

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

**UM MODELO REFLEXIVO PARA FORMAÇÃO
DE ENGENHEIROS**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos
requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia
Elétrica.

MARCOS BANHETI RABELLO VALLIM

Florianópolis, fevereiro de 2008

UM MODELO REFLEXIVO PARA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

Marcos Banheti Rabello Vallim

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Automação e Sistemas*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Jean-Marie Farines, Dr.
Orientador

José Eduardo Ribeiro Cury, Dr.
Co-Orientador

Kátia Campos de Almeida, Dra.
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Philippe Viarouge , Dr.
Université Laval

Marcos Azevedo da Silveira, Dr.
PUC-RJ

José André Peres Angotti, Dr.
UFSC

Augusto Humberto Bruciapaglia, Dr.
UFSC

Ubirajara Franco Moreno, Dr.
UFSC

Dedico este trabalho aos meus avós, Alcides e Amélia. Com ele, aprendi a gostar da
Ciência. Com ela, aprendi a fazer do trabalho uma fonte de alegria.

Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Por que se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser aprendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida. Deve aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias para determinar com exatidão seu lugar em relação a seus próximos e à comunidade. Estas reflexões essenciais, comunicadas à jovem geração graças aos contatos vivos com os professores, de forma alguma se encontram escritas nos manuais. É assim que expressa e se forma de início de toda a cultura. Quando aconselho com ardor “as humanidades”, quero recomendar a cultura viva e não um saber fossilizado, sobretudo em história e filosofia. Os excessos do sistema de competição e de especialização prematura, sob o falacioso pretexto da eficácia, assassina o espírito, impossibilitam qualquer vida cultural e chegam a suprimir os progressos nas ciências do futuro. É preciso, enfim, tendo em vista a realização de uma educação, desenvolver o espírito crítico na inteligência do jovem. Ora, a sobrecarga do espírito pelo sistema de notas entrava e necessariamente transforma a pesquisa em superficialidade e falta de cultura. O ensino deveria ser assim: quem o receba o recolha como um dom inestimável, mas nunca como uma obrigação penosa.

Albert Einstein, in: Como vejo o Mundo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que é o meu Senhor e Fortaleza. Sem Ele, não haveria a inspiração para intuir o que a razão não alcançava, nem a fé para continuar mesmo quando faltavam motivos concretos para fazê-lo.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), à Direção do Campus Cornélio Procópio e aos colegas da COELT, por terem viabilizado o afastamento para que eu pudesse fazer este trabalho.

Agradeço ao meu amigo Jorge Alberto Martins, com o qual dividi, mesmo distante, a experiência de fazer um doutorado. Agradeço ao Jorge também pela paciência e a solidariedade de ler e discutir a parte final do trabalho, e ter me encorajado a terminá-lo com sucesso.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGEEL-UFSC) e ao Departamento de Automação e Sistemas (DAS), incluindo os professores, alunos e funcionários, pelo acolhimento, respeito e pela aprendizagem que tive durante o tempo do doutorado. Em especial, agradeço aos amigos Antonio, Jerusa, Paulo, Rodrigo Sumar, Sônia Palomino, que sempre foram solidários, me ajudando a superar as minhas limitações.

Agradeço os meus orientadores, os professores Jean-Marie Farines e José Eduardo Ribeiro Cury, os quais às vezes me levavam pela mão, às vezes pela orelha, mas nunca me deixaram sozinho pelo caminho. Sem a orientação firme e experiente deles, eu não teria chegado ao fim do trabalho.

Agradeço ao professor Philippe Viarouge pelo estágio na Universidade Laval e pela bolsa que ele me concedeu, viabilizando a minha permanência no Canadá durante o inverno de 2004. Nunca me esquecerei daquele inverno de -27°C abaixo de zero!

Agradeço aos membros da banca examinadora da tese, pelas críticas e sugestões que enriqueceram muito o resultado final do trabalho. Ao professor Marcos Azevedo da Silveira, agradeço também pelo relato da tese.

Agradeço, de forma muito afetiva, ao apoio da minha família, incluindo o “clã Padilha” (Ênio, Áurea, Ana Clara e Maria Helena) e ao grande Mauro Faccioni Filho.

Agradeço muito especialmente a minha companheira Vanessa e ao meu filho Bruno, que ficaram sem mim durante tanto tempo. Sofreram com minha ausência, mas nunca deixaram de me apoiar para que eu tivesse as forças necessárias para fazer esse trabalho.

Resumo da Tese apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

UM MODELO REFLEXIVO PARA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

Marcos Banheti Rabello Vallim

Fevereiro / 2008

Orientador: Jean-Marie Farines, Dr.

Co-Orientador: José Eduardo Ribeiro Cury, Dr.

Área de Concentração: Automação e Sistemas

Palavras-chave: **Educação em Engenharia, Modelo de Currículo para Engenharia, Aprendizagem Baseada em Problemas.**

Número de Páginas: 169

Este trabalho apresenta um modelo para desenvolvimento de currículo de engenharia que visa fortalecer elementos da prática profissional que habilitam engenheiros a lidarem com a incerteza e a complexidade inerentes ao mundo real. O modelo conceitual proposto é baseado nos princípios de “saberes práticos e teóricos”, “aprender fazendo”, “humanismo”, “pensamento reflexivo”, “contexto”, sendo destacado o uso de problemas reais de engenharia para construir, tanto o conhecimento teórico, quanto o conhecimento prático, ambos essenciais ao contexto do exercício profissional. Para tornar as idéias do modelo mais claras é desenvolvido um exemplo de currículo em engenharia de controle e automação. O currículo desenvolvido, utilizando o modelo, é então comparado com o currículo tradicional da engenharia a fim de discutir suas vantagens e limitações. Na parte final, são discutidas algumas questões sobre a implantação de um curso baseado no modelo proposto e as perspectivas de continuidade do trabalho.

Abstract of Thesis presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering.

A Reflective Model for Engineering Education

Marcos Banheti Rabello Vallim

February / 2008

Advisor: Jean-Marie Farines, Dr.

Co-advisor: José Eduardo Ribeiro Cury, Dr.

Area of Concentration: Automation and Systems

Keywords: **Engineering Education, Engineering Undergraduate Curriculum, Curriculum Model for Engineering, Problem Based Learning.**

Number of Pages: 169

This work presents a curriculum model for undergraduate degree in engineering that aims strengthening elements of the professional practice which enable engineers to deal with the inherent uncertainty and complexity of the real world. In general engineering curricula focus on the theoretical knowledge and explore practical applications in an idealized way that hides problems arising in real situations. This approach causes several problems to the students. One of them is the difficulty to project real systems taking into account, at the same time, environmental, social, economic, and technical aspects. The model is defined from the principles of “practice and theoretical knowledge”, “humanism”, “learning-by-doing”, “reflective thought”, “context”, whose components and organization highlight the use of real engineering problems to build both theoretical and practice knowledge, both intended as being essential for the professional life. For better understanding of the ideas embodied in the model, an example of a curriculum in control and automation engineering is outlined. The proposed curriculum framework is compared to the traditional curriculum framework in order to discuss about its advantages and limitations. Open questions concerning the curriculum implementation are commented, and the perspectives of the work are addressed as well.

Sumário

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Evolução da profissão e do ensino de engenharia	2
1.3 Educação em engenharia: desafios e dilemas	5
1.4 A necessidade de novas estruturas curriculares	7
1.5 Controle e Automação: uma nova modalidade de engenharia	8
1.6 Hipóteses assumidas e objetivos do trabalho	9
1.7 Organização do documento	10
2 Referencial Teórico	13
2.1 Introdução	13
2.2 O Pragmatismo de John Dewey	14
2.2.1 Experiência e aprendizagem	15
2.2.2 Prática Reflexiva	15
2.2.3 Educação como um processo de desenvolvimento	16
2.3 A contribuição de Schön para educar o profissional reflexivo	18
2.4 Currículo: abordagem tecnicista de Tyler	19
2.4.1 Fundamentos filosóficos do modelo tecnicista	20
2.4.2 Experiências de Aprendizagem e objetivos educacionais do modelo tecnicista	24
2.4.3 Objetivos Educacionais de Bloom: um refinamento do modelo tec- nicista de Tyler	25

2.4.4	Arquitetura do modelo tecnicista	26
2.4.5	O processo de organização do currículo tecnicista	29
2.4.6	Avaliação do processo de aprendizagem	29
2.4.7	Críticas ao modelo de currículo tecnicista de Tyler	31
2.5	Abordagem de currículo por competências	34
2.5.1	Diferentes modelos educacionais baseados na abordagem por com- petências	35
2.5.2	Concepção de um currículo na abordagem por competências	37
2.5.3	Conceito de competência: capacidade dominada de mobilização de recursos cognitivos	38
2.6	Síntese das contribuições teóricas apresentadas	40

3 Aprendizagem Baseada em Problemas: Fundamentos e Aplicações na Educação em Engenharia **42**

3.1	Introdução	42
3.2	PBL: método ou técnica?	43
3.3	Origem da PBL	44
3.4	Fundamentos da PBL	45
3.4.1	Princípios da PBL	46
3.4.2	Objetivos da PBL	46
3.4.3	Processo da PBL	48
3.5	PBL na educação em engenharia	51
3.5.1	Implementação da PBL na educação em engenharia	52
3.6	Um quadro para análise das abordagens de PBL	53
3.6.1	Objetivos	54
3.6.2	Escopo	54
3.6.3	Base pedagógica	54
3.7	Exemplos de aplicação de problemas no ensino de engenharia	55
3.7.1	TEKBOTS TM	55
3.7.2	Projeto AAU	57
3.7.3	A linha de Disciplinas de Projeto da Universidade Laval	60
3.8	Considerações finais	62

4	Estrutura de Referência para Concepção de um Curso de Engenharia	63
4.1	Introdução	63
4.2	Currículo tradicional	64
4.3	Princípios do modelo de currículo reflexivo	66
4.3.1	Humanismo	66
4.3.2	Saberes	68
4.3.3	Aprender fazendo	69
4.3.4	Contexto	71
4.3.5	Pensamento Reflexivo	71
4.4	Componentes do modelo de currículo reflexivo	73
4.4.1	Perfil profissional desejado	73
4.4.2	Tema-condutor	74
4.4.3	Conceitos organizadores	74
4.4.4	Problemas de engenharia	75
4.4.5	Atividades de aprendizagem	76
4.5	Arquitetura do currículo reflexivo	78
4.5.1	Iniciação	78
4.5.2	Construção	79
4.5.3	Expansão	80
4.5.4	Aprofundamento	80
4.5.5	Realimentação	81
4.6	Processo de concepção de currículo baseado no modelo reflexivo	82
4.7	Exemplo de currículo reflexivo	84
4.7.1	Definição do perfil profissional desejado	85
4.7.2	Tema-condutor: desenvolvimento sustentável	85
4.7.3	Identificação de conceitos organizadores: projeto e sistemas de controle	86
4.7.4	Concepção do currículo	88
4.8	Currículo tradicional versus currículo reflexivo	89
4.8.1	Conhecimento teórico e conhecimento prático	89
4.8.2	Validação do conhecimento adquirido	89
4.8.3	Professores e estudantes	89

4.8.4	Técnica e Humanismo	90
4.8.5	Trabalho docente e estrutura institucional	90
4.9	Conclusão	90
5	Analisando um curso de engenharia com base no modelo reflexivo	91
5.1	Introdução	91
5.2	O contexto do curso de engenharia elétrica da Universidade Laval	92
5.2.1	Objetivos curriculares dos cursos de engenharia elétrica e de computação	92
5.2.2	O surgimento da linha de Projeto	96
5.3	Características gerais da linha de projeto	97
5.3.1	Princípios	97
5.3.2	Tema-condutor	98
5.3.3	Conceitos organizadores	98
5.3.4	Dinâmica de ensino-aprendizagem	98
5.4	Descrição das disciplinas da linha de projeto	100
5.4.1	Design I	101
5.4.2	Design II	103
5.4.3	Design III	108
5.4.4	Design IV	112
5.5	Analisando a linha de projeto sob a ótica do currículo reflexivo	115
5.5.1	Princípios	116
5.5.2	Tema-condutor	117
5.5.3	Conceitos organizadores	117
5.5.4	Fases	118
5.5.5	Problemas de engenharia e atividades de ensino-aprendizagem	119
5.5.6	Contribuições do estágio para melhoria da linha	120
5.6	Considerações finais	121
6	Aplicando o modelo reflexivo na concepção de um curso de engenharia de controle e automação	123
6.1	Introdução	123
6.2	Os agentes que definem o perfil profissional de um engenheiro	125

6.2.1	Sistema profissional	125
6.2.2	Sistema educacional	128
6.2.3	Comunidade de ensino e pesquisa em controle e automação	132
6.2.4	Mercado de trabalho	135
6.3	Concepção de um curso de engenharia de controle e automação baseado no modelo reflexivo	136
6.3.1	Perfil profissional desejado	136
6.3.2	Temas-condutores	138
6.3.3	Conceitos organizadores	141
6.3.4	Problemas de engenharia	142
6.3.5	Arquitetura do curso	144
6.4	Organização das atividades de aprendizagem da fase de iniciação	145
6.4.1	Problema de engenharia: Sistema integrado de manufatura	146
6.4.2	Saberes desenvolvidos na fase	149
6.4.3	Dinâmica de desenvolvimento da fase	150
6.5	Considerações finais do capítulo	151
7	Reflexões Finais	154
7.1	Resultados Obtidos	155
7.2	Dificuldades e limitações do trabalho	156
7.3	Questões em aberto e perspectiva de trabalhos futuros	157
	Referências Bibliográficas	159

Lista de Figuras

1.1	Representação do espaço de solução dos dilemas da formação em engenharia.	7
2.1	Comparação entre os princípios do método de Descartes, de administração científica de Taylor e organização de currículo de Tyler.	21
2.2	Abordagem tecnicista de desenvolvimento de currículo.	23
2.3	Taxonomia de Objetivos educacionais de Bloom: domínio cognitivo	26
4.1	Modelo de desenvolvimento de um currículo reflexivo	84
5.1	Estrutura do conteúdo curricular dos cursos de engenharia elétrica e de computação da Universidade Laval	93
5.2	Página de abertura do site da disciplina de Design II.	100
5.3	esquema da tarefa a ser cumprida pelo mini-veículo.	105
5.4	Protótipo de um dos mini-veículos.	107
5.5	Demonstração da ferramenta de simulação de uma das equipes.	107
5.6	Esquema do terreno onde o robô deve executar a tarefa.	110
5.7	Fragmento de relatório , mostrando as alternativas consideradas para o projeto do subsistema de alimentação.	111
5.8	Um dos protótipos faz um gol durante a competição.	112
5.9	Na borda da mesa, um estudante aguarda ansioso que o robô lance a bola para completar a tarefa.	112
5.10	Fragmento de um dos documentos do projeto, mostrando o conceito de foto-identificação de belugas proposto.	115
6.1	Estrutura de um curso de engenharia na visão das diretrizes curriculares do MEC. Fonte: (Giorgetti, 2007).	131
6.2	Estrutura curricular do curso de engenharia de controle da UFSC	136

6.3	Esquema de representação do perfil profissional visado pelo curso de engenharia de controle e automação da UFSC.	137
6.4	Arquitetura do curso de ECA UFSC baseado no modelo reflexivo.	145
6.5	Organização das atividades de aprendizagem da fase de Iniciação	150
6.6	Cronograma de desenvolvimento de um ciclo de atividades PBL na fase de Iniciação.	152

Lista de Tabelas

3.1	Diferenças principais entre a abordagem tradicional e a <i>PBL</i>	48
4.1	Fases do currículo	82
4.2	Perfil profissional desejado para um engenheiro de controle e automação . .	87
4.3	Esboço de um curso de engenharia de controle e automação	88
5.1	Objetivos curriculares endereçados pelas disciplinas da linha de projeto . .	97
5.2	Fases do currículo reflexivo	118
6.1	Atividades profissionais de engenharia ratificadas pela Resolução No 1010.	127
6.2	Uma visão comparativa dos resultados de aprendizagem esperados respec- tivamente pelo MEC e pela ABET.	129
6.3	Conhecimento teórico básico preconizado pelas DCNCE do MEC.	130
6.4	Conhecimento teórico profissionalizante preconizado pelas DCNCE do MEC.	131
6.5	Áreas de conhecimento do curso de engenharia de controle e automação da UFSC e os respectivos tópicos cobertos em cada uma delas.	134
6.6	Conhecimento teórico básico desenvolvido no contexto do ECA UFSC. . .	135
6.7	Conhecimento teórico profissionalizante geral e específico da engenharia de controle e automação da UFSC	135
6.8	Saberes necessários ao engenheiro da ECA UFSC.	137
6.9	Saberes da Fase de Iniciação.	149

Capítulo 1

Introdução

“O objetivo da educação é habilitar o indivíduo a continuar sua educação.”

John Dewey

1.1 Apresentação

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma estrutura conceitual para auxiliar no processo de concepção, projeto e implementação de um currículo de engenharia. A motivação do trabalho é contribuir com a educação em engenharia, visando integrar melhor a teoria e a prática, os aspectos gerais e os especializados, a visão técnica e a humanista, durante a formação de engenheiros. Como objetivo específico, este trabalho visa ainda demonstrar como a estrutura conceitual pode ser aplicada no desenvolvimento de um currículo de engenharia de controle e automação.

Este capítulo caracteriza o problema da tese, partindo de uma breve retrospectiva da evolução da engenharia e da formação de engenheiros. É destacado o papel que as mudanças no mundo do trabalho e o avanço tecnológico têm na alteração do perfil profissional, lançando desafios e produzindo dilemas para educação em engenharia. É discutida a necessidade de desenvolver novas estruturas curriculares para enfrentar os desafios colocados, modificando não apenas tópicos do conteúdo ensinado. Em seguida é abordado o caso particular da engenharia de controle e automação. As hipóteses assumidas e os objetivos específicos do trabalho são também apresentados, ressaltando os aportes teóricos que são utilizados na construção da estrutura curricular proposta. No final do capítulo é descrita a organização geral do documento.

1.2 Evolução da profissão e do ensino de engenharia

A maioria das profissões, incluindo a engenharia, teve suas raízes históricas na prática profissional, e só depois desenvolveu um processo sistemático de formação acadêmica.

No Brasil, as primeiras escolas de engenharia foram criadas na época do império, e tinham apenas duas grandes habilitações: militar e civil (da Silva Telles, 1994). A criação de modalidades distintas de engenharia, tais como elétrica, mecânica, ocorreu em meados do século XX, a partir da matriz de formação já desenvolvida pela engenharia civil (da Silva Telles, 1993).

Nos anos 1970, outras modalidades foram introduzidas. A resolução 48/76 do CFE (extinto Conselho Federal de Educação), de 21/06/76, que trata da habilitação profissional, define o *currículo mínimo* considerando 6 áreas (Civil, Elétrica, Mecânica, Química, Minas, Metalurgia) (CFE, 1976). Já O CONFEA (Conselho Federal de Engenharia), através da resolução 218/73, de 29/06/73, discrimina as atividades das diferentes modalidades de engenharia, fixando as respectivas atribuições (CONFEA, 1973).

Em paralelo à evolução e organização profissional da engenharia, a formação também sofreu modificações significativas. As primeiras escolas de engenharia formavam profissionais eminentemente práticos, com reduzidos conhecimentos científicos, porém hábeis em aplicar técnicas para resolver problemas pertinentes ao respectivo metier.

A partir da segunda guerra mundial as escolas de engenharia sofreram uma profunda modificação, tanto na sua forma quanto no seu conteúdo, que foi responsável entre outras coisas, por agregar valor e reconhecimento social à profissão.

O chamado “esforço de guerra” dos aliados ocidentais, liderado pelos EUA e Inglaterra, colocou cientistas, engenheiros e técnicos em cooperação intensa para desenvolver e aperfeiçoar dispositivos bélicos que pudessem trazer a vitória aos aliados. Três destes dispositivos são exemplos emblemáticos de como os conhecimentos teóricos e práticos podem ser conjugados para desenvolver soluções concretas para problemas de grande complexidade.

O primeiro é a propulsão a jato. O desenvolvimento de foguetes durante a segunda guerra mundial, inicialmente nas mãos dos alemães, e depois dos americanos, foi uma aplicação de princípios teóricos avançados, dentre outros em termodinâmica e controle, que contribuíram ao desenvolvimento de armas que foram decisivas para o resultado da guerra (Dorf e Bishop, 2001).

O segundo é o computador. O ENIAC, considerado o precursor dos computadores, teve seu projeto iniciado durante a guerra, visando a execução de cálculos balísticos. Seus projetistas eram os únicos capazes de programá-lo e a “programação” consistia em interligar circuitos eletrônicos baseados em válvulas, através de fios elétricos, portanto, uma tarefa eminentemente técnica e prática, mas que igualmente exigia uma compreensão profunda dos princípios teóricos envolvidos.

O terceiro exemplo é a bomba atômica. Este último demonstrou que os conceitos abstratos da teoria da relatividade e teoria quântica Física, em grande parte demonstrados até então apenas através de complexos cálculos matemáticos, podiam gerar aplicações reais e de grande importância estratégica.

Em síntese, a segunda guerra mundial, através de uma didática cruel, mostrou a fertilidade da aliança entre ciência e técnica, marcando muito provavelmente a emergência da tecnologia (Terman, 1998).

O valor estratégico que a tecnologia adquiriu durante a segunda guerra mundial foi um dos motivos que levou os cursos de engenharia a incorporarem mais conteúdos com base científica e privilegiar mais os aspectos teóricos que os práticos.

A profissão de engenheiro, devido ao papel central que a tecnologia passou a ter também no contexto econômico pós-guerra, ganhou status importante na sociedade e no mundo acadêmico (Martin, 1994).

Ainda na década de 1940, Tyler publicou o livro *“Basic Principles of Curriculum and Instruction”*, que se tornou modelo de referência para a educação em todos os níveis e praticamente em todas as áreas, incluindo a engenharia. Este modelo incorporou os princípios da administração científica proposto por Taylor e que haviam revolucionado a indústria. Objetividade, racionalidade, controle e previsibilidade são alguns dos princípios que passaram a orientar a organização dos currículos de engenharia.

Se por um lado, a experiência de guerra influenciou a formação, ao mostrar o quanto o saber científico pode contribuir para o avanço tecnológico, por outro lado, o aspecto do saber-fazer, igualmente necessário para o desenvolvimento tecnológico foi subvalorizado na formação a partir deste período (Martin, 1994), (Terman, 1998).

Nos anos seguintes consolidou-se a visão de que a capacidade profissional do engenheiro está ligada mais ao que ele *sabe* (conhecimento científico e tecnológico) e menos ao que *sabe-fazer* (habilidades e competências). No Brasil, isto é evidenciado quando se observa a

legislação da década de 1970, citada antes, que confere habilitação profissional em função do *currículo mínimo*, isto é, em função dos conteúdos e da carga horária a que o estudante é submetido.

O desenvolvimento científico caminhou no sentido de aprofundar e estreitar o foco de atenção das pesquisas, gerando novas disciplinas científicas e alto grau de especialização do conhecimento.

Entretanto, o rápido avanço tecnológico, e a reordenação econômica mundial, principalmente a partir dos anos de 1980, têm provocado uma reavaliação desta tendência de especialização do trabalho. A nova dinâmica do capitalismo, operando em escala global, e a difusão de tecnologias que aceleram e facilitam o fluxo da informação, têm afetado profundamente o mundo do trabalho. O modelo de organização do trabalho taylorista-fordista, que privilegia a especificação e divisão rígida de funções, está sendo gradativamente substituído por novas abordagens, que privilegiam a flexibilidade, multifuncionalidade e a forte interação da tecnologia com trabalho humano.

No final do século XX a economia capitalista adotou uma dinâmica de funcionamento global onde dois fatores, dentre outros, tornaram-se bastante relevantes para sua estratégia de sustentação. O primeiro é a orientação à inovação tecnológica, e o segundo, a manutenção permanente da mudança das necessidades, dos hábitos e dos costumes dos consumidores, como base para criação da demanda de inovação tecnológica (Shuman *et al.*, 2002), (Steiner, 1998).

A orientação da economia mundial à inovação tecnológica estimula a produção cotidiana de um crescente volume de novos conhecimentos e tecnologias. Em decorrência disto, a quantidade de tópicos de conteúdo a serem ensinados em um curso de engenharia aumenta em um ritmo muito maior do que a capacidade de ensiná-los (Director *et al.*, 1995), (Droin *et al.*, 1993). Estima-se que o ciclo de desenvolvimento tecnológico (pesquisa de um novo conceito, desenvolvimento de novas tecnologias, aplicação em produtos comerciais, uso e substituição) é pelo menos quatro vezes mais rápido que foi no início do século XX (Shuman *et al.*, 2002).

No passado, um engenheiro formado sob uma determinada base de conhecimentos e técnicas desenvolvia praticamente toda sua carreira utilizando a base adquirida durante a formação, à qual agregava a experiência obtida na prática profissional. Atualmente, o que se aprende durante o período de formação é insuficiente para sustentar a prática

profissional, durante toda a carreira.

Por conta disso, as empresas passaram a adotar políticas de recursos humanos não apenas orientadas ao *saber*, mas também para o *saber-fazer*, principalmente no sentido de capacitar os seus quadros a manterem atualizados e em constante desenvolvimento estes diferentes tipos de saber.

Uma decorrência direta destas políticas é a mudança nas atribuições e no perfil profissional exigidos dos trabalhadores, incluindo os engenheiros. Além do conhecimento e das habilidades técnicas, outras habilidades passaram a ser exigidas pelo mundo do trabalho, entre as quais podem ser citadas a habilidade de atualizar-se e de aprender de forma autônoma, além de comunicar-se, de trabalhar em grupo, de gerenciar, de tomar decisões em situações de incerteza (Hanifin *et al.*, 1994), (Hisey, 2000).

Estas exigências da economia capitalista, neste início de século atingem profundamente a formação em engenharia e, tal como aconteceu no passado, projeta-se nos modelos curriculares propostos na atualidade. Um exemplo discutido neste trabalho é o chamado *modelo de currículo por competências*. Tal como o modelo de Tyler teve suas origens no *taylorismo-fordismo*, o modelo de currículo por competências tem suas raízes no atual mundo do trabalho.

Analisar a origem e intenções subjacentes dos modelos é uma tarefa necessária para se evitar prejudicá-los, sem a devida avaliação das contribuições positivas que os mesmos podem trazer à educação em engenharia. Ao mesmo tempo, isto evita de aplicar estes modelos de maneira inconsciente das implicações filosóficas, pedagógicas e sociais que são inerentes a qualquer modelo. Fazer esta análise, entretanto, é um primeiro desafio, dentre outros, conforme é discutido a seguir.

1.3 Educação em engenharia: desafios e dilemas

O contexto desenhado na seção anterior coloca pelo menos três tipos de desafios à formação em engenharia. Ao tentar enfrentá-los, os responsáveis pela educação em engenharia colocam-se diante de dilemas, que repercutem na organização dos currículos.

O primeiro é um **desafio sociológico**. Não reduzir a formação a um processo de formatação das pessoas à demanda de mercado. De acordo com (Bazzo *et al.*, 2000), a educação em engenharia e a sociedade não são totalidades inertes que apenas devem se

adaptar passivamente às mudanças impostas pela tecnologia e pela economia. A educação é também um espaço de reflexão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade, visando uma inserção profissional mais consciente e socialmente responsável.

