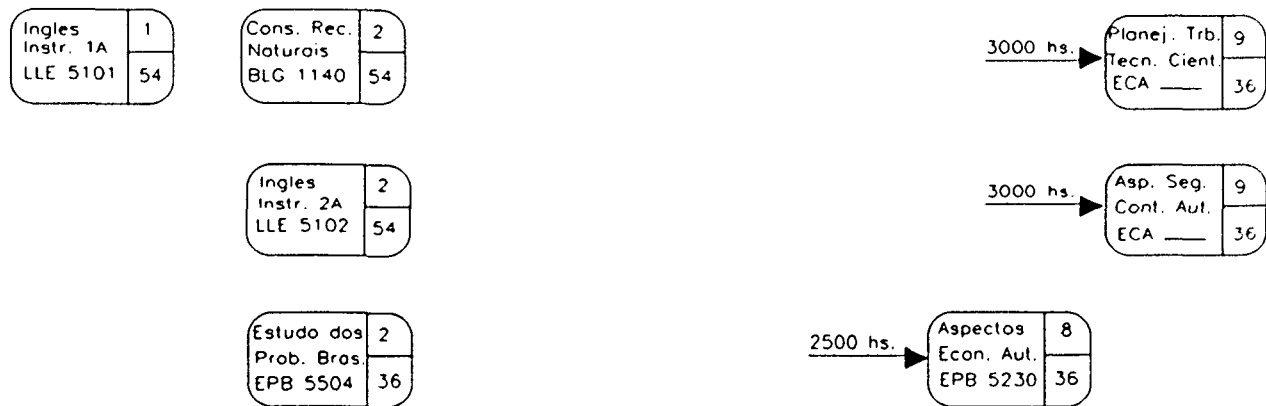
¹O caso clássico é o impasse entre as disciplinas introdutórias de Física e Cálculo, na medida em que conceitos da segunda são necessários à primeira antes de serem estudados.



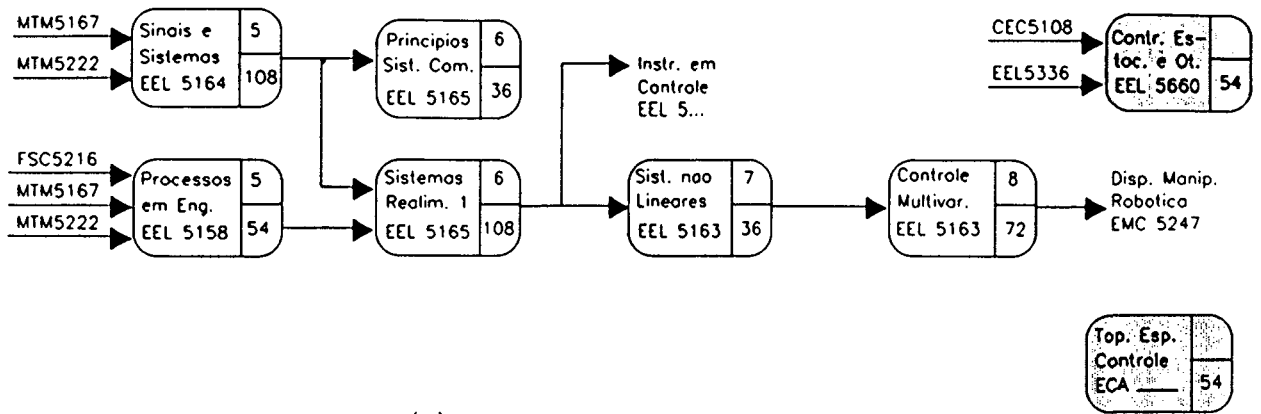
Legenda



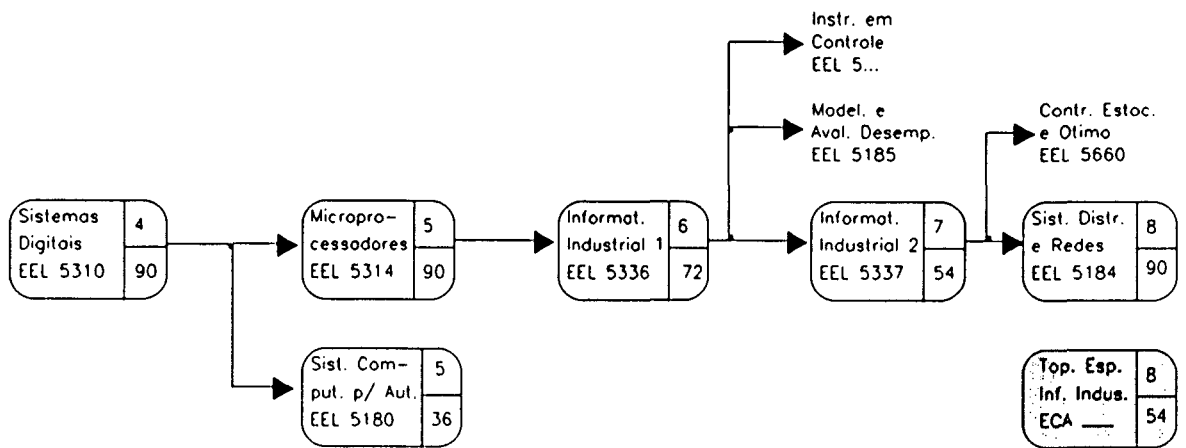
(a) Fisica e Matematica



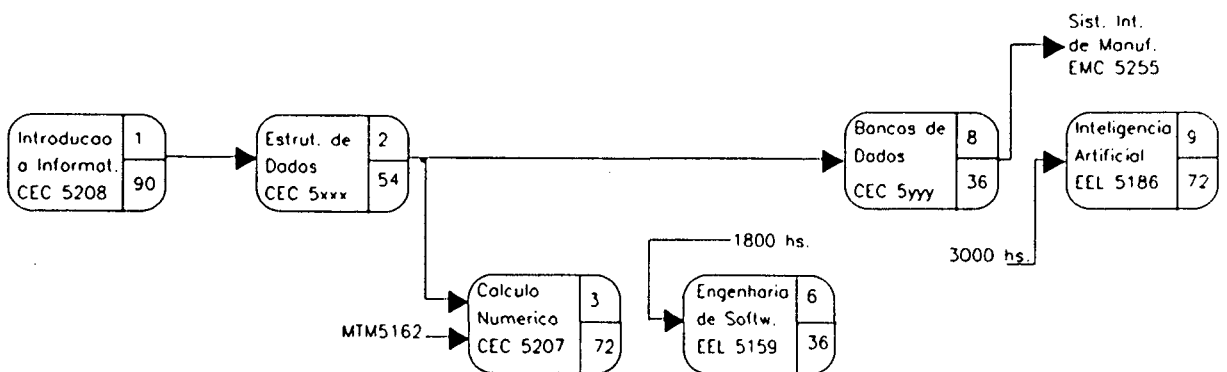
(b) Formacao Geral



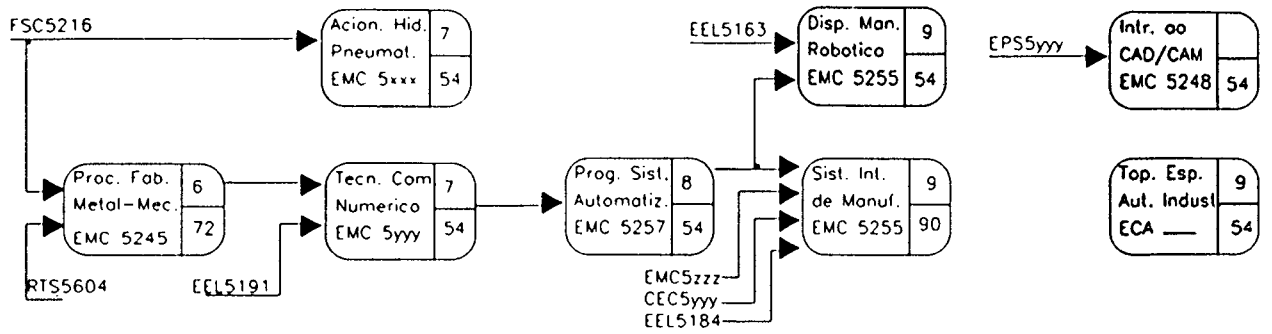
(c) Sistemas de Controle



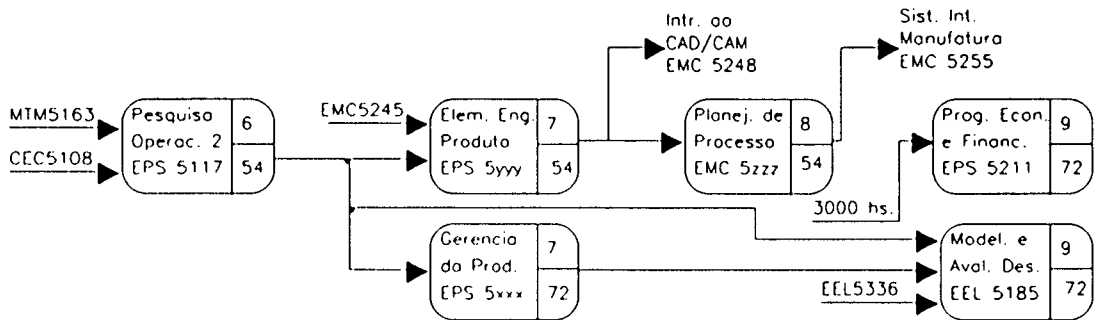
(d) Informatica Industrial



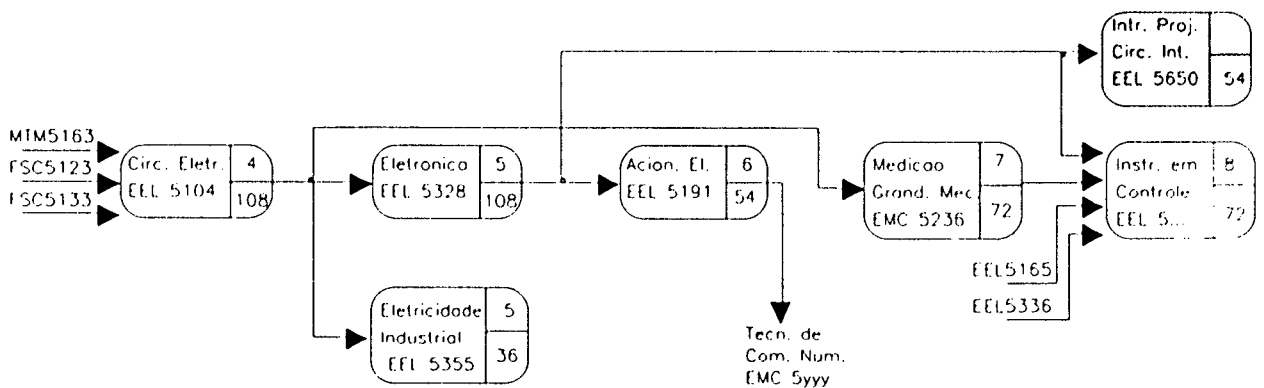
(e) Informatica Geral



(f) Processos de Fabricacao



(g) Gerencia da Producao



(h) Eletricidade e Eletronica

Figura 2.2

Cadeias de pré-requisitos com as respectivas áreas de formação do currículo atual do CECA.

Como a Figura anterior deixa claro, os elementos do currículo estão organizados em disciplinas, formando cadeias de pré-requisitos que se estendem até a 9ª fase. Com isto, existem poucas disciplinas¹ que não são, formalmente, pré-requisitos das seguintes. A organização nestes moldes leva o sistema próximo da constituição de blocos de disciplinas, dentro do qual a aprovação em todas as componentes é altamente recomendada para a continuação regular do curso. A 10ª e última fase é reservada ao projeto de fim de curso, cujo papel foi discutido anteriormente. Também, pode-se perceber a interpenetração de disciplinas do ciclo básico tradicional (que inclui as áreas de Física e Matemática, e Formação Geral) com as profissionalizantes, a partir da 4ª fase, tendência esta presente nas reformas curriculares em geral que têm sido propostas para cursos de Engenharia.

Entretanto, a organização das disciplinas por si só não garante sucesso do ponto de vista dos três critérios (integração, continuidade e sequência) colocados no modelo. Estes serão atingidos apenas se o processo de desenvolvimento e operacionalização do currículo estiver sendo continuamente avaliado, conforme será discutido na seção seguinte.

2.3 Avaliação Educacional

Avaliação no contexto que segue tem um significado mais amplo do que o termo normalmente carrega em ambientes escolares. Nestes, costuma-se identificar a avaliação com aferição e tabulação do desempenho dos alunos, sem preocupação formal com as condicionantes deste desempenho. Diferentemente, tratar-se-á o problema sob o prisma da avaliação do currículo como um todo, ainda que o principal método inclua a observação dos alunos.

Para Tyler, avaliar consiste em determinar o grau em que os objetivos do ensino estão sendo atingidos. Esta visão está de acordo com seu método, o qual insiste na definição dos objetivos como primeiro passo do desenvolvimento de currículos. Fica clara, a partir desta definição, a importância de uma descrição sem ambiguidades dos objetivos para que se possa avaliá-los. Entretanto, esta visão tem sido criticada como muito restritiva (Scriven, 76), na medida em que não fornece elementos para avaliação dos objetivos em si; tampouco existe a preocupação em se avaliar resultados laterais não considerados de início como objetivos, mas que fatalmente ocorrem por força da dinâmica do processo de desenvolvimento do currículo.

Outros autores (Lewy, 79; Stufflebeam, 76) têm discutido as questões ligadas à avaliação de currículos com uma abordagem um tanto teórica, e com referência a

¹Princípios de Sistemas de Comunicação, Cálculo Numérico.

instrumentos¹ e técnicas de avaliação que dificilmente seriam operacionais na realidade do CECA. Portanto, o enfoque utilizado nesta seção é pragmático: em função das peculiaridades do tema "avaliação" em nossa realidade, serão discutidos diversos pontos no sentido de se contribuir para a implantação de uma rotina de avaliação do programa, sem referência específica a uma ou outra orientação teórica.

2.3.1 Avaliação no Contexto do CECA

Inicialmente, deve-se distinguir quais são os elementos que podem fornecer dados para a avaliação do currículo. Neste trabalho, dar-se-á atenção a:

- i. insumos (infra-estrutura, corpo docente);
- ii. contexto (conjuntura do mercado de trabalho);
- iii. alunos (ao mesmo tempo insumo e produto do sistema de ensino).

O primeiro passo para implantação de uma rotina de avaliação é a definição da equipe encarregada de formular os instrumentos, definir técnicas de aplicação e apresentar os resultados para uso em tomadas de decisão. Autores como Scriven (op. cit.) recomendam a contratação de avaliadores externos para garantir a objetividade do processo, porém esta solução é muito onerosa para a realidade que estamos lidando. No caso do CECA, a equipe de avaliação poderia ser constituída por membros do colegiado de curso, além de representantes de entidades interessadas (ligadas à indústria, às entidades de classe, etc).

O restante desta seção é dedicado à formulação de sugestões para os procedimentos referentes a cada elemento de avaliação do programa citado anteriormente.

2.3.1.1 Insumos

A infra-estrutura afeta todo o funcionamento do curso. O sentido de se proceder a uma avaliação neste particular é claro quando se apresenta a necessidade de decisões referentes à ampliação ou mudança na abrangência do curso (novas disciplinas, maior número de vagas, etc). Como o currículo do CECA foi projetado com um número expressivo de atividades práticas, as quais demandam ambientes especiais tais como laboratórios, a atenção a este ítem é fundamental naquele caso de tomada de decisão. A abrangência deve se estender também à oferta de estágios em indústrias locais, uma vez que esta componente está presente de forma marcante no currículo, bem como ao número

¹Instrumentos de avaliação são aqueles que permitem a obtenção, organização e apresentação dos dados referentes à avaliação. As características básicas para um bom instrumento de avaliação são a objetividade, a fidedignidade e a validade (Tyler, 74).

de professores e respectivas cargas horárias. Os resultados desta avaliação são de uso muito difícil, pois podem indicar a necessidade de revisão de alguns objetivos iniciais por deficiência de estrutura operacional.