O segundo é um **desafio epistemológico**. Considerar as contribuições da pesquisa na área de cognição para construir modelos de educação bem articulados que permitam ao indivíduo desenvolver plenamente suas potencialidades e adquirir autonomia no seu processo de crescimento frente à incerteza e complexidade no mundo atual.

O terceiro **desafio é pedagógico**. Não reduzir a educação a um processo de transmissão de conhecimento, nem de treinamento de habilidades, pois o conhecimento separado da ação reflexiva torna-se apenas informação inerte.

O momento atual da educação em engenharia no Brasil e no mundo pode ser caracterizado como de transição. De um lado há uma tradição educacional que fixa atenção na transmissão do conhecimento como objetivo da formação. De outro, uma nova visão educacional que considera igualmente importante desenvolver a capacidade de mobilizar o conhecimento adquirido.

Elementos destas duas visões estão presentes, colocando os responsáveis pelo desenvolvimento de currículo em engenharia diante de dilemas, tais como: Que abordagem adotar no currículo? Transmitir conhecimento ou desenvolver competências? Que abrangência este deve ter? Uma formação geral ou especializada? Qual é a orientação filosófica mais adequada? Tecnicista ou humanista?

Representados em um espaço tridimensional, conforme mostrado na figura 1.1, estas questões aparentemente permitem soluções em diversas regiões, porém, na maioria dos casos, os currículos ficam situados na região delimitada por uma abordagem teórica (transmissão de conhecimentos), de abrangência específica e com orientação tecnicista.

É preciso reconhecer que muitos trabalhos inovadores têm contribuído para melhorar aspectos isolados da educação em engenharia. Entretanto, como observa (Altman *et al.*, 1999), ainda são reduzidas as contribuições que procuram integrar os aspectos técnico e humanista, reconhecendo e buscando tirar proveito da sinergia que pode ser gerada entre eles. Ainda de acordo com estes autores, faltam estruturas curriculares que favoreçam a ligação entre modelos epistemológicos e sociológicos mais gerais, modelos pedagógicos norteadores do processo de ensino-aprendizagem e as aplicações em sala de aula.

Os dilemas citados também se refletem na legislação educacional brasileira mais re-

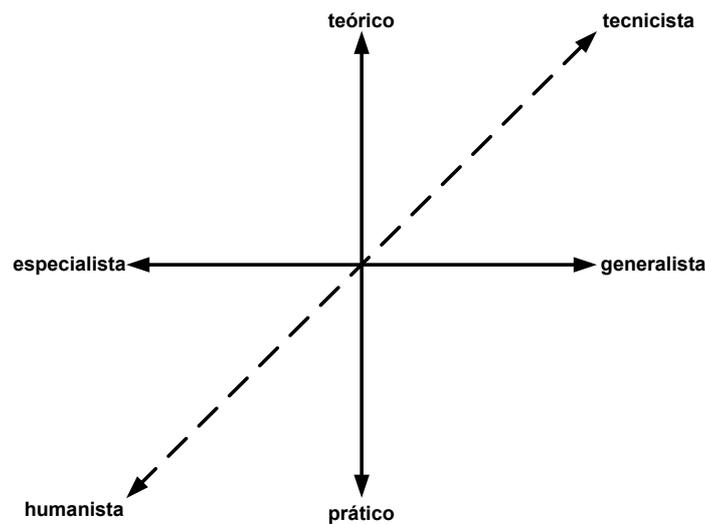


Figura 1.1: Representação do espaço de solução dos dilemas da formação em engenharia.

cente. As Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia, publicada pelo Ministério da Educação em 2001, ao mesmo tempo que incorpora uma linguagem que aponta para uma formação orientada a habilidades e competências (saber-fazer e saber-agir), e recomenda a inclusão de temas não-técnicos aos currículos de engenharia (saber-ser), também fixa percentuais mínimos de tópicos a serem ministrados, evidenciando a manutenção da tradição dos currículos mínimos (saber-conhecimento) (MEC/CNE, 2001).

Apesar de avanços, na prática, a educação em engenharia ainda vive sob a influência da visão de que educar é essencialmente o ato de transmitir conhecimento organizado da cabeça do professor para a cabeça vazia dos estudantes. Conhecimento que, em algum momento futuro, poderá ser acessado e usado como ferramenta na solução de problemas reais, mas que estão subordinados aos interesses do mercado, e limitados à racionalidade técnica.

1.4 A necessidade de novas estruturas curriculares

Este trabalho é motivado pelo desejo de contribuir à superação dos desafios e dilemas da educação em engenharia mencionados. A proposta tem o foco na questão da organização do currículo, entendendo-se por currículo, conforme (Domingues, 1986) tanto o plano quanto o processo de educação. Entendido como tal, o projeto e implementação de um currículo implica um processo de tomada de decisões (resolução de dilemas), com base em aspectos objetivos e subjetivos, explícitos e implícitos que vão determinar *o que, como e*

para que se espera que os estudantes aprendam.

Partindo do conceito dos quatro pilares da educação, propostos por (Delors, 2001), o trabalho identifica o *conhecimento teórico, habilidades, competências, valores e atitudes* como elementos curriculares necessários e inseparáveis para construção do *saber-conhecimento, saber-fazer, saber-agir, saber-ser*, os quais são a base do crescimento contínuo do ser humano. Para desenvolver uma educação em engenharia com foco em tais saberes é necessário desenvolver estruturas curriculares onde tais saberes sejam parte da experiência de vida dos estudantes. Do contrário, o acréscimo de novos conteúdos ocorrerá, porém sem o incremento do pensamento reflexivo, que é assumido como elemento de ligação entre a teoria e a prática da profissão.

1.5 Controle e Automação: uma nova modalidade de engenharia

Controle e automação é uma área de atuação profissional que tem origem nas engenharias elétrica e mecânica e na informática, tendo adquirido destaque com o desenvolvimento tecnológico e ganhando status de uma nova modalidade de engenharia no Brasil a partir de 1999, através da resolução 417 do (CONFEA, 1999).

O Brasil é um dos únicos países do mundo no qual a formação em engenharia de controle e automação é desenvolvida em nível de graduação. O curso de engenharia de controle e automação da UFSC foi o pioneiro, podendo-se dizer que foi nesta universidade que o conceito de uma graduação em engenharia de controle e automação foi gerado e consolidado (Bruciapaglia e Farines, 1990), (Kraus-Jr, 1991), (Pena *et al.*, 2001).

Por ser uma modalidade muito recente, com um campo de atuação bastante abrangente, o engenheiro de controle e automação é um profissional cujo perfil e identidade estão em fase de consolidação. Pelos mesmos motivos, trabalhos específicos, abordando a natureza, e características da engenharia de controle e automação, ainda são escassos. Dentre estes, o de (Rodrigues, 2004) é uma valiosa contribuição, no qual o autor tem a preocupação de construir um modelo epistemológico e pedagógico para a engenharia de controle e automação.

Com a atenção voltada à tarefa de demarcar a área de controle e automação do ponto de vista epistemológico, (Rodrigues, 2004) define *automação* como uma aplicação de *controle*,

o que o leva a reduzir a designação simplesmente da área para *engenharia de controle*, colocando assim a *automação* como uma área de aplicação do controle na manufatura. Neste trabalho, porém é mantida a visão mais generalizada da literatura, que considera *controle* relacionado aos sistemas físicos, predominantemente contínuos e, *automação*, para referir-se aos sistemas discretos, em geral, relacionados aos sistemas artificiais, construídos pelo homem.

A engenharia de controle e automação tem características comuns a outras engenharias, as quais permitem falar de “engenharia” e “educação em engenharia” em um sentido geral, porém também possui características específicas e distintas das demais modalidades de engenharia.

Por compartilhar características comuns, mas introduzir outras estreitamente ligadas aos desafios colocados pelo desenvolvimento tecnológico, a engenharia de controle e automação é utilizada como um caso de aplicação do esquema proposto neste trabalho. Com isto, espera-se produzir reflexões que possam ser estendidas para outras engenharias, aumentando assim a validade da contribuição deste trabalho.

1.6 Hipóteses assumidas e objetivos do trabalho

Conforme foi visto nas seções anteriores, o contexto atual coloca diversos novos desafios à educação em engenharia. Para contribuir para superação destes desafios, é levantado um conjunto de hipóteses de trabalho e um conjunto de objetivos específicos, conforme descritos a seguir.

A primeira hipótese de trabalho é que o desenvolvimento dos *saberes* é um processo contínuo de ação/reflexão, que envolve *saber-conhecimento*, *saber-fazer*, *saber-agir*, *saber-ser*, tendo como ponto de partida os *saberes* anteriores, adquiridos de ações e reflexões anteriores.

A segunda hipótese é que o contato com os problemas reais, desde cedo e ao longo do currículo, contribui para aquisição e consolidação dos *saberes* pertinentes a um engenheiro competente e socialmente responsável.

A terceira hipótese é que uma estrutura curricular que dê oportunidade para ação/reflexão, desde cedo e ao longo do curso de engenharia, contribui para superação dos desafios da educação em engenharia.

A quarta hipótese é que uma estrutura curricular que vise integrar conhecimentos, competências, valores e atitudes contribui para que os egressos da educação em engenharia continuem aprendendo ao longo da vida.

A quinta hipótese é que a engenharia de controle e automação, por sua característica multidisciplinar e abrangente, e abordagem sistêmica do mundo, é um caso adequado para aplicar um esquema curricular que visa a formação de engenheiro competente e socialmente responsável.

Para concretizar as contribuições pretendidas, os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estudar alguns modelos filosóficos, epistemológicos e pedagógicos que possam contribuir para desenvolver uma estrutura curricular com base nas hipóteses assumidas.
- Propor uma estrutura curricular conceitual para apoiar a análise e projeto de um currículo de engenharia.
- Aplicar a estrutura curricular proposta na análise de um currículo corrente de engenharia.
- Desenvolver um exemplo de projeto de currículo de engenharia de controle e automação utilizando a estrutura curricular proposta.
- Refletir sobre as contribuições que a estrutura curricular proposta pode trazer à educação em engenharia e as dificuldades de implementação da mesma.

1.7 Organização do documento

A seguir, a organização do documento é descrita.

O capítulo 2 apresenta as contribuições da filosofia e da pedagogia que constituem o referencial teórico utilizado para desenvolver a proposta de estrutura curricular. Inicialmente são desenvolvidos os conceitos de experiência, aprendizagem e pensamento reflexivo, baseados nas contribuições de (Dewey, 1979a) e (Schön, 1987). Esta é a base para integração do conhecimento teórico e do conhecimento prático, tidos como necessários para o exercício profissional e portanto, os elementos centrais do processo de educação. Em seguida são discutidos aspectos conceituais de currículo, incluindo uma análise do modelo

de competências, desenvolvido por (Perrenoud, 2004). Os conceitos tais como, conhecimento, habilidades, competências, valores e atitudes, utilizados ao longo deste trabalho, são baseados principalmente neste autor.

O capítulo 3 apresenta um estudo sobre o método de aprendizagem baseada em problemas (*PBL*)¹. Tal método tem sido empregado como uma ferramenta da educação para conectar o conhecimento prático ao teórico. Inicialmente, é feita a descrição do método. Em seguida, são apresentados alguns casos que ilustram o uso de problemas no ensino de engenharia. Os casos são analisados, identificando-se os objetivos educacionais, a abrangência, e a base pedagógica adotada em cada um deles. Ao final, é feita uma síntese das contribuições do método.

O capítulo 4 apresenta a proposta de estrutura curricular de referência para concepção de um curso de engenharia. Tal estrutura considera que o objetivo essencial da educação em engenharia é o desenvolvimento do *pensamento reflexivo*, entendido como aquele que possibilita ao profissional agir com base em experiências anteriores, refletir sobre a ação e reconstruir a experiência para continuamente construir novos saberes. Inicialmente, são apresentados os princípios da estrutura proposta. Estes estão relacionados ao referencial teórico e prático discutido anteriormente. Também é feita uma conceituação para auxiliar a compreensão de alguns termos introduzidos na estrutura curricular. Depois, passando à descrição da estrutura propriamente dita, são apresentados os componentes e a organização da mesma.

Os dois capítulos seguintes demonstram a aplicação da estrutura curricular proposta. No capítulo 5, o curso existente de engenharia elétrica da Universidade Laval, em Quebec, no Canadá, é analisado sob a ótica da estrutura de referência. O objetivo de tal análise é identificar a existência de aspectos curriculares que favorecem e os que dificultam o desenvolvimento do pensamento reflexivo. Neste caso, a estrutura de referência serve para reorganizar um curso, cujos atores tenham assumido os pressuposto de desenvolver o pensamento reflexivo.

Já o capítulo 6 apresenta o processo de concepção de um curso na engenharia de controle e automação, que tem seus parâmetros curriculares definidos pelo sistema educacional, pelo sistema profissional e pelo meio acadêmico, representados respectivamente pelo Ministério da Educação (MEC), pelo Conselho Federal de Engenharia Arquitetura e

¹Por simplicidade, optou-se por manter a sigla consagrada *PBL*, que vem do Inglês: *Problem Based Learning*.

Agronomia (CONFEA) e pelo Departamento de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina (DAS/UFSC). O exemplo é desenvolvido para refinar o entendimento da estrutura de referência proposta, explicitando dentre outros aspectos, o da implementação da *PBL* no currículo.

O capítulo 7 apresenta algumas questões sobre a implementação real de um currículo de engenharia com base na estrutura proposta. Destacam-se as vantagens e desvantagens, as dificuldades e limitações da mesma. Ao final, apresentam-se algumas reflexões sobre os resultados obtidos, ressaltando as questões que permanecem em aberto e indicam-se algumas perspectivas de continuidade e aprofundamento da pesquisa desenvolvida.

Capítulo 2

Referencial Teórico

“Só aquilo que foi organizado em nossas disposições mentais, de modo a capacitar-nos a adequar o meio às nossas necessidades e a adaptar nossos objetivos e desejos à situação em que vivemos, é realmente conhecimento ou saber.”

John Dewey

2.1 Introdução

O capítulo anterior introduziu o objetivo do trabalho, que é desenvolver uma estrutura conceitual curricular endereçada à educação em engenharia. Foram levantadas algumas hipóteses de trabalho para guiar a construção de tal estrutura.

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico que sustenta as hipóteses levantadas, contribuindo para construção da proposta de estrutura. Para isto, aborda-se a questão do currículo sob dois aspectos. Primeiramente são apresentadas as contribuições que focalizam o aspecto do processo de ensino-aprendizagem conduzindo às questões tais como *o que, como e porque* ensinar-aprender engenharia. Depois, são apresentadas as contribuições que focalizam a organização e planejamento do processo de ensino-aprendizagem.

Inicialmente são apresentadas as contribuições de John Dewey e Schön. O primeiro é considerado um dos maiores filósofos da educação. Suas idéias, concebidas há mais de cem anos, demonstram ser atuais, inspirando a mudança de paradigma da educação em engenharia.

As idéias centrais da obra de Dewey estão sintetizadas nos conceitos de *aprender*

fazendo, e de *prática reflexiva* e no *pensamento reflexivo*. Estes conceitos permitem superar a dicotomia que separa teoria da prática, abrindo caminho para abordar o *saber-conhecimento*, *saber-fazer*, *saber-agir*, *saber-ser* em conjunto e de maneira integrada.

Os trabalhos de Schön, no campo da epistemologia da prática, retomam os conceitos de Dewey num contexto mais recente, visando à educação de profissionais reflexivos. Tais profissionais são capazes de enfrentar problemas do mundo real, usando a sua experiência anterior como ponto de partida da ação e reorganizando o seu próprio saber, com base no resultado obtido, com isto são mais aptos a lidar com a incerteza e a complexidade do mundo. Schön coloca a formação deste tipo de profissional como uma resposta à crise de confiança na educação profissional (Schön, 1987).

Passando ao enfoque do planejamento e organização do processo de ensino-aprendizagem é abordada a questão do currículo. Para contrapor à visão tradicional da educação como transmissão de conhecimento, a questão do currículo é discutida com base no *modelo de currículo por competências*. Dentre as diversas abordagens existentes, é adotada a conceituação de competência como uma “capacidade de mobilização de recursos cognitivos diante de situações problemáticas”, desenvolvida por (Perrenoud, 2001). Tal abordagem tem inspirado as mudanças curriculares na área de engenharia. Por exemplo, a organização do novo curso de engenharia elétrica da Universidade Sherbrooke descrita em (Lachiver *et al.*, 2002) e (Lachiver e Tardif, 2002) e, ainda que de forma menos explícita, as *Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia* (MEC/CNE, 2001) (Deluiz, 2001), baseiam-se nesta abordagem.

Concluindo o capítulo, é feita uma síntese do referencial teórico adotado.

2.2 O Pragmatismo de John Dewey

John Dewey é considerado por muitos autores como um dos expoentes do *Pragmatismo*, escola filosófica de origem norte americana que se caracteriza pela ênfase dada às conseqüências, utilidade e sentido prático como componentes vitais da verdade.

Ainda que o pensamento dos filósofos pragmatistas não seja homogêneo, pode se dizer que a preocupação central do Pragmatismo é a busca do conhecimento verdadeiro. O Pragmatismo defende que as teorias e o conhecimento só adquirem significado através da luta de indivíduos inteligentes com o seu meio. Porém, isto não significa que a verdade

seja somente aquilo que é prático ou útil ou que garanta a sobrevivência a curto prazo. Os pragmatistas argumentam que se deve considerar como verdadeiro aquilo que mais contribui para o bem estar da humanidade em geral, tomando como referência o mais longo prazo possível (Ghiraldelli-Jr, 2005).

Para compreender o pragmatismo de Dewey e a sua filosofia da educação é preciso entender a visão de *experiência*, *prática reflexiva* e *pensamento reflexivo* que são categorias essenciais ao pensamento de Dewey. Portanto, as mesmas são apresentadas a seguir.

2.2.1 Experiência e aprendizagem

No sentido genérico, *experiência* é o dinamismo que decorre da ação recíproca entre sujeito e ambiente. As experiências humanas, como vivência consciente, e a experimentação científica são aspectos particulares deste dinamismo (Dewey, 1979a).

Para Dewey, a natureza da *experiência* só pode ser compreendida ao se observar que a mesma possui dois aspectos: um ativo e outro passivo. No aspecto ativo, experimentar significa fazer uma tentativa. Já no aspecto passivo, experimentar quer dizer sofrer ou passar por alguma coisa (Dewey, 1979a).

A conexão dos dois aspectos da experiência é o que dá valor à mesma. Por isto, a realização de uma atividade por si só não constitui uma experiência. Experimentar algo é agir sobre a coisa que se experimenta, é fazer algo com o objeto da experiência; é sofrer ou sentir as conseqüências. Desta relação recíproca resulta a aprendizagem.

Dewey usa o seguinte exemplo simples para demonstrar a relação entre atividade, experiência e aprendizagem: não existe experiência quando uma criança põe o dedo no fogo (isto é uma simples atividade); será experiência quando o movimento se associa com a dor que ela sofre em conseqüência daquele ato. Daí por diante o fato de se por a mão no fogo significa uma queimadura (aprendizagem).

Aprender da experiência, para Dewey significa fazer uma associação retrospectiva e prospectiva entre aquilo que se faz às coisas, e aquilo que em conseqüência, essas coisas fazem o individuo sentir ou sofrer (Dewey, 1979b).

2.2.2 Prática Reflexiva

As idéias são hipóteses de solução de problemas, instrumentos de ação material para resolvê-los. A verdade de uma idéia não passa da sua eficiência experimental ou cognitiva,

ou de sua provada utilidade social ou moral. A prática pura, sem a reflexão, se torna dogma, que bloqueia o crescimento do indivíduo.

Para ser capaz de agir de forma inteligente, o indivíduo deve desenvolver a capacidade de discernir a relação entre aquilo que foi tentado fazer e o resultado da ação. A prática, corresponde ao momento da ação, enquanto que a reflexão corresponde ao momento do pensamento. Assim sendo, na visão de Dewey, ação e pensamento estão ligados, formando uma unidade agir-pensar, algumas vezes também denominada de *práxis*.

Em síntese, na visão de Dewey, é equivalente falar tanto em termos de prática reflexiva quanto de pensamento reflexivo, que, como será visto adiante, é o termo que (Schön, 1987) utiliza para se referir ao mesmo processo.

2.2.3 Educação como um processo de desenvolvimento

Segundo Dewey, o único caminho direto para a melhoria dos métodos de ensino e aprendizagem consiste em centralizá-los nas condições que estimulam, promovem e colocam à prova a reflexão e o pensamento. Pensar é, portanto, essencialmente um método de se aprender. A vida cotidiana e a educação devem estar estreitamente ligadas. A experiência escolar deve se aproximar tanto quanto possível da vida cotidiana, produzindo oportunidade contínua de reconstrução da experiência a partir da ação-reflexão.

Segundo o pragmatismo de Dewey, este processo de reconstrução da experiência, no qual consiste a educação, é voltado para o contínuo crescimento do ser humano, qualquer que seja o nível de ensino e área de estudo considerada. É disto que decorre a sua afirmação, muitas vezes mal compreendida, que “o fim da educação é a própria educação”, isto é, o objetivo da educação é garantir ao indivíduo condições de aprender ao longo da vida. Para implementar esta orientação em um currículo, (Dewey, 1979a, p.211-212) afirma que:

“O plano de um currículo deve tomar em conta a adaptação dos estudos às necessidades da vida atual em sociedade; a escolha deve ser feita com fito de melhorar a vida que levamos em comum, de modo que o futuro seja melhor que o passado. Além disso, deve-se planejar o currículo colocando-se em primeiro lugar as coisas essenciais, e, em seguida, as que constituem requintes. Coisas essenciais são as socialmente mais fundamentais, isto é, as relacionadas com as atividades compartilhadas pelos grupos mais extensos. E as secundárias

são as que representam as necessidades de grupos especializados e trabalhos técnicos. Existe verdade no dizer que a educação deve ser primeiro humana e só depois profissional...”

“A conservação das sociedades democráticas depende, particularmente, do costume de organizar-se um curso de estudos de critério largamente humano. A democracia não pode florescer quando os critérios para a escolha das matérias educativas são os fins utilitários estreitamente concebido para as massas, e, quando se escolhem para instrução mais elevada dos outros poucos, as tradições de uma classe instruída especializada...”

“...Um programa de estudos que tenha em vista as responsabilidades sociais da educação, deve apresentar situações cujos problemas sejam relevantes para a vida em sociedade e em que se utilizem as observações e conhecimentos para desenvolver a compreensão e o interesse social...”

A *teoria da investigação*, proposta por Dewey, define o método de experiência reflexiva, essencialmente uma metodologia de aprendizagem do pensamento reflexivo, derivado de sua filosofia educacional. O método consiste de cinco passos:

1. Perplexidade, confusão e dúvida, devidas ao fato de que a pessoa está envolvida em uma situação incompleta cujo caráter não ficou plenamente determinado ainda.
2. Uma previsão conjectural, uma tentativa de interpretação dos elementos dados, atribuindo-lhes uma tendência para produzir certas conseqüências.
3. Um cuidadoso exame (observação, inspeção, exploração, análise) de todas as considerações possíveis que definam e esclareçam o problema a resolver.
4. A conseqüente elaboração de uma tentativa de hipótese para torná-lo mais preciso e mais coerente.
5. Tomada como base a hipótese concebida, para o plano de ação aplicável ao estado de coisas existentes, fazer algo para produzir o resultado previsto e através deste modelo por em prova a hipótese.

Trabalhos recentes na área de educação em engenharia evidenciam que, apesar de terem sido concebidas há quase um século, as idéias de John Dewey são ainda muito

atuais (Mina *et al.*, 2003).

A demanda do mercado de trabalho por profissionais aptos a enfrentar problemas reais de engenharia, com criatividade, senso crítico, inovação, e capazes de aprender ao longo da vida, renovaram o interesse no *pragmatismo* e *experimentalismo* de Dewey. As abordagens de ensino-aprendizagem do tipo “*aprender fazendo*” (*hands-on*), (da Silveira, 1996), (da Silveira e do Carmo, 1999), descritas freqüentemente na literatura, é um exemplo direto disto (Jones-Jr, 2000).

As idéias de Dewey fundamentam o processo de ensino-aprendizagem e fornecem fundamento filosófico, dando uma resposta à questão inicial: *o que ensinar-aprender*. Na perspectiva de Dewey, deve-se ensinar a práxis, isto é, a capacidade de pensar-agir reflexivamente, pois esta é a base necessária à aquisição dos demais saberes.

2.3 A contribuição de Schön para educar o profissional reflexivo

Na visão de Donald Schön, a competência profissional é um tipo de *talento artístico profissional* que se manifesta diante de situações da prática que são únicas, incertas e conflituosas, às quais um profissional atuante é exposto no exercício da profissão. Este talento, não pode ser desenvolvido a não ser na ação. Isto leva a um paradoxo: a competência é uma capacidade que só pode ser aprendida-na-ação, mas para uma ação competente é preciso aprender a competência (Schön, 1987).

A superação deste paradoxo, segundo (Schön, 1987), é possível através do desenvolvimento do pensamento reflexivo, desenvolvido através de dois processos: *reflexão-na-ação* e *reflexão-sobre-a-ação*.

A *reflexão-na-ação* consiste em tomar um caminho de ação, avaliar o resultado, enquanto que a *reflexão-sobre-a-ação* consiste em voltar o pensamento para trás para compreender os elementos que levaram ao sucesso ou ao fracasso da ação, e então reconstruir a base de pensamento, visando aumentar a capacidade de agir com sucesso nas ações futuras (Schön, 1987).

O paradoxo mencionado leva o processo de ensino-aprendizagem a um dilema: O professor deve assumir uma atitude impositiva, dizendo ao estudante o que fazer, ou deve deixá-lo livre para descobrir por si mesmo? e o estudante, deve reproduzir à risca as

instruções do professor, ou deve buscar suas próprias idéias?

Schön sugere um protocolo de interação entre professor e estudante, que tem no diálogo e na reflexão os eixos centrais, denominando o mesmo de *ensino reflexivo*.

O *ensino reflexivo* consiste em criar um diálogo aberto entre professor e estudante e criar um ciclo sucessivo de instrução, ação, *reflexão-na-ação*, *reflexão-sobre-a-ação*, que permite ao estudante evoluir de uma situação inicial de imitar e seguir os passos do professor e progressivamente modificar o seu comportamento até agir reflexivamente por conta própria, ou *reflexão-na-ação* e *reflexão-sobre-a-ação* como diz Schön. O professor, por outro lado, parte de uma atitude diretiva, passando em seguida para outra, orientativa, por fim consultiva, quando o estudante já é capaz de agir reflexivamente.

O ensino reflexivo, proposto por Schön fornece o suporte para as interações de sala de aula de entre professor e estudante, principalmente ao aprendizado de projeto de engenharia. Um projeto nunca é a mera repetição de procedimentos. Na verdade, é um processo que envolve tomada de decisões nem sempre baseadas estritamente em critérios técnicos, e não apenas fundamentadas em conceitos teóricos. Projetos desenvolvidos na prática profissional lidam com problemas reais, e estão, muitas vezes, além das teorias. O ensino reflexivo é voltado a desenvolver a capacidade do profissional em transitar entre o conhecimento já estabelecido e o desconhecido. Ao fazer isto, o profissional desenvolve a sua práxis, isto é, a capacidade de aprender a partir do conhecimento anterior e da experiência que obtém ao agir quando resolve um novo problema (Fisher *et al.*, 2001).