O corpo docente também se enquadra na categoria de insumo. Claramente, a qualidade da formação dos estudantes está intimamente associada à qualidade do trabalho docente. Tanto mais no caso do CECA, cujo currículo tem sido pensado para operar em um esquema de integração, continuidade e sequência das experiências de aprendizagem. A rigor, uma avaliação de tais critérios poderia indicar certas deficiências no trabalho docente, mesmo indiretamente. Porém, é preciso que sejam supridos instrumentos de avaliação direta do docente. Entre estes, podem ser citados:

- i. Conselhos de classe: as reuniões do grupo de professores é um espaço no qual as deficiências dos alunos podem ser discutidas com respeito à qualidade do processo de formação, incluindo-se aí as falhas dos professores.
- ii. Escala de critérios: alguns critérios podem ser elegidos para composição de uma escala cuja função seria a de atribuir uma figura de mérito ao trabalho de cada docente. Scriven (op. cit.) apresenta uma tal escala, mas propondo a solução de um problema de avaliação mais geral. No caso particular em questão, alguns destes critérios poderiam ser eventualmente pesquisados junto aos alunos, enquanto outros poderiam incluir produtividade em termos de orientação de projetos de fim de curso e estágios. É importante notar que o peso dado a cada critério vai depender da orientação geral que os avaliadores utilizem na construção da escala.

2.3.1.2 Contexto

Um ponto a se avaliar com respeito ao programa é a sua adequação ao mercado de trabalho. O instrumento para tal avaliação é a consulta direta às indústrias e sociedades de classe (SOBRACON - Sociedade Brasileira de Comando Numérico, SBA - Sociedade Brasileira de Automática, ABCPAI - Associação Brasileira de Controle de Processos e Automação Industrial, etc) e indireta, através do envio periódico de questionários contendo pontos sobre os objetivos e práticas de formação para o currículo. Ainda, a receptividade do mercado de trabalho aos profissionais recém-formados certamente fornecerá continuamente elementos de julgamento da qualidade da formação provida pelo curso.

2.3.1.3 Alunos

Os alunos podem ser vistos tanto como insumos (numa associação às qualidades que trazem consigo de antemão ao processo de formação) como produtos (com relação às qualidades que carregam após o processo). Tradicionalmente, os alunos têm sido os alvos mais freqüentes, senão únicos, da avaliação. Ainda assim, o tipo de avaliação feita não permite extrair conclusões sobre tópicos mais gerais, tais como a qualidade das experiências de aprendizagem, a qualidade dos programas, etc, não servindo aos propósitos da avaliação que se discute aqui. Neste trabalho, colocar os estudantes como uma categoria a parte não significa que se pretende avaliá-la enquanto tal. Apenas que, dada a posição destes como "produtos" do currículo, podem fornecer dados importantes para vários tipos de avaliação. Assim, tornam-se alvos preferenciais para a aplicação de instrumentos de avaliação que serão discutidos a seguir.

Algumas considerações sobre o uso de instrumentos de avaliação podem ser feitas no sentido de melhor aproveitar o papel dos alunos no contexto de um programa de avaliação mais amplo. Entre tais instrumentos, destacam-se:

- i. Testes escritos: a elaboração de testes por um grupo de professores que ministram matérias afins poderia se prestar a: (i) avaliar em que medida a integração das disciplinas está ocorrendo, via inclusão de conteúdos "cruzados"; (ii) comparar o desempenho de diferentes turmas sob diferentes professores; (iii) determinar o nível de retenção dos conteúdos de matérias anteriores, através da inclusão destes. Além disso, a aplicação de pré-testes ao início de cada semestre, com conteúdos dos pré-requisitos respectivos, ajudaria a detectar falhas tanto nos programas como em metodologias de ensino anteriores, determinando as possibilidades de efetivo cumprimento dos critérios de seqüência e continuidade.
- ii. Conselhos de classe: o papel que os conselhos de classe normalmente desempenham diz respeito à avaliação do aluno para o estabelecimento de méritos. Entretanto, esta instância pode ajudar a detectar certas deficiências no programa e nos métodos na medida em que a avaliação passaria a considerar o conjunto das disciplinas de um período letivo, permitindo assim comparações globais de desempenho do grupo de alunos nas diversas disciplinas.

Além destes, a avaliação somativa a ser realizada ao final da formação pode utilizar dois instrumentos: (i) o projeto de fim de curso, o qual fornecerá elementos para um julgamento não apenas dos méritos de cada aluno, mas do alcance da formação que se manifesta na qualidade global dos trabalhos; (ii) a longo prazo, o desempenho dos profissionais formados no mercado de trabalho, buscando junto a estes os possíveis reflexos das qualidades e defeitos da formação no exercício da profissão.

2.4 Conclusão

A análise do desenvolvimento do currículo do CECA empreendido neste capítulo impõe uma conclusão: apesar de estar sendo adequadamente realizada, a implantação do novo curso requer um esforço constante de avaliação. Isto porque a qualidade do programa de formação vai depender de vários elementos, muitos deles não previstos no planejamento inicial, que interagem entre si de maneira complexa. Ainda mais neste caso particular, que se refere a uma área de formação com concepções novas em termos de objetivos de formação.

Além disso, as fases II e III do método exposto sugerem que as experiências de aprendizagem devem merecer uma atenção particular no desenvolvimento do currículo. Neste sentido, o restante deste trabalho é dedicado ao estudo de caso sobre experiências de aprendizagem, mais especificamente o desenvolvimento e utilização de material instrucional baseado em computador com alunos de uma disciplina do curso de graduação em Eng^a Elétrica. Obviamente, este estudo de caso não poderá se ocupar de todos os aspectos relacionados ao problema mais geral das experiências de aprendizagem, o qual inclui facetas como teorias de cognição e aprendizagem, relação professor/aluno, etc. Os tópicos analisados mais de perto no trabalho são, além do material instrucional desenvolvido e do uso de microcomputadores no ensino, a organização das experiências de aprendizagem no sentido da integração teoria-prática, e a avaliação educacional no contexto de uma disciplina.

A relevância do problema se dá por dois aspectos: (i) na necessidade de se dispor de práticas de avaliação aplicáveis nas disciplinas do novo curso, e (ii) na importância cada vez maior dos microcomputadores no ensino de Engenharia, a qual está justificada em Bruciapaglia (90).

A forma escolhida para se proceder ao estudo de caso se assemelha à proposta geral de Tyler para o planejamento. Inicialmente, começa-se por apresentar uma discussão sobre o ensino de Controle em Engenharia, que justifica os objetivos definidos para as experiências de aprendizagem. Na seqÜência, é discutido o uso de computadores no ensino como forma possível de alcançar os objetivos propostos. Isto é feito no Cap. 3, ao final do qual se apresenta a proposta para o material instrucional baseado em computador que se pretende desenvolver. O Cap. 4 apresenta o material desenvolvido, na forma de um programa de simulação dinâmica baseado em microcomputadores tipo IBM PC. No Cap. 5, são apresentados tanto a forma de avaliação como os resultados obtidos na experiência de utilização deste material.

CAPÍTULO 3

O USO DE UM LABORATÓRIO VIRTUAL COMO MATERIAL INSTRUCIONAL PARA EXPERIÊNCIAS DE APRENDIZAGEM

O modelo de Tyler para desenvolvimento de currículos apresentado no capítulo anterior salienta a importância do planejamento das experiências de aprendizagem que serão utilizadas ao longo do programa de formação. Neste capítulo, será discutida a produção e aplicação de material instrucional com o uso de microcomputadores; mais especificamente, tratar-se-á de um programa de computador (ou "software") que simula um laboratório de ensino, chamado de "laboratório virtual" (ASEE, 85). A preocupação em se utilizar ambientes de instrução baseados em microcomputador tem origem no fato que "... o computador é instrumento fundamental (...) tanto como meio de aprendizado quanto como ferramenta indispensável para o treinamento nas funções a serem exercidas na vida profissional." (Bruciapaglia, 90). De fato, usar o computador como meio de ensino em áreas tecnológicas é duplamente vantajoso: primeiro, porque as potencialidades deste instrumento como ferramenta de cálculo e simulação são enormes, e, segundo, porque a utilização em si já cria um hábito desejável na direção de um objetivo de formação para os estudantes.

A questão da criação do material instrucional será estudada da seguinte forma: inicialmente, será feita uma discussão sobre quais os objetivos no ensino de engenharia que deveriam ser atingidos por uma proposta de ensino preocupada com as experiências de aprendizagem. Então, será apresentado um breve histórico dos vários usos de computadores como meio de ensino, situando a proposta de laboratório virtual. Finalmente, propõe-se um sistema de acordo com as características necessárias apresentadas.

3.1 Sobre Experiências de Aprendizagem em Engenharia

3.1.1 Alguns Objetivos e Critérios para o Ensino em Engenharia

Um dos objetivos centrais no ensino de Engenharia é o desenvolvimento, no estudante, da capacidade de solução de problemas. De fato, muitos educadores em Engenharia têm definido sua tarefa como centrada neste objetivo, buscando aliar a criatividade a esta capacidade (Waks, 83). Criatividade, aqui, significa a aplicação dos conceitos e princípios aprendidos em uma forma diferente, não apenas repetindo as técnicas que foram ensinadas. Tais técnicas podem se tornar obsoletas em um curto espaço de tempo ou até serem inaplicáveis em um contexto diferente do qual foram

ensinadas, enquanto que os conceitos e princípios básicos permanecem usáveis por muito mais tempo.

A partir deste objetivo inicial, pode-se formular um segundo, relacionado à necessidade de conexão dos aspectos práticos e teóricos no ensino: o desenvolvimento da capacidade de raciocínios formais aplicados a situações tanto abstratas como concretas. Para atingir tal objetivo, é necessário o desenvolvimento integral das operações lógico-formais (Piaget, 80; Ausubel, 78) no campo sob estudo. Também, está implícito que os itens relativos à prática têm um papel central no cumprimento deste objetivo, na medida em que permitem a passagem dos problemas concretos para a formulação teórica, bem como da solução sintetizada até sua implementação. É justamente esta via de mão dupla que se espera que o aluno domine para desempenhar, na sua vida profissional, a atividade de solucionar problemas.

Para a consecução do objetivo colocado, o planejamento das atividades de ensino deve levar em conta alguns critérios e fatores. Dentre os critérios, fica clara, a partir do parágrafo anterior, a importância da integração dos aspectos teóricos e práticos do ensino.

Dentre os fatores a serem ponderados, estão o nível médio dos estudantes, as instalações e recursos para suportar as experiências de aprendizagem, e os aspectos socioeconômicos relevantes. Estes últimos têm sido analisados em vários trabalhos (Jamshidi, 79; Hang, 90), portanto centraremos a discussão nos primeiros fatores.

Se se considera um estudante "médio", pode-se afirmar que este tem grandes problemas ao trabalhar com abstrações. Isto significa que ele não está capacitado a extrair conclusões práticas quando raciocinando sobre descrições matemáticas, nem consegue derivar descrições formais a partir dos problemas concretos. Por exemplo, tem-se notado que mesmo os alunos das fases mais avançadas dos cursos de Engenharia são incapazes de solucionar completamente uma equação diferencial ou associar a solução com o comportamento temporal do sistema físico correspondente. Estes problemas, na verdade, não estão restritos à nossa realidade: Ausubel (78) cita uma estatística mostrando que apenas 22% dos estudantes de nível universitário americano atingem completamente o período de operações formais, quando Piaget (80) situa o alcance deste estágio da inteligência ao redor dos 15-16 anos. Então, quais as conseqüências deste fato para o ensino de disciplinas em Engenharia? A discussão a seguir é encaminhada focando o problema de ensino de controle como caso a ser estudado. As conclusões podem ser generalizadas para disciplinas afins com o nível de formalismo e uso de modelos da Teoria de Controle.

3.1.2 O Ensino de Controle em Cursos de Engenharia

O objetivo educacional colocado anteriormente para o ensino de Engenharia ganha contornos nítidos quando se trata de ensino de Controle. Esta disciplina, por lidar com modelos e formalismos matemáticos na solução de problemas práticos, exige bastante da capacidade do estudante em, criativamente, interpretar o prático à luz da teoria. Entretanto, raramente planeja-se as experiências de aprendizagem buscando-se conectar estes dois aspectos. Wellstead (90), por exemplo, comenta a reação negativa dos estudantes frente à disciplina de Controle em uma universidade inglesa devido, segundo os alunos, ao caráter "excessivamente teórico" desta. Para contornar tal problema, é usual o ensino de laboratório para dar suporte ao conteúdo teórico. Porém, nem sempre a integração é o critério respeitado nesta forma de organização.

Quando a Teoria de Controle é ministrada, os problemas a solucionar estão no mesmo nível de abstração da teoria. Isto pode ser percebido em muitos livros-texto (Hang, 90). A consequência direta disto é que os estudantes desenvolvem uma habilidade mecânica, ou automática, de solucionar problemas. Esta habilidade acaba sendo aplicável apenas à classe de problemas abordados, e a capacidade de resolver criativamente problemas de classe diferente não é satisfatoriamente desenvolvida. De fato, a abordagem de ensino de "receitas" para o aluno é em parte responsável por este comportamento.

Como ilustração deste ponto, pode-se citar o caso do estudo do lugar das raízes. Se um diagrama de blocos com as funções de transferência é apresentado ao aluno, este esboçará o diagrama do Lugar das Raízes seguindo as regras conhecidas sem muita dificuldade. Porém, se é pedida uma avaliação das raízes de um polinômio de grau maior ou igual a três através do uso de um programa de computador que permita tanto o traçado do Lugar das Raízes como a leitura dos pontos deste, o resultado pode não aparecer tão facilmente.

Inversamente, o ensino prático está confinado ao laboratório. Sem levar em conta o fato de que raramente se encontram ambientes adequados para as práticas, pode-se afirmar que são raras as situações onde exista uma ligação forte entre os dois tipos de ensino. Tanto assim que freqüentemente vê-se professores com diferentes abordagens ministrando cada parte da disciplina, gerando disparidades em termos tanto de ritmo como de enfoque.

As consequências são o alargamento do "gap" entre teoria e prática e uma atitude depreciativa do estudante com respeito à segunda, valorizando a teoria graças ao peso desta na avaliação da disciplina, baseada em testes escritos. Sendo um assunto de importância central, muito se têm escrito sobre sistemáticas de ensino de laboratório (Yurkovich, 89; Wellstead, 90). Entretanto, as soluções encontradas nem sempre são

condizentes com a realidade das condições de ensino em países como o Brasil, dado o custo de implantação destas.

Para contornar estas dificuldades, planejando de antemão um esquema de ensino que consista tanto de experiências de aprendizagem como da organização destas segundo os critérios já expostos no capítulo anterior (seqüência, continuidade, integração), lança-se a idéia de criação de ambientes em computador para dar suporte às atividades de ensino. Mais especificamente, propõe-se um "laboratório virtual" que a um só tempo contorne as limitações materiais e econômicas e consiga prover um meio adequado para a consecução dos objetivos colocados anteriormente. Porém, antes de apresentar a proposta em si, as idéias alternativas serão brevemente historiadas para melhor comparação do tipo de software que se pretende com respeito aos demais.

3.2 Um Breve Histórico do Computador no Ensino

Os primeiros ambientes dedicados à instrução assistida por computador, conhecidos pelo designação inglesa Computer-Aided Instruction (CAI), eram apresentados no início da década de 70 como promessas valiosas para a dinamização das práticas pedagógicas. Porém, seu uso mostrou as limitações de uma abordagem muito direcionadora em termos de possibilidades de exploração: os programas apresentavam perguntas ao aluno, e respostas corretas credenciavam-no a prosseguir no "diálogo" em um nível de dificuldade crescente; um erro na resposta guiava a um tratamento diferenciado. Um trabalho de Francis (85) mostra as limitações do uso destes "tutores" quando compara os escores de duas turmas estudando FORTRAN, uma das quais com o pacote CAI conhecido por MicroPlato. Além da turma que usava o MicroPlato ter alcançado um escore médio menor, as opiniões dos alunos submetidos ao método salientavam problemas com a ausência de professores e colegas com os quais interagir. Apesar deste sistema ser de geração recente e ter sido desenvolvido com recursos humanos e materiais consideráveis, os resultados de sua utilização não são animadores, a ponto de seu uso ser recomendado apenas nas situações em que houver impossibilidade da presença de um instrutor (como em cursos por correspondência ou em escolas com falta de professores).