2.4 Currículo: abordagem tecnicista de Tyler

Em 1949 Ralf W. Tyler publicou a obra intitulada *Basic Principles of Curriculum and Instruction* (Tyler, 1949). Alguns autores afirmam que esta obra é uma das duas¹ obras que tiveram maior influência no pensamento e na prática do currículo (Doll-Jr, 1997).

O pensamento de Tyler foi fortemente influenciado pelas idéias de Franklin Bobbitt (Bobbitt, 1924), que por sua vez foi influenciado pelas idéias da administração científica de Frederick Taylor (Taylor, 1947). As idéias de Tyler e Bobbitt estão associadas ao que os especialistas em currículo costumam denominar de movimento de currículo científico, tecnicista ou ainda educação por objetivos (Heyhood, 1997).

¹a outra é o livro *Democracy and Education*, de John Dewey.

O foco principal deste movimento era obter na educação as vantagens que a administração científica taylorista tinha alcançado na indústria. Estas vantagens estão em muito associadas à idéia de reduzir o desperdício de tempo e aumentar a eficácia da aprendizagem da educação (Doll-Jr, 1997). Segundo Tyler (1949), o objetivo era “desenvolver uma base racional para considerar, analisar e interpretar currículo e o programa de ensino de uma instituição educacional”. Para isto, o mesmo identifica quatro questões fundamentais ao desenvolvimento de qualquer currículo:

1. Que objetivos educacionais deve a escola procurar atingir?
2. Que experiências educacionais podem ser oferecidas que tenham probabilidade de alcançar esses propósitos?
3. Como organizar eficientemente essas experiências educacionais ?
4. Como podemos ter a certeza de que esses objetivos estão sendo alcançados?

Estas questões formam a base racional para analisar o currículo e o ensino. As questões, tal como enunciadas, já evidenciam algumas das categorias centrais do modelo tecnicista tais como *objetivos* e *experiências educacionais*.

2.4.1 Fundamentos filosóficos do modelo tecnicista

Comparando os pressupostos filosóficos contidos nas *Regras do Método* de (Descartes, 1968), os *Princípios do gerenciamento científico* enunciados por (Taylor, 1947) e as questões propostas por (Tyler, 1949), conforme mostrado na figura 2.1, conclui-se que a administração científica de Taylor e o modelo de currículo de Tyler estão assentados sobre a mesma racionalidade, o cartesianismo. Isto implica que a abordagem de Tyler admite como premissas a idéia de uma sociedade estável, a existência de uma única maneira correta, e a certeza de se poder atingir a melhor forma através da lógica. O conhecimento, dentro desta abordagem decorre de um processo de descoberta de leis imutáveis e “naturais” que são reveladas através do método científico (Tyler, 1949).

A seleção dos objetivos é a primeira e mais importante tarefa para o desenvolvimento do currículo porque ao definir claramente os objetivos, o elaborador do currículo dispõe do mais útil conjunto de critérios para selecionar conteúdos, sugerir atividades de aprendizagem e decidir sobre os procedimentos de ensino para executar as fases seguintes do

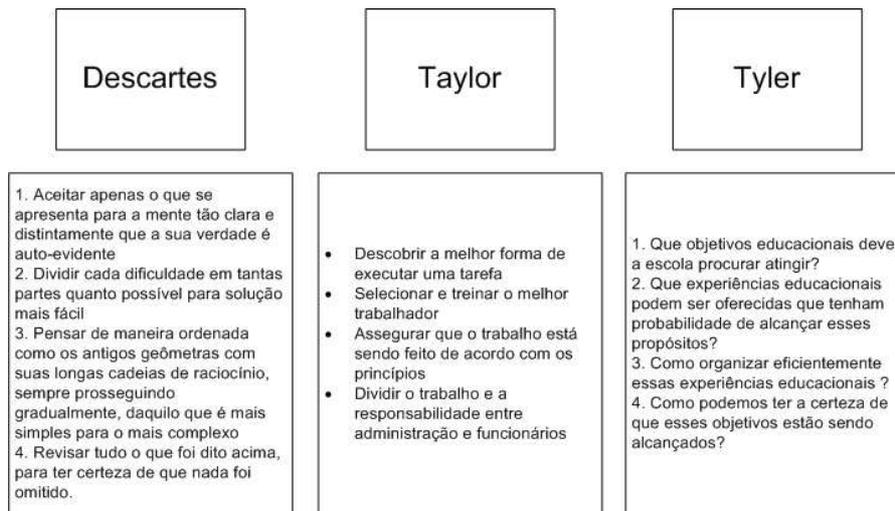


Figura 2.1: Comparação entre os princípios do método de Descartes, de administração científica de Taylor e organização de currículo de Tyler.

planejamento do currículo (Tyler, 1949). O passo inicial para seleção dos objetivos é a consideração das fontes de objetivos educacionais. Três fontes devem ser analisadas: os alunos, a vida contemporânea fora da escola, os especialistas em disciplinas.

Os alunos

A educação é um processo de mudança de comportamento, incluindo pensamento e sentimento. A consideração sobre as necessidades e interesses dos alunos deve ser uma das fontes para determinação dos objetivos educacionais, embora não sejam isoladamente suficientes para defini-los.

A vida contemporânea fora da escola

O conjunto de conhecimentos desenvolvidos desde o advento da ciência e da revolução industrial coloca a impossibilidade da escola abordar todos os temas, nem com a mesma extensão e profundidade. Surge a necessidade de selecionar os elementos de maior importância na herança cultural. Entretanto, os critérios de seleção baseado na relevância dos objetivos para a vida contemporânea esbarram na dificuldade de determinar se os objetivos educacionais são efetivamente desejáveis e se estes serão relevantes no futuro. Por exemplo, se um grande número de pessoas está exercendo um determinado tipo de atividade isto não indica que esta atividade deva ser ensinada pela escola.

Por outro lado, também não há garantia de que esta atividade seja relevante no futuro.

Assim sendo, os dados colhidos no estudo da vida contemporânea é uma fonte útil para sugerir os objetivos educacionais, porém não suficientes.

Especialistas nas disciplinas

Esta é a fonte de objetivos mais utilizada na definição dos objetivos educacionais, embora a visão do especialista tende a ser focalizada exclusivamente sobre sua área de conhecimento. Quando isto acontece, os objetivos educacionais são prejudicados. Para efetivamente contribuir para a definição dos objetivos educacionais, o especialista deveria procurar responder a seguinte questão: Com o que esta disciplina pode contribuir para a educação do jovem?

As três fontes citadas fornecem objetivos que muitas vezes são incongruentes. É necessário selecionar e harmonizar os objetivos para torná-los exequíveis. Dois *filtros* são sugeridos por Tyler para fazer isto: a filosofia e a psicologia da aprendizagem.

A filosofia

A formulação de uma filosofia educacional e social procura definir um ideal de vida e de sociedade. Um dos aspectos de uma filosofia educacional é indicar em linhas gerais os valores considerados essenciais à vida e à sociedade. Aceitando-se estes valores, naturalmente os objetivos educacionais selecionados deveriam ir ao encontro da satisfação destes valores. Neste item, por exemplo, estão os preceitos éticos e de conduta que são aceitos pela comunidade de profissionais em engenharia e que devem ser abordados pelo currículo.

A psicologia da aprendizagem

O filtro da psicologia da aprendizagem diz respeito à possibilidade de se atingir os objetivos educacionais desejados, tendo em vista as condições intrínsecas da aprendizagem. Sob um determinado ponto de vista, este filtro procura garantir que os objetivos educacionais sejam compatíveis com a capacidade cognitiva dos alunos.

A figura 2.2 mostra o esquema geral da abordagem tecnicista de Tyler para concepção de um currículo.

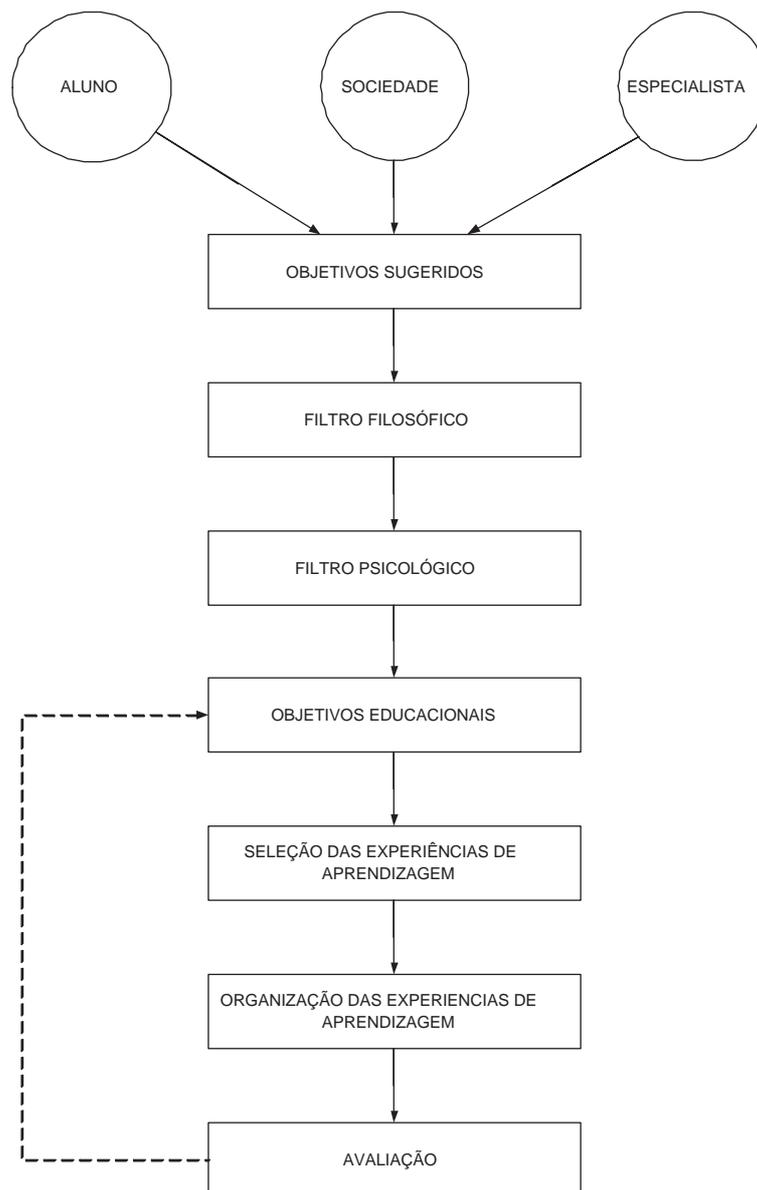


Figura 2.2: Abordagem tecnicista de desenvolvimento de currículo.

2.4.2 Experiências de Aprendizagem e objetivos educacionais do modelo tecnicista

Um objetivo claramente formulado tem duas dimensões: o aspecto comportamental e o aspecto do conteúdo. O aspecto comportamental trata das modificações de comportamento desejadas e que se constituem em aprendizagem. Já o aspecto de conteúdo trata do domínio de aplicação para o qual deseja-se a mudança de comportamento.

Tyler propõe um quadro bidimensional onde na dimensão vertical são estabelecidos os conteúdos e na horizontal os comportamentos. A intersecção de uma linha com uma coluna associa comportamentos desejados sobre um dado conteúdo.

Tyler faz questão de diferenciar a expressão *experiência de aprendizagem* do *conteúdo de aprendizagem*. Por experiência de aprendizagem, este autor entende a interação entre o aluno e as condições exteriores do ambiente a que ele pode reagir. A aprendizagem ocorre através do comportamento ativo do estudante: este aprende o que ele mesmo faz, e não a partir do que faz o professor (Tyler, 1949).

Em outras palavras, a essência da educação, para Tyler, está centrada nas experiências proporcionadas e não nas coisas que são expostas ao estudante.

Tyler estabelece cinco princípios que devem orientar a seleção das experiências de aprendizagem de modo a que estas contribuam efetivamente para a consecução dos objetivos educacionais desejados:

1. Para alcançar um determinado objetivo o estudante deve ter a oportunidade de praticar a espécie de comportamento desejado.
2. O estudante deve obter satisfação ao seguir a espécie de comportamento implicado pelos objetivos.
3. A aprendizagem esperada esteja dentro das possibilidades dos estudantes.
4. Existem várias experiências suscetíveis de serem usadas para atingir um mesmo objetivo
5. Uma mesma experiência de aprendizagem produz em geral, diversos resultados.

2.4.3 Objetivos Educacionais de Bloom: um refinamento do modelo tecnicista de Tyler

Na década de 1950, o mundo da educação estava sob forte impacto das idéias de Tyler e do comportamentalismo de Skinner. Neste contexto, Bloom liderou uma força tarefa de pesquisadores de importantes universidades americanas com o objetivo de desenvolver uma classificação dos comportamentos de um estudante que representam os resultados do processo educacional. Esta classificação, que ficou conhecida como *Taxonomia de Bloom*, desde então, tem tido grande repercussão no mundo da educação.

Recentemente, a *Taxonomia de Bloom* adquiriu novo destaque, principalmente na educação em engenharia nos EUA, a partir do chamado movimento de educação baseada em resultados de aprendizagem. Esta “redescoberta” da *Taxonomia de Bloom* é explicada facilmente. Na abordagem baseada em resultados de aprendizagem, estes devem ser expressos em termos de comportamentos observáveis. A *Taxonomia de Bloom* fornece elementos para um esquema de especificação de objetivos educacionais em termos de comportamentos observáveis (Heyhood, 1997). Trabalhos recentes propõem um esquema baseado na *Taxonomia de Bloom* para gerar atributos de planejamento e avaliação curricular (Besterfield-Sacre *et al.*, 2000a), (Besterfield-Sacre *et al.*, 2000b), (Safoutin *et al.*, 2000).

Bloom classificou os objetivos em seis categorias ordenadas hierarquicamente. Cada Classe é descrita por um número de subclasses. É assumido que essencialmente as mesmas categorias de comportamento podem ser observadas independentemente de conteúdos e de níveis de educação (Bloom *et al.*, 1979).

O projeto original de pesquisa do grupo de Bloom, previa desenvolver uma taxonomia em três domínios de aprendizagem, o cognitivo, o afetivo e o psicomotor (Bloom *et al.*, 1973). De fato, foram gerados resultados apenas nos dois primeiros, sendo que o domínio cognitivo foi bem aceito, enquanto o domínio afetivo ainda permanece alvo de muita discussão.

As categorias da Taxonomia de Bloom, para o domínio cognitivo, são as seguintes: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese, avaliação.

Para Bloom os objetivos educacionais no domínio cognitivo estão categorizados em função da complexidade, desde o nível mais simples, conhecimento, até o nível mais complexo, o de avaliação. A figura 2.3 mostra a organização do objetivos do domínio cognitivo,

de acordo com Bloom.

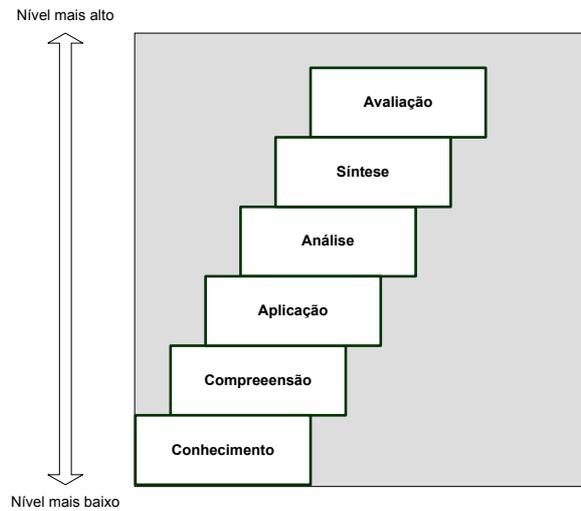


Figura 2.3: Taxonomia de Objetivos educacionais de Bloom: domínio cognitivo

2.4.4 Arquitetura do modelo tecnicista

Para Tyler, um programa de ensino é o resultado de uma organização coerente de um conjunto de experiências de aprendizagem. Ele estabelece três critérios para realizar de maneira eficaz a organização do currículo: continuidade, seqüência e integração.

Estes três critérios devem levar à organização do currículo em duas dimensões, vertical e horizontal. A dimensão vertical refere-se ao desenvolvimento das experiências de aprendizagem no tempo, enquanto a dimensão horizontal diz respeito às relações existentes entre as experiências de aprendizagem em áreas distintas.

Continuidade

Refere-se à reiteração vertical dos objetivos curriculares importantes. Por exemplo, se a habilidade de resolução de problema constitui um objetivo importante, deve ser criada repetidas oportunidades para que esta habilidade seja exercida e desenvolvida.

Seqüência

Refere-se à necessidade de se abordar um objetivo de maneira a ampliar e aprofundar a compreensão, a habilidade, atitude ou qualquer outro fator de interesse ao objetivo considerado. Por exemplo, em engenharia de controle e automação o conceito de “sistema”

pode ser apresentado num primeiro momento de tal forma a evocar apenas os sistemas contínuos, entretanto o mesmo pode ser retomado posteriormente para incluir os sistemas discretos, possibilitando uma generalização mais ampla deste conceito.

Integração

Refere-se à relação horizontal da experiência de aprendizagem. A integração permite ao estudante relacionar a aprendizagem de campos distintos no sentido de desenvolver um comportamento unificado. Por exemplo, a aprendizagem do conceito de derivada obtida no cálculo diferencial e integral deveria estar relacionada ao conceito de velocidade na mecânica, produzindo um reforço na compreensão de ambos os conceitos.

A identificação de elementos que servirão de diretrizes de organização é um passo necessário na elaboração do currículo. Esses *elementos curriculares* são aqueles tidos como primordiais e devem estar presentes ao longo de um curso. Eles têm a função de ser os elementos organizadores da continuidade, da seqüência e da integração do currículo.

Ao planejar o currículo, em qualquer campo, é preciso decidir sobre que elementos são mais eficazes para servir de diretriz de organização. Tais elementos são os fios com o qual é tecido um currículo mais integrado (Tyler, 1949).

Um conjunto de elementos comuns são *conceitos, valores, aptidões* (habilidades). Cada um destes elementos, na realidade, é uma classe de elementos que deve ser refinada desde os conceitos gerais até os mais específicos e restritos.

Tyler alerta que a introdução destes elementos deve respeitar o grau de desenvolvimento e maturidade do estudante. Aqui parece que retorna a questão do filtro psicológico para determinar que tipo e como as experiências de aprendizagem podem aumentar a probabilidade de se atingir o sucesso de um objetivo educacional. Alerta ainda, que os *elementos curriculares* não devem ser vistos como termos independentes, metas distintas de ensino. Os elementos são os fios sugeridos para a textura; o ensino consistirá em urdir de maneira tão perfeita quanto possível o tecido final (Tyler, 1949).

Os *elementos curriculares* ocupam um papel central na abordagem de organização curricular de Tyler. É preciso identificar estes elementos dentre aqueles que são mais relevantes e significativos no campo considerado. Após a seleção, é necessário utilizar estes elementos de modo a promover a continuidade, a seqüência e a integração. Os elementos devem aparecer ao longo e ao largo do programa de ensino (Tyler, 1949).

As experiências de ensino devem ser organizadas de tal forma que exista continuidade, seqüência e integração das diretrizes curriculares. Além disso, é preciso identificar os princípios de organização que tornam coesos os elementos curriculares. Tyler propõe dois princípios organizadores: ampliação e extensão. O primeiro considera o aspecto de *abrangência* no sentido de aumentar o *grau de generalização de um conceito*, por exemplo, conceito de sistema, aplicado ao fenômenos físicos naturais de comportamento linear, e ampliado para não-lineares. O princípio de *extensão*, diz respeito à possibilidade de *aplicação de um conceito em domínios distintos*, por exemplo, o conceito de sistema aplicado inicialmente à física pode também ser aplicado à economia, à sociedade etc.

Tyler alerta, entretanto, que os princípios de organização devem ser considerados em termos do significado psicológico para o aluno. Isto quer dizer que quem elabora o currículo deve assumir a perspectiva do aluno e não a de um especialista. A organização lógica de um assunto feita por um especialista da disciplina não corresponde necessariamente à organização psicológica de um estudante.

Tyler considera o currículo em três níveis estruturais: superior, intermediário e inferior. No nível superior identifica as seguintes estruturas possíveis:

1. Disciplinas ou matérias (exemplo: matemática, circuitos elétricos, física)
2. Domínios extensos ou áreas (exemplo: controle, informática, automação)
3. Núcleo geral e domínios extensos ou disciplinas específicas
4. Estrutura indiferenciada ou monolítica

No nível intermediário, as estruturas possíveis são:

1. Cursos seqüenciais (exemplo: circuitos elétricos I e circuitos elétricos II)
2. Cursos em unidades isolados (exemplo: eletrônica analógica e eletrônica digital)

No nível inferior, diversas estruturas são possíveis, tais como:

1. lição ou aula (cada dia é tratado como uma unidade distinta)
2. tópico (a extensão do assunto determina a duração do tópico, pode assim durar vários dias)
3. unidade (inclui experiências que abrangem várias semanas e é organizada em torno de problemas importantes dos estudantes)

2.4.5 O processo de organização do currículo tecnicista

Tyler sugere que o processo de planejamento da organização curricular deva ser desenvolvido em 5 etapas:

1. Determinação do esquema geral da organização (arquitetura do currículo)
2. Definição dos princípios gerais da organização (critérios que orientam o desenvolvimento do currículo)
3. Definição da estrutura de baixo nível (arquitetura das unidades de ensino)
4. Definição do plano flexível das “unidades-fonte” (diretrizes para organização das experiências de aprendizagem que atendem aos objetivos educacionais definidos)
5. Definição do plano de atividade (diretrizes para execução das experiências de aprendizagem selecionadas)

O processo de desenvolvimento do currículo se completa com a avaliação. Para Tyler, embora as fases anteriores tenham implícitas atividades preliminares de avaliação, é necessário dedicar atenção específica à esta questão para garantir que os resultados obtidos na aprendizagem se aproximem tanto quanto possível dos objetivos desejados e se corrijam desvios eventuais.

2.4.6 Avaliação do processo de aprendizagem

Avaliação, segundo Tyler, consiste em determinar em que medida os objetivos educacionais estão sendo realmente alcançados pelo programa do currículo e do ensino. Entretanto, como os objetivos são essencialmente mudanças em seres humanos, a avaliação é o processo mediante o qual se determina o grau em que essas mudanças de comportamento estão realmente ocorrendo (Tyler, 1949, p. 98).

Esta abordagem de avaliação implica dois aspectos importantes: primeiro a necessidade de se observar o comportamento dos estudantes como forma de avaliação. Segundo, implica em apreciar o comportamento inicial, antes de uma experiência de aprendizagem e fazer outra apreciação mais adiante, para identificar as possíveis mudanças produzidas pelo processo educacional. Evidentemente, não bastam apenas estas duas estimativas, inclusive porque alguns objetivos não podem ser atingidos senão ao curso de um período

mais longo de tempo. Por outro lado, a questão da retenção, ou a permanência da aprendizagem é uma preocupação importante na abordagem de Tyler, visto que a memória é um fator tido como muito relevante na concepção pedagógica comportamentalista que serve de base ao modelo tecnicista.

A meta da avaliação é obter evidências sobre o comportamento dos estudantes. Assim, qualquer evidência válida sobre o comportamento que forneça oportunidade de se observar a consecução de um objetivo educacional é um método apropriado de avaliação.

Ao discutir os métodos de avaliação, Tyler apresenta uma variedade de alternativas que vão além do “teste com lápis e papel”, largamente difundidos. Objetivos que envolvem atitudes e comportamentos sociais podem, segundo Tyler ser avaliados através da observação direta, entrevistas, questionários. No caso da observação direta, Tyler ressalta a necessidade de se fazer o registro objetivo dos comportamentos visados. Para isto, sugere a elaboração de listas de checagem específicas.

Como já foi mencionado antes, para Tyler, o processo de avaliação começa pelos objetivos do programa educacional, que fornecem a priori os critérios para os procedimentos de avaliação. Neste ponto, a matriz bidimensional que relaciona os tipos de comportamentos desejados com os conteúdos, desenvolvida na fase de definição dos objetivos, passa a ter importância novamente, entretanto sob o enfoque da avaliação.

A análise bidimensional que serviu de base para estabelecer as experiências de aprendizagem (planejamento do currículo), pode ser utilizada como um conjunto de especificações para avaliação. Os tipos de comportamentos contidos na matriz, indicam as espécies de comportamentos que devem ser avaliados, enquanto que os conteúdos indicam de onde devem ser retiradas as amostras que vão verificar o desenvolvimento do comportamento sob avaliação. Se um objetivo não foi claramente definido, a fase de avaliação força a correção deste.

Para Tyler, a única maneira de saber se os estudantes adquiriram determinados tipos de comportamento é dar-lhes a oportunidade de mostrar esse comportamento. Além disso, é importante observar em que grau os objetivos estão sendo atingidos. Aqui, a avaliação toma o aspecto de “medida”. A construção de um instrumento de avaliação deve ser feita com base nos seguintes critérios:

- Objetividade (os resultados devem ser independentes do avaliador)
- Fidedignidade (os resultados obtidos são representativos do que se avalia)

- Validade (o grau que os resultados obtidos realmente avaliam)

A questão da validade é, na visão de Tyler, a mais importante. Para ele a validação de um instrumento pode ser assegurada através de dois métodos. O primeiro, consiste em obter uma amostra direta da espécie de comportamento a ser medida. Ele chama este de *validade manifesta*. O outro método é assegurar uma correlação de um dispositivo particular de avaliação com o resultado de medição diretamente válida.

Os resultados obtidos na avaliação devem descrever mais o perfil dos estudantes e menos um escore. A vantagem de se desenhar um perfil consiste em permitir uma ação mais efetiva na melhoria de desempenho em relação a um comportamento ou conjunto de comportamentos se estes são conhecidos. Assim, é possível conhecer os pontos fracos e fortes do programa, identificar as experiências de aprendizagem que não estão contribuindo adequadamente para a consecução dos objetivos educacionais desejados e propor mudanças para corrigir distorções. Neste sentido, a avaliação é um instrumento de aperfeiçoamento do currículo. Nota-se que na visão de Tyler o desenvolvimento de currículo é um processo contínuo de planejamento, execução e avaliação.

Tyler ainda chama atenção para outras funções da avaliação, dentre as quais destaca: influenciar a aprendizagem porque ressalta os pontos relevantes a serem aprendidos e desta forma mobiliza professores, escola e estudantes para isto; a avaliação fornece dados relevantes sobre o desenvolvimento de grupos de estudantes dentro do processo educativo; também serve para referenciar a escola em relação ao sistema educacional como um todo. Aqui parece estar se falando dos padrões globais de educação.

2.4.7 Críticas ao modelo de currículo tecnicista de Tyler

A abordagem tecnicista teve grande influência na educação. Um dos motivos para explicar o seu sucesso é a objetividade, a clareza e a simplicidade com que Tyler expõe os princípios de organização do currículo. Outro motivo do sucesso é a compatibilidade entre a sua base filosófica positivista e a sua base pedagógica behaviorista. O caráter prescritivo é outra característica marcante desta abordagem.

Por outro lado, as críticas a Tyler estão ligadas à natureza determinista dos seus pressupostos que ignoram a complexidade da sociedade contemporânea, cheia de conflitos e incertezas que limitam a previsibilidade dos resultados visados por esta abordagem (Henriques, 1998).