Por outro lado, Pullen (88) descreve uma experiência bem sucedida no uso de um sistema CAI extremamente simples na academia militar de West Point, NY, USA; mas é preciso situar a dimensão do "sucesso" deste caso: sua utilização deu-se em uma disciplina cujo objetivo é treinar os alunos (em fase de formação geral) na solução de problemas relacionados com Eng^a Elétrica. A forma de rotina empregada na solução dos problemas formulados presta-se à abordagem CAI, e a avaliação realizada naquela situação seguia exatamente as rotinas ensinadas.

Ainda em meados dos anos 70, alguns grupos trabalhando em uma direção diferente obtiveram melhores resultados. A idéia de criação em computador de ambientes de manipulação de objetos, tanto reais como abstratos, levou Papert (81) a criar o ambiente LOGO para ensino de matemática. Partindo de sua experiência pessoal com engrenagens, e a facilitação da aprendizagem das matemáticas por causa delas, Papert afirma que a ausência de "objetos-de-pensar-com" tolhe as possibilidades de aprender. Ao dotar seu ambiente com uma "tartaruga" que deixa rastros na tela ao caminhar segundo os comandos do usuário, o autor pretendeu fornecer um objeto com o qual a criança pudesse, ao manipulá-lo, ativamente descobrir a geometria, e a partir daí, desenvolver sem bloqueios suas capacidades matemáticas. O importante é notar que esta proposta de ambiente quebra com a rigidez dos sistemas CAI e até com a própria estrutura rígida de programas escolares dos quais o CAI é apenas o reflexo.

Com a evolução dos sistemas de microcomputadores nos anos 80, ampliou-se o espectro de aplicação da informática na instrução. Mesmo os sistemas CAI avançaram muito, merecendo um I de "intelligent" e tornando-se "ICAI". Em alguns destes sistemas, um modelo do aluno que está trabalhando é estabelecido dinamicamente, e o diálogo é conduzido com base no modelo, resultando em grande precisão no diálogo. Ainda assim, as qualidades instrucionais destes sistemas são questionadas, porque "(...) parecem não estimular no estudante o desenvolvimento de habilidades cognitivas de mais alta ordem (e.g., como organizar o conhecimento)" (Reis, 90).

De todo modo, na década de 80 assistiu-se a disseminação dos microcomputadores nas mais variadas situações, e o ambiente educacional não fugiu à regra. Mas, na realidade brasileira, tal uso está apenas começando a ser explorado, em função da carência de recursos informáticos na maioria das escolas. Enquanto isso, no exterior algumas universidades já incluem computadores como material didático obrigatório para os alunos. Diversas universidades americanas, p. ex., solicitam aos estudantes que adquiram computadores, que podem ser conectados em redes locais para acesso aos serviços oferecidos pela escola (Friedman, 84). No Canadá, a Universidade de Waterloo faz uso intensivo das facilidades de contar com uma rede de área ampliada (WAN - wide area network) para integrar várias atividades de ensino (Cowan, 88).

Diante desta realidade, que cedo ou tarde chegará com intensidade em nosso meio acadêmico e sociedade em geral, ganha força a iniciativa de desenvolvimento de tecnologia instrucional baseada em microcomputador. A direção a ser seguida neste trabalho aponta para o projeto e a aplicação de ambientes sem a característica "tutorial" dos sistemas CAI ou ICAI, aproximando-se mais da proposta de "objetos-de-pensar-com" idealizada por Papert.

3.2.1 O Computador no Ensino de Engenharia

O computador é uma ferramenta com uma grande sinergia com a área de Engenharia, dados os recursos de programação de rotinas de cálculo comuns nesta área. Neste sentido, a utilização no ensino passou a ser feita de maneira quase não-intencional, isto é, sem um planejamento e reflexão sobre como melhor utilizar as potencialidades da máquina. Ainda assim, grupos de trabalho no Brasil e exterior já têm pensado melhor a questão. Os usos mais comuns do computador como ferramenta de auxílio no ensino/aprendizagem na área de engenharia têm sido (ASEE, 86):

- . calculadora programável de alto nível;
- . ferramenta de simulação;
- . ensino de computação;
- . substituição do tutor, com uso intensivo de pacotes de ensino (o chamado "courseware");
- . livro-texto e quadro negro;
- . laboratório virtual;
- . ambiente de aprendizagem de temas especiais;
- . ambiente de recreação; etc.

Na área de Controle, talvez o uso mais tradicional e freqüente do computador seja como ferramenta de simulação digital (Schmidt, 86; Schaufelberger, 87). A natureza dos problemas de engenharia de controle, bem como os métodos de solução, explicam esta ênfase. As potencialidades mais exploradas neste tipo de utilização são as de cálculo, normalmente através de programas aplicativos previamente desenvolvidos. Pode-se afirmar que tais aplicativos tem valor instrucional limitado, na medida em que trabalham com modelos matemáticos; requerem, portanto, um entendimento prévio da teoria por parte do estudante para sua utilização. Nesta categoria encontram-se os programas MATLAB, CSMP, CC, etc., e alguns desenvolvidos no LCMI, como SAPIC I e II (Simulação e Análise de Sistemas Lineares e Não-Lineares), SIMAP (para estudo de geradores elétricos de potência) e ISAC (Identificação de Sistemas Assistida por Computador). O método didático resultante da utilização destas ferramentas não busca substituir instrutores ou aulas expositivas, mas sim potencializar os resultados em termos de aprendizagem através da prática com auxílio de ferramentas computacionais.

Einarsson (79) descreve uma experiência na qual as potencialidades dos computadores acima mencionadas foram utilizadas num esquema que visava a integração e a sequencialização de certos elementos do currículo de um curso de Eng^a Elétrica. O autor ressalta que o sucesso da iniciativa deveu-se antes pelo "espírito de grupo" reinante entre os professores envolvidos do que pela introdução "sistemática" de uma nova tecnologia de apoio. Este também é o caminho a ser trilhado neste trabalho, nas partes que se referem ao problema das práticas de ensino/aprendizagem.

3.3 Ensino Teórico/Prático em Controle Utilizando um Laboratório Virtual

A proposta de utilização de um laboratório virtual surge a partir da definição de alguns objetivos de formação para a área de controle, que são (ver ítem 3.1) o desenvolvimento da capacidade de solução criativa de problemas e, por decorrência, o desenvolvimento da capacidade de raciocínios formais aplicáveis tanto à teoria quanto à prática. A importância da componente de ensino de laboratório, principalmente a nível introdutório, para que sejam atingidos os objetivos colocados na aprendizagem de controle já foi discutida acima. Cabe aqui listar os requisitos que um laboratório deveria preencher tanto para sustentar as atividades de ensino a nível de uma disciplina como também para permitir a sequencialização de várias disciplinas relacionadas sem perda de continuidade.

Tais requisitos são: primeiramente, as experiências deveriam permitir ao estudante ter acesso direto com os conceitos sob estudo de forma clara, evitando-se complicações desnecessárias. Também, a seqüência dos experimentos deveria seguir a abordagem normalmente utilizada para solução de um problema real de controle, o que significa percorrer os passos ilustrados na Fig. 3.1.

Para os passos 1 e 6, é necessário a disponibilidade de sistemas reais para trabalho. Também, uma seqüência de experimentos de laboratórios pode ser formulada usando-se pacotes de software para análise e projeto de sistemas de controle assistidos por computador (CADCS) nos passos intermediários mostrados. Apenas a implementação, a título de ilustração de conceitos, seria realizada sobre sistemas físicos. Independentemente do nível do curso e do enfoque utilizado, todos os passos na figura podem ser percorridos durante a solução de um problema de controle. Veja-se, por exemplo, Normey (90), onde um problema clássico de controle de motor AC é solucionado seguindo os passos sob o enfoque geométrico. Em particular, para um curso de nível introdutório, a abordagem utilizada é a monovariável clássica.

Além disso, algumas características necessárias para o laboratório são:

- em termos de equipamentos e sistemas físicos: (i) facilidade de operação, manutenção e reparos; (ii) robustez; (iii) flexibilidade, (iv) suporte para visualização (traçado de gráficos de registro de variáveis) e cálculos, (v) baixo custo,

desde a aquisição até a manutenção e consumo de energia, e (vi) possibilidade de abordagem em diferentes níveis de profundidade (SISO/MIMO, linear/não-linear).

em termos de atividades de ensino: (i) sincronia com a parte teórica, (ii) níveis crescentes de dificuldade, (iii) simplicidade, mas não trivialidade de operação, de forma a dar alguma visão da prática da engenharia ao estudante.

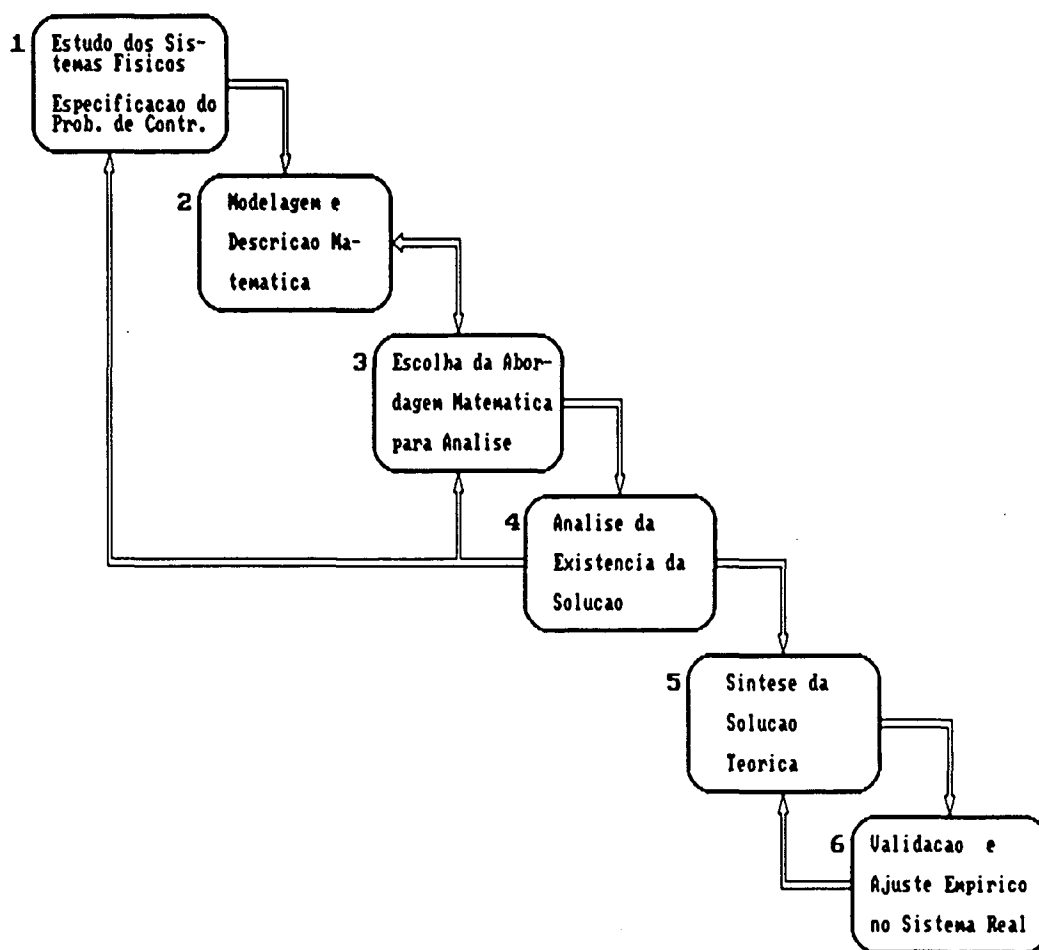


Figura 3.1 Etapas a serem percorridas na solução de problemas dentro do enfoque da Teoria de Controle.

Parece utópico para muitas Universidades de países em desenvolvimento conseguir um laboratório com todas estas características. Para estas instituições, bem como para algumas em países ricos, a disseminação do uso de microcomputadores que tem preços cada vez mais baixos fornece uma alternativa para o ensino prático, e suas aplicações têm

aumentado. Schaufelberger (90), por exemplo, mostra uma série de programas projetados para ensino prático em controle, e discute o problema de projetar interfaces adequadas para programas didáticos. Entretanto, aqueles tipos de programa são mais adequados para os passos 2 até 5 mostrados os passos 2 até 5 mostrados na Figura 1. Então, para falta de sistemas físicos reais, propõe-se o uso de um laboratório virtual, isto é, uma implementação em computador "recriando" um ambiente de laboratório.

O uso de um laboratório virtual estende a ilustração do significado físico de conceitos como realimentação, malha fechada, erro em regime permanente, sensibilidade, etc. Estes conceitos não são claramente ilustrados através do uso de simuladores que trabalham com modelos de sistemas (diagramas de blocos e funções de transferência no nível introdutório) porque o estudante normalmente ainda não operacionalizou adequadamente a semântica dos modelos formais.

As vantagens apresentadas por um laboratório virtual baseado em computador são:

- . facilidade de operação e reparos, dependendo apenas dos recursos de software empregados;
- . flexibilidade, em vista das mudanças se situarem a nível de código de programas;
- . robustez, dependendo apenas dos microcomputadores utilizados;
- . simplicidade operacional, uma vez que uma boa interface tenha sido projetada;
- . condições irrestritas de operação, em termos de limitações de tempo, consumo de materiais e energia, bem como de segurança.
- . facilidade de transporte, uma característica difícil de encontrar em sistemas físicos e que pode ser ótima para demonstração de conceitos em sala de aula;

A especificação informal de um ambiente de laboratório virtual é feita na seção seguinte, e no Capítulo 3 são apresentadas as principais características do programa implementado.

3.4 Sistema Proposto

3.4.1 Introdução

A especificação informal de um laboratório virtual pode ser feita a partir da observação dos componentes e procedimentos em laboratórios reais que se pretende simular. Inicialmente, simular um laboratório implica representar, o mais

significativamente possível, os sistemas físicos em computador. Para tanto, utiliza-se a animação do comportamento do sistema físico (ou processo) simulado numericamente, com o uso de ícones destes. Além disso, os sistemas a serem operados devem estar incorporados ao ambiente, com a possibilidade de modificação de seus componentes pelo usuário. Estes sistemas passam a ser os "objetos-de-pensar-com" no sentido de Papert. Ainda neste sentido, a definição de novos sistemas como em simuladores convencionais (MATLAB, SAPIC, CC, SIMNON etc), não é uma função necessária para um laboratório virtual.

3.4.2 Observação da Dinâmica dos Sistemas e Atuação Direta do Operador

Para um laboratório de controle, a dinâmica das variáveis do processo é de importância central. Portanto, a evolução das variáveis ao longo da simulação deve ser observável, ou seja, monitorável por medidores acoplados ao sistema. Estes medidores seriam, preferivelmente, de tipo gráfico ou analógico, pois a leitura destes é mais significativa do que a dos instrumentos digitais (em termos de grandezas de escala, que é o interesse no caso de sistemas de controle). Para que se possa estudar melhor as características dinâmicas das variáveis, o registro gráfico destas deve estar disponível a qualquer ponto da operação, como num "plotter".

Além disso, é preciso permitir uma total interação do usuário com o sistema durante a operação simulada, como é normal em laboratórios reais. Esta interação deve ser facilitada ao usuário através de interfaces adequadas de manipulação, como "joy-sticks", "mouses", etc. O resultado desta interação também deve estar prontamente disponível, i. e., a velocidade de resposta do sistema aos estímulos externos não deve ser afetada por limitações de software. Assim, qualquer atraso na resposta a um estímulo fornecido pelo usuário poderia ser atribuído unicamente à natureza do processo.

3.4.3 Definição das Malhas de Controle, Controladores, Medidores e Atuadores

Naturalmente, a possibilidade de definição e modificação das estruturas de controle do sistema deve estar disponível. Para que a definição e manipulação de controladores seja uma operação de nível cognitivo adequado, é preciso deixar ao usuário a tarefa de indicar a variável a ser medida, o tipo de transdutor a ser utilizado e o ponto de atuação do controle.

O tipo de controlador a ser implementado também deve ser definível pelo usuário. O controle pode ser de tipo contínuo ou discreto. No primeiro caso, o programa deveria permitir a declaração direta da função de transferência em s . No caso discreto, a

declaração direta do algoritmo e/ou da função de transferência em z deveria ser permitida.

Quanto a medidores e atuadores, o programa deveria conter com uma "biblioteca" de componentes a serem escolhidos pelo usuário. Por exemplo, no caso de sistemas com vazões de fluidos, as características das válvulas poderiam ser escolhidas dentre os três tipos principais, isto é, "proporcional", "igual percentagem" e "linear".