Inicialmente pode-se fazer um questionamento das fontes dos objetivos educacionais. Há uma suposição subjacente de que estas fontes são estáveis, isto é, há um conjunto bem definido e determinado de interesses dos alunos, de demandas sociais e de consenso entre os especialistas das disciplinas que permitem a seleção de objetivos educacionais. Depois, acredita-se que estes objetivos sejam obtidos através de um consenso e que este seja um estado sempre possível de ser atingido. Na realidade, as demandas do mercado de trabalho e sobretudo a visão dos especialistas acabam sendo as fontes determinantes dos objetivos curriculares (Domingues, 1986).

O verdadeiro papel dos *filtros* filosófico e psicológico no modelo também recebem duras críticas. Para alguns autores, eles não têm simplesmente a função de harmonizar os objetivos. Eles se prestam a determinar em grande parte os objetivos educacionais (Henriques, 1998).

Ainda no que se refere a estes *filtros*, uma outra crítica diz respeito aos critérios de escolha destes. A concepção de Tyler subentende que os filtros sejam tão evidentemente válidos e verdadeiros que se impõem como consenso. Em outras palavras, não são objeto de discussão. Os críticos apontam isto como uma evidência da característica fechada e do comprometimento desta abordagem com uma determinada visão, no caso o industrialismo (Domingues, 1986).

Do ponto de vista pedagógico, a aprendizagem é definida em termos de mudança de comportamento, sendo a sua avaliação feita com base na observação do incremento de desempenho com foco em atividades pontuais. A aprendizagem é também considerada um processo de descobertas que vão se acumulando ao longo do currículo. Daí a necessidade de seleção, planejamento e execução controlada das experiências de aprendizagem para garantir a uniformidade dos resultados desejados. Há uma suposição subjacente de uma relação de causa-efeito linear entre as experiências de aprendizagem que os estudantes têm e as aprendizagens que realizam.

Embora o próprio Tyler tenha chamado atenção para o fato de que as experiências de aprendizagem deveriam estar organizadas em função da lógica de raciocínio do estudante e não do especialista, em geral, os programas são organizados e desenvolvidos em função dos conhecimentos já codificados pelos especialistas. De fato, existe uma equivalência entre o conteúdo dos livros-texto de disciplinas como Cálculo, Física, Eletrônica, Controle e o desenvolvimento do programa destas disciplinas. Os livros são em geral organizados

mais em função de uma exposição lógica e formal das definições e dos conceitos e menos em termos da compreensão dos fenômenos e problemas.

Do conjunto de elementos curriculares citados (conceitos, aptidões e valores) que deveriam servir de *costura* para o currículo, o aprendizado de conceitos passa a ser predominante e, em menor escala, o desenvolvimento de aptidões. Assim, o ensino é predominantemente um processo de transmissão de conhecimentos no desenvolvimento prático dos currículos baseados na abordagem tecnicista.

A abordagem tecnicista preocupa-se em controlar as situações de aprendizagem para aumentar a probabilidade de aprendizado, entretanto as situações da vida prática se apresentam sob um forte indeterminismo. Na abordagem tecnicista porém, pouca ou nenhuma atenção é dada a isto, assim pouca garantia se pode ter que os conhecimentos adquiridos poderão ser efetivamente mobilizados para solução de problemas da vida real. Por exemplo, um estudante que obteve um excelente resultado em modelagem matemática de sistemas físicos, que domina os aspectos formais de um processo de modelagem, não necessariamente será capaz de perceber a oportunidade de utilizar este conhecimento como uma ferramenta de solução quando estiver diante de uma situação real.

Os quatro passos da metodologia de Tyler, representadas pelas quatro questões colocadas, estão comprometidos com a visão modernista de descoberta e não de invenção. O passo 1, formulação dos objetivos é baseada na suposição de um conjunto estável de saberes, enquanto o passo 2, seleção das experiências de aprendizagem, indica um melhor caminho para atingir os objetivos propostos. O passo 3 e 4, respectivamente organização e avaliação, são desenvolvidos no sentido de estabelecer com rigor o controle e a verificação se os objetivos foram ou não atingidos. A aprendizagem é vista como uma descoberta do preexistente, daquilo que já é conhecido. A educação, no entanto, é muito mais um meio de transmissão de informações do que transformação do conhecimento.

Ao enfatizar o raciocínio em cadeia de tipo dedutivo, fecham-se as possibilidades de construção de outras lógicas. Isto é de certa forma inaceitável num contexto de multiplicidade de caminhos. Na possibilidade de existirem múltiplas soluções, o saber olhar a realidade e dela extrair a formulação de um problema é mais relevante que a solução em si. O modernismo de fato, inverteu estes termos, colocando a resposta antes da pergunta. Basta olhar a *forma canônica* como é realizado o ensino de engenharia sempre partido do embasamento teórico e depois buscando-se uma aplicação, quase sempre num sentido

ilustrativo da teoria.

Na prática, a abordagem tecnicista é inadequada porque concebe a educação como um processo de descoberta. O estudante deve ser conduzido (controlado) a descobrir as leis naturais imutáveis que estruturam o mundo. Por outro lado, não se preocupa com o desenvolvimento do pensamento crítico, de valores e atitudes que conduzem ao desenvolvimento da autonomia e do pensamento reflexivo, que possibilitam o enfrentamento de situações complexas e incertas na vida profissional. Pode-se dizer que esta abordagem de educação pode eventualmente conduzir à uma grande aquisição de conhecimentos aprofundados e rigorosos, mas não dá ao estudante oportunidade de desenvolver a práxis (agir-pensar). Entretanto, a abordagem tecnicista tem a sua contribuição maior na definição de grande quantidade de conceitos da área de organização e estrutura de currículo.

2.5 Abordagem de currículo por competências

A abordagem de ensino baseada no desenvolvimento de competências é recente. A mesma teve origem nas demandas do mundo do trabalho e possui diversas influências teóricas, que formam um largo espectro de tendências pedagógicas. De um lado do espectro, encontram-se aquelas que parecem dar a esta abordagem o sentido de treinamento operacional. No outro extremo, está o entendimento de que o ensino por competências destina-se a uma formação integral e integrada, desenvolvendo o profissional, equilibrando as dimensões técnica, humana e social.

A abordagem de competências tem suas origens no mundo do trabalho, especificamente na área de recursos humanos. Em um artigo publicado em 1973, o psicólogo David C. McClelland argumenta que a seleção e a contratação de pessoal baseadas em teste de aptidão e inteligência não predizem o desempenho futuro do trabalhador na função (Deluiz, 2001). McClelland propôs que o processo de seleção deveria ser baseado em um referencial de atitudes e hábitos que caracterizariam um funcionário que apresentasse excelente desempenho. Nascia assim o conceito de competência profissional a ser utilizado na seleção, contratação e treinamento de pessoal. Este conceito veio se contrapor ao conceito de qualificação profissional, baseado na acumulação de saberes certificados através de diplomas até então largamente difundido e valorizado no mundo do trabalho.

A partir da década de 1980, o conceito de competência profissional passou a direcionar

a educação e o treinamento de trabalhadores, primeiramente foi destinada à formação de trabalhadores ligados às atividades operacionais depois aos das áreas técnicas. Atualmente o conceito de desenvolvimento de competências começa a ganhar relevância nas diretrizes de formação de profissões de nível superior, principalmente área da saúde (Depresbiteris, 2001), mas também na engenharia, (Lachiver *et al.*, 2002), (Dalle *et al.*, 2003), (MEC/CNE, 2001).

De um lado, a adoção da abordagem de ensino por competências está inserida no quadro da demanda capitalista de mão de obra flexível, polivalente, autônoma e criativa, como estratégia de sobrevivência das empresas diante das novas regras impostas pela globalização dos mercados, nas quais agilidade, produtividade, competitividade e a inovação, passaram a ser fatores essenciais ao sucesso empresarial (Deluiz, 2001). Por outro lado, reflete a necessidade de uma educação que capacite melhor o indivíduo a realizar-se como ser humano e contribuir para a sociedade na qual vive. Para isto, é preciso desenvolver uma educação capaz de reconstruir o conceito de cidadania no contexto de um mundo “virtualizado” pela tecnologia (Perrenoud, 1997a).

2.5.1 Diferentes modelos educacionais baseados na abordagem por competências

Segundo (Deluiz, 2001) podem ser identificadas na abordagem por competências quatro matrizes teórico-conceituais: condutivista, funcionalista, construtivista e crítico-emancipatória.

Matriz condutivista

A matriz condutivista tem seus fundamentos no Behaviorismo de Skinner e se utiliza da pedagogia dos objetivos de Bloom, sendo por isto muito confundida com os desenvolvimentos mais recentes da abordagem tecnicista que também utilizam estes referenciais teóricos. (Besterfield-Sacre *et al.*, 2000a).

A proximidade conceitual desta matriz teórica com a abordagem tecnicista faz com que alguns confundam *competências* e *objetivos educacionais*, fazendo uma simples substituição de termos (Perrenoud, 2001).

Na matriz condutivista, a competência se expressa através das características de um indivíduo que tem um desempenho superior no seu posto de trabalho (Deluiz, 2001). Como

consequência, a matriz condutivista concentra-se em observar as pessoas que realizam bem o seu trabalho e procuram responder as seguintes questões: o que faz o trabalhador? para que o faz? Como o faz? As respostas obtidas orientam a construção de um currículo de formação. Fica evidente o viés de treinamento desta matriz.

Matriz funcionalista

Esta matriz está relacionada à aplicação da teoria dos sistemas sociais, nas quais os objetivos e funções da empresa devem ser formulados em termos de sua relação com o ambiente externo (mercado, tecnologia, instituições, sociedade). A função de cada trabalhador na organização, se constitui em um subsistema que se relaciona um com o outro e com o ambiente externo. A competência nesta matriz, se traduz na especificação detalhada de atribuições e tarefas de cada função de trabalho no sistema-empresa.

A matriz funcionalista utiliza a análise funcional para responder às seguintes questões: quais são os objetivos principais da organização? e da área de ocupação? A lógica de construção de competências é dedutiva, passando das funções gerais para as mais específicas. Assim, obtém-se normas de competência e descrição de resultados que devem ser alcançados em uma área de trabalho. Descrevem-se os produtos e não processos, importando os resultados e não como são alcançados. As funções são descritas em termos de unidades de competências e estas em elementos de competências. Em cada nível funcional é descrito o produto esperado (Deluiz, 2001). Esta matriz resulta em um sistema de competências extremamente descritivo e detalhado que por vezes tornam-se meras normas burocráticas.

Matriz construtivista

Esta matriz está relacionada aos trabalhos de Bertrand Schwartz que combina pesquisa/ação com reflexão/ação. Procura identificar a relação entre as atividades de trabalho e os conhecimentos incorporados ou mobilizados de modo a obter a compreensão da relação competência/contexto e seu processo de construção e evolução (Deluiz, 2001). Esta matriz considera não o desempenho de um indivíduo isolado com referência para constituição de uma competência, mas sim a coletividade que executa um trabalho semelhante.

Uma competência, para a matriz construtivista, é a capacidade de mobilização dos recursos cognitivos (conhecimentos, habilidades, atitudes, valores) para tomada de de-

cisões e ação diante de uma situação problemática (Perrenoud, 2001). Para a matriz construtivista, as competências são construídas não só a partir das funções e das tarefas desempenhadas no trabalho, é concedida igual importância às percepções e contribuições do indivíduo diante de seus objetivos e potencialidades, em termos de sua formação (Deluiz, 2001).

Matriz crítico-emancipatória

Esta matriz ainda está em construção. Ela tem seus fundamentos no pensamento crítico-dialético. Pretende dar novo significado à noção de competência, envolvendo facetas que vão do individual ao sócio-cultural. Para esta matriz a competência não se resume ao desempenho, nem no aspecto cognitivo individual.

A matriz crítico-emancipatória estabelece que a identificação e construção de competências profissionais não deve se pautar pelas necessidades e demandas estritas de mercado, na ótica do capital, deve levar em conta a dinâmica do mundo do trabalho, os contextos macroeconômicos e políticos, as transformações técnicas e organizacionais, os impactos socioambientais, os saberes do trabalho, os laços coletivos de solidariedade e os valores e as lutas dos trabalhadores.

Esta matriz procura desenvolver o conceito de competência profissional *ampliada*, não apenas técnica, pois está ligada ao próprio patrimônio de experiências coletivas da humanidade e animada por esta consciência coletiva, voltada ao desenvolvimento de princípios universalistas de igualdade de direitos, justiça social, solidariedade e ética (Deluiz, 2001).

2.5.2 Concepção de um currículo na abordagem por competências

Não obstante as diferenças conceituais sobre o que seja efetivamente uma competência, a abordagem de ensino por competência possui uma orientação geral para a organização curricular que parte da investigação do processo de trabalho e busca (Deluiz, 2001):

1. Identificar os perfis profissionais de conclusão desejados.
2. Definir blocos de competências profissionais básicas, gerais e específicas relacionadas aos perfis identificados.
3. Desenhar a estrutura do currículo visando a flexibilidade e a modularidade.

4. Definir os caminhos e os critérios de acesso aos módulos curriculares.
5. Definir as estratégias de aprendizagem orientadas à prática interdisciplinar e a contextualização.
6. Selecionar situações de aprendizagem baseadas na pedagogia de projetos e de situações-problema.
7. Definir o processo de avaliação da aprendizagem.

2.5.3 Conceito de competência: capacidade dominada de mobilização de recursos cognitivos

Para (Perrenoud, 2001), competência é uma capacidade cognitiva global de mobilização de recursos cognitivos diante de um tipo de situação problemática . As competências se manifestam na ação e são construídas através da ação. Por isto, a educação, segundo Perrenoud, deve ter a construção de competências como objetivo. Entretanto, construir competências não significa desconsiderar os conhecimentos. Sem conhecimentos, não há competência (Perrenoud, 1998a). São os conhecimentos, isto é, os conceitos científicos e tecnológicos sistematizados, que dão suporte para construção das estratégias de ação diante de uma situação em curso. Entretanto, se um conhecimento não pode ser mobilizado para dirigir uma ação diante de um problema, então este não é um conhecimento efetivamente dominado.

A conceituação de competência, segundo Perrenoud, se completa com a explicitação dos recursos cognitivos que são mobilizados. Estes são: os conhecimentos (conceitos sistematizados, ou *saber*); as habilidades (*saber-fazer*); os esquemas de percepção, de pensamento, de julgamento e avaliação (*saber-agir*); as atitudes e os valores, normas e regras (*saber-ser*).

A formação profissional, do ponto de vista curricular, deve ser guiada por um referencial que explicita quais são as competências visadas ao final de um percurso educativo. Este referencial deve levar em conta que tipo de situações específicas, problemáticas e representativas, o profissional deverá ser capaz de enfrentar em seu metier. A construção deste referencial é um processo negociado pelos agentes (professores, instituição escolar, órgãos regulamentadores, sociedade, mercado de trabalho), pois implica tomada de decisões que privilegiam alguns aspectos em detrimento de outros.

Uma competência se manifesta através da ação dominada. Para uma ação é preciso identificar uma situação problemática. Os recursos cognitivos são as ferramentas que o profissional utiliza para identificar a situação problemática e traçar o curso de ação rumo à solução pretendida. Os *recursos cognitivos* são divididos em categorias:

1. Conhecimentos.

- *Declarativos*: referem-se aos modelos da realidade. (Ex: as leis da Física)
- *Procedurais*: incluem os métodos, técnicas que indicam como fazer. (Ex: método de análise de malhas em circuitos elétricos, resolução de sistema de equações através da regra de Kramer)
- *Condicionalis*: definem critérios para tomada de decisão. (Ex: critérios de estabilidade de Liapunov)
- *Informativos*: referem-se a parâmetros e dados “locais”. (Ex: parâmetros de configuração de sistemas de software, dados técnicos de catálogos)

2. Capacidades.

- *Habilidades*: consiste no saber-fazer propriamente dito. (Ex: programar em linguagem C)
- *Esquemas*: de percepção, de pensamento, de julgamento e avaliação. (Ex: interpretação de gráficos)

3. Recursos de dimensão normativa:

- *Atitudes* (Ex: curiosidade, abertura, criticidade, criatividade)
- *Valores, normas e regras sociais internalizadas*. (Ex: disciplina , responsabilidade)
- *Postura*. Posicionamento perante o saber, a ação, os outros, e o poder (Ex: independência, autonomia, solidariedade)

O conceito de competência, da forma como colocado por Perrenoud, ressalta que esta não se manifesta senão diante de situações concretas, não é um esquema rígido, pois baseia-se no desenvolvimento de heurísticas e na capacidade de transferência (aplicação em outro domínio) e recontextualização (reconstrução de um conceito e transferência

para outro domínio de aplicação) dos *saberes* (saber-conhecimento, saber-fazer, saber-agir, saber-ser) ²(Perrenoud, 2001). Está portanto, de acordo com idéias de Dewey e de Schön, discutidas antes, na qual o ensino-aprendizagem é visto como sendo um processo desenvolvido através do pensamento reflexivo.

Um diferencial do modelo de competência de Perrenoud em relação aos demais, é que este vai além de uma noção estritamente tecnicista. Por exemplo, embora não defina o senso de cidadania como sendo uma competência, seu modelo admite a mobilização de competências para o desenvolvimento do senso de cidadania e situa este como fundamental à formação profissional (Perrenoud, 1997a).

2.6 Síntese das contribuições teóricas apresentadas

O referencial teórico apresentado sustenta as seguintes hipóteses de trabalho apresentadas anteriormente:

Hipótese 1. O desenvolvimento dos *saberes* é um processo de ação/reflexão contínua, que envolve *saber, saber-fazer, saber-agir, saber-ser*, e parte dos *saberes* anteriores, adquiridos de ações e reflexões anteriores. O Conceito de *praxis* (Dewey), sustenta esta hipótese.

Hipótese 2. Colocar os estudantes em contato com os problemas reais, desde cedo e ao longo da formação, contribui para aquisição e consolidação dos *saberes* pertinentes à um engenheiro competente e socialmente responsável. O Conceito de *praxis* (Dewey) e *praticante reflexivo*(Schön,) sustentam esta hipótese.

Hipótese 3. Um esquema curricular que dê oportunidade para ação/reflexão, desde cedo e ao longo do curso de engenharia, contribui para superação dos desafios da educação engenharia. O conceito de *competência*(Perrenoud), sustenta esta hipótese.

Hipótese 4. Um esquema curricular que vise integrar conhecimentos, competências, valores e atitudes contribui para que os egressos da educação em engenharia continuem aprendendo ao longo da vida. *Práxis* (Dewey), *competência*(Perrenoud), são os conceitos que sustentam esta hipótese.

²É evidentemente um conceito recursivo.

Hipótese 5. A engenharia de controle e automação, por sua característica multidisciplinar e abrangente, é um caso adequado para aplicar um esquema curricular que visa a formação de engenheiro competente e socialmente responsável. Esta é uma hipótese que o autor sustenta, baseado na experiência e na reflexão considerando todo referencial teórico apresentado.

O próximo capítulo apresenta uma revisão do ensino-aprendizagem baseado em problemas na área de educação em engenharia. Procura-se classificar as abordagens de acordo com alguns critérios de interesse para destacar os aspectos que podem contribuir para a implementação do *modelo de currículo reflexivo*.

Capítulo 3

Aprendizagem Baseada em Problemas: Fundamentos e Aplicações na Educação em Engenharia

“Sabedoria jamais perdeu sua conexão com a conveniente orientação da vida. Somente em educação, e nunca na vida do agricultor, do marinheiro, do negociante, do médico ou do pesquisador de laboratório, saber significa primariamente um lastro de informações separadas da ação.”

John Dewey

3.1 Introdução

Seguindo a referência assumida do pragmatismo de Dewey, de que a aprendizagem resulta da experiência concreta vivida pelo aprendiz e do ato de pensar que conduz à *práxis*, o presente capítulo faz uma apresentação geral da Aprendizagem Baseada em Problemas, denotada aqui por simplicidade por *PBL* (que vem do inglês *Problem Based Learning*).

A *PBL* é uma abordagem pedagógica a qual utiliza problemas reais como centro da estratégia de ensino-aprendizagem.

Na verdade, o uso de problemas como parte do processo de ensino-aprendizagem não constitui em si algo novo. De fato, a educação tradicional também utiliza problemas

na estratégia de ensino-aprendizagem, porém, a diferença entre o papel atribuído aos problemas na *PBL* e na abordagem tradicional é significativa, evidenciando que a *PBL* tem uma epistemologia e uma pedagogia bastante divergente daquela que sustenta a educação tradicional, conforme mostrado a seguir.

O capítulo faz uma revisão da literatura sobre a *PBL*, mostrando desde a sua origem no ensino superior na área de saúde e depois na área de engenharia, passando pela discussão de seus fundamentos pedagógicos e pela descrição de como a mesma é implementada em um currículo, até a apresentação de alguns exemplos da aplicação de *PBL* no ensino de engenharia, visando esclarecer e aprofundar a compreensão de seus conceitos fundamentais. Ao final, são discutidos alguns aspectos críticos da *PBL* que devem ser levados em conta quando da aplicação desta abordagem em um currículo de engenharia.

3.2 PBL: método ou técnica?

Na revisão da literatura, verifica-se que há autores que definem a *PBL* como um método de ensino (Ribas, 2004), ao passo que outros a consideram como uma técnica didática (Ribeiro *et al.*, 2004). De acordo com (Walsh, 2005), esta divergência de enfoque dá origem a muitas propostas de *PBL*, que assumem formas e “sabores” muito distintos, embora se apresentem sob o mesmo termo “*PBL*”.

Então, antes de fazer a descrição da *PBL* enquanto instrumento de ensino, é o momento adequado para classificá-la dentro do universo metodológico da educação. Sendo assim, surge a questão: será a *PBL* um método próprio para a produção do saber ou antes, uma técnica a serviço desse mesmo método?

Etimologicamente, método (*méthodos*) e técnica (*tékhne*) são dois termos de origem grega, que se apresentam indissociáveis. Se *méthodos* quer dizer caminho, via, rota, *tékhne* significa arte. Então, se método é o caminho para se chegar a um resultado, a técnica é a arte de caminhar até esse resultado (Gomes e Galego, 2006).

Por outras palavras, método pode ser definido como processo racional através do qual se atinge um fim previamente determinado, o que pressupõe um conhecimento prévio dos objetivos que se pretendem atingir, bem como das situações a enfrentar, recursos e tempo disponível. Trata-se pois de uma ação planejada, baseada num quadro de procedimentos sistematizados e previamente conhecidos, podendo comportar um conjunto diversificado

de técnicas. A técnica, por sua vez, define-se pelo detalhamento de cada um desses procedimentos que permitem implementar o método segundo normas padronizadas (Gomes e Galego, 2006).

Embora a *PBL* se constitua como um processo racional que pressupõe um conhecimento prévio dos objetivos que se pretendem atingir, bem como um processo que tem subjacentes etapas preliminares à sua aplicação, em termos de resultado final, não é mais do que uma matéria prima que precisa ser processada. Isto porque os resultados obtidos no decorrer da resolução de um problema, não são um simples aglomerado de informações, mas a matéria-prima para que se possa chegar à produção do verdadeiro saber científico. Desse ponto de vista, a *PBL* pode ser classificada como uma técnica didática.

Porém, indo mais adiante, a *PBL* pode ser classificada como um método, pois se um método pode comportar um conjunto diversificado de técnicas, a *PBL* encerra em si as técnicas de resolução de *problemas-tipo* (da Silveira, 2003), de *problemas de final aberto* (Diefes-Dux *et al.*, 2004), e pode conjugar outras técnicas, tais como *aprendizagem por projeto* (Aguirre e Raucent, 2002), que permitem obter níveis de aprendizagem e reflexão mais profundos, sendo portanto, melhor caracterizada como um método. É este então, o entendimento de *PBL* adotado neste trabalho.

3.3 Origem da PBL

Em meados dos anos 60 Hamilton, no Canadá, era uma cidade industrial cuja população sofria graves problemas de saúde, principalmente respiratórios, devidos, entre outras causas, ao meio ambiente desfavorável, e às condições sócio-econômicas em que viviam grande parte dos habitantes daquela região (Ribas, 2004).

Tais problemas nem sempre eram tratados de maneira adequada pelos profissionais de saúde. Este fenômeno começava a se tornar endêmico e os profissionais ignoravam a forma de abordá-lo.

Esta situação levou as autoridades a focar a questão do ponto de vista da formação dos profissionais que deveriam cuidar da saúde daquela população. As primeiras questões que surgiram foram: “os profissionais de saúde estão capacitados a atender estas necessidades?”; “como podemos melhorar a formação destes profissionais?” (Albanese e Mitchell, 1993).

O resultado deste questionamento foi uma profunda reflexão por parte do meio acadêmico sobre como os profissionais de saúde adquirem os conhecimentos, as competências e as habilidades necessárias para seu trabalho.

Uma nova abordagem da formação profissional surgiu desta reflexão, a qual colocada em prática alcançou resultados que confrontaram os processos tradicionais baseados em conhecimento sistemático, predominantemente científico. Esta abordagem ficou conhecida como *Aprendizagem Baseada em Problemas*.

Pelo exposto, a maioria dos autores que tratam de *PBL* consideram que esta abordagem pedagógica foi desenvolvida originalmente no curso de medicina na universidade McMaster, em Hamilton, Canadá (Vargas, 2001). Por outro lado, é necessário fazer o registro dos trabalhos de George Polya, que é considerado o pioneiro no uso de problemas como estratégia de ensino-aprendizagem. Polya procurava responder a pergunta “como levar os alunos a fazer descobertas em Matemática?” e buscar meios de fazê-los “adivinhar e extrair conceitos matemáticos do mundo que os envolve” (Polya, 1945), (Polya, 1962).

O êxito inicial da *PBL* no ensino superior na área de saúde determinou sua rápida expansão para outras profissões tais como direito, administração e engenharia.

Já na metade dos anos 70 a *PBL* havia chegado à Europa. Em 1974 é criada na Holanda a Universidade de Maastricht, a qual oferecia todos seus cursos com uma abordagem distinta da tradicional, baseado na aprendizagem através de problemas (Ribas, 2004). No mesmo ano, de forma paralela, na Dinamarca, a Universidade de Aalborg inicia um curso de engenharia elétrica, com um método semelhante ao anterior, que é denominado *Aprendizagem Baseada em Projetos*. A experiência de Aalborg pode ser considerado um marco inicial da *PBL* na educação em engenharia (Kjaersdam e Enemark, 1994), (Fink, 1999).

3.4 Fundamentos da PBL

A *PBL* é um método caracterizado pelo uso de problemas do mundo real para encorajar os estudantes a desenvolverem o pensamento crítico, as habilidades de solução de problemas e adquirirem conceitos essenciais dentro de uma área de estudo. No que segue são apresentados os princípios, meios e procedimentos adotados em *PBL* para desenvolver tais aprendizagens.

3.4.1 Princípios da PBL

A PBL tem sustentação em diversas correntes teóricas sobre a aprendizagem humana, desde o pragmatismo de Dewey (Dewey, 1979b), até o construtivismo de Piaget (Piaget, 1975). De acordo com Ribeiro *et al.* (2004), os princípios pedagógicos que fundamentam a PBL são os seguintes:

- A aprendizagem é um processo de construção e não de recepção do conhecimento. Este se estrutura em rede de conexões de conceitos. A ativação de um conceito pela prática, auxilia a conexão de novos conceitos à rede previamente existente.
- A *metacognição* afeta a aprendizagem. Resolver problemas não é importante apenas pelo resultado (solução do problema), mas pelo desenvolvimento da competência em formulação e da metodologia para a solução de problemas, que possibilitam crescimento e novas aprendizagens (processo de pensamento reflexivo).
- Fatores contextuais e sociais influenciam a aprendizagem. Quanto mais próximos os conceitos estão do uso cotidiano e quanto mais oportunidades de aplicação forem oferecidas para aplicação, mais os conceitos tornam-se ativos e conectados à rede de conhecimento dos alunos.