3.5 Conclusão

Neste capítulo, foram inicialmente discutidos alguns objetivos para o ensino de Engenharia, bem como alguns problemas comuns que os tornam difíceis de atingir. Após um breve resumo do histórico do uso de computadores no ensino, foi apresentada uma proposta de uso de um laboratório virtual como um ambiente de ensino baseado em computador. A discussão das vantagens deste tipo de programa precedeu à exposição de uma especificação informal do software.

Entretanto, o uso de uma nova tecnologia de ensino traz à tona algumas questões a serem respondidas experimentalmente. A importância de dados empíricos para dar suporte a sugestões e propostas na área de ensino é reforçada por autores (Fischbein, 90) que questionam a validade de algumas propostas que têm sido apresentadas sem fundamento experimental. Pode-se dizer que esta falta de preocupação com resultados da utilização das idéias subtrai algo da contribuição de muitos artigos. Neste sentido, a continuação deste trabalho apresenta não somente a implementação de um software como também a experimentação do mesmo em condições reais para "validá-lo" como instrumento de apoio para criação de experiências de aprendizagem.

CAPÍTULO 4.

DESCRIÇÃO DO LABORATÓRIO VIRTUAL E DE SUA UTILIZAÇÃO

4.1 Introdução

O programa de computador (ou software) implementado a partir da especificação informal do final do capítulo anterior é descrito em detalhes a seguir. A metodologia de desenvolvimento deste software é mais próxima da prototipação (Fairley, 85) do que do tradicional modelo de ciclo de vida (ibid.). Os motivos desta orientação no desenvolvimento foram:

- . a importância da interface homem-máquina neste tipo de software, aliada à falta de experiência de desenvolvimento na área de software para ensino;
- . a freqüente necessidade de modificações, para fazer face às exigências da dinâmica do ensino;
- . a existência de um pacote de rotinas gráficas desenvolvido no LCMI - o pacote APGRAF¹ (de Souza, 89) - que garantiu o suporte necessário à rápida prototipação das idéias de implementação.

A primeira versão do laboratório virtual foi utilizada no primeiro semestre de 1990, sendo constantemente aperfeiçoada desde então. As características descritas a seguir estão implementadas na versão atual, em uso a partir do primeiro semestre de 1991. O programa será designado daqui em diante pela sigla AVILAM, ou Ambiente Virtual de Laboratório para Microcomputadores.

4.2 Características Técnicas Gerais

As decisões de implementação seguiram duas determinantes principais:

- i. O computador disponível para ensino é do tipo IBM PC-xt, com consideráveis limitações em velocidade e resolução gráfica. Consequentemente, buscou-se utilizar os métodos numéricos mais rápidos (e não necessariamente os mais exatos) para a simulação dos sistemas.
- ii. O pacote gráfico APGRAF é de uso geral, com rotinas não adaptadas para a animação gráfica nem para interação por dispositivos de entrada tipo "mouse" ou

¹Sigla de APoio GRAFico.

"joy-stick". Isto implica na redução da animação nos sistemas simulados e limita a interação ao uso do teclado.

Como o número de alunos sem experiência anterior no trabalho com microcomputadores é surpreendentemente grande, procurou-se sempre manter a interface a mais simples e consistente possível. Do ponto de vista de interação homem-máquina, optou-se por diálogos orientados por menus. Ainda que a orientação por comandos pudesse ser mais poderosa em algumas situações, o aumento da complexidade resultante poderia dificultar o trabalho dos alunos.

4.3 Sistemas Simulados

A escolha do tipo de sistema a ser utilizado para estudo de laboratório recaiu sobre sistemas típicos de plantas químicas. Três razões justificaram a escolha:

1. O reforço da interdisciplinaridade da Teoria de Controle, uma vez que os alunos têm formação em Engenharia Elétrica, e as aulas teóricas se utilizam frequentemente de modelos de sistemas elétricos. Além disso, pretende-se empregar este laboratório para ensino em outras áreas da engenharia¹, e o tipo de sistema simulado é mais adequado a um entendimento intuitivo do funcionamento, como será visto adiante.
2. A possibilidade de aumento crescente de complexidade dos sistemas através da interligação de vários subsistemas. Esta característica é fundamental para que sejam atingidos os critérios de seqüência e continuidade no uso do programa ao longo de várias disciplinas relacionadas.
3. A facilidade de compreensão qualitativa da natureza dos fenômenos físicos que ocorrem nestes processos, apesar das peculiaridades dos fenômenos químicos. Num primeiro nível, o conhecimento quantitativo dos processos pode ser adquirido sem a necessidade de construção de um modelo de conhecimento, bastando um modelo de representação dos sistemas estudados para as finalidades do controle.

A seguir, são descritos os detalhes de cada um dos três sistemas disponíveis na versão atual do AVILAM, sendo ressaltados os modelos simulados e as interações implementadas.

¹A motivação para o desenvolvimento deste programa, conforme colocado no capítulo anterior, tem sido a utilização de recursos computacionais nas experiências de aprendizagem para o curso de Engenharia de Controle e Automação.

4.3.1 Tanque de Vazão por Gravidade

O tanque de vazão por gravidade (Corripio 78) consiste em um reservatório de líquido com válvulas para controle das vazões de entrada e saída (ver Fig. 4.1).

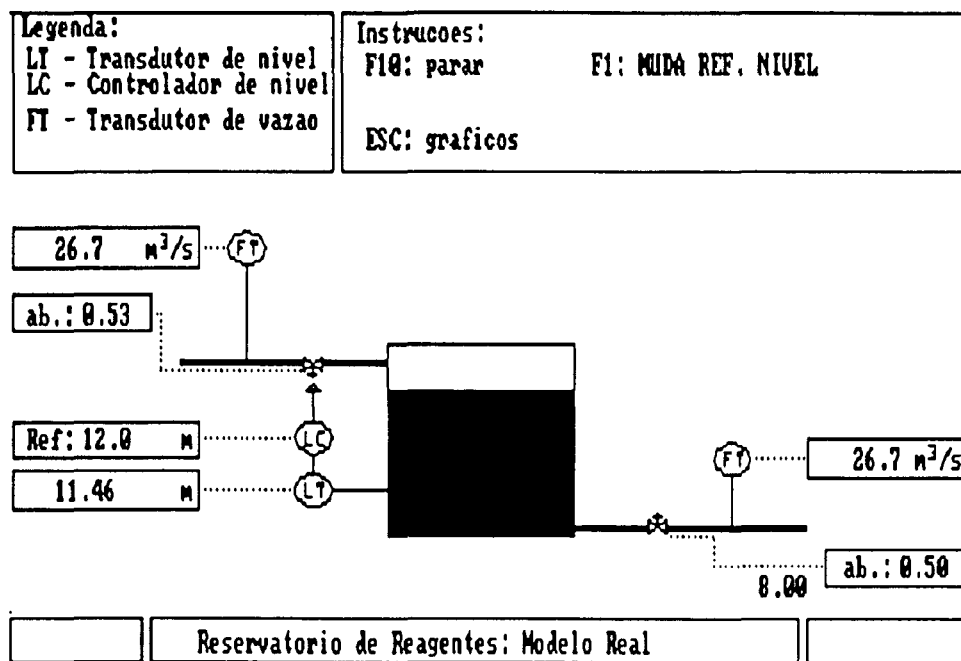


Figura 4.1 Tanque de Vazão por Gravidade

Do ponto de vista cognitivo, tal sistema apresenta vantagens como:

- * Facilidade de intuição do funcionamento, dada a familiaridade dos alunos com sistemas do tipo reservatório. O comportamento dinâmico das variáveis de interesse é rapidamente assimilado.
- * Operação simples (abrir e fechar válvulas), a qual, aliada ao item anterior, permite a passagem da prática à formalização teórica em passos simples. Esta passagem é efetuada a partir da obtenção do modelo para o sistema sob estudo na forma de diagramas de bloco.
- * Rápido acesso aos conceitos iniciais da disciplina. P. ex., uma vez que se "fecha" uma malha para o controle de nível, pode-se explorar os conceitos de realimentação, erro estático, sensibilidade, etc.

Tais vantagens permitem a ilustração e demonstração dos conceitos de maneira mais concreta do que obtido nas aulas teóricas.

O modelo simulado é descrito pelas seguintes equações diferenciais:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{F_{in} - F_{out}}{A}$$

$$F_{out} = k F(av) [r g h]^{\frac{1}{2}}$$

h - nível
 A - área seção transv.
 F_{in} - vazão de entrada
 F_{out} - vazão de saída
 k - cte. de escoamento
 av - abertura válvula
 $F(.)$ - caract. da válvula

Como pode se observar, este sistema apresenta um comportamento não-linear da vazão de saída com respeito ao nível do reservatório; entretanto, a operação é aproximadamente linear para faixas de variação do nível bastante significativas, de forma a permitir que num primeiro momento se assumam comportamento linear para o sistema. A linearização em torno de um ponto de operação é abordada em aulas posteriores, sendo então feita a crítica das limitações inerentes à simplificação inicial para a construção do modelo linear.

O processo que relaciona o nível do reservatório com a abertura da válvula de entrada é o foco de estudo nas experiências planejadas. A dinâmica deste processo é aproximadamente de primeira ordem. Pode-se observar que a atuação na válvula de saída implica em uma alteração nos parâmetros. Este fato permite uma abordagem direta ao conceito de sensibilidade, e como ela varia da malha aberta para a malha fechada. Ainda, com a válvula de saída fechada obtém-se imediatamente um sistema tipo 1 (com uma integração).

O controle automático pode ser feito tanto para o nível como para a vazão de saída. Em qualquer destes casos, a atuação pode ser exercida sobre as válvulas da entrada ou de saída de líquido, apesar que esta última opção invalida o projeto linear do controle, uma vez que isto implica em alteração do modelo.

Este foi o sistema utilizado para a ilustração dos conceitos iniciais da disciplina, como os de malha aberta, controle pelo operador, malha fechada, erro estático, sensibilidade, etc (como ilustração de uma experiência típica, ver o Anexo 2).

4.3.2 Trocador de Calor

O trocador de calor simulado é constituído por um cano pelo qual flui o líquido a aquecer e por uma camisa que o envolve, por onde passa o vapor, o qual é a fonte de calor para o aquecimento do líquido (ver Fig. 4.2). As válvulas permitem ajustar tanto a vazão de líquido pelo interior do cano como a vazão de vapor de aquecimento.

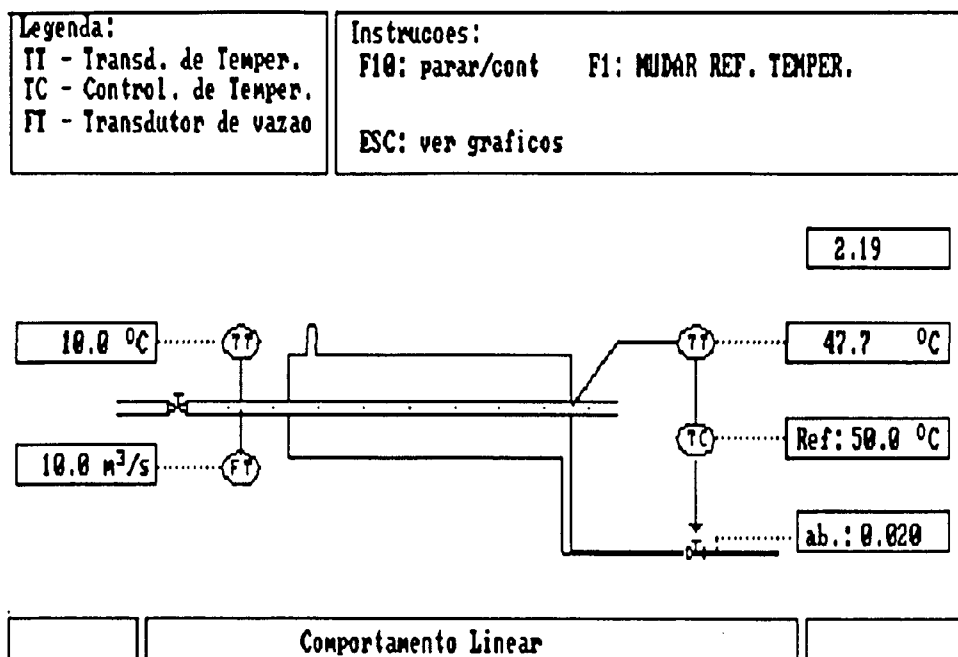


Figura 4.2 Trocador de Calor.

O sistema de equações diferenciais que representa o sistema é:

$$\frac{dT_C}{dt} = \frac{K_V Q_{ve_{max}} f a_v}{K_C} - \frac{K_i (T_C - T)}{K_C}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_1 (T_1 - T)}{V_C} + \frac{K_i (T_C - T)}{K_1 V_C}$$

$$f = 1 - 0.0091414 (T - 273.15)$$

onde:

T - Temperatura de saída do líquido (K)

T_C - Temperatura do cano (K)

f - Função de condensação (empírica)

$Q_{ve_{max}}$ - Vazão máxima de vapor (m^3/s)

Q_1 - Vazão de líquido (m^3/s)

a_v - Abertura de vapor (0...1)

V_C - Volume de aço no cano

K_V - Calor Latente de Vaporização (J/kg)

K_i - Coeficiente de transmissão de calor água/aço

K_C - Calor espec. do aço * densidade do aço

K_1 - Calor espec. do líquido * densidade do líq.

Neste modelo, assume-se que todo o calor cedido pelo vapor provém da condensação deste, isto é, apenas calor latente de vaporização. A função de condensação f é uma simplificação adotada para expressar que a quantidade de vapor que se condensa é

variável com a temperatura do cano por onde flui o líquido a aquecer. No caso, assume-se variação linear da condensação do vapor com a temperatura; assume-se também que todo o vapor se condensa quando o cano está a 0°C e que não ocorre condensação quando o cano está a 100°C . A dinâmica da temperatura de saída com respeito a variações na vazão de vapor de entrada é de segunda ordem.

As características didáticas deste sistema são:

- . Tanto como o sistema anterior, a compreensão do funcionamento é facilitada pela familiaridade do estudante com fenômenos que envolvem troca de calor, a um nível qualitativo.
- . Em malha aberta, a dinâmica do sistema apresenta uma dinâmica dominante de primeira ordem. Os efeitos de se utilizar um modelo de 1ª ordem obtido em malha aberta quando do projeto de sistemas de controle em malha fechada podem ser estudados. Também, um método de identificação de modelos de 2ª ordem que combina análise da resposta em malha aberta (para determinação do ganho estático) e em malha fechada (para determinação dos pólos) pode ser aplicado, como solução ao problema de identificação dos parâmetros.

As experiências feitas sobre o trocador de calor visaram principalmente o estudo de sistemas de segunda ordem e a implementação de controladores tipo PI e PID. Também, o modelo de segunda ordem obtido serviu para tarefas de análise do sistema e síntese de controladores com a utilização do programa SAPIC, o qual será abordado no capítulo seguinte, uma vez que não foi desenvolvido especificamente dentro do contexto deste trabalho.

4.3.3 Reator CSTR

O reator contínuo com tanque revolvido (Fig. 4.3) (ou CSTR, do inglês "Continuous-Stirred Tank Reactor) (Luyben, 74) é o sistema "menos comportado" dentre os disponíveis no AVILAM.

O tipo de reação modelada é uma decomposição simples, com um reagente se transformando em um produto de interesse. Como se observa, o comportamento das variáveis é bastante não-linear, com forte acoplamento entre elas. A obtenção do modelo para este sistema não é adequadamente realizada com as técnicas disponíveis em um primeiro curso de teoria de controle.