Uma análise dos princípios enunciados, indica que a *PBL* baseia-se em uma epistemologia diferente daquela que orienta a educação tradicional. Esta última considera o estudante um elemento passivo do processo educativo, o qual deve ter a mente preenchida pelo conhecimento transmitido pelo professor. Devido a isto (Freire, 1987) a denomina de “educação bancária”. Já a *PBL* concebe o estudante como sujeito ativo, sendo a educação um processo de transformação da experiência, no qual o estudante (futuro profissional) desenvolve a capacidade de continuar aprendendo ao longo da vida.

3.4.2 Objetivos da PBL

A *PBL* busca o desenvolvimento dos estudantes, conjugando a aquisição de conhecimento conceitual específico de uma profissão com habilidades, atitudes e valores. De acordo com (Albanese e Mitchell, 1993), os objetivos da *PBL* são os seguintes:

- Promover nos estudantes a responsabilidade por sua própria aprendizagem.

- Desenvolver uma base de conhecimento relevante caracterizada por profundidade e flexibilidade.
- Desenvolver habilidades para avaliação crítica e a aquisição de novos conhecimentos com um compromisso de aprendizagem ao longo da vida.
- Desenvolver habilidades para relações interpessoais.
- Envolver os estudantes em um desafio (problema, situação ou tarefa) com iniciativa e entusiasmo.
- Desenvolver o raciocínio eficaz e criativo de acordo com uma base de conhecimento integrada e flexível.
- Monitorar a existência de objetivos de aprendizagem adequados ao nível de desenvolvimento dos estudantes.
- Orientar a falta de conhecimento e habilidades de maneira eficiente e eficaz em direção à busca de melhoria e aprofundamento.
- Estimular o desenvolvimento do sentido de colaboração como membro de uma equipe para alcançar uma meta comum.

Analisando os objetivos citados, é possível explicitar as diferenças importantes que a PBL apresenta em relação à abordagem tradicional da educação. A tabela 3.1 destaca estas diferenças.

Tabela 3.1: Diferenças principais entre a abordagem tradicional e a *PBL*.

Tradicional	PBL
A teoria precede a prática. Problemas práticos são usados como complemento da aprendizagem teórica.	Problemas reais são o fio condutor da aprendizagem. Estes são utilizados para incentivar o estudo e a aprendizagem dos conceitos.
Os professores assumem o papel de especialistas e autoridade formal.	Os professores têm o papel de facilitadores, tutores e consultores
Os professores transmitem a informação aos estudantes.	Estudantes tomam a responsabilidade de aprender.
Os professores organizam o conteúdo em exposições de acordo com suas disciplinas.	Os professores concebem seus cursos baseados em problemas abertos, aumentando a motivação através do uso de problemas reais.
Estudantes são vistos como “recipientes vazios” ou receptores passivos de informação.	Os professores buscam motivar e incentivar a iniciativa dos estudantes. Os estudantes são vistos como sujeitos que podem aprender por conta própria.
As exposições dos professores são baseadas em comunicação unidirecional, sendo a informação transmitida a grupo de estudantes.	Estudantes trabalham em equipes para resolver problemas, adquirem e aplicam conhecimento em uma variedade de contextos. Estudantes buscam recursos para solução dos problemas. Os professores os guiam no processo de busca.
Estudantes trabalham individualmente.	Estudantes organizados em pequenos grupos interagem com professores que lhes oferecem retroalimentação dos resultados obtidos.
Estudantes absorvem, transcrevem, memorizam e repetem a informação para atividades específicas tais como provas e exames.	Estudantes participam ativamente da resolução do problema. Eles identificam as necessidades de aprendizagem, investigam, aprendem, aplicam e resolvem problemas.
O ambiente de aprendizagem é individual e de competição.	Estudantes experimentam a aprendizagem em um ambiente cooperativo.
Os estudantes buscam a “resposta correta” para obter êxito em um exame.	Os professores evitam questões do tipo “uma só resposta certa”, ajudam os estudantes a fazerem perguntas, formular problemas, explorar alternativas, tomar decisões efetivas.
Avaliação é somativa e o professor é o único avaliador.	Os estudantes avaliam seu próprio processo assim como o dos demais membros da equipe e da turma toda. Além disto, o professor implementa uma avaliação integral, na qual são levados em conta tanto o processo quanto os resultados.

3.4.3 Processo da PBL

Existem diversas metodologias para o desenvolvimento da aprendizagem baseada em problemas. As diferenças, em geral, se referem ao detalhamento do processo em maior ou menor número de passos. Em uma das versões mais difundidas, da universidade McMaster, o processo de *PBL* é constituído de 7 passos, descritos de forma seqüencial, porém com a ressalva de que estes podem ser sobrepostos e repetidos durante a execução do processo (Walsh, 2005):

1. Identificar o problema.
2. Explorar o conhecimento pré-existente.
3. Gerar hipóteses.
4. Identificar questões de aprendizagem.

5. Empreender auto estudo para aquisição de novos conhecimentos.
6. Reavaliar e aplicar o novo conhecimento ao problema.
7. Avaliar e refletir sobre a aprendizagem realizada.

Identificar o problema

O ponto de partida do processo *PBL* é a apresentação do problema. Este deve ser apresentado por escrito. Os estudantes devem fazer uma leitura completa do mesmo e então discuti-lo entre seus pares. “Por que”, “como” e “quando” são os tipos de questões que devem ser estimuladas para uma ampla compreensão do problema. Por outro lado, os professores devem auxiliar os estudantes a evitarem fazer diagnósticos superficiais, buscando soluções imediatas as quais impedem aprofundar o entendimento do problema.

Explorar o conhecimento pré-existente

Uma vez entendido o problema, o passo seguinte consiste em esclarecer o significado dos termos usados no mesmo e explorar o seu conhecimento prévio. O conhecimento existente dos estudantes e suas experiências de vida são a base para aquisição de novos conhecimentos. Esta etapa permite então que os estudantes se tornem conscientes daquilo que já conhecem a respeito do problema em foco e apliquem este conhecimento em seu benefício e do grupo. Os professores, por outro lado, devem usar o seu conhecimento não no sentido de transmiti-los diretamente aos estudantes, mas para ajudá-los a evitar seguirem caminhos improdutivos e se dispersarem em detalhes irrelevantes que podem prejudicar o desenvolvimento das próximas etapas.

Gerar hipóteses

Baseado nas discussões realizadas antes, estudantes então geram hipóteses sobre a natureza do problema, incluindo possíveis mecanismos de solução. Uma questão fundamental para *PBL* surge nesta etapa. Sendo a preocupação central da *PBL* desenvolver o entendimento dos conceitos chaves e das competências de solução de problemas, então os professores devem cuidar para que os grupos não caiam no erro de encontrar explicações simplistas e superficiais que levariam a soluções que não exploram adequadamente os objetivos de aprendizagem contidos no problema.

Identificar questões de aprendizagem

Questões de aprendizagem são aquelas que não podem ser respondidas com o conhecimento corrente dentro de um grupo. São as lacunas de conhecimento que aparecem quando da tentativa de solução do problema. A identificação das questões de aprendizagem é um passo importante na definição das informações e do conhecimento que deve ser adquirido para solução do problema. Este passo é importante para que os estudantes estabeleçam seus objetivos de aprendizagem e tornem-se conscientes dos conceitos que deverão dominar ao final do processo. A identificação destes conceitos servem de base para reflexão da aprendizagem a ser realizada ao final do processo e que visa validar o conhecimento obtido e melhorar o resultado dos processos futuros de *PBL*.

Empreender auto-estudo para aquisição de novos conhecimentos

No contexto de um currículo que adota a *PBL*, a alocação de tempo para que os estudantes realizem o auto-estudo é uma questão central. De forma geral, é desejável que todos os membros de um grupo tenham responsabilidade individual de buscar o conhecimento e as informações pertinentes às questões de aprendizagem identificadas no passo anterior. As aquisições obtidas na fase de estudo individual devem então ser trazidas ao grupo para troca, esclarecimento e validação do entendimento dos conceitos. Neste ponto, os professores agem propondo questões que colocam em dúvida o domínio dos conceitos adquiridos na etapa.

Reavaliar e aplicar o novo conhecimento ao problema

Uma vez tendo aportado novo conhecimento e informações, os grupos podem se reunir com objetivo de aplicá-los ao problema original. Aos professores cabem o desafio de garantir que todos os estudantes estejam ativamente engajados e trabalhando com este novo conhecimento na solução dos problemas. Este é um passo crucial da *PBL*, pois é o trabalho com o novo conhecimento, questionando-o, e aplicando-o em diferentes situações que ajuda a estimular que este será usado no futuro. Para que isto aconteça, os estudantes devem ser encorajados a fazer perguntas uns aos outros, explicarem os conceitos difíceis uns aos outros e identificarem e entenderem os conceitos chaves que podem ser aplicados ao problema. Os professores devem também estimular a aprendizagem colocando questões que desafiam os estudantes a aplicar o conhecimento obtido em situações ligeiramente di-

ferentes do contexto (por exemplo, como questões do tipo: suponha a perda da informação de um sensor, um atraso na transmissão de um dado etc).

Avaliar e refletir sobre a aprendizagem realizada

Uma atividade de *PBL* não pode ser considerada completa sem que seja realizada uma sessão para os estudantes refletirem sobre o processo de aprendizado do qual tomaram parte. Este passo inclui uma revisão da aprendizagem obtida, bem como a chance dos elementos dos grupos darem retorno uns aos outros sobre as contribuições de aprendizagem, sobre o processo do grupo, e fazerem uma avaliação de como o grupo está trabalhando junto. Apesar da importância desta etapa, a mesma é muitas vezes negligenciada no campo da engenharia porque tanto professores quanto estudantes resistem ao tratamento de questões de ordem mais subjetiva. Porém, a realização desta etapa reflexiva é chave para o desenvolvimento profissional, seja no aspecto técnico visando a consolidação dos conceitos, seja no aspecto humano, desenvolvendo habilidades interpessoais e de autoconhecimento.

3.5 PBL na educação em engenharia

A aplicação da abordagem *PBL* no ensino de engenharia preserva as características gerais desenvolvidas na origem da *PBL*, porém introduz algumas especificidades inerentes à profissão de engenheiro. A mais significativa é a introdução de projetos como elemento condutor da aprendizagem ao invés de problemas.

Este fato faz surgir uma questão teórica importante para o avanço da pesquisa em educação em engenharia: aprendizagem baseada em problemas é algo diferente da aprendizagem baseada em projetos?

Infelizmente não há uma resposta simples para esta questão. Ao se verificar a literatura é observado que existem trabalhos tais como o de (Rau *et al.*, 2004) nos quais o termo “*PBL*” é usado para relatar experiências de aprendizagem baseadas em problemas. Já em outros, tais como o de (Aguirre e Raucent, 2002) “*PBL*” é usado no relato de aprendizagem baseada em projetos. Há ainda outros, onde é relatada a combinação de problemas e projetos no desenvolvimento de um currículo todo (Dalle *et al.*, 2003).

Pode-se argumentar que esta é uma discussão meramente semântica, porém uma lei-

tura mais aprofundada dos relatos daquelas experiências evidenciam uma confusão conceitual no uso de *PBL* na educação em engenharia.

Há motivos que ajudam a entender esta confusão. De início, é preciso considerar que “resolver problemas” é uma tarefa básica de um engenheiro. Neste sentido, “projetar” é amplamente aceita como sendo a atribuição essencial da profissão. Assim sendo é natural ao meio da engenharia que “problema” esteja fortemente relacionado com “projeto”, considerando projeto um instrumento conceitual para solução de problemas.

Na maioria dos casos, o objetivo da aprendizagem é desenvolver competência em projeto através de uma abordagem prática, isto é, utilizando-se de um problema real que resulte na implementação da solução desenvolvida através da aplicação de metodologias de projeto adequadas. O aprendizado conceitual restringe-se ao escopo das metodologias e técnicas de projeto. Deste ponto de vista, o uso de projeto na estratégia de aprendizagem visa facilitar e motivar o aprendizado de projeto, tanto no aspecto conceitual (conhecimento) quanto no aspecto prático (desenvolvimento de competência).

Quanto ao uso de problemas para aquisição de base conceitual que não necessariamente impliquem no desenvolvimento de projetos, isto tem sido pouco explorado na educação em engenharia.

Por outro lado, tem sido observada a crescente utilização mista de problemas e projetos, visando conjugar a aprendizagem conceitual geral da profissão, ao aspecto específico do desenvolvimento da competência em projetar que confere identidade profissional ao engenheiro.

Colocado deste ponto de vista, uma resposta à questão antes proposta é a seguinte: aprendizagem baseada em problemas e aprendizagem baseada em projetos são similares, pois têm os mesmos objetivos, baseiam-se nos mesmos princípios e possuem processos análogos. Porém, aprendizagem baseada em projetos é mais restrita que aprendizagem baseada em problemas, podendo ser considerada um caso particular daquela. Este é o entendimento adotado neste trabalho, pelo qual a *PBL* pode designar os dois casos sem distinção, salvo quando houver necessidade.

3.5.1 Implementação da PBL na educação em engenharia

Existem diversas formas de aplicação da *PBL*. Em sua forma mais original, é implementada em um programa todo, formando a espinha dorsal de um currículo. Também

pode assumir a característica de uma estratégia educacional parcial, isto é, aplicada a um grupo de disciplinas que compartilham algo em comum. Ou ainda, numa aplicação mais moderada, pode ser um recurso didático, no contexto de uma disciplina isolada.

Na próxima seção é proposto um quadro para classificação das abordagens de *PBL*, visando identificar aspectos de interesse neste trabalho. Depois são apresentados alguns exemplos de uso de *PBL* na educação em engenharia e utilizado o quadro de classificação para auxiliar na análise dos mesmos.

Embora não exista a rigor restrições quanto à natureza dos conceitos que podem ser tratados com a *PBL*, na educação em engenharia, estes são essencialmente científicos e técnicos.

Outros conceitos, tais como, responsabilidade social, ética profissional, segurança coletiva, bem estar social e meio ambiente, que começam a ser consideradas questões pertinentes às atividade de engenharia, passando a ser reconhecidas como componentes importantes na formação do engenheiro, representando uma mudança de foco na formação em engenharia, carecem de abordagem tanto conceitual quanto prática. (Pinto *et al.*, 2003).

No campo das relações entre ciência, tecnologia, e sociedade, há muito o que ser feito (Bazzo, 1998). É preciso desenvolver experiências de aprendizagem com estes temas dentro de uma perspectiva humana e profissional. Depois é preciso integrá-los efetivamente na formação, sobretudo nas atividades de projeto. Por fim, é necessário se desenvolver uma metodologia adequada de ensino-aprendizagem desta área (Bazzo *et al.*, 2000).

Porém, ainda são raros os programas de engenharia onde estes tópicos sejam tratados além de um caráter informativo. A ética, por exemplo, é geralmente discutida apenas no aspecto de honestidade (Brannigan, 2003). Em termos de *PBL*, não se identificou experiências muito além disto.

3.6 Um quadro para análise das abordagens de PBL

A simples descrição de exemplos de aplicação de problemas reais no ensino de engenharia é insuficiente para derivar conhecimentos que levem à formulação de uma metodologia mais geral para orientar o uso destes problemas, que seja independente do contexto local de uso. Por isto, a organização de um quadro de classificação, com base em critérios de interesse é necessária para facilitar a análise comparativa destes exemplos, destacando ob-

jetivos, estabelecendo enfoques, reconhecendo as bases educacionais, e inferindo estruturas necessárias para sua aplicação.

O quadro de análise utiliza três categorias para classificar as abordagens. A primeira, busca capturar os objetivos de se usar problemas reais no ensino. A segunda, busca identificar o escopo de uso. Já a terceira, tenta identificar a base pedagógica que sustenta o uso de problemas. Esta última categoria é, sem dúvida, o maior desafio de classificação. Em seguida, é descrita em detalhes cada uma das categorias.

3.6.1 Objetivos

Identifica quais são as intenções dos desenvolvedores ao utilizar problemas reais no ensino. Evidentemente, pode-se argumentar que há uma grande variedade de objetivos, porém, no contexto da classificação, todos podem ser enquadrados em um dos três seguintes:

- complementar o ensino teórico;
- integrar aspectos teóricos e práticos da engenharia;
- dirigir a aprendizagem da teoria;

3.6.2 Escopo

Identifica com que nível de abrangência os problemas são usados no ensino. A utilização destes pode ser em três níveis:

- disciplina isolada
- grupo de disciplinas
- programa completo de graduação

3.6.3 Base pedagógica

Identifica que tipo de fundamentação pedagógica orienta o uso de problemas no ensino. Definem-se os seguintes tipos de base:

- intuitiva (neste caso, não há referencial teórico explícito, os problemas são usados com base na experiência pessoal dos desenvolvedores, que são em geral professores especialistas nos assuntos ligados ao problema escolhido)

- comportamentalista (neste caso, há uma explícita intenção de utilizar conceitos ligados a este modelo pedagógico, o qual privilegia a consecução de objetivos observáveis como parâmetro de avaliação dos resultados de aprendizagem)
- sócio-construtivista (neste caso, há uma explícita intenção de utilizar conceitos ligados a este modelo pedagógico, o qual privilegia o desafio, a autonomia, a aquisição e organização do conhecimento sobre a transmissão)

Em seguida, são apresentados alguns exemplos de aplicação, com base na classificação feita. Com isso espera-se facilitar o estudo comparativo destes exemplos.

3.7 Exemplos de aplicação de problemas no ensino de engenharia

Esta seção apresenta alguns exemplos de uso de problemas no ensino de engenharia, coletados da literatura. A apresentação dos mesmos é feita com base no quadro de classificação definido antes.

A escolha dos exemplos é mais ou menos arbitrária. O critério principal foi selecionar exemplos que podem ser utilizados na área de automação de sistemas. Além disso, os exemplos são originados em instituições de ensino de nível internacional, com informações disponíveis na literatura, ou aos quais se teve conhecimento direto através de relacionamento pessoal.

Mesmo não sendo modelos em si mesmos, uma análise destas propostas levanta elementos importantes considerados na construção do modelo a ser proposto, bem como sugestões úteis para implementação de um currículo baseado no modelo.

3.7.1 **TEKBOTSTM**

TEKBOTSTM é uma plataforma de aprendizagem que utiliza projeto e implementação de *robôs* móveis como base de atividades.

Contexto

Foi desenvolvida no curso de engenharia elétrica e de computação da Universidade do Estado do Oregon, Corvallis, EUA.

Descrição

Tem por objetivos a integração de conhecimentos teóricos e práticos, ao longo de todo programa e o desenvolvimento da competência de concepção e projeto de sistemas complexos.

Utiliza *robôs* móveis para desenvolver desde os conceitos básicos de circuitos até os mais avançados, tais como redes de comunicação por rádio frequência. Para tanto, vão sendo desenvolvidas versões sucessivas de um *robô* móvel. Inicialmente, o *robô* executa uma tarefa extremamente simples e é constituído de componentes elementares discretos (resistores, capacitores, transistores, diodos, chaves fim de curso, relês, motor de corrente contínua, etc). Depois, estes componentes vão sendo substituídos por outros com tecnologia mais avançada e as tarefas vão também se tornando mais complexas. Em paralelo, os formalismos e conceitos mais avançados vão sendo introduzidos pelas disciplinas (Traylor *et al.*, 2003).

A proposta, é definida pelos desenvolvedores como sendo uma *plataforma de aprendizagem*, com as seguintes características (Heer *et al.*, 2003):

- Propriedade. Cada estudante constrói seu próprio *robô* individualmente. Cada estudante vai adquirindo os materiais e ferramentas necessários para construir as sucessivas versões do *robô*.
- Continuidade. A plataforma liga os tópicos do programa e dá oportunidade de tratá-lo juntos.
- Contexto. A plataforma provê uma aplicação para muitos dos conceitos aprendidos em sala de aula.
- Fator motivação. A abordagem *hands-on* (“mão na massa”) inspira os estudantes a aprenderem mais.
- Aprendizado prático. Estudantes vêem a teoria colocada na prática com esta abordagem *hands-on*.

As atividades de projeto e implementação do *robô* são realizadas em diversas disciplinas. Cada uma delas agregam ao *robô* conceitos pertinentes aos tópicos estudados. Por exemplo, a disciplina de introdução à engenharia elétrica e de computação, desenvolve a versão básica do *robô*, que tem como problema específico mover-se e desviar-se de

obstáculos. A solução neste ponto inicial, como foi dito antes, utiliza apenas componentes discretos e dispositivos eletromecânicos.

Mais à frente, a disciplina de eletrônica digital permite substituir componentes discretos, na função de controle, e tornar a tarefa um pouco mais complexa, por exemplo, evitando obstáculos antes da colisão. Ainda mais à frente, disciplinas tratando de sinais e sistemas vão possibilitar introduzir sensores infravermelhos, métodos de sonar, permitindo a comunicação do *robô* com um *PC*, visando a execução de algoritmos de processamento mais sofisticados. Isto resulta em uma navegação mais eficiente.

Referências

Além dos artigos, (Heer *et al.*, 2003) e (Traylor *et al.*, 2003), citados na referência, o site Internet <http://eecs.oregonstate.edu/education/tekbots.html> possui informações mais detalhadas do programa de engenharia, da plataforma, das disciplinas e do material utilizado.

Análise da proposta

É uma abordagem que visa integrar teoria e prática, no escopo de um programa completo de graduação, baseada no modelo pedagógico sócio-construtivista. É uma proposta bem articulada do ponto de vista pedagógico e técnico. É adequada ao espírito capitalista-individualista americano, mas tem que ser vista com reserva sob a perspectiva de um país subdesenvolvido, onde os estudantes não têm o mesmo nível de renda. Exige um grande esforço de trabalho coletivo da parte dos professores, desde a concepção de uma plataforma tão geral a ponto de abranger o programa completo, quanto na sua implementação e uso no ensino.

3.7.2 Projeto AAU

Esta experiência é uma das mais antigas e referenciadas experiências de ensino de engenharia baseado em problemas. O nome vem de *Aalborg University*, local de origem da experiência.

Contexto

Como dito antes, a experiência vem sendo desenvolvida na Universidade Aalborg, Dinamarca, em cursos de várias áreas diferentes, incluindo a engenharia elétrica e de computação. Neste curso, a experiência foi iniciada em 1974, e tem como um dos conceitos-chave o trabalho de projeto para resolver problemas reais (Kjaersdam e Enemark, 1994).

Descrição

A proposta da Universidade Aalborg é desenvolver um programa de engenharia integrando a graduação (bacharelado) e pós-graduação (mestrado), segundo a abordagem de problemas.

Em cada semestre do curso, os estudantes devem executar um projeto com uma carga de trabalho de 500 horas/estudante, em grupos de quatro a seis membros.

Os projetos são baseados em problemas reais de engenharia, e para isto um alto grau de cooperação entre escola e indústria é necessário. A complexidade dos problemas deve ser tal que permita explorar adequadamente as fases de análise, definição, solução e documentação de projeto (Fink, 1999).

A duração do curso, incluindo o mestrado, é de 10 semestres. Cada semestre trata de um *tema*. Por exemplo, o *tema* do terceiro semestre dá ênfase em engenharia de computação, é *Engenharia de Software*. Já o quarto trata de *Programação Orientada à Máquina*. Enquanto que o quinto enfoca os *Sistemas de Comunicação em Tempo Real*.

Os dois primeiros semestres formam um bloco de estudos básicos em ciência e tecnologia, comum a todos os estudantes. Os demais semestres dependem da área de estudo escolhida. Existe opção em engenharia de computação ou engenharia elétrica. Os últimos quatro semestres se ocupam de estudos mais avançados, relativos ao nível de mestrado.

Ao escolher o tema de estudo do semestre, o estudante define o conjunto de disciplinas que vai cursar e o problema que vai abordar no projeto. Estudantes que escolhem temas distintos, de acordo com a opção, podem, mesmo assim, eventualmente cursar algumas disciplinas juntos.

O programa é estruturado em torno de três componentes: *unidades de projeto*, que diz respeito aos campos centrais de problemas ou área funcional; *cursos de projeto (PE)*, que abordam tópicos ligados diretamente ao tema da unidade de projeto; *cursos de unidade de estudo (SE)*, que abordam tópicos de base conceitual (AAU, 2004). As habilidades

que a proposta AAU visa desenvolver são:

- capacidade de enfrentar novos problemas;
- raciocínio lógico;
- análise crítica e independente;
- capacidade de executar síntese interdisciplinar;
- capacidade de promover tecnologias sustentáveis;
- capacidade de gerar soluções criativas de problemas;
- comunicação;
- capacidade de trabalhar em grupo e cooperar;
- empreendedorismo;
- capacidade para funções de gerenciamento;
- desenvolvimento profissional contínuo.

Referências

Além dos documentos (Kjaersdam e Enemark, 1994), (Fink, 1999), (AAU, 2004), citados na referência, o site Internet http://esn.aau.dk/english/UK_index/index_uk.html possui informações mais detalhadas do programa de engenharia elétrica e de computação da Universidade Aalborg, incluindo, as bases educacionais, os planos *unidades de projeto*, dos cursos *PE* e *SE*, e propostas de projeto.

Análise da proposta da AAU

É uma abordagem que visa dirigir o aprendizado da teoria utilizando problemas. O escopo é em nível de programa. A abordagem é baseada no modelo pedagógico comportamentalista.

Há um bem estruturado esquema pedagógico que combina o uso de livros didáticos, tutoriais, aulas tradicionais (*lectures*), estudo dirigido, estudo em grupo, experimentos de laboratório, estudos de campo e problemas reais.

A proposta parte de um recorte necessário para estabelecer, dentre todas as áreas de formação, aquelas que o curso irá abordar. É uma proposta consolidada por muitos anos de trabalho, reconhecida internacionalmente, que demandou muito esforço coletivo dos docentes para ser elaborada e implementada.

Certamente não é fácil fazer os recortes e definir um subconjunto de áreas para serem abrangidas, deixando outras de lado. Da mesma forma, manter um banco de problemas para cada uma das unidades de projeto realmente requer um trabalho excepcional de interação com a indústria. Estes dois últimos aspectos analisados, tornam inviáveis a implementação de uma proposta deste tipo em locais onde a interação dos professores é baixa, o senso de coletividade não exista e a interação com a indústria não seja forte.

3.7.3 A linha de Disciplinas de Projeto da Universidade Laval

Contexto

Foi desenvolvida nos cursos de engenharia elétrica e de engenharia de computação da Universidade Laval, em Quebec, Canadá, a partir de um comitê constituído para desenvolver propostas de melhoria do ensino de engenharia frente aos desafios percebidos pelos agentes ligados àqueles programas.

Descrição

Consiste de uma linha de quatro disciplinas seqüenciais que têm por objetivo desenvolver uma formação em projeto (“design”) centrada no *saber*, no *saber-fazer*, no *saber-agir*, e no *saber-ser* na perspectiva de uma melhor integração entre conhecimentos científicos e técnicos e melhor desenvolvimento da pessoa, de suas atitudes e habilidades (Poussart *et al.*, 1997).

A linha é organizada em torno do desenvolvimento de cinco aspectos que compõem o projeto:

- Observação
- Modelamento
- Otimização
- Implementação

- Comunicação

A linha é composta de quatro disciplinas: *elementos de design*, *design II*, *design III*, e *design IV*, desenvolvidas em seqüência, uma a cada ano.