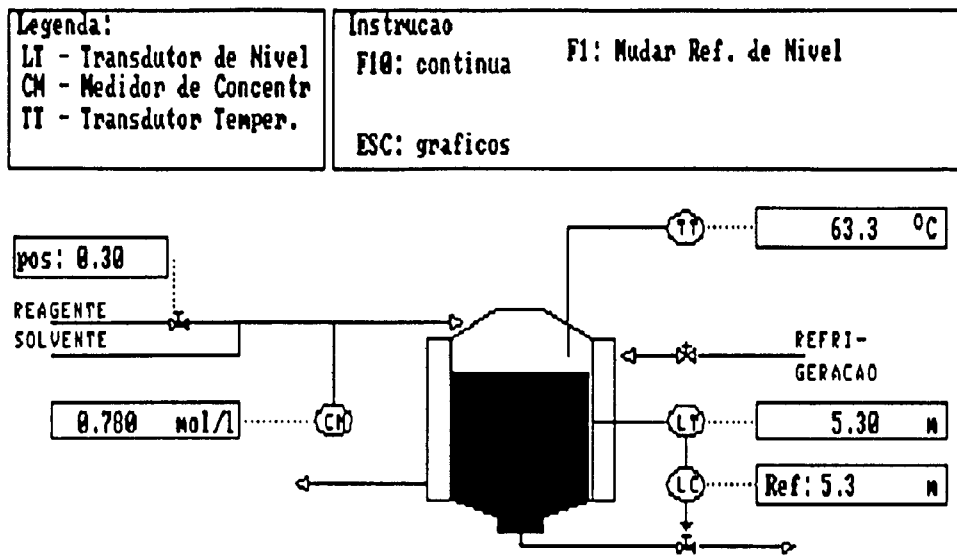


Figura 4.3 Reator com Tanque Continuamente Revolvido

O modelo simulado é descrito pelo sistema a seguir:

$$\frac{dV}{dt} = F_0 - F$$

$$\frac{d}{dt}(VC_A) = F_0 C_{A0} - FC_A - V k C_A$$

$$\frac{d}{dt}(VT) = F_0 T_0 - FT - \frac{\lambda V k C_A}{\rho C_p} - \frac{UA_H}{\rho C_p} (T - T_j)$$

$$\frac{dT_j}{dt} = \frac{F_j(T_{j0} - T_j)}{V_j} + \frac{UA_H}{\rho_j V_j C_j} (T - T_j)$$

$$k = \alpha e^{-E/RT}$$

$$F_j = 49.9 - K_c(600 - T)$$

$$F = 40 - 10(48 - V)$$

As opções de controle disponíveis, tanto manual quanto automático, são para o nível e a temperatura da reação. Além disso, a concentração do reagente pode ser alterada, para estudo da dinâmica do controle sob perturbações. As características didáticas deste sistema são adequadas para estudo de tópicos mais avançados, como controle multivariável. Entretanto, apesar de sua complexidade, o sistema pode ser controlado com estratégias simples como as sugeridas por Luyben (74), que consistem em leis proporcionais com ganhos adequados para a estabilidade.

4.4 Funções Disponíveis

Várias funções estão disponíveis para interação com os sistemas descritos acima. Obviamente, elas estão voltadas para aplicações em controle. A Figura 4.4 mostra as opções conforme apresentadas ao usuário do programa, em menus separados.

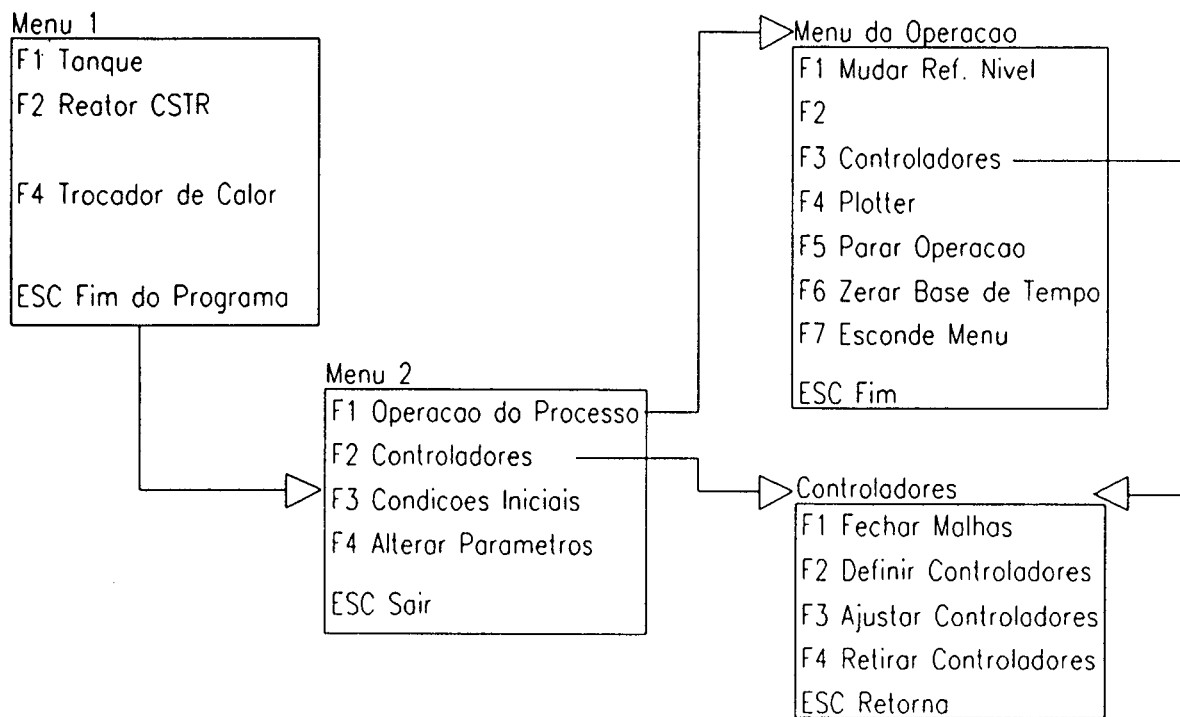


Figura 4.4 Menus e respectivas funções disponíveis para interação com os sistemas

À esquerda da Fig. 4.4, ao alto, é mostrado o menu inicial com as opções de sistemas já implementadas e discutidas anteriormente. A escolha de qualquer um destes leva ao menu 2, o qual fornece as seguintes opções (os códigos associados às opções representam as teclas de funções do teclado tipo IBM-PC):

F1 Operação do Processo: inicia a simulação do processo com as condições iniciais e estruturas declaradas pelo usuário ou com aquelas existentes por default. A operação passa então a contar com as opções do Menu 3, cujas funções serão descritas abaixo.

F2 Controladores: permite a definição, ajuste e remoção de estruturas de controle e controladores, segundo quatro opções escolhidas a partir de um sub-menu, mostrado no canto inferior direito da Fig. 4.4. As opções disponíveis são:

F1 Fechar Malhas: permite a alteração da estrutura do sistema, com a introdução de um laço de realimentação sem definição explícita do controlador. Este fechamento de malha equivale à declaração de um controlador proporcional de ganho unitário. Na definição da malha a fechar, é necessário definir a variável a

controlador e a válvula de atuação. Isto foi feito para evitar automatismos prejudiciais ao entendimento daquilo que está sendo feito. A partir desta opção, perde-se a possibilidade de atuação manual sobre a válvula escolhida como ponto de atuação do controle.

F2 Definir Controladores: inicia um diálogo semelhante ao caso anterior, porém neste caso é permitida a declaração da função de transferência do controlador a ser inserido, bem como o valor da referência e do "off-set" do controle. Tal declaração é conduzida através de um diálogo com janelas que flexibilizam a forma de entrada de dados (ver Fig. 4.5).

F3 Ajustar Controladores: permite que se faça uma alteração nos parâmetros do controlador, sem que se lhe altere a estrutura (nº de pólos e zeros). Obviamente, tal opção torna-se ativa apenas a partir da definição de algum controlador. O ajuste dos parâmetros é feito utilizando-se a mesma janela de definição do controlador mostrada na Fig. 4.5, com os parâmetros atuais exibidos para guiar a alteração.

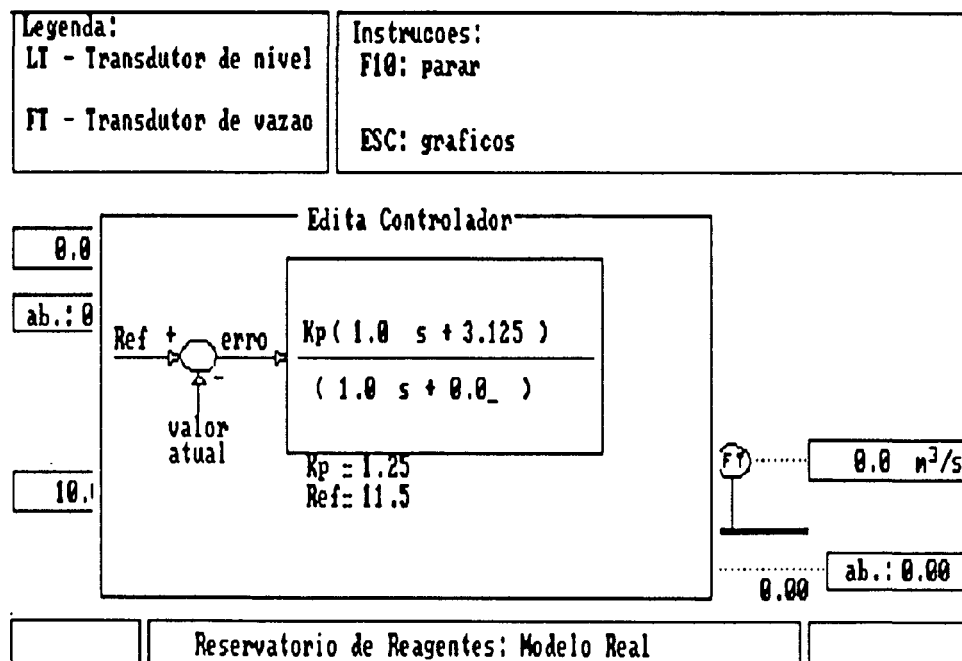


Figura 4.5 Tela de Definição de Controladores

F4 Retirar Controladores: é a opção que, a um só tempo, retira o controlador do percurso direto do sistema e abre a malha de realimentação definida anteriormente.

F3 Condições Iniciais: possibilita a mudança dos valores iniciais atribuídos por default às variáveis do sistema com o qual se está lidando. Esta opção é particularmente

útil quando se realizam ensaios de identificação das funções de transferência entre as variáveis de interesse, que normalmente exigem a aplicação de um sinal conhecido na entrada do sistema quando este está em equilíbrio.

F4 Alterar Parâmetros: permite que os parâmetros do sistema sob estudo sejam alterados. P. ex., no caso do Tanque de Vazão por Gravidade, pode-se mudar a área da seção transversal e a densidade do líquido contido no reservatório.

Na Fig. 4.4.b, é mostrado o menu presente durante a operação dos sistemas, com as opções seguintes:

F1 Mudar Referência do Controle: permite a mudança da referência do controlador associado à opção, que é particular de cada sistema. Na Fig. 4.4.b, o menu mostra as opções para o sistema Tanque de Vazão por Gravidade. Esta opção torna-se ativa apenas quando o controlador respectivo está incluído nos sistemas.

F2 Mudar Referência do Controle: idem anterior, porém associada a outro controlador sobre o mesmo sistema.

F3 Controladores: idem opção F3 do menu 2, inclusive levando ao mesmo sub-menu mostrado na Fig. 4.4. Permite a inclusão de controladores durante a operação do processo, ou melhor, durante o transcurso da simulação. Isto amplia as possibilidades de ilustração de conceitos associados à operação em malha fechada.

F4 Gráficos: fornece acesso aos gráficos da evolução de certas variáveis armazenadas pelo programa. Tais variáveis são normalmente aquelas que se deseja controlar e as de atuação do controle. Um cursor é fornecido para a leitura exata dos valores em cada ponto da curva de saída. Uma vez que os fatores de escala não são apresentados (limitação a ser sanada em breve), a ordem de grandeza dos valores é aquela mostrada nas coordenadas do cursor. O estilo do gráfico obtido pode ser visto na Fig. 4.6.

F5 Parar Operação: congela a simulação do processo, substituindo o menu pela mensagem "Aperte qquer tecla".

F6 Zera Base de Tempo: esta opção está associada ao registro interno das variáveis para posterior apresentação nos gráficos. É semelhante ao "reset" da base de tempo de "plotters", porém não apresentando o novo registro sobreposto aos anteriores, isto é, toda a informação gráfica anterior ao uso desta opção é perdida.

F7 Esconde Menu: substitui o menu da operação pela mensagem "F7 Mostra Menu". Esta opção não desabilita as funções do menu.

ESC Fim da Operação: encerra o ciclo de simulação, mantendo todas as alterações na estrutura e valores dos controladores que porventura tenham sido efetuadas durante a simulação. A partir daí, retorna-se ao menu anterior com os valores iniciais das variáveis.

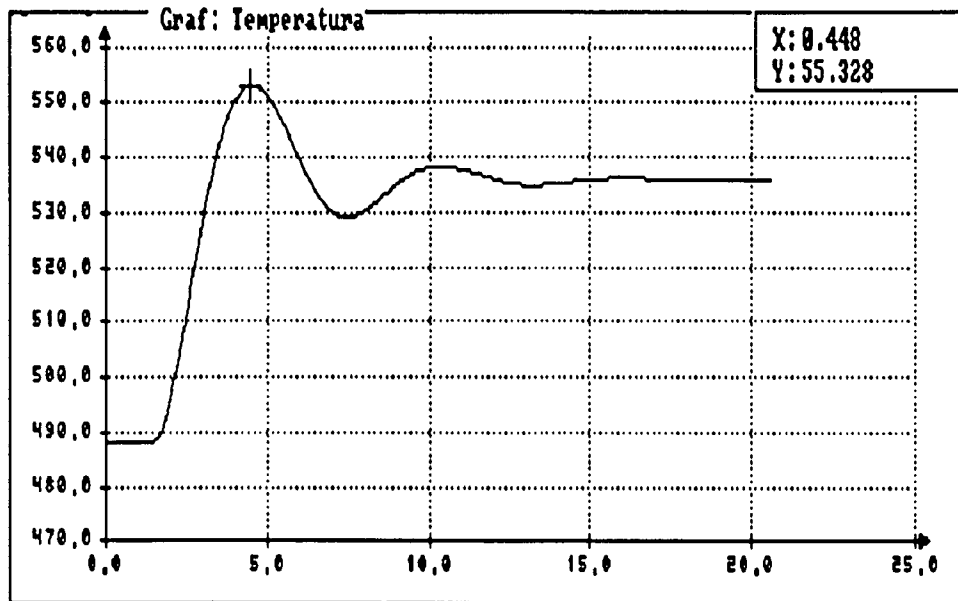


Figura 4.6 Gráfico Típico do Programa AVILAM

Além das funções descritas acima, existe a possibilidade de atuação do operador sobre aquelas válvulas que não estão servindo como pontos de atuação dos controladores. Tal atuação é feita com as teclas de setas de direção, ou números do teclado numérico reduzido. A atuação é visualizada pela mudança do mostrador associado à válvula do sistema que está sendo manipulada.

4.5 Especificações para Alterações Futuras

As funções disponíveis atualmente suprem boa parte das necessidades de manipulação dos sistemas, do ponto de vista do controle destes. Além disso, o uso do programa durante dois semestres de aulas práticas com alunos díspares com respeito à familiaridade no uso de microcomputadores tem levado a constantes aperfeiçoamentos no que tange à interface homem-máquina. Porém, certas modificações de maior porte necessitam ser feitas, estando em fase de especificação, para posterior implementação no sistema. Dentre estas, podemos citar:

- Prover ajuda para o usuário em qualquer ponto do programa. Atualmente, as orientações de utilização devem estar nos roteiros ou ser fornecidas pelos professores;
- Programação visual das estruturas de realimentação e controle, com possibilidade de mudanças das características de cada elemento da malha (sensores, atuadores,

etc). Esta forma de programação tem sido a tendência a nível de interfaces (Mayer 90, Kolb 91);

- c. Substituição dos mostradores digitais por analógicos, que dariam uma melhor idéia das escalas envolvidas e da dinâmica das variáveis enquanto os gráficos não estão disponíveis.

Além das modificações citadas para a melhoria da interface, outras estão sendo previstas para ampliação do uso do programa em outras disciplinas, tais como controle digital por computador (sistemas discretos) e controle multivariável. A implementação de opções de geração de arquivos de saída para outros programas em desenvolvimento no LCMI também está prevista. Neste sentido, o programa de identificação de sistemas assistida por computador (ISAC) (Lima, 91) poderá ser utilizado para obtenção dos modelos dos sistemas e ensino de procedimentos de identificação.

4.6 Conclusão

Uma breve descrição do programa AVILAM, que implementa um laboratório virtual para ensino de controle, foi apresentada no sentido de descrever a ferramenta usada nas experiências de ensino. Apesar de ter sido utilizado, o programa SAPIC não foi descrito pois é bem conhecido, com funções similares àquelas normalmente encontradas em simuladores tradicionais para sistemas de controle.

As perspectivas de modificações a serem implementadas apontam em dois caminhos: a melhoria da interface e o incremento da complexidade dos problemas que poderiam ser abordados através da inclusão de novos sistemas e opções.

CAPÍTULO 5

ASPECTOS METODOLÓGICOS DO USO DO LABORATÓRIO VIRTUAL: RELATO DE EXPERIÊNCIA E AVALIAÇÃO

5.1 Introdução

A implementação do Laboratório Virtual AVILAM, descrito no capítulo anterior, foi feita para se obter um instrumento de ensino que pudesse auxiliar no cumprimento de vários objetivos. Entre estes, destacam-se:

- . Do ponto de vista da organização das experiências de aprendizagem (ver Cap. 2, seção 2.1.3), tem-se como meta atingir os critérios de seqüência, continuidade e integração. O laboratório virtual acomoda tais critérios na medida em que:
 - * Pode ser utilizado como uma "fonte de problemas" para diversas disciplinas, sendo que a abordagem de cada disciplina se prestaria a um enfoque particular da situação-problema colocada¹;
 - * A integração dos aspectos práticos e teóricos das disciplinas pode ser obtida através da utilização desta tecnologia de ensino em sala de aula (ainda que com algum suporte material específico, como retroprojetores de telas de microcomputadores, ambientes com vários micros), ou mesmo com a coordenação entre atividades teóricas e práticas.
- . Do ponto de vista cognitivo, os níveis de elaboração mais altos devem ser atingidos. Isto é permitido na medida em que não existem "guias" incorporados ao ambiente, como roteiros de perguntas, etc. Além disso, a elaboração das experiências é feita de forma a tentar levar o aluno a utilizar as capacidades de análise, síntese e juízo crítico nas situações colocadas, que são justamente aquelas de nível cognitivo mais alto (Bloom, 70), para organizar seu conhecimento.
- . Do ponto de vista material, pode-se prover um meio de aprendizagem com o qual o aluno tem a oportunidade de interagir sem limites de tempo e segurança, desde que disponha de um microcomputador para tanto.

Neste capítulo, serão descritas as atividades que foram realizadas na tentativa de efetivar as potencialidades do software colocadas acima. Inicialmente, serão apresentados

¹É o caso, por exemplo, da seqüência de disciplinas mais próximas de Controle, como Análise de Sistemas Lineares, Sistemas Realimentados I, Controle Multivariável etc. O estudo de um sistema poderia ser, respectivamente, a identificação de um processo particular, o controle monovariável contínuo e discreto, e o controle multivariável.

o contexto e a metodologia utilizada nas aulas práticas. Uma experiência particular será descrita para exemplificar a utilização. Ao final, os resultados alcançados serão avaliados com respeito à expectativa inicial do planejamento, expressa nos objetivos acima.

5.2 O Contexto e a Metodologia da Experiência de Aprendizagem Realizada

A disciplina na qual foi utilizado o Laboratório Virtual é Servomecanismos I. Esta é a única disciplina obrigatória sobre Teoria de Controle para alunos dos cursos de Eng^a Elétrica e Eng^a de Produção Elétrica, e a primeira nesta área dentro do novo currículo do CECA (ver Fig. 2.2, Cap. 2). O programa se desenvolve sobre o enfoque clássico da teoria; estuda-se o problema do controle de processos monovariáveis através da representação linear destes por funções de transferência, obtidas ou pela transformada de Laplace das equações diferenciais que regem o comportamento físico do processo ou por identificação dos parâmetros de modelos hipotéticos a partir das curvas de resposta temporal do processo. Isto implica em que todo o estudo pode ser feito sobre modelos matemáticos semelhantes de processos de natureza tão diversa como motores elétricos, fornos, caldeiras, reatores químicos, etc. De fato, esta unificação conceitual na abordagem do problema de controle resulta em um nível de abstração que ignora as peculiaridades da natureza dos processos, e que considera apenas o modelo como informação para estudo.

Se, por um lado, esta abordagem através de modelos lineares permite a formulação de uma teoria estruturada e suficientemente geral do problema de controle colocado, por outro leva à necessidade de atividades práticas de laboratório que materializem os resultados teóricos, ilustrando e justificando os conceitos utilizados. Neste sentido, e como já foi colocado na seção 3.1 do Capítulo 3, o laboratório desempenha um papel fundamental na disciplina, sendo visto como prioridade pelos educadores da área.

A disciplina é organizada com base em duas atividades: aulas teóricas, ou expositivas, e aulas de laboratório. As cargas horárias são de 4 e 2 horas-aula semanais, respectivamente. O critério de aprovação na disciplina é tal que o conceito do laboratório participa do conceito final com ponderação de 20%. Porém, a aprovação na parte prática é uma condição sine qua non para a aprovação na disciplina.

5.2.1 As Condições Materiais para as Experiências de Aprendizagem

A experiência¹ de trabalho com o Laboratório Virtual a ser descrita foi realizada nos dois semestres letivos de 1990. Para cada um dos semestres, as condições de utilização

¹O termo "experiência" vai se referir ora à experiência de aprendizagem no sentido de Tyler, ora ao experimento de utilização do laboratório virtual como um todo; o contexto tornará clara a distinção do uso.

em termos do número de alunos por turma e da disponibilidade de microcomputadores na sala da aula é sumariada na Tabela 1. Como se observa, um primeiro problema surge devido à falta de equipamentos, pois a situação ótima planejada era de 1 micro para cada dois alunos.

	semestre 1990/01	semestre 1990/02
nº de alunos por turma	4/5	7/8
nº de micros disponíveis	2	4/2*

*Dois micros não rodavam o SAPIC

Tabela 5.1 Condições Materiais para Experiência de Uso do Laboratório Virtual

Para a realização das aulas práticas, dois programas de computador foram utilizados:

1. AVILAM, cuja descrição foi feita no Capítulo 4; e
2. SAPIC (Savi, 88), um programa de análise e projeto de sistemas realimentados contínuos e discretos, com estrutura fixa de realimentação. Foi usado como ferramenta de análise dos sistemas do AVILAM, bem como para o estudo de tópicos específicos como lugar das raízes, projeto de controladores através de diagramas de Bode, etc.

5.3 As Experiências de Aprendizagem Realizadas

As experiências de aprendizagem para o laboratório foram planejadas para manter uma sincronia com a parte teórica da disciplina. As aulas práticas realizadas no primeiro semestre foram:

1. *Controle Manual de Nível e Vazão*: para esta primeira experiência, foi utilizado o sistema "Tanque de Vazão por Gravidade" do AVILAM. O objetivo é apresentar ao aluno alguns problemas do controle manual de processos dinâmicos, fazendo-o agir como operador do sistema. Ao final, o conceito de realimentação via operador é reforçado pela colocação de perguntas relacionadas. Esta experiência é discutida como exemplo mais adiante.
2. *Controle Automático de Nível*: o objetivo desta experiência é mostrar os conceitos de realimentação, erro em regime permanente e sensibilidade, utilizando o

mesmo sistema acima. A simulação do sistema em malha fechada é facilmente obtida com a utilização da opção "Fechar Malhas" (ver Cap. 4).

3. *Obtenção de Modelos de 1ª Ordem*: realizada sobre o mesmo sistema das anteriores, esta experiência visa obter a relação entrada/saída para as variáveis nível/abertura da entrada. Utiliza-se tanto a resposta em malha aberta como em malha fechada para obtenção dos parâmetros. O modelo obtido por inspeção da curva de resposta ao degrau será útil para experiências seguintes.
4. *Controle Proporcional de Processos de 1ª ordem*: a partir do modelo obtido na experiência anterior, são simulados controladores de variados ganhos para observação da resposta e do comportamento do erro estático.
5. *Controle de Processos de Primeira Ordem com PI*: utilizando como motivação a impossibilidade de zerar o erro estático com controladores de tipo proporcional para o processo em questão, estuda-se o projeto de controladores PI. O problema da saturação da ação integrativa é ilustrado.
6. *Identificação de um Trocador de Calor*: esta experiência visa iniciar o estudo de processos de segunda ordem. A obtenção do modelo é feita com o uso do sistema "Trocador de Calor" do AVILAM, sendo realizados ensaios de malha aberta, que apresenta comportamento dominante de 1ª ordem, e de malha fechada, que mostra a característica de 2ª ordem do processo.
7. *Controle de Processos de 2ª Ordem Utilizando PID*: a partir do modelo obtido na experiência anterior, é feita a síntese de controles PD e PID, sendo estudado o problema da estabilidade.
8. *Uso do Programa SAPIC*: a simulação dos modelos através de um programa de projeto de sistemas de controle assistido por computador (CADSC, do inglês Computer-Aided Design of Control Systems) é apresentada através do uso do programa SAPIC.
9. *Projeto de Controladores via Lugar das Raízes*: este método de projeto é utilizado para a síntese de controladores simples para o modelo de 2ª ordem do Trocador de Calor. Os conceitos de lugar das raízes, pólos, e de envoltória da resposta de 2ª ordem são reforçados nesta experiência.
10. *Projeto de Controladores de Atraso de Fase*: a utilização das curvas de Bode no projeto de controladores é exercitada. Os conceitos de margem de ganho e margem de fase são utilizados na síntese de um controlador.

No segundo semestre, algumas experiências foram modificadas, sendo dada maior ênfase ao projeto por lugar das raízes. Isto ocorreu devido a três fatores:

- i. os problemas de entendimento dos alunos nesta ferramenta, a qual envolve conceitos-chave para o entendimento da dinâmica de sistemas lineares, tais como pólos, zeros, equação característica, etc.

- ii. maior importância relativa dada ao assunto pelo professor do laboratório; e
- iii. avanço mais lento da parte teórica, que impedia a abrangência de outros assuntos por falta de recursos teóricos.

A experiência 4 foi retirada, pois mostrou-se repetitiva no contexto geral das aulas práticas. A experiência 7 foi feita apenas com controladores PI, sendo reforçado o estudo da estabilidade de sistemas em malha fechada. Com relação ao lugar das raízes, quatro experiências foram realizadas, sendo que as três primeiras utilizando modelos variados para análise no SAPIC, e a última tratando do projeto via lugar das raízes.

Um problema observado em ambos os semestres foi a falta de tempo para experiências de síntese dos controladores projetados utilizando o SAPIC nos sistemas do AVILAM. Conseqüentemente, os alunos perderam no que se refere ao fechamento dos conceitos de controle.

5.3.1 Exemplo de Experiência Realizada

A título de ilustração das aulas práticas e do estilo dos roteiros, será discutida aqui a primeira experiência do semestre. O roteiro para esta aula prática pode ser visto no Apêndice 2. A experiência tem como objetivo fazer o aluno "sentir" as peculiaridades de operar um processo buscando controlá-lo manualmente em algum ponto desejado. Para tanto, o aluno é levado a interagir com o sistema simulado tendo que cumprir certas tarefas de controle, divididas em duas partes:

- i. *Controle de Nível*: dada uma referência qualquer, solicita-se ao aluno que a atinja o mais rápido possível, atuando exclusivamente na válvula de controle da vazão de entrada. Como a válvula de saída do tanque está aberta, a estabilização do nível no ponto desejado se dará quando as vazões de entrada e saída se igualarem. Uma vez atingido este ponto de equilíbrio, solicita-se aos alunos observarem e compararem suas "performances", através do gráfico da evolução do nível do tanque.
- ii. *Controle de Vazão de Saída*: esta tarefa de controle se diferencia da anterior na medida em que a entrada de líquido é mantida fechada. Então, a saída de líquido faz com que o nível desça, diminuindo a pressão hidrostática e, conseqüentemente, fazendo cair a vazão. A atuação na válvula de saída deve ser feita constantemente, até que se atinja a saturação do elemento de controle (a válvula atinge sua abertura máxima), e o seguimento da referência torna-se impossível.

Os habilidades práticas dos alunos exigidas para esta prática são bastante elementares. Porém, as perguntas colocadas ao longo do roteiro forçam o aluno a inferir sobre o comportamento dinâmico do sistema, e a interpretar sua própria atuação como

"controlador". Os conceitos de realimentação e malha fechada são introduzidos de maneira "sensório-motora", mas a formalização através da construção de um diagrama de blocos para o trabalho realizado inicia a construção de um conhecimento formal que suporte as abstrações teóricas.

Apesar deste esforço, a maior dificuldade dos alunos está exatamente em descobrir as relações entrada/saída de um sistema novo, e assim construir um modelo para posterior estudo. A superação desta dificuldade será discutida na parte de avaliação geral da experiência de utilização do Laboratório Virtual.

5.4 Avaliação e Resultados Obtidos

A avaliação desta experiência de utilização fez uso dos seguintes instrumentos:

- . comparação de desempenho nas provas teóricas entre as turmas que seguiam o método com aqueles em laboratórios tradicionais;
- . questionários de avaliação respondidos pelos alunos (ver Fig. 5.1), no sentido da avaliação proposta por Ottenstein (85), baseada também no depoimento dos alunos.

Estes dois instrumentos foram escolhidos devido ao baixo custo operacional, em termos de simplicidade de utilização, estando ao alcance dos professores na maioria das situações. Este pode não ser o melhor critério, mas seguramente torna-se bastante preponderante quando se pensa em seguir com esta prática de avaliação ao longo de um certo período de tempo, inclusive em outras disciplinas.

1. Facilidade de uso do AVILAM
2. Facilidade de uso do SAPIC
3. Compreensibilidade dos Roteiros
4. Compreensibilidade dos Processos do AVILAM
5. Ajuda do Laboratório na Compreensão dos Conceitos de Controle
6. Importância dos Tutores para Compreensão das Experiências
7. Necessidade de Sistemas Reais para Aprendizagem
8. Interesse Pessoal pela Disciplina

Figura 5.1 Ítens do Questionário de Avaliação respondido em entrevista pelos alunos

Com respeito ao primeiro instrumento (a comparação entre as turmas), pode-se afirmar que a objetividade e a fidedignidade estão asseguradas, uma vez que as diferentes turmas prestam os mesmos exames, em horários simultâneos. Porém, a validade deste só é garantida se:

- . *As turmas em questão têm características semelhantes*, do ponto de vista de desempenho acadêmico. De fato, não foi realizado um teste estatístico para determinação da igualdade entre as turmas, mas a distribuição dos alunos entre elas é assumida como sendo normal com relação ao desempenho acadêmico.
- . *As provas teóricas fornecem um parâmetro para avaliação da aprendizagem*. Este é um problema controverso, que só pode ser satisfatoriamente resolvido se a formulação das provas é colimada com os objetivos do ensino. No caso em estudo, os objetivos da parte prática da disciplina não são considerados na formulação das provas, que tratam exclusivamente da solução de problemas num plano teórico. Isto vai limitar sobremaneira as conclusões as quais se pode chegar com o uso de tal instrumento.

Já o segundo instrumento, de validade menos questionável, apresenta o inconveniente da subjetividade das respostas. Porém, a consulta a um grande número de alunos mostraria a tendência das opiniões individuais, elevando a objetividade do método. Já a fidedignidade depende de dois fatores: da intenção dos respondentes em expressar a "verdade", e da intenção do avaliador em captá-la. Estes fatores serão considerados como tendo sido satisfeitos na presente avaliação.

O sumário dos resultados provenientes destes instrumentos estão divididos em dois quadros. Na Tabela 5.2 são apresentados aqueles correspondentes à comparação dos grupos distintos de alunos, e na Tabela 5.3 estão as médias e desvios padrões das respostas ao questionário de avaliação.

		Semestre 1990/01					
		p1	p2	p3	n-1	média	DP
c/	met. media	5.94	6.16	4.22	5.00	6.07	1.42
	DP	2.77	3.08	2.87	0.94		
s/	met. media	6.09	5.66	3.93	6.00	5.44	1.90
	DP	2.71	2.26	2.95	2.00		
		Semestre 1990/02					
		p1	p2	p3	n-1	média	DP
c/	met. media	6.00	5.24	5.05	6.36	6.07	1.06
	DP	0.85	3.00	1.82	1.19		
s/	met. media	5.92	5.48	5.31	5.77	5.72	1.50
	DP	1.94	2.38	1.93	1.97		

Tabela 5.2 Desempenho em provas teóricas de grupos de alunos submetidos a diferentes métodos de laboratório.