Em cada uma das disciplinas um subconjunto dos aspectos citados é enfatizado, compatível com a posição na disciplina no currículo, isto é, com os conhecimentos já desenvolvidos no restante do currículo. Por exemplo, *elementos de design* é desenvolvida no início do curso, então os aspectos enfatizados são observação e comunicação. O problema consiste em desenvolver um estudo de viabilidade de um produto baseado em alguns requisitos.

Não se exige conhecimentos além da capacidade de coletar dados, aplicar as técnicas de análise de requisitos ensinadas na disciplina e construir um documento que fundamente a escolha de uma alternativa entre todas possíveis com base em critérios estabelecidos. Já *design II* enfatiza os aspectos de modelamento em implementação.

O problema pode variar, mas sempre envolve ensaio de componentes eletromecânicos, tais como motores, sensores, a simulação e a construção de protótipos para validação dos sistemas. Design III focaliza os aspectos de modelamento, otimização e implementação. Geralmente envolve problemas de robótica móvel e processamento de imagem. Desta forma, questões mais complexas, envolvendo integração de sistemas, sistemas em tempo-real e outras, podem ser abordadas.

A disciplina de design IV é um projeto de fim de curso, com tema aberto, mas que deve atender alguns requisitos de complexidade e de pertinência à área de engenharia elétrica ou computação. Em todas as disciplinas, os projetos são desenvolvidos em equipe.

Referências

Além do documento citado na referência (Poussart *et al.*, 1997), os endereços Internet, respectivamente acessam os diversos materiais, tais como plano de ensino, notas de aula, e outros, das disciplinas de elementos de design(GEL21148), design II(GEL21404), design III(GEL21405) e design IV(GEL21406):

<http://21148.gel.ulaval.ca/>

<http://21404.gel.ulaval.ca/>

<http://21405.gel.ulaval.ca/>

<http://21406.gel.ulaval.ca/>

Análise da *linha de design* da Universidade Laval

É uma abordagem que visa integrar aspectos teóricos e práticos pertinentes à concepção e gestão de projetos, no escopo de um grupo de disciplinas que constitui uma linha de projeto (“design”). Tem como modelo pedagógico de referência o construtivismo.

No ano de 2004, durante quatro meses, o autor teve a oportunidade de acompanhar o desenvolvimento de todas as quatro disciplinas citadas na universidade de Laval. Isto tornou possível verificar que a linha cumpre bem os objetivos a que se propõe.

Um ponto importante a relatar é que os conceitos científicos e tecnológicos necessários ao desenvolvimento dos projeto são desenvolvidos no âmbito das respectivas disciplinas.

Embora se observe que os estudantes fazem uso dos conceitos aprendidos nas outras disciplinas do curso, não há uma ligação explícita, mais formal do restante do curso com a linha. Não obstante, o trabalho é muito bem fundamentado, produzindo boa integração entre os saberes e desenvolvendo progressivamente os aspectos de projeto enfocados.

3.8 Considerações finais

O método *PBL* nasceu na área da medicina, expandiu-se na área da gestão. A sua utilização na educação em engenharia é bem mais recente. Porém, pode-se dizer que já alcançou um estado de consolidação que vai além de ser um “experimentalismo” de algumas escolas. Entretanto, como foi mostrado, há uma grande variedade de possibilidades de implementação, dependendo dos objetivos, do escopo, do contexto e da base pedagógica assumida. O traço comum a todas elas, é o desejo de superar as limitações do ensino tradicional, assumindo o princípio da pedagogia de Dewey: “aprender fazendo”, mesmo que num nível intuitivo apenas.

Capítulo 4

Estrutura de Referência para Concepção de um Curso de Engenharia

“...tudo o que a escola pode ou precisa fazer pelos alunos no que visa à sua mente, é desenvolver a sua capacidade de pensar. A fragmentação da instrução em vários fins separados, como a aquisição de certas habilidades, a aquisição de conhecimentos de natureza informativa e o exercício do ato de pensar, evidencia por si mesma o modo ineficaz com que se cumprem estas três coisas.”

John Dewey

4.1 Introdução

Dois desafios à educação em engenharia foram apontados antes. O primeiro é formar profissionais capazes de transformar o saber acadêmico, adquirido durante a formação, em prática eficaz no contexto dinâmico do mundo do trabalho. O segundo é desenvolver a capacidade de aprender ao longo da vida como estratégia para enfrentar as mudanças introduzidas pela complexidade e a incerteza, sempre crescentes, neste mesmo mundo.

De acordo com o referencial teórico adotado, estes desafios podem ser melhor enfrentados quando a educação se orienta na direção de desenvolver o *pensamento reflexivo* (Dewey, 1979a).

Também foi evidenciado em capítulo anterior que o ensino tradicional é insuficiente para enfrentar os desafios apontados porque é orientado à transmissão de conhecimento teórico, dando pouca atenção à aquisição do conhecimento prático, essencial ao desenvolvimento do pensamento reflexivo.

O conhecimento prático, porém, não pode ser adquirido sem um ambiente educacional desafiador que estimule ao estudo teórico e, ao mesmo tempo, dê oportunidade de ação diante de problemas do mundo real. Sem estes requisitos, o pensamento reflexivo não pode ser desenvolvido.

Então, visando contribuir à superação do currículo orientado à transmissão de conhecimento, o presente trabalho estabeleceu como objetivo principal desenvolver uma estrutura de referência para guiar a concepção de um curso de engenharia cujo currículo priorize a capacidade do profissional agir diante do mundo e a capacidade de reconstruir os próprios saberes para continuar aprendendo ao longo da vida.

Para fim de simplicidade, a estrutura de referência será denominada no restante do texto de *modelo de currículo reflexivo* ou *currículo reflexivo*.

Inicialmente é feita uma breve apresentação do que é entendido no texto como sendo a concepção tradicional de um currículo de engenharia. Isto é feito para identificar os elementos que permitirão a comparação posterior entre o modelo reflexivo e o tradicional. Em seguida, os princípios e os componentes do modelo reflexivo são apresentados. Por fim, um exemplo hipotético de currículo de engenharia de controle e automação é concebido para ilustrar o modelo.

No final é feita uma breve comparação entre o currículo reflexivo e o tradicional.

4.2 Currículo tradicional

O ensino tradicional de engenharia tem como princípios a concepção de que a teoria precede a prática e de que ensinar é transmitir conhecimento.

Estes princípios modelam a estrutura curricular para esta ser uma forma eficaz de transmitir aos estudantes um corpo de conhecimento teórico necessário para um engenheiro atuar na profissão. Entretanto, a definição daquilo que constitui o conjunto necessário de conhecimento de um engenheiro é mais baseada em critérios da tradição acadêmica do que na demanda da prática profissional. Isto faz o currículo tradicional de

engenharia tecnicista, generalista, e desencarnado de valores humanos (Moore e Voltmer, 2003).

Os componentes fundamentais do currículo tradicional são as disciplinas. O conjunto delas forma o corpo de conhecimento de um engenheiro. Entretanto, cada disciplina é um todo autônomo, sem conexão real com o restante, a não ser por um sequenciamento de algumas disciplinas (pré-requisitos) e aulas de laboratório. Assim, a aquisição do corpo de conhecimento teórico contido em cada disciplina é o fim último da formação.

Neste modelo, os professores e estudantes desempenham papéis bem definidos e fixos. Os professores são predominantemente instrutores, desenvolvendo o ensino geralmente de forma individual e sem considerar o que é feito em outras disciplinas. Por outro lado, os estudantes, são na maioria das vezes, passivos recipientes do conhecimento. Nem o conhecimento prévio, nem o amadurecimento deles, são levados em conta pelas disciplinas.

Exceto nas atividades do tipo estágio supervisionado e projeto de fim de curso, durante quase toda formação, estudantes são tratados como “iniciantes”.

Aquelas atividades, entretanto, ocupam um espaço muito reduzido da formação, sendo insuficientes para desenvolver o conhecimento prático e o amadurecimento profissional dos estudantes em relação ao conhecimento teórico que adquirem.

É oportuno dizer que muitos cursos de engenharia têm aumentado substancialmente as atividades de laboratório, buscando suprir a lacuna de conhecimento prático. Isto é muito positivo, porém é preciso distinguir *prática laboratorial* e *conhecimento prático*. A primeira diz respeito às atividades que visam ilustrar a teoria e desenvolver habilidades específicas de manipulação de equipamentos e execução de procedimentos técnicos, enquanto que a segunda é uma capacidade que resulta da ação diante de problemas reais. A prática laboratorial é parte essencial da construção do conhecimento prático do engenheiro, mas o ambiente de laboratório não abrange a complexidade das situações que um engenheiro deve aprender a enfrentar.

Quando se discutiu o método *PBL* foram apresentadas algumas propostas que têm trazido avanços efetivos à educação em engenharia. Dentre aquelas que são endereçadas ao currículo como um todo, destaca-se a de (AAU, 2004) que introduz o método da *PBL* na engenharia. Porém, uma limitação da mesma é não se preocupar em desenvolver uma explicação mais aprofundada do processo de concepção do currículo, além de não explicitar claramente os seus princípios de organização.

Já o currículo proposto por (Lachiver *et al.*, 2002) e (Dalle *et al.*, 2003) tem seus princípios pedagógicos claramente fundamentados na abordagem de competências de (Perrenoud, 1998b) e no método *PBL*, porém, as atividades de aprendizagem são organizadas em função de temas de natureza técnicos, sendo dado pouco destaque aos aspectos humanos.

No contexto brasileiro é ressaltada a importante contribuição de (da Silveira e do Carmo, 1999) que propõe uma metodologia de ensino que concilia ensino tradicional e ensino baseado em problemas, denominada “ensino concorrente”. Além disso, (da Silveira, 2005) introduz o conceito de um “engenheiro inovador” que define um perfil profissional adequado para atender aos desafios econômicos e sociais colocados ao país. Embora partindo de pontos de vista diferentes, o “engenheiro inovador” e aquele visado pelo modelo reflexivo, compartilham uma característica essencial: ambos são entendidos como sendo praticantes reflexivos da engenharia.

4.3 Princípios do modelo de currículo reflexivo

As hipóteses iniciais de trabalho, consolidadas pelas contribuições analisadas no referencial teórico, são sintetizadas nesta seção na forma de princípios que orientam as ações e os processos decisórios que resultam na construção de um currículo de engenharia.

4.3.1 Humanismo

O termo “humanismo” permite um leque muito amplo de interpretações. Não sendo este um trabalho no campo da filosofia, convém entender “humanismo” no contexto do referencial teórico adotado, isto é, dentro do pragmatismo de Dewey.

No contexto do pragmatismo, entende-se por humanismo uma visão da vida centrada nas necessidades e interesses humanos (Silva, 2006).

Convém então questionar quais são “interesses humanos”? De acordo com (Habermas, 1987), o pensamento é inseparável das três dimensões essenciais da vida: o trabalho, a linguagem e o poder, as quais se relacionam com os três tipos de interesses humanos; o técnico de controle, o prático de consenso e o crítico emancipador.

No campo das necessidades, além daquelas há muito estudadas pela psicologia tais como, sobrevivência, segurança, realização etc, as quais foram organizadas hierarquica-

mente pelos estudos de (Maslow, 2000), pode-se dizer também que “aprender” é uma necessidade básica do ser humano para poder agir no mundo, resolvendo problemas nas três dimensões da vida. Então, deste ponto de vista, a necessidade de aprender é uma das bases do humanismo.

Os fatores que mobilizam o indivíduo para o aprendizado têm sido bastante estudados, embora geralmente com ênfase na motivação. Entretanto, de acordo com (Papert, 1988) é preciso distinguir a motivação, como um fator externo de estimulação que busca induzir o indivíduo a aprender, e o “envolvimento” que resulta do interesse natural que o indivíduo tem em aprender. Enquanto a motivação é um processo externo, que visa controlar a aprendizagem através de mecanismos de recompensa e punição, o envolvimento é um processo interno que visa o ato de aprender justificado pelo prazer e curiosidade em fazer/aprender/conhecer.

De acordo com (Papert, 1988), o envolvimento surge do prazer da superação de desafios e pela conquista de novos saberes, mobilizando o indivíduo para ação e aprendizagem. Porém, as estratégias para facilitar a aprendizagem e torná-la divertida não criam por si só envolvimento. Usando uma imagem metafórica, Papert afirma que escalar uma montanha é uma tarefa árdua seja para uma pessoa comum seja para um alpinista, porém para o segundo representa um desafio que o mobiliza a aprender os saberes necessários para ação de escalar a montanha. O envolvimento “sintoniza” os desejos de viver a aventura, aos requisitos (saberes necessários para realizar a ação), resultando naquilo que o autor chama de “aprendizagem sintônica”.

Em termos da educação em engenharia, desafios que ligam os estudantes ao contexto da vida profissional, incluindo situações tais como o desenvolvimento de projetos, tem *sintonicidade* com os desejos e aspirações dos estudantes tais como, se tornar um engenheiro, projetar e construir máquinas etc, e portanto, favorecem ao desenvolvimento dos saberes necessários ao engenheiro.

As interações sociais fazem com que o conhecimento coletivo torne-se particular e o particular torne-se coletivo. A linguagem é um exemplo disto. É um instrumento para comunicação, porém ao mesmo tempo, é portadora de elementos singulares da cultura de uma comunidade. Ao aprender a linguagem (por exemplo, a língua falada), o indivíduo capta o sistema de símbolos (sons), abstrai esquemas de representação que relacionam símbolos, objetos, ações, situações de uso, significados etc.

O indivíduo parte de necessidade imediata de comunicação para aprender a língua, levando ao aprendizado da cultura na qual está inserido, e fazendo da linguagem um instrumento de aprendizagem de outros saberes. Este processo não é apenas fruto do desenvolvimento cognitivo do indivíduo. É fruto da interação social que faz da aprendizagem um meio de construção das faculdades intelectuais superiores (Vygotsky, 1978).

O princípio humanista reforça o papel da escola como instrumento de mediação entre o indivíduo e a sua cultura, e define o professor como mediador entre o conhecimento e o estudante.

Uma decorrência deste princípio é a ênfase no trabalho em equipe, onde os indivíduos têm a oportunidade de desenvolver a aprendizagem que atende aos três tipos de interesses humanos: aprendendo a lidar com tópicos tecnicamente mais complexos através da colaboração; aprendendo a comunicar-se de forma eficiente para integrar-se ao seu grupo social; aprendendo a lidar com situações de conflito e relações de poder, com base nos princípios éticos aceitos pela cultura na qual está inserido.

Num sentido mais amplo, o princípio do humanismo diz que a Ciência e Tecnologia são apenas um meio para atingir as elevadas aspirações da humanidade. Uma formação em engenharia deve colocar o humanismo no centro da formação para que a Ciência e Tecnologia ensinadas possam responder a estas aspirações.

4.3.2 Saberes

Os saberes são instrumentos do pensamento reflexivo e da ação profissional. São concebidos quatro tipos de saber: conhecimento teórico, habilidades, competências, valores e atitudes. Embora sejam distintos, um tipo de saber não é adquirido de forma meramente acumulativa e nem independente dos demais.

Conhecimento teórico. São os resultados sistematizados pela pesquisa científica e tecnológica que constituem aquilo que comumente se entende por saber teórico (*savoir-savant*) e que se pretende que os estudantes adquiram (Perrenoud, 2001). Os conceitos, procedimentos, critérios, fatos, são exemplos do que é *conhecimento teórico*, no contexto do modelo. Em outras palavras, “conteúdos”, “conhecimento” e “saber”, são tomados como sinônimos no texto.

Habilidades. Uma definição precisa de habilidade não é fácil. Não há consenso na literatura sobre este assunto (Deluiz, 2001). Entretanto, no contexto do modelo, adota-

se a concepção de Perrenoud, na qual *habilidade* é a capacidade de executar uma ação baseada na assimilação de um esquema, em geral, derivado da prática intensiva. Por exemplo, tocar um instrumento musical. Isto exige o domínio de técnicas que podem ser demonstradas por um instrutor, porém só podem ser aprimoradas com a prática do aluno. Relaciona-se portanto com o *saber-fazer*.

Competências. Conforme dito antes, adota-se o conceito de (Perrenoud, 2001) que entende competência como sendo a capacidade cognitiva global de mobilização de recursos cognitivos diante de um tipo de situação problemática.

Certa confusão conceitual entre habilidade e competência é observada na literatura. Isto acontece, segundo (Perrenoud, 1997b), porque alguns autores entendem que uma habilidade é uma capacidade de realizar uma tarefa com destreza.

Para (Perrenoud, 1997b), entretanto, a competência se distingue da habilidade porque uma competência implica não apenas a destreza para executar uma ação, mas também a aplicação de uma heurística para decidir dentre os recursos disponíveis, quais os mais adequados e o estabelecimento de uma estratégia de ação para utilizá-los visando o melhor resultado.

Por exemplo, a competência de um técnico em eletrônica em consertar um aparelho, implica na habilidade de utilizar ferramentas tais como chave de fenda, alicates, soldador, e instrumentos como multímetro. Também implica a habilidade de relacionar sintomas com causas prováveis, bem como saber que ações tomar conforme a situação enfrentada. A competência é a capacidade de mobilizar todos estes recursos no curso da ação, mesmo diante de imprevistos, tais como defeitos nunca antes enfrentados, falta de uma ferramenta ou instrumento específico, etc. Competência corresponde então ao *saber-agir* que se pretende que os estudantes adquiram.

Valores e atitudes. No contexto do modelo, entende-se por valor, os conceitos que influenciam o comportamento social do indivíduo e entende-se por atitude um estado ou predisposição que definem o comportamento social do indivíduo. Ambos se relacionam ao *saber-ser*.

4.3.3 Aprender fazendo

A engenharia, como ferramenta de implementação da tecnologia, se distingue da ciência porque não busca o conhecimento do mundo apenas para compreendê-lo, mas também

para intervir nele. Há portanto, uma clara diferença de perspectiva entre a ciência e a engenharia. Para um cientista o conhecimento é o fim do seu trabalho. Para um engenheiro o conhecimento é o meio para intervir no mundo (Murray, 2002).

Os modelos científicos buscam uma aproximação com o “real”. Os modelos tecnológicos, que norteiam as ações dos engenheiros sobre o mundo, são construídos a partir do conhecimento científico, mas projetam sobre o real as necessidades, interesses e aspirações humanas.

Com sua intervenção no mundo, os engenheiros buscam resolver problemas, expressos em termos de necessidades, interesses e aspirações. A engenharia é, portanto, pragmática.

Uma evidência da natureza pragmática da engenharia é que a maioria das metodologias de projeto em engenharia partem do levantamento das necessidades para fazer a definição do problema. A maneira como são percebidas estas necessidades afeta a definição do problema e conseqüentemente a solução final. A validade de uma solução está ligada à eficiência desta em atender as necessidades geradoras da intervenção. Projetar é então, o meio através do qual os engenheiros desenvolvem uma solução válida para uma necessidade percebida. Esta noção de validade é compatível com a noção de verdade do pragmatismo de Dewey (“verdade é o que é útil e funciona”), que é tomado aqui como um dos referenciais do modelo de currículo reflexivo. Indo além, este trabalho concebe que a verdade é o que é útil, funciona e socialmente sustentável.

Uma decorrência deste princípio é que os conhecimentos de engenharia devem ser ensinados visando a prática da engenharia. Então, se a razão de ser da engenharia é resolver problemas através de projetos, logo este aspecto deve ser valorizado em um curso de engenharia.

Outra decorrência é que os conhecimentos científicos são instrumentos que a engenharia utiliza para construção dos modelos tecnológicos. Isto quer dizer que a aprendizagem destes conhecimentos na engenharia se justifica na perspectiva da intervenção no mundo.

Em síntese, aprender fazendo significa que, para aprender algo é preciso ter a experiência de realizar aquilo que se deseja aprender (Dewey, 1979a). Quanto mais ativos os estudantes são na experiência de aprendizagem, mais eles aprendem. Quanto mais aprendem a fazer, mais reflexivos eles podem vir a ser. Quanto mais reflexivos os estudantes são, mais fortalecem o pensamento reflexivo que habilita a construção e reconstrução do conhecimento prático e do conhecimento teórico.

4.3.4 Contexto

O mundo é entendido como sendo a totalidade do biológico e do não biológico, do orgânico e do inorgânico, do animado e do inanimado, bem como as relações entre estes elementos e suas construções, sejam elas materiais ou abstratas. As construções humanas em especial são mediadas pela linguagem e portanto, dependem de interações dos seres humanos na sua interação com o mundo (Bean, 2005).

O ser humano age no mundo para resolver a dissonância entre realidade desejada e a realidade experimentada (vivida). Esta dissonância é o que é entendido neste trabalho como sendo *problema*. Então, o ser humano age no mundo para resolver problemas.

A ação do ser humano no mundo é determinada pelos seus saberes. Estes são portanto, as bases da ação do ser humano no mundo.

Em síntese, de acordo com o princípio do contexto, o conhecimento, seja teórico ou prático, resulta da interação do indivíduo com o mundo, que é chamada de experiência de aprendizagem. Quanto mais próxima da vida dos estudantes a experiência é, mais os estudantes podem ser ativos. Quanto mais um novo conhecimento pode ser associado ao conjunto de significados já dominados pelos estudantes, mais este conhecimento se torna possível de ser assimilado por eles.

4.3.5 Pensamento Reflexivo

De acordo com (Dewey, 1979a), o fim último da educação é desenvolver a capacidade de discernir a relação entre aquilo que foi tentado fazer e o resultado da ação. Esta capacidade é o que ele denominou de “pensamento reflexivo”. Dois tipos de saber são necessários para constituir o pensamento reflexivo: o conhecimento teórico e o conhecimento prático.

De um lado, o conhecimento teórico é instrumental ao conhecimento prático. Porém, eles são complementares um ao outro. No contexto da engenharia, isto significa que as situações reais da prática profissional revelam sempre “lacunas” as quais não são cobertas diretamente pelo conhecimento teórico, precisando do conhecimento prático para serem “preenchidas” (Schön, 1987).

O conhecimento prático compreende diferentes tipos de saber, tais como: “saber fazer”, “saber agir” e “saber ser”, os quais são diferentes do conhecimento teórico porque só podem ser desenvolvidos através da prática e não podem ser ensinados, se não forem praticados.

Esta é uma situação que encerra um paradoxo, conforme assinala (Schön, 1987): como ensinar algo que, para ser aprendido, o estudante precisa saber o que isto é?

A superação deste paradoxo, segundo (Schön, 1987), é possível através do desenvolvimento do pensamento reflexivo, que é uma forma de *talento artístico*, desenvolvido através de dois processos: *reflexão-na-ação* e *reflexão-sobre-a-ação*.

A *reflexão-na-ação* consiste em tomar um caminho de ação, avaliar o resultado, enquanto que a *reflexão-sobre-a-ação* consiste em voltar o pensamento para trás para compreender os elementos que levaram ao sucesso ou ao fracasso da ação, e então reconstruir a base de pensamento visando aumentar a capacidade de agir com sucesso nas ações futuras Schön (1987).

Do ponto de vista pragmático, resolver um problema é restabelecer o equilíbrio entre a realidade desejada e a percebida. O problema é, neste sentido, o motor da ação. Já do ponto de vista cognitivo, problemas são dissonâncias necessárias que desequilibram o indivíduo, entre o que ele conhece e o que ele precisa conhecer, desencadeando os mecanismos de *assimilação* e *acomodação*, descritos por (Piaget, 1975), que tornam a aprendizagem um processo para obter conhecimento novo a partir do conhecimento prévio.

Os problemas estimulam o desenvolvimento cognitivo, facilitando e estimulando os processos de abstração empírica e reflexionante que são responsáveis pela constituição das estruturas de representação do conhecimento (Piaget, 1991). Grosso modo, estes processos correspondem respectivamente, à *reflexão-na-ação* e à *reflexão-sobre-a-ação*, concebidos por (Schön, 1987).

Em um mundo no qual a ciência alarga cada dia mais as fronteiras do conhecimento e a tecnologia disponibiliza meios de difusão de informações e de intensificação da comunicação, cresce sobre a educação a demanda para desenvolver saberes necessários a esta civilização cognitiva (Delors, 2001). Entretanto, isto não quer dizer que o desenvolvimento dos saberes seja a finalidade da educação. Na verdade, este deve ser um meio para continuar a educar-se, do contrário, as mudanças tecnológicas e da organização do mundo do trabalho podem limitar a atuação dos profissionais porque estes poderiam ser incapazes de mudar sua base de *saberes* para adaptar-se a novas situações.

O princípio do pensamento reflexivo evita reduzir a formação a uma visão utilitarista do saber: “aprender o que é útil à prática”. Também se contrapõe à fragmentação dos saberes.

Num quadro de expansão crescente do conhecimento é impossível aprender-ensinar tudo sobre uma profissão. Além disto, o dinamismo do mundo do trabalho cria e modifica tendências, reduzindo a importância de alguns saberes adquiridos durante a formação e aumentando a importância de outros. Por isto, este princípio orienta a organização do currículo não na direção da aquisição exaustiva dos saberes, mas na direção da metacognição, isto é, a capacidade de aprender a aprender.

Em síntese, o princípio do pensamento reflexivo diz que a essência da educação é o desenvolvimento da capacidade de pensar, que esta não resulta da acumulação de conhecimento, mas sim da transformação da experiência, ou em outras palavras, da interação com o mundo. O pensamento reflexivo é evidenciado na ação inteligente diante de situações problema. Então, uma estratégia eficaz de aprendizagem deve ser concebida de forma a introduzir problemas que apresentem níveis de complexidade e incerteza crescentes, abrangendo áreas de atuação representativas para uma iniciação profissional completa, entretanto, sem a pretensão de ser exaustiva.

4.4 Componentes do modelo de currículo reflexivo

Esta seção descreve os componentes que, juntamente com os princípios discutidos antes, constituem o modelo conceitual que foi denominado de currículo reflexivo. São cinco os componentes: perfil profissional desejado, tema-condutor, conceitos organizadores, problemas de engenharia, atividades de aprendizagem. A seguir é apresentado cada um destes e os respectivos princípios que estão subjacentes às tomadas de decisão inerentes ao processo de concepção de um currículo de engenharia baseado no modelo reflexivo.

4.4.1 Perfil profissional desejado

O perfil profissional é a descrição das áreas de conhecimento e das atividades profissionais desempenhadas. Ele especifica um conjunto de atributos que habilita a atuação na profissão dentro de um campo de trabalho (Gama, 2002). Os atributos exprimem quais são os tipos de conhecimento, habilidades, competências, valores, atitudes demandados ao profissional para resolver situações problemáticas inerentes à profissão.

Diversos agentes atuam na definição do perfil. Organizações de fiscalização profissional de engenharia, agências de certificação educacional, sociedades profissionais, organizações

empresariais, e a comunidade acadêmica, são alguns destes agentes.

Em suma, a definição do perfil profissional desejado diz respeito diretamente aos princípios do humanismo e dos saberes. Depende claramente das intenções, interesses e recursos disponíveis dos atores que elaboram ou influenciam na implantação de um curso de engenharia.

4.4.2 Tema-condutor

É um foco de interesse que organiza o conteúdo de estudo sem quebrar os vínculos entre os aspectos humanos e técnicos, porque de um lado, remete às necessidades humanas a serem atendidas, as quais são o ponto de partida para atuação profissional. De outro, embutem problemas de engenharia que precisam ser resolvidos para atender as necessidades humanas manifestadas.