Semestre 1990/01								
Questão	1	2	3	4	5	6	7	8
Nota	7.7	6.7	7.6	6.9	8.4	8.9	3.5	7.3
DP	0.8	0.7	0.8	1.5	1.3	0.9	1.9	1.6

Semestre 1990/02								
Questão	1	2	3	4	5	6	7	8
Nota	8.3	8.2	6.6	8.7	8.6	9.4	3.6	7.7
DP	1.1	1.0	1.7	1.4	1.7	1.0	3.0	2.2

Tabela 5.3 Médias das respostas dos alunos ao questionário de avaliação do método empregado.

A análise dos resultados será feita por semestre, pois houveram pequenas mudanças de um para outro semestre. Com relação ao primeiro, pode-se observar que:

- i. os números da Tab. 5.2 indicam um desempenho similar quando se comparam as turmas que seguiram métodos distintos. Tal resultado mostra que, do ponto de vista da solução dos problemas teóricos formulados nas provas, não se pode afirmar que a aprendizagem com o uso dos ambientes foi melhor. Porém, esta conclusão deve ser analisada à luz da discussão colocada anteriormente, sobre a validade deste instrumento;
- ii. os resultados da Tab. 5.3 mostram que:
 - * As médias das questões 1 e 2, que perguntam sobre a qualidade da interface dos programas utilizados (AVILAM e SAPIC, respectivamente) mostraram, juntamente com as observações feitas durante o semestre e declarações de alunos ao final do curso, que a interface dos programas está muito aquém do desejado para motivar o aluno a uma exploração criativa destes ambientes.
 - * As médias para as questões 3, 5 e 6, relacionadas com a qualidade dos roteiros e do método de laboratório, mostram que a presença dos tutores teve caráter importante nas práticas de laboratório. Isto se deveu pela formulação dos roteiros, cujas perguntas suscitavam discussões e esclarecimentos que demandavam a presença de um tutor. A metodologia empregada, cumpre esclarecer, não visou a auto-instrução com o uso dos programas.
 - * A média de 6,9 na questão 4 pode ser considerada baixa, pois acreditava-se por hipótese que os sistemas não trariam dificuldades de entendimento para os alunos. A explicação está no fato que os alunos associaram suas respostas a um julgamento sobre a qualidade da animação e representação do comportamento

dos sistemas. O aumento da média no segundo semestre revela a melhoria sensível feita na representação destes. Fica clara, então, a importância da boa interface com os sistemas para a compreensão destes¹.

- * A questão 7 revela um dado interessante: a baixa média de 3,5 (dp = 1,9) das respostas indica que os alunos não sentiram falta de sistemas reais nas práticas de laboratório. Entretanto, com base nos depoimentos dos alunos, percebe-se que os melhores dentre eles gostariam de ampliar seu campo de conhecimentos tomando contato com sistemas reais e seus componentes, como sensores e atuadores. Junte-se a isto o fato de que a formulação da pergunta leva o aluno a considerar "aprendizagem" como aquilo a que esteve submetido durante o semestre no conjunto das aulas teóricas e práticas, sem considerar que esta foi uma dentre as possíveis experiências de aprendizagem. Quer dizer, em outras palavras, o aprendizado tal como é exigido nas avaliações prescinde de sistemas reais: talvez a abordagem de aspectos práticos nas avaliações levaria a outra média para esta questão.

Com relação ao segundo semestre, a Tab. 5.2 indica que:

- i. apesar do aumento do número de alunos cursando o método, os mesmos resultados do semestre anterior ocorreram na comparação do desempenho dos alunos sob diferentes métodos. A influência do professor da parte teórica não foi significativa, como se pode ver na Tab. 5.4, na qual são comparados as médias finais dos alunos que seguiram o método de laboratório virtual (mét. I) com aqueles em métodos tradicionais (mét. II), separados por turma teórica;

	mét. I média (dp)	mét. II média (dp)
Professor A	6.01 (0.75)	6.11 (1.74)
Professor B	5.97 (1.68)	5.33 (1.07)

Tabela 5.4 Médias dos alunos sob diferentes métodos e professores de aulas teóricas.

- ii. as respostas ao questionário repetiram as constatações para o semestre anterior, a menos de:

¹Poder-se-ia perguntar, ainda, sobre que tipo de aprendizado tais alunos iriam adquirir se trabalhassem sobre simuladores que representam os sistemas apenas por funções de transferência.

- * As notas dadas às interfaces dos programas (ítems 1 e 2) aumentaram em 0,6 e 1,5 para o AVILAM e SAPIC, respectivamente. A interface do primeiro foi, de fato, bastante aperfeiçoada tanto no lay-out como nas funções de traçado de gráficos. Porém, o aumento da nota não pode ser creditado a estes avanços, pois o SAPIC permaneceu o mesmo e sua nota subiu consideravelmente;
- * a questão 7 recebeu uma baixa média (= 3,61) indicando novamente que a ausência de sistemas reais não foi sentida de maneira importante pelos alunos. Entretanto, a correlação que existia no semestre anterior entre desempenho na avaliação oral e a nota dada a este ítem não foi observada agora, nem mesmo com respeito à questão 8, referente ao interesse e à motivação dos alunos com a natureza dos problemas abordados pela disciplina. A opinião dos alunos era de que novos conhecimentos poderiam advir no trabalho com sistemas reais, mas a aprendizagem enquanto circunscrita ao programa da disciplina prescinde destes.

5.5 Avaliação Geral

Os comentários de avaliação geral serão feitos com referência aos objetivos planejados para as experiências de aprendizagem no laboratório de Servomecanismos I, que foram discutidos anteriormente, bem como em relação às condições concretas encontradas durante as aulas.

5.5.1 Aspectos Cognitivos da Utilização do Laboratório Virtual

Em termos gerais, pode-se dizer que as experiências de aprendizagem realizadas visavam a operacionalização dos conceitos da Teoria de Controle através da exposição do aluno a um contexto rico em situações-problema que somente seriam satisfatoriamente resolvidas com o uso daqueles conceitos. Mais especificamente, o planejamento das aulas práticas tomou como pressuposto que os conceitos necessários eram conhecidos pelos alunos (ainda que de maneira literal e arbitrária), e que a operação com tais conceitos seria tornada possível através da solução dos problemas apresentados ao longo dos roteiros¹.

Os resultados observados em termos do objetivo descrito acima mostraram que:

- . Os alunos aprendem a rotinizar a solução de problemas, sendo capazes de resolvê-los quando estes se apresentam formulados num plano teórico adequado.

¹Neste sentido, as aulas de laboratório passaram a se assemelhar a aulas de exercícios, apesar de mais elaboradas e com instrumentos mais sofisticados.

- . Os problemas mais teóricos, normalmente abordados no laboratório com o uso do programa SAPIC, cuja solução exigia uma pré-elaboração e interpretação antes da aplicação das rotinas de solução conhecidas apresentavam grande dificuldade, ou eram resolvidos erradamente pela utilização imediata de uma rotina não adequada.
- . Os problemas práticos, normalmente referidos aos sistemas do programa AVILAM, não eram adequadamente resolvidos devido à dificuldade dos alunos em traduzir a situação em termos da teoria conhecida. Simetricamente, existiu sempre uma dificuldade por parte dos alunos em referir algum conceito teórico com o fenômeno prático observado.
- . Finalmente, é importante notar que o nível de retenção dos conceitos aprendidos é bastante baixo, sendo comum a ausência de conceitos de base aprendidos em disciplinas anteriores, como Análise de Sistemas Lineares e Eletrônica.

Estes resultados serão discutidos na seção seguinte com base em um fator bastante importante: a motivação. Por enquanto, serão feitas sugestões de alteração de estratégias pedagógicas em uso no sentido de tentar sanar as dificuldades dos alunos quando da necessidade de elaboração de raciocínios formais aplicados à situações tanto práticas quanto teóricas. Tais sugestões consistem em:

- . *Evitar a ênfase no ensino da solução de problemas através da rotinização* (as famosas "receitas de bolo"). Ao invés disso, buscar ensinar os princípios básicos por detrás de cada método, capacitando o aluno a recriá-lo e delimitar as situações válidas para a sua utilização.
- . *Maior ênfase na interpretação concreta dos resultados de problemas e dos conceitos aprendidos.* Neste sentido, deve-se diminuir a ênfase em problemas apresentados sob a forma de modelos, o que inibe a discussão sobre variáveis físicas e permite apenas o tratamento de variáveis abstratas.
- . *Maior atenção à estrutura conceitual da disciplina,* buscando sempre a construção de relações entre seus conceitos e destes com outros externos a ela. Autores como Moreira (85) e Gowin (85) têm sugerido métodos para explicitação dos componentes conceituais de uma matéria e suas interrelações no sentido de melhorar o poder de ensino das aulas expositivas.
- . *Apresentação dos conceitos necessários à determinada aula prática com alguma antecedência,* com a realização de um pequeno teste de averiguação do domínio daquele conceito por parte do aluno antes da realização da prática.

5.5.2 A Motivação para o Uso do AVILAM

A motivação deveria ser criada por um meio de ensino que por hipótese incentiva a experimentação e manipulação dos objetos sob estudo simulados no laboratório virtual. O caráter lúdico dos primeiros contatos com os sistemas virtuais tornaria, em princípio, mais ativa a participação do aluno nas atividades em geral do curso de Servomecanismos.

Porém, ao final de um ano de trabalhos com estes programas de computador, os resultados não foram aqueles esperados, apesar da aprovação, pelos alunos, da metodologia empregada.

A motivação dos alunos não atingiu o nível de interesse requerido para a descoberta pessoal dos conhecimentos da disciplina e conseqüente facilitação da aprendizagem. Antes, observa-se nos alunos uma certa passividade característica das aulas expositivas tradicionais; eles costumam esperar por instruções para agir sobre o meio de instrução, sem curiosidade de seguirem sozinhos. Quando o fazem, é sem compromisso com a orientação geral da experiência.

Para ilustrar, tome-se como exemplo a dinâmica das aulas práticas: o roteiro da experiência era entregue ao início, e os alunos esperavam até o professor ordenar o começo das atividades. Entretanto, por bem elaborado que estivesse, o roteiro jamais era lido e então iniciado: ao contrário, o primeiro procedimento impresso que a vista alcançasse seria realizado, sem grandes preocupações sobre a possível existência de um passo anterior ou posterior.

As causas desta atitude podem estar relacionadas a dois aspectos principais:

1. *O papel da disciplina de Servomecanismos I dentro do currículo dos cursos dos alunos:*
As turmas são compostas por alunos dos cursos de Eng^a Elétrica e Eng^a de Produção Elétrica, em cujos currículos a disciplina aparece como a última dentro da área de Sistemas Lineares. Além disso, não constitui pré-requisito para nenhuma outra, o que é uma forte razão para o relativo desinteresse dos alunos pelo assunto do Controle, pois o interesse maior (manifestado informalmente) é a conclusão do curso com o menor atraso possível.
2. *A tradição das práticas de ensino às quais os alunos estão submetidos:* a grande maioria das experiências de aprendizagem com as quais os alunos têm tido contato em suas vidas acadêmicas está baseada no ensino expositivo. Neste sentido, a participação ativa do aluno em seu próprio aprendizado é bastante limitada, como já foi observado na seção anterior.

Esta situação possivelmente poderá ser revertida no contexto do CECA, devido a três fatores principais:

1. A importância relativa da disciplina introdutória ao controle dentro do currículo.

2. A maturidade que se espera desenvolver nos alunos dada a participação destes em estágios e atividades em laboratórios, bem como pelo próprio espírito da reforma acadêmica recém-implantada na UFSC, que pretende diminuir a carga horária de sala de aula em favor do estudo pessoal do aluno.
3. A preocupação existente no grupo de planejamento curricular em se garantir o cumprimento dos critérios de organização de experiências de aprendizagem, de maneira a vincular esta disciplina com o todo curricular.

Somente uma avaliação futura nos moldes da empreendida neste trabalho dirá se as expectativas acima colocadas se verificarão de fato.

5.5.3 Organização das Experiências de Aprendizagem

Apesar dos resultados obtidos, e também por causa deles, pode-se pensar em formas de organização das experiências de aprendizagem, nas quais o Laboratório Virtual possa cumprir o papel de instrumento de ensino alternativo ao quadro-negro. Dois destes papéis seriam:

- . fornecer objetos de estudo para várias disciplinas de uma cadeia de pré-requisitos. De fato, isto pode se tornar operacional com alguns aperfeiçoamentos já previstos no programa AVILAM (ver seção 4.5 do Capítulo 4). Uma vez que esta nova versão esteja disponível, a implantação deste tipo de esquema vai precisar ainda da definição de uma metodologia adequada e, também, da melhoria da infra-estrutura computacional para fins de ensino;
- . integrar os aspectos práticos e teóricos no ensino, assim como as diversas disciplinas afins em um semestre. Para tanto, a utilização dos programas AVILAM e SAPIC em aulas expositivas pode ser feita com o uso de retroprojetores de telas de microcomputadores, ou ainda com o uso de salas especiais, como as planejadas para o Centro Tecnológico da UFSC. A questão da metodologia a ser empregada para integrar as disciplinas de um mesmo período pode ser inspirada em uma experiência bem sucedida em uma universidade sueca (Einarsson, 79), cujo sucesso na implantação do uso de computadores no ensino deveu-se à participação de todos os professores, de forma coordenada e integrada.

5.6 Conclusão

Neste capítulo, as condições e os resultados da utilização do Laboratório Virtual AVILAM e do programa SAPIC em uma disciplina foram apresentados. A lição mais

importante que se depreende desta experiência é a de que a preocupação com elementos e metodologias não garante o sucesso da prática de aprendizagem, tanto mais em um ambiente no qual os alunos a muito têm sido submetidos à passividade das aulas expositivas e avaliações por provas.

Apesar do sucesso limitado da iniciativa, fatores como o colocado acima permitem situar um contexto no qual o esforço de preparação de experiências de aprendizagem traga resultados melhores. Porém, não se pode esperar por condições externas ao método (e.g., qualidade excepcional de um grupo de alunos) para mostrar suas qualidades; toda uma reciclagem da proposta está advindo do acúmulo de experiências, com melhorias sensíveis no conteúdo das aulas de laboratório que vêm sendo ministradas no primeiro semestre de 1991.

Este trabalho de avaliação deve continuar e se estender a outras disciplinas, no sentido de se aprimorar o processo de implantação e funcionamento do currículo do Curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A análise do desenvolvimento do currículo empreendida no Capítulo 2 mostrou que, nos limites da situação brasileira, os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos estão adequados. Isto nem de longe quer significar que a qualidade do programa de formação está garantida: antes, os limites acima referidos impõem uma atenção especial ao trabalho de avaliação constante das condições de operação do curso. Neste sentido, uma perspectiva de continuação para este trabalho seria a formalização de procedimentos de avaliação. Por situar-se numa fronteira entre as recomendações (técnicas) e as decisões (políticas), tal tarefa não poderia ser atribuída exclusivamente a pesquisadores, precisando também da participação ativa do colegiado do curso em questão.

Com relação ao restante da dissertação, o resultado das atividades de laboratório, quando contrastado com o esforço do trabalho de uma equipe de professores dirigido para a criação de experiências de aprendizagem baseadas em programas de computador, mostra que não se pode tratar ingenuamente as questões referentes ao aprendizado dos alunos. Por um lado, não basta criar instrumentos de qualidade atestada por profissionais, é preciso testá-los na prática do ensino tal como se apresenta atualmente. Por outro, é preciso refletir sobre os resultados com base nas condições mesmas de sua utilização. Em outras palavras, como o método utilizado para teste dos instrumentos desenvolvidos não se utilizou de "condições de laboratório", as variáveis que condicionam os resultados não podem ser devidamente explicitadas; ainda assim, é necessário permanecer neste plano, pois do contrário não se pode garantir que, na passagem para a prática do ensino, a qualidade dos instrumentos não se altere. Pode-se questionar sobre a validade dos juízos emitidos sob tais condições¹, mas as evidências colhidas durante este trabalho indicam que é preciso toda uma mudança nas práticas de ensino para que cada uma delas possa demonstrar seu potencial.

As perspectivas deste trabalho são potencialmente maiores que as da parte anterior. Por um lado, existe muito a ser feito sobre os programas de computador e nos métodos de uso destes, principalmente com relação ao uso em sala de aula e à continuidade e sequência de conteúdos através do estudo cada vez mais aprofundado dos sistemas simulados. Por outro, o desenvolvimento e aplicação de técnicas de avaliação traria maior certeza nas conclusões sobre a qualidade de tais instrumentos e métodos.

Finalmente, é importante dizer que a possibilidade deste tipo de trabalho no âmbito de um curso de pós-graduação em engenharia está demonstrada nesta dissertação, a qual sofreu bastante na busca de uma identidade que ao mesmo tempo satisfizesse os critérios

¹Na medida em que estes tenderão a situar os problemas mais nas condições externas do que em deficiências internas aos instrumentos e métodos.

de um trabalho de engenharia e de educação. Talvez aí estejam seus maiores defeitos, mas também a sua maior virtude.

BIBLIOGRAFIA

- Ausubel, D.P., Novak, J., Hanesian, H. (1978); "Psicologia Educacional". Ed. Interamericana, 625 p., São Paulo, S.P.
- Astrom, K. (1991); "Response from the Academia". Proceedings of the IFAC Advances in Control Education Conference, Boston, EE. UU.
- ✕ Baldwin, C.J. et alii (1979); "A Model Undergraduate EE Curriculum". IEEE Transactions on Education, vol. E-22(2).
- Bloom, Benjamin S. (1972); "Taxionomia de Objetivos Educacionais: Domínio Cognitivo". Editora Globo, Porto Alegre.
- Bruciapaglia, A. H. & Farines, J.-M. A. (1990); "Formação de Recursos Humanos em Controle e Automação Industrial". SBA: Controle e Automação, vol.2(4): 204-211.
- Capper, L. (1986); "A Philosophy for the Teaching of Computer Science and Information Technology". The Computer Journal, Vol. 29, no. 1.
- CECA (90); "Curso de Graduação de Engenharia de Controle e Automação Industrial". Coordenadoria do CECA, UFSC, Outubro de 1990, Fpolis, SC.
- CFE, Conselho Federal de Educação (1976); "Resolução 48/76".
- Conforti, E., Burian Jr. (1985); "Discussões sobre a evolução do currículo de Engenharia Elétrica da Unicamp". Revista Brasileira de Ensino de Engenharia, vol. 4(1): 56-59, São Paulo, SP.
- Cory, B.J. & Allen, P.H.G (1981); "Practical Experience for Four-Year Degrees in Electrical Engineering". Int. J. Elec. Eng. Educ., vol 18: 5-10, Manchester, UK.
- Cowan, D. D. et al., (1988); "Networks for Education of University of Waterloo". Computer Network and ISDN Systems, vol.15: 315-27, North-Holland Publisher.
- Diew, K.S., Krogh, B.H. & Nagurka, M.L. (1986); "An Interactive Control Systems Simulator". IEEE Control Systems Magazine, vol.6(2):20-26.

- Einarsson, G. (1979); "Computer Assisted Instruction in Communication Engineering". Computers & Education, vol.3: 7-16. Pergamon Press, U.K.
- Fairley, R.; "Software Engineering Concepts". McGraw-Hill International Editions, Singapore, 1985.
- Fischbein, E. (1990); in A.G. Howson & J.-P. Kahane (Ed.): Mathematics and Cognition, ICMI Study Series, pp. 1-13., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Francis, W.P. & Ottenstein, L.M. (1985); "An Evaluation of a CAI System for Teaching FORTRAN". IEEE Transactions on Education, vol.E-28(3): 169-173.
- Hang, C.C. & Lee, T.-H (1990). Incorporating Practical Contents in Control Engineering Courses. IEEE Transactions on Education, vol.33(3): 279-284.
- Jamshidi, M., Malek-Zavarey, M., Vakilzadeh, I. (1979). Problems of Automatic Control Education in Developing Countries. Automatica, vol. 15: 105-112.
- Kerns Jr., D. V. (1989); "Microelectronic Manufacturing Engineering Curriculum Development". IEEE Transactions on Education, vol.32(1): 4-11.
- Kolb, P. et alii (1991); "Discrete Time Simulation and Experiments with FPU and Block-Sim on IBM-PC's". Preprints of the IFAC Conference on Advances in Control Education, 19-20 de Junho, Boston, MA, EUA.
- × Kliebard, H. M. (1980); "Os Princípios de Tyler". In Messick, R. G., Paixão, L. e Bastos, L. R. (org.); "Currículo: Análise e Debate". Zahar Editores, Rio de Janeiro.
- Kraus Jr., W. (1989); "Relatório de entrevistas com representantes do setor industrial e acadêmico envolvidos com Automação Industrial". Nota Interna LCMI, Agosto de 1989.
- Kraus Jr., W., Cury, J. A. R., Normey, J. E. R., Farines, J. M. A. & Bruciapaglia, A. H. (1990); "Uma Experiência de Uso de um Laboratório Virtual para Ensino da Teoria de Controle". Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Computadores na Educação, pp. 185-193. 19-21 de Novembro, Rio de Janeiro, RJ.

- Kraus Jr., W., Farines, J. M. A., Bruciapaglia, A. H., Cury, J. A. R. & Normey, J. E. R. (1991); "An Experiment on the Use of a Virtual Laboratory in Teaching Control Theory". Preprints of the IFAC Conference on Advances in Control Education, 19-20 de Junho, Boston, MA, EUA.
- ✕ Lewy, A. (1979); "Avaliação de Currículo". EPU/EPUSP, São Paulo, SP. 315 pp.
- Lima, S. C. (1991); "Identificação de Sistemas Assistida por Computador". Dissertação de Mestrado, LCM I EEL UFSC. 1991, Fpolis, SC (em elaboração).
- Luyben, W.L. (1973). Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers. Ed. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, Japan.
- Maier, H. & Schaufelberger, W. (1990); "Simulation and Implementation of discrete-Time Control Systems on IBM-Compatible PCs by FPU". Preprints of the 11th IFAC World Congress, vol.12: 178-183.
- Melkanoff, M. A. (1987); "Education for Intelligent Manufacturing Systems". Robotics & Computer Integrated Manufacturing, vol.3(2): 165-69.
- Miller, E.K. et al. (88); "Computer Movies for Education". IEEE Transactions on Education, vol. 31(2).
- Normey R., J. E. & Bruciapaglia, A. H. (1990). "A Partial Non-Interactive Multivariable Controller for a Voltage-Feed Induction Motor". Preprints of the 11th IFAC World Congress, vol. 8: 203-206, Tallinn, Estonia, USSR.
- Pagano, D. J. (1989); "Desenvolvimento de um Controlador PID Auto-Ajustável Baseado em um Sistema Especialista". Dissertação de M. Eng., LCM I-EEL-UFSC, Fpolis, SC.
- Passino, K. M. et alli (1989); "Neural Computing for Numeric-to-Symbolic Conversion in Control Systems". IEEE Control Systems Magazine, vol. 9(3): 44-52.
- Piaget, J.P. (1978); "Epistemologia Genética". Col. Os Pensadores, Ed. Abril Cultural, São Paulo, Brasil.

- Pullen, J.M. & Mercer, R.T. (1988); "TUTOR301 - A Successful Application of CAI for Electrical Engineering Problem Solving". IEEE Transaction on Education, vol.31(1): 41-44.
- Reis, A.(1990); "ARGUS: Uma Experiência na Aplicação de uma Teoria da Argumentação". Anais do Iº Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pp. 62-78, Rio de Janeiro, RJ.
- Schaufelberger, W. (1990); "Design and Implementation of Software for Control Education". IEEE Transactions on Education, vol.33(3): 291-297.
- Scriven, M. (1976); "Perspectivas e Procedimentos de Avaliação". In Bastos, L. R., Paixão, L. e Messick, R. G.; "Avaliação Educacional II: Perspectivas, Procedimentos e Alternativas". Editora Vozes, Rio de Janeiro.
- Stephan, R.M. (1990); "Apostila de Laboratório", Laboratório de Controle, Centro de Tecnologia - Escola de Engenharia - Depto. de Eletrotécnica - UFRJ.
- Stufflebeam, D. (1976); "Alternativas em Avaliação Educacional". In Bastos, L. R., Paixão, L. e Messick, R. G.; "Avaliação Educacional II: Perspectivas, Procedimentos e Alternativas". Editora Vozes, Rio de Janeiro.
- × Tyler, R. (1974); "Princípios Básicos de Educação e Currículo". Ed. Globo, Porto Alegre, RS. 181 pp.
- × UNESCO (1984); "A Modular Curriculum in Computer Science". UNESCO-IFIP, França.
- Waks, S. & Lindenlaub, J. (1981). "Cognitive Levels in a Basic Electrical Engineering Course". Int. J. Elec. Eng. Educ., vol 18, pp 101-111. Manchester, UK.
- Wellstead, P.E. (1990). Teaching Control with Laboratory Scale Models. IEEE Transactions on Education, vol.33(3): 285-290.
- Yurkovich, S. (1989), Editor; "Special Section on Control Systems Education". IEEE Control Systems Magazine, vol. 9, April 1989.

ANEXO 1

Questionário para avaliação de conteúdos

Avaliação de Conteúdos: Curso de Engenharia de Controle de Processos e Automação Industrial

A partir do primeiro semestre de 1990, estará sendo implantado o curso de Engenharia de Controle de Processos e Automação Industrial na Universidade Federal de Santa Catarina. Como forma de se avaliar o currículo definido para o novo curso, e melhor adequá-lo à realidade da Automação no país, está se iniciando uma ampla consulta às pessoas envolvidas na área, tanto da Indústria como das Universidades e Centros de Pesquisa. Este levantamento visa saber quais temas, segundo a ótica de cada um, têm maior importância na formação de um engenheiro capaz de atuar em Controle de Processos e Automação Industrial.

Neste sentido, apresenta-se a seguir uma lista de conteúdos em condições de compor um currículo visando a formação de engenheiros aptos a atuar em Automação Industrial. Seguindo a proposta metodológica de Kerns*, pede-se que seja atribuído um valor de 0 (zero) a 10 (dez) a cada tópico, relativo ao nível de importância do conteúdo na formação do engenheiro. Além dos listados, sugestões para novos itens podem ser feitas. Não é necessário cotar todas as disciplinas. Os resultados da pesquisa serão retornados a todos que colaborarem com o envio do questionário.

As respostas podem ser enviadas para:

Laboratório de Controle e Microinformática
A/C Werner Kraus Junior
EEL - CTC - UFSC
Cx.P. 476 - Campus Universitário Trindade
CEP 88049 - Fpolis - S.C.

* KERNS, David V., Jr.; "Microelectronic Manufacturing Curriculum Development". IEEE Transactions on Education, v. 32, nº 1, Fev. 89.

LISTA DE CONTEÚDOS RELEVANTES EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Matemática e Física

- Cálculo Diferencial e Integral
- Cálculo Vetorial
- Funções de Variáveis Complexas
- Geom. Analítica
- Vetores & Álgebra Linear
- Cálculo Numérico
- Estatística e Probabilidade
- Física I: Mecânica
- Física II: Calor e Som
- Física III: Eletr. e Magnetismo
- Física Moderna: Ótica, Quântica
- Estática
- Dinâmica

Química

- Química Geral
- Química Tecnológica

Formação Humanística e Geral

- Ecologia/Recursos Naturais
- Relações Humanas
- Aspectos Sociais da Automação
- Português Prático: Comunicação Oral e Escrita
- Estudo dos Problemas Brasileiros
- Direito/Legislação
- Desenho Técnico/Geometria Descritiva

Economia Geral e Industrial

- Contabilidade
- História Econômica
- Macro e Microeconomia
- Economia na Organização Industrial
- Teoria Econômica Aplicada à Tomada de Decisões

Eng^a Mecânica

- Termodinâmica
- Mecânica dos Fluidos
- Fluxo de Calor

- Resistência dos Materiais
- Elementos de Máquinas
- Processos de Fabricação (Usinagem, Soldagem, Conformação etc.)

Eng^a de Produção

- Pesq. Operacional
- Ergonomia
- Gerência de Materiais
- Controle de Qualidade
- Organização da Produção
- Sistemas Integrados de Manufatura
- Eng^a de Segurança

Eng^a Elétrica e Eletrônica

- Circuitos Elétricos
- Sistemas Lineares
- Tratamento de Sinais
- Eletromagnetismo
- Sistemas de Comunicação
- Eletrônica Analógica
- Eletrônica Digital
- Microeletrônica
- Microprocessadores
- Arq. Sist. Digitais

Metrologia e Acionamentos

- Medição de Grandezas Físicas
- Sensores e Transdutores
- Acionamento Hidro-pneumático
- Acionamento Eletro-eletrônico

Teoria de Controle

- Contr. Sist. Contínuos
- Contr. Sist. Amostrados
- Contr. por Variáveis de Estado
- Contr. Sistemas não-Lineares
- Contr. Ótimo
- Contr. Adaptativo
- Identificação de Sistemas

Automação da Manufatura

- Projeto Assistido por Computador (CAD/CAM)
- Estudo de Comando Numérico
- Robótica
- Sistemas Integrados de Manufatura

Informática

- Linguagens de Programação
- Eng^a de Software
- Sistemas Distribuídos e Redes
- Sistemas de Tempo Real
- Programação Concorrente
- Estruturas e Bancos de Dados
- Inteligência Artificial
- Contr. Lóg. Prog. (CLP's)
- Sist. Dig. Contr. Distr. (SDCD's)

Outros

Nome: _____

Empresa/Instituição: _____

Cargo: _____

Endereço: _____

ANEXO 2

Roteiro para experiência de Laboratório nº 1

Roteiro p/ Experiência nº 1:
Controle Manual de Nível e Vazão

1. INTRODUÇÃO

Neste laboratório se realizará o controle manual de uma planta (reservatório de reagentes) através de um sistema de simulação animada. O funcionamento do reservatório tem as seguintes características:

- . a vazão de entrada é controlada pela válvula superior, através das setas 2 (fechar) e 8 (abrir);
- . a vazão de saída é controlada pela válvula inferior, através das setas 4 (fechar) e 6 (abrir);
- . a abertura e fechamento das válvulas se faz em passo de 0,01. Quando pressionadas junto com SHIFT, o passo é 0,1;
- . quando o nível atinge 14,0 metros, a válvula superior é fechada, e a vazão de entrada cai a zero;
- . quando o nível atinge 2,0 metros, a vazão de entrada é levada para 200 m³/s, como forma de repor o volume do reservatório rapidamente.

O objetivo do mesmo é introduzir, de maneira experimental, alguns conceitos básicos do controle de sistemas, tais como malha aberta, controle por operador, sensibilidade, erro, referência e malha fechada.

2. CONTROLE DE NÍVEL:

- . Inicie a operação do reservatório de reagentes, levando a válvula de controle da vazão de saída até $\frac{1}{2}$ abertura (0.50);
- . Mantendo esta abertura, controle o nível em 12 m, manipulando a válvula de entrada do reservatório;
 - * É possível chegar à condição de equilíbrio (reg. permanente)? Sob que condições?
- . Anote o valor da vazão de saída.
- . Observe o gráfico do nível, verificando a evolução do erro em relação à referência desejada.
- . Altere um parâmetro do sistema: leve a abertura da válvula de saída até 0.75. Observe se o nível continua estável.
 - * O nível estabilizará novamente? Por que?
- . Tente retornar o nível ao ponto inicialmente desejado; anote os valores da vazão de saída, entrada e nível. Compare-os com os valores obtidos no equilíbrio anterior. Anote também as respectivas aberturas.

3. CONTROLE DE VAZAO

.Reinicialize o sistema;

.Controle a vazão de saída em 10 m³/min, atuando na abertura da válvula de saída e mantendo a vazão de entrada em zero.

* É possível manter a vazão no valor de referência sem manipular a válvula de saída? Compare com o caso anterior (Controle de Nível).

* O que ocorre quando se atinge a abertura máxima de válvula? Que fenômeno não-linear permite descrever este comportamento?

.Continue com a ação de controle até que se atinja a condição de emergência, i. e.:

$$\text{nível} \leq 2.00.$$

.Tente controlar a vazão durante o transitório de nível.

4. PERGUNTAS:

a. Que problemas você apontaria no controle em malha aberta do nível?

b. Descreva como você realizou a tarefa de controle, levando em conta: observação da saída, comparação com o valor que você desejava, e atuação. Tente, ainda, desenhar um diagrama representativo do sistema no qual você era o operador.