Do ponto de vista pedagógico, o *tema-condutor* é um meio de relacionar o mundo da escola ao mundo real, relacionando as experiências de aprendizagem imediata com a vida profissional futura. O papel do tema-condutor é criar um recorte para que os estudantes entendam melhor a relação entre os aspectos teóricos e práticos e entre o técnico e humano.

O princípio do humanismo e o perfil profissional desejado são os elementos norteadores para definição de um tema-condutor.

Ressalta-se que para atender o perfil profissional desejado, vários temas condutores podem ser definidos em tempo de concepção do currículo para serem estudados ao longo de um curso de engenharia.

4.4.3 Conceitos organizadores

São aqueles que habilitam raciocínios que envolvem analogias, abstrações, generalizações, refinamentos etc. Por isto, eles podem desempenhar três funções importantes para o processo de aprendizagem: auxiliar na aprendizagem de outros conceitos; facilitar a transposição de conceitos de um campo disciplinar a outro; construir a visão de conjunto que define a identidade de uma profissão.

A concepção dos *conceitos organizadores* está fundamentada na idéias de “conceito-âncora”, que segundo (Ausubel, 1978) são aqueles que auxiliam na aprendizagem de outros conceitos e de “conceitos unificadores”, que segundo (Angotti, 1993) se dirigem à construção da totalidade e de pontes entre campos diferentes da Ciência.

Os conceitos organizadores possuem certos aspectos invariantes, isto é, que compartilham significado comum a diversos contextos de aplicação, o que os torna capazes de cumprir as três funções descritas.

Exemplo de um conceito que pode ser considerado organizador na engenharia de controle e automação é encontrado em (da Silveira, 2003), o qual apresenta um ensaio sobre o ensino do conceito de “estabilidade”, onde o mesmo é explorado desde uma compreensão intuitiva inicial: “capacidade de algo se manter imóvel”, passando pelas definições em termos matemáticos: “a capacidade de um sistema anular a sua saída assintoticamente”, até atingir o refinamento conceitual necessário ao entendimento de conceitos formalmente mais precisos tais como “estabilidade relativa” e “estabilidade absoluta”. A exploração deste conceito em seus múltiplos aspectos não é só importante para aquisição dos conhecimentos teóricos, mas também para o desenvolvimento de uma visão aprofundada do que é o objeto da engenharia de controle e automação. Conceitos que levam a esta visão de conjunto são chamados organizadores.

4.4.4 Problemas de engenharia

Estes são entendidos como sendo aquelas situações da vida real que evidenciam os desejos e as necessidades humanas que demandam intervenção técnica para serem resolvidas. Como dito antes, estes têm o papel de criar o desequilíbrio cognitivo necessário para desafiar os estudantes ao estudo e conseqüente aprendizado.

Problemas de engenharia não existem como algo pronto e completamente delineado, a não ser nos livros didáticos, onde os mesmos são usados para ilustração, fixação e aplicação dos conceitos teóricos expostos. São aqueles que (da Silveira, 2003) denomina de “problemas-tipo” para destacar o caráter didático dos mesmos.

Um problema real de engenharia é diferente de um problema-tipo. Ele é produto da transformação de uma necessidade em um enunciado tecnicamente elaborado com bases nos saberes do engenheiro. Exige portanto, o exercício do pensamento reflexivo para conjugar o conhecimento teórico ao prático e os interesses técnicos aos valores humanos.

Os elementos que influenciam diretamente na definição dos problemas a serem tratados é o princípio de aprender fazendo e o tema-condutor. Entretanto, é importante ressaltar que a definição de um problema de engenharia não é uma tarefa trivial. Concordando com (da Silveira, 2001), pode-se dizer que esta é uma tarefa que ainda se encontra em

estado da arte e não de técnica. É portanto, um desafio que deve motivar a pesquisa na área da educação em engenharia.

4.4.5 Atividades de aprendizagem

São as ações que efetivamente implementam o processo de ensino e aprendizagem planejado em um currículo. Compreende tanto ações que visam à aquisição de conhecimento teórico quanto àquelas que visam à *reflexão-na-ação* e à *reflexão-sobre-a-ação* para desenvolvimento do conhecimento prático. Exemplos de atividades de aprendizagem incluem desde aulas magistrais, tutoriais, experimentos de laboratório, até a execução de projetos.

Visando a efetividade, as atividades de aprendizagem são organizadas com base em critérios que levam em conta não apenas a lógica de organização do conhecimento teórico, que é a forma usual de organização de currículo tradicional, mas também considera outros aspectos tais como, o amadurecimento dos estudantes ao longo da formação e a necessidade de integração dos saberes.

No currículo reflexivo, as atividades de aprendizagem são organizadas em fases, denominadas de *fases do currículo*, visando atender os três aspectos mencionados antes.

São concebidas 5 fases a serem desenvolvidas em seqüência: iniciação, construção, expansão, aprofundamento, realimentação. Na próxima seção, cada uma delas é caracterizada com detalhes.

A definição de quais são estas fases, seus respectivos objetivos, bem como a definição do conteúdo, está baseada em duas idéias: na organização do conhecimento de engenharia, proposto por (Director *et al.*, 1995) e na concepção de processo de aprendizagem de (Dewey, 1979a).

(Director *et al.*, 1995) concebe que o conhecimento teórico de um curso de engenharia é organizado segundo três dimensões: a abrangência, que define quais as áreas do conhecimento científico a serem estudadas ao longo do curso; a cobertura, que especifica quais são os tópicos disciplinares a serem tratados dentro de uma determinada área de conhecimento; profundidade, que indica qual o grau de detalhamento que o estudo de um determinado tópico deve atingir.

Segundo (Dewey, 1979a), o processo educativo não tem outro fim além de si mesmo, sendo um processo contínuo de organizar, reconstruir, transformar, onde cada fase representa o estado de amadurecimento alcançado e prepara as condições para atingir um

estado posterior. A passagem de uma fase à outra resulta do fazer o pensamento reflexivo um hábito natural da ação do sujeito no contexto da experiência no mundo.

Assim sendo, cada uma das fases do currículo corresponde a um determinado grau de amadurecimento dos estudantes e são delimitadas por um período de tempo, no qual é abordado um conjunto de temas condutores que orientam as atividades de aprendizagem nas áreas de conhecimentos especificadas através do perfil profissional desejado, utilizando os conceitos organizadores para estruturar o aprendizado obtido e os problemas de engenharia para desafiar os estudantes a desenvolverem os saberes necessários.

Cada tema-condutor, incluindo seus respectivos problemas de engenharia, é estudado seguindo o processo *PBL* (Walsh, 2005), apresentado anteriormente, que consiste na execução de sete passos:

1. Identificar o problema.
2. Explorar o conhecimento pré-existente.
3. Gerar hipóteses.
4. Identificar questões de aprendizagem.
5. Empreender auto estudo para aquisição de novos conhecimentos.
6. Reavaliar e aplicar o novo conhecimento ao problema.
7. Avaliar e refletir sobre a aprendizagem realizada.

Organizar as atividades de aprendizagem em fases, confere ao desenho do currículo uma grande flexibilidade. Podem ser definidos tantos temas-condutores quanto forem necessários para cobrir as áreas de conhecimentos desejadas, bem como pode ser utilizado um mesmo tema-condutor em fases subseqüentes. Além disso, é possível concentrar os estudos de alguns temas-condutores nas fases iniciais visando a aquisição de conhecimento nas ciências básicas e deixar outros temas-condutores para aquisição de conhecimento mais avançado.

Os estudantes progredem de fase quando, tendo realizado todas as atividades de aprendizagem pertinentes à fase, demonstram ter adquirido os saberes requisitados pela mesma. Como não poderia ser diferente, o processo de avaliação é contínuo e resulta de um conjunto variado de instrumentos, que podem incluir desde os exames escritos, passando por

auto-avaliação e a avaliação pelos pares, até avaliação oral e a demonstração de protótipos. Tudo isto faz da avaliação um processo complexo e custoso. Porém, a avaliação é integrada ao processo global da aprendizagem e não apenas um meio de medição de resultados.

4.5 Arquitetura do currículo reflexivo

Como dito antes, o *currículo reflexivo* é dividido em 5 fases a serem desenvolvidas em seqüência: iniciação, construção, expansão, aprofundamento, realimentação. Esta seção apresenta as características de cada uma delas, com base respectivamente, no amadurecimento dos estudantes, nos saberes desenvolvidos, nos objetivos visados e no papel do professor no processo de aprendizagem.

4.5.1 Iniciação

Nesta fase os estudantes são recém egressos do ensino médio, portanto, o nível de conhecimento prévio é o correspondente a este nível de ensino. Em geral, os estudantes recém egressos não possuem nenhum conhecimento prático na área da engenharia, então operam os conceitos baseados no senso comum e na intuição. Por isso, esta fase visa que os estudantes adquiram os conceitos organizadores de ciência e engenharia e desenvolvam conhecimento prático básico de engenharia. A ênfase dos estudos é dada mais ao entendimento que a formalização dos conceitos.

A ausência de experiências anteriores em resolver problemas por conta própria demanda que o papel do professor seja de um instrutor, conduzindo o processo de aprendizagem e eventualmente transmitindo o conhecimento teórico na forma de aulas expositivas. Entretanto, a abordagem de ensino baseada no processo *PBL* faz com que os estudantes assumam responsabilidade mais ativa por sua aprendizagem.

Os resultados obtidos por (Vallim *et al.*, 2006b) na disciplina Introdução à Engenharia, do Curso de Engenharia de Controle e Automação da UFSC, oferece bons subsídios para organizar a fase de iniciação. A disciplina introduz uma metodologia baseada no diálogo entre professores e estudantes e utiliza problemas reais para introduzir conceitos organizadores de engenharia de controle e automação, tais como sistema, controle, realimentação, dentre outros. Discussões sobre aspectos da atuação profissional, incluindo a ética e a responsabilidade social dos engenheiros também são tratados pela disciplina.

Na perspectiva de construção de um currículo reflexivo, o experimento desenvolvido na disciplina citada pode ser aproveitado para envolver o conteúdo teórico associado à fase de iniciação, tais como cálculo diferencial e integral, cinemática, programação etc. É claro que os problemas atualmente tratados na disciplina de introdução à engenharia devem então ser redefinidos para oferecer desafios nas outras matérias. O desenvolvimento desta idéia é detalhado no capítulo 6.

4.5.2 Construção

Na fase anterior, os estudantes atingiram o entendimento essencial dos conceitos organizadores da ciência e da engenharia e dos saberes necessários ao engenheiro. Na fase de construção, eles podem se preocupar com os aspectos da formalização de tais conceitos e assumir maiores responsabilidades no estudo dos temas condutores da fase.

Assim sendo, esta fase visa que os estudantes adquiram os conceitos organizadores de engenharia e desenvolvam o pensamento reflexivo, porque os resultados obtidos na fase anterior fornecem as bases para os processos de *reflexão-na-ação* e de *reflexão-sobre-a-ação*. Com isto, os professores têm o seu papel de instrutor diminuído, enquanto que o papel de orientador começa a ser requerido.

Problemas que envolvam atividades de realização de ensaios para determinação de parâmetros, simulação, modelagem e validação de sistemas, oferecem um rico ambiente para construção de conceitos e desenvolvimento do conhecimento prático.

Um exemplo de um problema que oferece tal ambiente pode ser retirado da disciplina de Design II, da Universidade Laval, citada no capítulo anterior. O problema consiste em desenvolver o protótipo de um veículo movido à energia luminosa que seja capaz de percorrer uma pista de doze metros, no menor tempo, incluindo o tempo de carga do sistema de suprimento de energia. Antes da demonstração do protótipo, os estudantes devem implementar um programa de simulação para demonstrar antecipadamente o desempenho do veículo. Além do conhecimento de equações diferenciais, utilizadas para modelagem dos sistemas envolvidos no problema, há ainda a necessidade de aprender a executar vários tipos de ensaio para levantar os parâmetros reais, tais como momento de inércia dos motores, eficiência da placa coletora de energia luminosa, dentre outras.

Cada conceito, cada parâmetro, representa um pequeno desafio, ou seja, um pequeno problema que desafia os estudantes ao estudo e à conseqüente aprendizagem. O curso de

engenharia elétrica da Universidade Laval, no qual a disciplina de Design II está inserida será analisado no capítulo anterior, sob o enfoque do currículo reflexivo.

4.5.3 Expansão

Quando os estudantes já são capazes de organizar suas próprias estratégias de estudo, utilizando os conceitos organizadores para construção de conhecimento novo, então é atingida a fase de expansão dos saberes. Nesta fase, os temas-condutores abordam áreas de conhecimento que ainda não haviam sido exploradas. Esta fase visa ampliar a abrangência de conhecimento e consolidar o pensamento reflexivo como instrumento de ação do engenheiro. Isto faz com que os estudantes sejam mais autônomos. A relação entre professores e estudantes pode ser então baseada mais no diálogo que na exposição formal e os professores passam a ser orientadores.

Para um exemplo de problemas que têm potencial para ser usado na fase de expansão, pode-se citar novamente o curso de engenharia da Universidade Laval. Na disciplina de Design III é proposto um desafio que consiste em desenvolver um robô móvel capaz de se deslocar em uma área delimitada por faixas coloridas, localizar uma bola, apanhá-la e, após a identificação da localização do gol, lançar a bola na direção deste, visando marcar um ponto. Tal problema, envolve a integração de sistemas de natureza diversa, tais como, processamento de imagens, sistema de controle de movimento do robô, sistema de planejamento de trajetórias e de estratégias de localização do alvo etc. Corresponde portanto a um estágio onde aos conceitos já consolidados devem ser agregados outros conceitos para ampliar a complexidade dos problemas tratados.

4.5.4 Aprofundamento

Quando o pensamento reflexivo se torna uma ferramenta natural de ação dos estudantes diante de um problema, é então atingida a fase de aprofundamento. Nesta fase, os problemas são mais complexos. Com isto, os saberes adquiridos previamente precisam ser refinados para introduzir tópicos mais avançados. Esta fase visa adquirir conhecimento mais detalhado sobre os tópicos estudados nas fases anteriores. Considerando que os estudantes já são bastante autônomos, os professores reduzem seu papel de orientadores, reservando a sua atuação direta para discussão de possíveis soluções baseada em resultados que representam o estado da arte da área estudada, isto é, que são resultados recentes

da pesquisa.

Esta idéia pode representar uma contribuição à melhoria da formação profissional: os resultados da pesquisa realizada nas universidades, geralmente em nível de doutorado, podem ser introduzidos já na graduação, contribuindo para que engenheiros ingressem na vida profissional com saberes bastante atualizados.

A disciplina de “Modelagem e Controle de Sistemas Automatizados”, ministrada no curso de engenharia de controle e automação da UFSC, oferece um interessante exemplo de como resultados recentes da pesquisa científica podem ser abordados em um curso de graduação, permitindo inclusive o estudo de problemas reais.

Esta disciplina trata de sistemas a eventos discretos, ensinando dentre outras, a teoria de controle supervísório, segundo a abordagem de (Ramadge e Wonham, 1987), considerada clássica nesta área de conhecimento. Além disso, a disciplina estuda algumas extensões da teoria clássica, que incluem o controle supervísório de sistemas modulares e multitarefa de sistemas compostos. Este é um resultado recente, obtido por (Queiroz, 2004), no contexto das pesquisas realizada nos laboratórios do DAS/UFSC.

Além disso, uma plataforma para experimentação real foi desenvolvida por (Bouzon *et al.*, 2004) para facilitar a aprendizagem dos sistemas a eventos discretos que são tratados na disciplina mencionada.

4.5.5 Realimentação

A fase de realimentação é atingida depois que os estudantes tenham desenvolvido todos os temas-condutores dentro do ambiente acadêmico. Nesta fase, os estudantes vão enfrentar as atividades de aprendizagem no contexto real do mundo do trabalho.

A fase de realimentação é um momento de síntese dos saberes desenvolvidos ao longo do curso de engenharia e o início da experiência profissional. É a fase final do processo de formação, onde completa-se a transformação: de estudantes para engenheiros. Porém, os engenheiros formados sob o enfoque reflexivo possuem uma característica diferencial: são *praticantes reflexivos*, isto é, são profissionais capazes de aprender continuamente (Schön, 1987). Os professores, por sua vez, sendo também praticantes reflexivos mais experientes, assumem integralmente o papel de ser consultores.

É preciso reconhecer que, mesmo de forma restrita, a maioria dos cursos de engenharia já incorporam a idéia de que ao final do processo de formação os estudantes devem realizar

um trabalho prático, no contexto do mundo do trabalho, que possibilite a síntese do conhecimento adquirido, validando portanto a aprendizagem obtida durante o curso de engenharia. Este tipo de trabalho recebe inúmeras denominações, tais como trabalho de diplomação, trabalho de fim de curso, projeto de graduação etc.

Finalizando a descrição das *fases do currículo*, a tabela 5.2 sumariza o que foi discutido na seção. As colunas indicam respectivamente os seguintes itens: seqüência das fases, nome, objetivos, e o papel atribuído aos professores. As linhas descrevem cada uma das fases segundo suas características.

Tabela 4.1: Fases do currículo

FASE	NOME DA FASE	OBJETIVO	PAPEL DO PROFESSOR
I	Iniciação	Adquirir conceitos organizadores de ciência e engenharia e desenvolver conhecimento prático básico de engenharia	instrutor
II	Construção	Adquirir conceitos organizadores da engenharia e desenvolver o pensamento reflexivo	instrutor/orientador
III	Expansão	Transpor o conhecimento de um domínio para outro através dos conceitos organizadores já adquiridos e consolidar o pensamento reflexivo	orientador
IV	Aprofundamento	Adquirir conhecimento avançado em domínios específicos e desenvolver conhecimento prático específico	orientador/consultor
V	Realimentação	Obter experiência profissional de campo sob supervisão docente	consultor

4.6 Processo de concepção de currículo baseado no modelo reflexivo

O processo é endereçado para guiar o trabalho de concepção de currículo, fornecendo os elementos necessários para definição de um currículo de engenharia, no qual seus atores assumem desde o início o pressuposto de priorizar o desenvolvimento do pensamento reflexivo.

Ressalta-se que este não é um processo linear de tomada de decisões puramente racionais e objetivas e neutras, tal como os currículos tradicionais baseados em (Tyler, 1949) pretendem ser. Ao contrário, é um processo que reconhece que os elementos da cultura e as intenções dos atores são determinantes do produto final (currículo).

Pode-se dizer que o processo de concepção busca transformar estes elementos e intenções em plano de educação, isto é num currículo. Por isso, o ponto de partida são os princípios e o de chegada é a definição da arquitetura e do processo de aprendizagem das fases do currículo.

O processo de concepção consiste de passos:

1. Explicitar os princípios que devem nortear o curso.
2. Definir o perfil profissional desejado
3. identificar os conceitos organizadores
4. Selecionar temas-condutores
5. Construir problemas de engenharia
6. Definir as atividades de aprendizagem

Os procedimentos metodológicos pertinentes a cada um dos passos do processo não foram ainda completamente resolvidos no estágio atual de desenvolvimento do modelo reflexivo. O que foi dito antes sobre a definição de problemas, pode agora ser entendido também para os demais componentes, ou seja, este é ainda um problema em aberto que precisa ser refinado em trabalhos futuros.

A figura 4.1 sintetiza o modelo de currículo reflexivo, incluindo os princípios, componentes, o relacionamento entre estes, e sugere o processo de concepção de um curso baseado no modelo. As elipses representam os princípios que norteiam o processo de tomada de decisão. Os retângulos representam os componentes nos quais é definido o conteúdo pedagógico do curso de engenharia. As linhas tracejadas representam informações de entrada do processo de tomada de decisão e são influenciadas diretamente pelos princípios. As linhas contínuas representam os resultados dos procedimentos que ocorrem nos componentes. Estes resultados servem de entrada aos procedimentos realizados por outros componentes.

A posição dos princípios, em torno dos componentes representa que os mesmos são o resultado da interação dos atores do currículo com o mundo exterior. O sentido das setas dos arcos representam o fluxo dos elementos que concorrem para a tomada de decisão, visando à definição de um curso.

Como foi dito antes, o processo de concepção não é linear. Então, é certo supor que existe uma realimentação em cada passo do processo. Também é possível supor outros relacionamentos entre os componentes, entretanto, isto tudo é suprimido, visando facilitar o entendimento da figura, enfatizando o que é considerado essencial.

Como síntese para entendimento do processo de concepção, pode-se afirmar que, com base no perfil profissional desejado e nos princípios humanistas adotados, são articulados

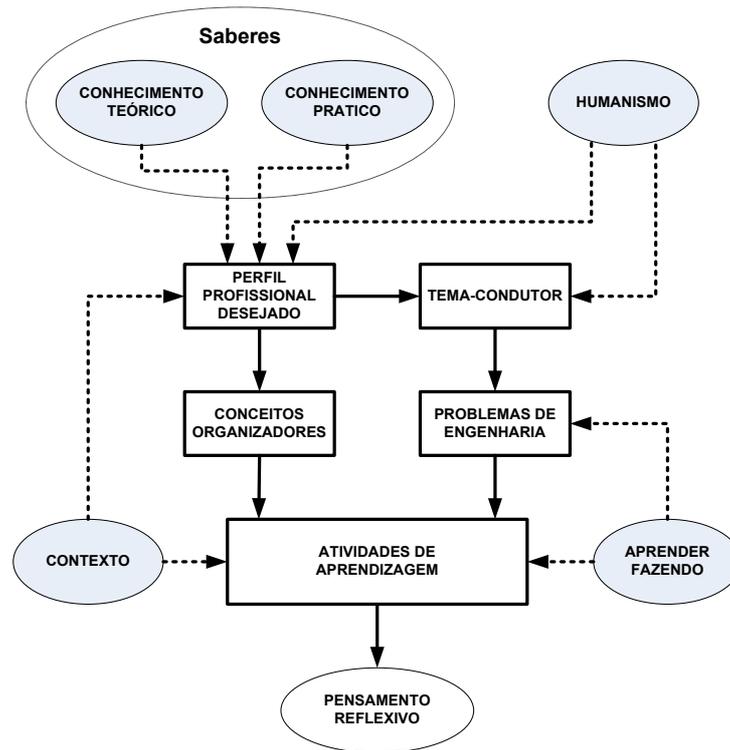


Figura 4.1: Modelo de desenvolvimento de um currículo reflexivo

os *temas-condutores* do currículo. Do perfil profissional desejado são ainda definidos os conceitos organizadores da engenharia.

Dos *temas-condutores* são derivados os problemas de engenharia. Estes problemas são introduzidos nas atividades de aprendizagem para mobilizar os estudantes para aquisição do *conhecimento teórico* e conhecimento prático, e para servir de contexto ao pensamento reflexivo a ser praticado nas atividades de aprendizagem.

4.7 Exemplo de currículo reflexivo

Nesta seção é esboçado um currículo para tornar mais claras as idéias que foram apresentadas sobre o que é *currículo reflexivo*.

Embora o exemplo seja hipotético, os dados para definição do perfil profissional são inspirados no programa de engenharia de controle e automação da Universidade Federal de Santa Catarina (Bruciapaglia e Farines, 1990).

As idéias de base apresentadas neste exemplo foram também apresentadas nos artigos (Vallim *et al.*, 2006a), (Vallim *et al.*, 2006c).

4.7.1 Definição do perfil profissional desejado

O programa de graduação da UFSC define três áreas de conhecimento profissional de um engenheiro de controle e automação: controle de sistemas, informática industrial e automação discreta.

O engenheiro de controle e automação pode ser visto como um engenheiro de sistemas que possui conhecimento teórico e prático para lidar com sistemas de natureza diversa e interagir com profissionais de várias áreas. A tabela 4.2 faz uma síntese dos requisitos profissionais de um engenheiro de controle. A primeira coluna indica os atributos. A segunda especifica os conhecimentos práticos. A terceira relaciona o conhecimento teórico, em termo dos tópicos a serem estudados.

4.7.2 Tema-condutor: desenvolvimento sustentável

Para escolha do *tema-condutor* foram levados em conta dois critérios: universalidade do controle, isto é, o controle presente em toda parte; humanismo, ou seja, colocar Ciência e Tecnologia a serviço da Humanidade.

Com base nestas diretrizes, foi escolhido o tema do *desenvolvimento sustentável* como um exemplo de tema-condutor. Este tema faz parte dos chamados “Objetivos do Milênio”, estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) como metas para melhorar as condições de vida no planeta (Abumoghli, 2005).

Este é um tema bastante amplo, imbricado a questões que vão desde a crítica da utilização de recursos naturais e energéticos de forma abusiva até a necessidade de tecnologias industriais orientadas à sustentabilidade.

Muitos problemas de engenharia podem ser explorados a partir do tema do desenvolvimento sustentável. Para fins do exemplo aqui desenvolvido, foi escolhido o processo de conversão de biomassa em energia, denominado de digestão anaeróbica (*biodigestão*). Este é um processo biológico no qual matéria orgânica é decomposta por bactérias resultando numa mistura de gases rica em metano (CH_4), chamado *biogás*. Além disso, da *biodigestão* resulta ainda como subproduto, um fertilizante.

O *biogás* tem uma variedade de aplicações, desde o uso como fonte primária de energia para cozinhar alimentos, combustível de automóveis, até aplicação como fonte secundária na geração de energia elétrica através de motogeradores.

Sendo um processo natural, a *biodigestão* pode ser implementada numa gama muito

grande de configurações, incluindo desde o uso doméstico, cuja planta é controlada em malha-aberta, com baixo custo, até em plantas industriais sofisticadas, para atender uma grande demanda de energia.

No primeiro caso, os sistemas podem ser muito úteis para as necessidades de energia de populações de baixa renda ou comunidades isoladas.

Já no segundo caso, pode ser uma boa alternativa complementar as necessidades energéticas em grandes centros urbanos e industriais. Em ambos os casos, o uso do *biogás* ajuda a reduzir o problema dos resíduos orgânicos gerados pelas atividades humanas e diminuir a emissão de gases do efeito-estufa. O que faz deste um problema de engenharia compatível com o tema-condutor.

Considerando que a biodigestão sofre interferência de múltiplas variáveis (temperatura, ph, matéria orgânica, concentração de bactérias, etc), e tem comportamento não linear, o mesmo pode ser um contexto muito rico para se estudar ciência básica (conceitos de Física, Química, Matemática) e de engenharia (modelagem, linearização, análise de estabilidade, desempenho, otimização, etc).

Ao processo básico de *biodigestão*, podem ainda ser incorporados outros elementos que modificam o problema, tornando-o mais complexo. Exemplos disso são: o controle automático de um motogerador movido a biogás; o controle distribuído de várias plantas de produção de biogás; controle de uma planta de envasilhamento de biofertilizante; um robô para coleta de resíduos orgânicos.

A implementação dos sistemas citados, se concretizada, pode ser uma boa contribuição da academia para atender necessidades sociais emergentes, principalmente daquelas populações de baixa renda ou que vivem em regiões isoladas.

O orgulho de contribuir para melhoria das condições de vida destas populações, deve ter um efeito positivo na motivação dos estudantes, além de ser uma experiência de aprendizagem real de responsabilidade social para estes futuros engenheiros.

4.7.3 Identificação de conceitos organizadores: projeto e sistemas de controle

“Projeto” e “sistemas de controle”, são dois conceitos organizadores essenciais da engenharia de controle e automação.

Tais conceitos estão presentes nas três áreas de atuação profissional definidas pelo pro-

grama da UFSC. Uma estratégia de construção do pensamento sistêmico, por exemplo, consiste em levar os estudantes a refletirem durante as atividades de aprendizagem a respeito das características semelhantes e distintas dos sistemas, incentivando o raciocínio por analogias e abstrações, que ajudam na aquisição de conhecimento novo.

Projeto

A capacidade de projetar é marca distintiva de um engenheiro. Projetar concilia duas visões que são ao mesmo tempo contraditórias e complementares: rigor metodológico e liberdade criativa. O conceito de projeto endereça a cinco outros organizadores: observar, modelar, implementar, otimizar e comunicar.

Tabela 4.2: Perfil profissional desejado para um engenheiro de controle e automação

ATRIBUTOS	CONHECIMENTO PRÁTICO	CONHECIMENTO TEÓRICO
1. Pensamento sistêmico	a) Identificar sistemas através da observação sistematizada baseada em métodos, técnicas e procedimentos formais;	<ul style="list-style-type: none"> • BÁSICOS: cálculo diferencial e integral, geometria analítica, álgebra vetorial, física, química, representação gráfica, metodologia científica e tecnológica, comunicação e expressão, língua estrangeira, estatística e probabilidade; • ENGENHARIA: eletrotécnica, circuitos elétricos, processos de fabricação metal-mecânica, ciência e tecnologia dos materiais, processos de conversão de energia, CAD/CAM, finanças, engenharia econômica, gerenciamento, gestão de projetos, acionamentos elétricos&hidráulicos&pneumáticos, programação • ESPECÍFICOS DE CONTROLE: teoria de sistemas, sistemas de controle clássico, sistemas de controle moderno, sistemas de controle não lineares, sistemas de controle discreto, sistemas controle de distribuído, avaliação de desempenho de sistemas, robótica, redes de computadores, estrutura da informação, sistemas de banco de dados, segurança de sistemas, inteligência artificial, metodologias de desenvolvimento de sistemas de software, sistemas integrados de manufatura, avaliação de desempenho de sistemas, integração de sistemas corporativos.
2. Pensamento reflexivo		
3. Proficiência na aplicação conceitos e princípios científicos e tecnológicos a problemas.	b) Construir modelos de sistemas naturais e artificiais através de formalismos adequados;	
4. Proficiência em aplicar conceitos e princípios de controle a problemas de engenharia;	c) Implementar sistemas de controle utilizando metodologias de projeto;	
5. Capacidade para tomada de decisões	d) Otimizar o comportamento de sistemas de controle utilizando métodos, técnicas e ferramentas formais;	
6. Capacidade de interagir com outras culturas	e) Elaborar documentação técnica compatível com propósito definido utilizando com padrões estabelecidos;	
7. Senso ético		
8. Responsabilidade social	f) Interagir socialmente desempenhando diversos papéis dentro de uma equipe de acordo com a demanda da situação;	
9. Capacidade de projetar sistemas de controle de acordo com requisitos técnicos, econômicos, ambientais e sociais estabelecidos.	g) Integrar sistemas de natureza distinta.	

Sistemas de controle

Na sua essência, controle é uma ciência da informação. Na forma mais simples, um sistema de controle (controlador) mede a operação de um sistema controlado (planta), compara esta com um comportamento desejado, computa as ações corretivas baseado em modelos de resposta da planta para entradas externas e atua sobre a planta para atingir a mudança

desejada. A idéia de sistema, realimentação, estabilidade, robustez e desempenho, são alguns dos conceitos organizadores da engenharia de controle.

Os diversos problemas tratados dão oportunidade aos estudantes de progressivamente entenderem e expandirem a compreensão do que é controle, partindo daquela noção essencial, até atingir uma visão de conjunto que os habilita a “ver” controle numa rede de comunicação de dados, por exemplo.

4.7.4 Concepção do currículo

A tabela 4.3 esboça a concepção preliminar da arquitetura de curso de engenharia de controle e automação, baseada no currículo reflexivo. Cada linha descreve uma fase do currículo, em termo dos problemas, atributos, conhecimento prático e conhecimento teórico que serão tratados na mesma. Isto é o resultado da análise do perfil profissional desejado, sintetizado na tabela 4.3, utilizando como critério, as características das fases do currículo, definidas na tabela 5.2. Por exemplo, o objetivo da fase de iniciação, que é adquirir conceitos organizadores de ciência e engenharia e desenvolver conhecimento prático básico de engenharia, norteiam a seleção de conhecimento teórico na área das ciências básicas, e atributos tais como providência na aplicação de conceitos e princípios científicos e tecnológicos a problemas como conhecimento prático a ser adquirido nesta fase. Num estágio mais avançado da concepção do currículo, a tabela 4.3 é a referência para o planejamento detalhado das atividades de aprendizagem de cada fase. Isto porém é um nível de refinamento que não é mostrado neste exemplo.

A idéia central é demonstrar o que é tratado em cada fase e quais problemas derivados do *tema-condutor* podem ser usados para articular os saberes necessários para construir o perfil profissional desejado.

Tabela 4.3: Esboço de um curso de engenharia de controle e automação

FASE	ATRIBUTOS	CONHECIMENTO TEÓRICO	CONHECIMENTO PRÁTICO	PROBLEMAS
Iniciação	3, 4, 6, 7, 9	Ciência Básica e Princípios Gerais de Engenharia	a, b, e, f	Desenvolver um biodigestor simples
Construção	1, 2, 4, 9	Sinais e Sistemas, Controle Realimentado Clássico	b, c, e, g	Desenvolver um sistema de Controle automático para um motogerador
Expansão	1, 2, 4, 9	Informática Industrial, Sistemas Distribuídos, Controle Moderno, Controle Avançado, Controle Robusto	b, c, d, e, g	Desenvolver um sistema de Controle e supervisão de várias plantas de biodigestão
Aprofundamento	1, 2, 7, 8, 9	Robótica, Inteligência artificial, Processamento de Imagem	c, d, e, f, g	Desenvolver sistemas automatizados coleta e processamento de resíduos orgânicos
Realimentação	todos	indeterminado	todos	Definido pela empresa

4.8 Currículo tradicional versus currículo reflexivo

Esta seção faz uma breve comparação entre o currículo tradicional e o *currículo reflexivo* no sentido de discutir as potencialidades e limitações deste.

4.8.1 Conhecimento teórico e conhecimento prático

A ênfase do currículo tradicional é a aquisição de um corpo de conhecimento teórico. O currículo reflexivo tem o foco no desenvolvimento do pensamento reflexivo, que compreende tanto o conhecimento teórico quanto o prático, pois concebe que os dois são fundamentais à prática profissional.

O risco a ser contornado no currículo reflexivo é evitar que o conhecimento teórico perca rigor e formalidade que têm no currículo tradicional.

4.8.2 Validação do conhecimento adquirido

O currículo tradicional dedica pouco espaço para experiência profissional prática. No *currículo reflexivo* os estudantes têm a oportunidade de validar o conhecimento teórico adquirido ao longo da formação e fortalecer o conhecimento prático através do desenvolvimento de projetos progressivamente mais complexos.

O trabalho em equipe é uma forma natural de resolução dos problemas de engenharia propostos no currículo reflexivo. Isto pede um sistema de avaliação de aprendizagem muito mais rigoroso e complexo. No currículo tradicional, o processo de avaliação se dá sobre um conjunto muito reduzido de variáveis, o que o torna, em princípio, mais simples.

4.8.3 Professores e estudantes

Enquanto no currículo tradicional os papéis são fixos e o professor é o pólo ativo do processo de aprendizagem, no currículo reflexivo os estudantes também são ativos. Além disso, o amadurecimento profissional do estudante é um dos elementos que dirige o aprendizado, enquanto no tradicional isto não é considerado.

4.8.4 Técnica e Humanismo

O currículo tradicional é desencarnado de valores humanos. O conteúdo técnico é a razão de ser da formação. Já o *currículo reflexivo* tem seus fundamentos tanto na técnica quanto no humanismo.

4.8.5 Trabalho docente e estrutura institucional

No *currículo tradicional*, o trabalho docente é predominantemente individual. O *Currículo reflexivo* não pode existir sem trabalho em equipe de professores. Da mesma forma, um currículo reflexivo pede formas de organização institucional mais integradas, flexíveis e cooperativas.

4.9 Conclusão

Neste capítulo foi apresentado uma estrutura de referência, denominada de modelo de currículo reflexivo, o qual tem a finalidade de guiar a concepção de curso de engenharia orientado ao desenvolvimento do pensamento reflexivo.

Foram apresentados os componentes do modelo, partindo da discussão dos seus princípios básicos e dos seus componentes estruturais. Com o desenvolvimento de um exemplo didático foi demonstrada a aplicação do modelo na concepção de um currículo de engenharia de controle e automação. No fechamento do capítulo, alguns aspectos pedagógicos relevantes foram usados para comparar o modelo de currículo reflexivo com o currículo tradicional.

Capítulo 5

Analizando um curso de engenharia com base no modelo reflexivo

“ Se todos os docentes compreendessem que pela qualidade dos processos mentais, e não pela obtenção de respostas certas, é que se mede o desenvolvimento educativo, dar-se-ia quase que uma revolução nos processos de ensino.”

John Dewey

5.1 Introdução

Este capítulo visa demonstrar a aplicação do modelo reflexivo como uma ferramenta conceitual de apoio para análise de cursos de engenharia existentes. Para apresentação do estudo de caso é utilizado o curso de Engenharia Elétrica da Universidade Laval.

A fim de obter dados necessários a este estudo, foi realizado um estágio naquela universidade, durante a sessão de inverno (período de janeiro à abril) no ano de 2004.

Além do levantamento de dados referentes ao currículo do curso de engenharia, foi acompanhado neste período o desenvolvimento de um conjunto de disciplinas de projeto em todas as atividades de aprendizagem realizadas.

Tal conjunto, de fato constitui-se em uma das linhas condutoras do currículo, sendo a mesma composta de quatro disciplinas. Esta linha é endereçada à formação em projeto.

O motivo da escolha deste curso para o estudo de caso é que, apesar do curso de engenharia elétrica de Laval ter um currículo tradicional como um todo, o desenvolvi-

mento da linha de projeto, constitui-se num experimento real de aprendizagem baseada em problemas no contexto do ensino de engenharia. O desenvolvimento simultâneo das quatro disciplinas num curto período de tempo deu a oportunidade singular de fazer destas um laboratório para observar a implementação da proposta pedagógica da linha. Estas observações, mais tarde foram importantes na construção do modelo reflexivo.

O capítulo descreve inicialmente o curso de engenharia elétrica, que é um curso tradicional de engenharia, conforme dito antes. Depois, segue concentrando-se na linha de disciplinas, que introduz aspectos inovadores ao ensino de projeto.

5.2 O contexto do curso de engenharia elétrica da Universidade Laval

A Universidade Laval destaca-se como sendo uma das 10 principais do Canadá. Atualmente, o curso de engenharia elétrica (*Génie Électrique*) e de computação (*Génie Informatique*) da Universidade Laval possui um eixo de disciplinas obrigatórias comum às duas habilitações (engenharia elétrica e engenharia de computação, ou GEL-GIF), outro eixo de disciplinas optativas comuns às duas habilitações, dois eixos de disciplinas obrigatórias e optativas específicas a cada habilitação.

As áreas principais de atuação do *GEL-GIF/LAVAL* são as seguintes: visão artificial e realidade virtual; ótica e fotônica; telecomunicações; eletrotécnica; controle e automação.

A figura 5.1 mostra uma visão geral da estrutura curricular, incluindo os tópicos que são abordados em cada um dos eixos do currículo do *GEL-GIF/LAVAL*.

Ambos os cursos têm duração de quatro anos, divididos em três sessões por ano, com duração média 15 semanas cada uma. Cada sessão é equivalente a um trimestre e, por tradição, associada a estações do ano.

5.2.1 Objetivos curriculares dos cursos de engenharia elétrica e de computação

Os objetivos curriculares de ambos os programas oferecidos pelo departamento *GEL-GIF/LAVAL* são definidos sobre três domínios, cognitivo, afetivo, e psychomotor, conforme a Taxonomia dos objetivos educacionais proposta em (Bloom *et al.*, 1979) e (Bloom

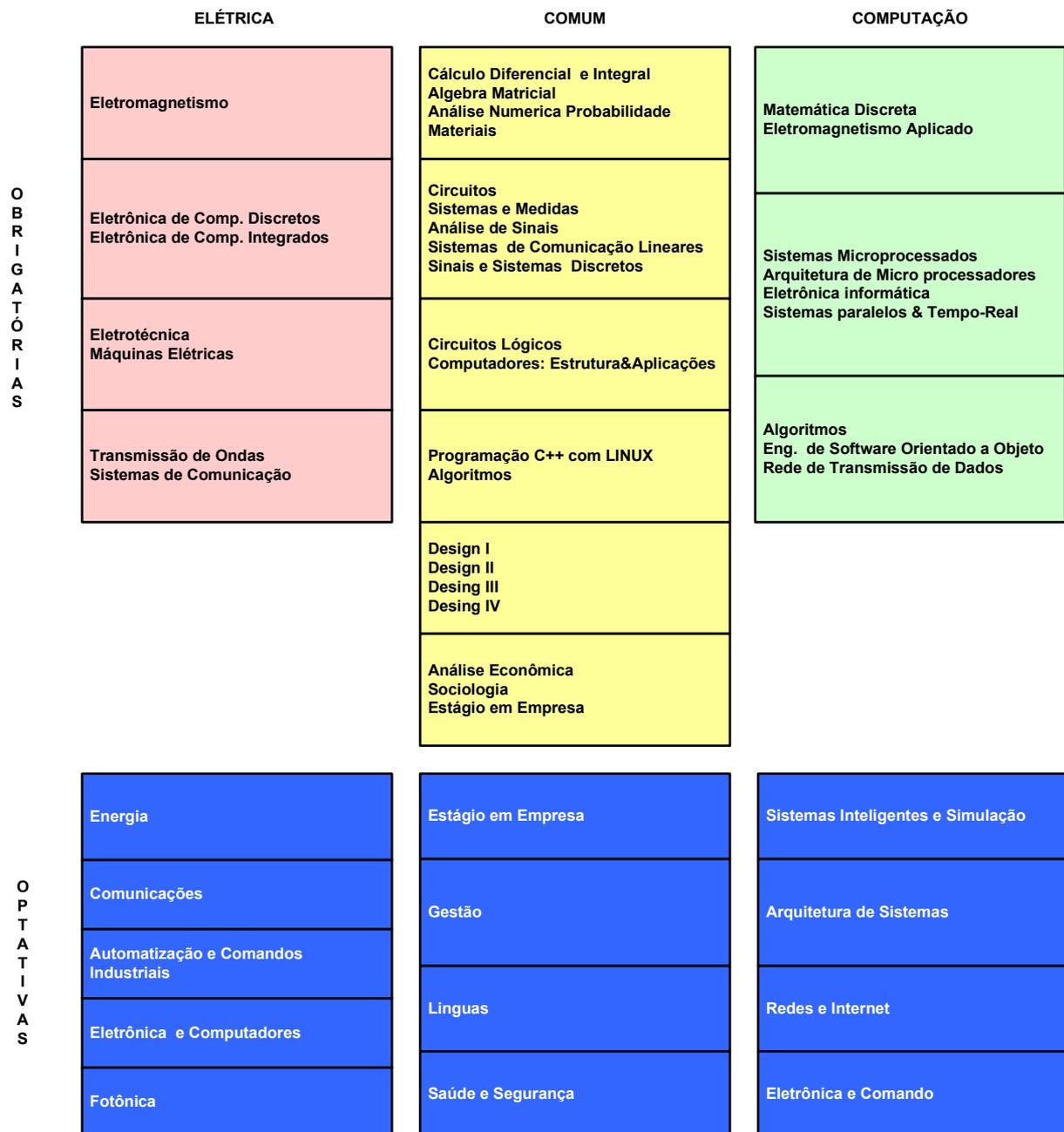


Figura 5.1: Estrutura do conteúdo curricular dos cursos de engenharia elétrica e de computação da Universidade Laval

et al., 1973).

Como pode ser visto adiante, salvo uma redação ligeiramente diferente e as especificidades de cada habilitação, boa parte dos objetivos são comuns aos dois programas.

Objetivos do programa de engenharia elétrica

Os objetivos educacionais do programa de engenharia elétrica são de criar condições para o estudante (GEL-GIF/Laval, 2005b):

1. Adquirir as bases conceituais e físicas da engenharia elétrica, tais como matemática, circuitos, eletromagnetismo, eletrônica, representação de sinais e informações, dentre outras.
2. Conhecer as tecnologias pertinentes aos diversos campos de aplicação da engenharia elétrica, tais como geração e transporte de energia, telecomunicações, dentre outros.
3. Explorar o conhecimento adquirido através da concepção e realização de sistemas nos diferentes campos de aplicação da engenharia elétrica, tais como eletrônica de potência, eletrônica digital, tratamento de imagens, robótica, dentre outros.
4. Adquirir uma forma de abordagem científica na resolução de problemas.
5. Ser capaz de trabalhar em equipe e se comunicar bem.
6. Adquirir conhecimentos de aspectos de legislação, finanças e administração, necessários ao trabalho de um engenheiro.
7. Ser capaz de conduzir um procedimento profissional que combine simultaneamente criatividade, rigor e pragmatismo
8. Ser consciente das responsabilidades sociais e econômicas que recaem sobre as intervenções da engenharia, levando-as em conta quando da atuação profissional.
9. Demonstrar destreza de base na manipulação de aparelhos e montagens de dispositivos, no desenvolvimento de protótipos, e ser capaz de orientar pessoal técnico que é encarregado destes.

Objetivos do programa de engenharia da computação

Os objetivos educacionais do programa de engenharia da computação são de criar condições para o estudante (GEL-GIF/Laval, 2005a):

1. Conhecer e explorar os aspectos teóricos da representação de sinais e de informações.
2. Conhecer e explorar a lógica e o formalismo da programação e da representação de dados.

3. Conhecer e explorar os fundamentos da dinâmica de sistemas em geral, e de arquitetura e organização de sistemas informáticos, eletrônica digital, tratamento de imagens, robótica, em particular.
4. Conhecer e explorar a tecnologia eletrônica, sendo capaz de apreciar os seus fundamentos físicos.
5. Desenvolver a capacidade de integrar as considerações teóricas, lógicas e materiais para executar procedimentos que conduzam à modelagem, concepção, e implementação de sistemas e produtos conforme os valores e exigências da engenharia.
6. Desenvolver a abertura para os campos de aplicação tais como fabricação de computadores, concepção de software complexos, comandos industriais, concepção e fabricação assistida por computador, instrumentação e medidas, sistemas multimídia, realidade virtual, e ainda comunicação digital.
7. Ser capaz de conduzir um procedimento profissional combinando simultaneamente criatividade, rigor e pragmatismo.
8. Poder colaborar, comunicar e apresentar resultados para especialistas de outras formações na implementação de montagens complexas a fim de participar de maneira dinâmica de trabalhos em equipes multidisciplinares.
9. Ser consciente das responsabilidades sociais e econômicas que recaem sobre as intervenções da engenharia, levando-as em conta quando da atuação profissional.
10. Demonstrar destreza de base na manipulação de aparelhos e montagens de dispositivos, no desenvolvimento de protótipos, e ser capaz de orientar pessoal técnico que é encarregado disto.

Perfil profissional desejado

O *GEL-GIF/LAVAL* visa com seu currículo, desenvolver um profissional de engenharia com as seguintes características gerais:

- a) Capacidade de contextualização de conhecimento teórico de forma que o profissional de engenharia ao adquirir tal conhecimento possa encontrar também incentivo para utilizá-lo na vida profissional;

- b) Capacidade de conjugar senso físico, abstração, raciocínio qualitativo e sistemático;
- c) Curiosidade, capacidade de pesquisar e integrar informações;
- d) Capacidade de comunicação de forma oral e escrita;
- e) Habilidade para gestão de recursos;
- f) Habilidade para trabalho em equipe;
- g) Rigor metodológico;
- h) Iniciativa e espírito empreendedor;
- i) Autonomia e autoconfiança;
- j) Sensibilidade para as necessidades sociais e ambientais.

5.2.2 O surgimento da linha de Projeto

No final dos anos 90 o departamento de engenharia elétrica e de computação da Universidade Laval (*GEL-GIF/LAVAL*) identificou a necessidade de uma melhor formação profissional centrada, além do conhecimento teórico, no *saber-fazer*, *saber-ser* e *saber-agir*, os quais deveriam ser desenvolvidos na perspectiva de uma melhor integração de conhecimentos técnicos e científicos, ancorados no desenvolvimento de valores, habilidades e atitudes. Uma comissão de análise do currículo do GEL-GIF/LAVAL foi constituída para estudar a questão e propor soluções (Poussart *et al.*, 1997).

As atividades de síntese, concepção e projeto, por serem aquelas que mais concretamente encarnam a essência da formação em engenharia, passaram a se tornar o foco principal das proposições da comissão de análise do currículo do GEL-GIF/LAVAL.

Na conclusão dos trabalhos, a principal recomendação da comissão foi a inclusão de uma linha no eixo comum do currículo, formada por uma seqüência de quatro disciplinas dedicadas a ensinar o processo de concepção e projeto em engenharia. As mesmas foram denominadas respectivamente de *Design I*, *Design II*, *Design III* e *Design IV*, sendo uma disciplina de projeto por ano, ao longo dos quatro anos de duração do curso.

Na tabela 5.1 é apresentado um quadro sintético dos objetivos apresentados, indicando quais são aqueles endereçados pela linha de projeto.

Disciplinas	Objetivos Curriculares																			
	Engenharia Elétrica									Engenharia da Computação										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Design I	X			X	X	X	X							X		X		X	X	
Design II	X		X	X	X		X		X					X		X		X		
Design III	X			X	X	X	X	X						X		X		X	X	
Design IV	X			X	X	X	X	X	X					X		X		X	X	

Tabela 5.1: Objetivos curriculares endereçados pelas disciplinas da linha de projeto

5.3 Características gerais da linha de projeto

O conjunto das quatro disciplinas forma um todo integrado, ou melhor, uma “linha de disciplinas”, porque as mesmas seguem uma visão de conjunto sobre projeto através de uma abordagem de ensino-aprendizagem integrada. Esta linha é organizada a partir de um conjunto de elementos que incluem princípios, temas, conceitos, e dinâmica de ensino-aprendizagem que são comuns a todas as disciplinas que compõem a linha. A seguir, são apresentados os detalhes sobre estes elementos, olhando-os do ponto de vista dos componentes que permitem constituir um currículo reflexivo.

Destaca-se a seguir quais são os princípios, os temas-condutores, os conceitos organizadores e problemas de engenharia que sustentam efetivamente a linha de projeto.

5.3.1 Princípios

Um princípio assumido pela linha foi que o processo de ensino-aprendizagem deveria ser conduzido de tal forma que os conceitos fundamentais a respeito de projeto fossem gradualmente abordados pelas disciplinas. Primeiro, introduzindo os conceitos de maneira geral. Em seguida, aprofundando a compreensão sobre os mesmos e depois, estendendo o contexto de aplicação dos conceitos até atingir uma visão de conjunto sobre o que é um projeto de engenharia.

Outro princípio assumido foi que a linha não deveria ser apenas um processo de aquisição de *conhecimento teórico*, mas deveria ser também um processo de aquisição de *conhecimento prático*, derivado da experiência de realizar projetos para resolver problemas com crescente nível de complexidade.

5.3.2 Tema-condutor

A linha foi concebida para abordar o tema “projeto” tanto do ponto de vista de gestão quanto de concepção do processo de solução de um problema, podendo o mesmo ser considerado o *tema-condutor* da linha.

Eventualmente outros temas-condutores, específicos de engenharia elétrica e de computação podem aparecer como por exemplo, conversão de energia etc.

5.3.3 Conceitos organizadores

Foram identificados pelos proponentes da linha, cinco conceitos fundamentais, os quais são considerados aspectos necessários para o entendimento do processo de projeto: *observação*, *modelagem*, *otimização*, *implementação*, e *comunicação*. Estes, portanto, podem ser vistos como sendo os *conceitos organizadores* da linha.

5.3.4 Dinâmica de ensino-aprendizagem

Foram atribuídos a cada uma das disciplinas, um conjunto de objetivos, de aspectos a serem priorizados, e um tipo de problema adequado para atender aos objetivos e prioridades estabelecidos. Por exemplo, a disciplina de *Design I* prioriza desenvolver os aspectos de *observação* e *comunicação*. Isto se justifica pelo fato dos estudantes estarem no início do curso e não possuírem conhecimento teórico aprofundado. O problema abordado nesta disciplina explora a fase inicial de desenvolvimento de um projeto, que inclui a definição do problema, a análise de viabilidade e a elaboração de documentação pertinente.

Tipos de atividades desenvolvidas

Todas as disciplinas da linha desenvolvem três tipos de atividades. O primeiro tipo são as aulas magistrais (lectures), que na forma de seminários, vão sendo desenvolvidos conforme se fazem necessários para o avanço do projeto.

O segundo tipo são as sessões de orientação ao projeto. As mesmas são desenvolvidas pela equipe de educadores ao longo da disciplina, visando ajudar os estudantes na compreensão dos conceitos, auxiliar no desenvolvimento do projeto, monitorar o andamento dos trabalhos, e fazer os mesmos refletirem sobre os problemas enfrentados e as formas de solução propostas.

O terceiro tipo de atividades são as reuniões de trabalho em equipe, nas quais os estudantes trabalham em equipe, como uma empresa, oferecendo serviços de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para o problema, que é apresentado no início da sessão.

Os dois primeiros tipos ocorrem em sala de aula, no espaço previsto no quadro de horário normal, enquanto o terceiro depende da estratégia de organização de cada equipe e faz parte do aprendizado do trabalho em grupo.

Avaliação

Durante o processo de projeto os resultados intermediários servem de elemento de avaliação do desempenho das equipes. Os estudantes também são solicitados a fazerem auto-avaliação, a avaliação dos pares e das demais equipes. Desta forma, estão sendo incentivados a desenvolver o pensamento reflexivo, o senso crítico e a ética.

Equipe de educadores

As disciplinas da linha são desenvolvidas por equipes de educadores, formadas de professores e assistentes de ensino. Em geral, são dois professores e dois assistentes de ensino, que são estudantes de mestrado e doutorado com especialidade em tópicos ligados aos problemas tratados.

Os professores, além do papel tradicional de instrutores que desempenham nas aulas magistrais, agem também como orientadores e consultores das equipes, além de coordenarem a atuação dos assistentes.

Os assistentes ministram as aulas sobre tópicos de suas especialidades. Além disso, eles também auxiliam as equipes no uso das ferramentas de software, dão suporte à execução dos ensaios de laboratórios, auxiliam os professores durante as reuniões de orientação às equipes e gerenciam o recebimento da documentação de projeto.

Infraestrutura de apoio

As turmas são formadas, geralmente por mais de 130 estudantes das duas habilitações. A infraestrutura disponível para o desenvolvimento das disciplinas inclui: salas de aula teórica; laboratórios especializados, com equipamentos adequados e recursos materiais suficientes para que todas as equipes possam realizar seus projetos.

Como parte da política de ensino do *GEL-GIF/LAVAL*, as disciplinas da linha de projeto, mantêm um site na Internet muito bem estruturado, contendo todas as informações pertinentes tais como, plano de ensino, horários, formulários de avaliação, referências, modelos de relatórios, critérios de avaliação, documentos eletrônicos das aulas magistrais, etc. A figura 5.2 mostra a página de abertura do site de *Design II*, e serve para ilustrar como é a organização das demais.



Figura 5.2: Página de abertura do site da disciplina de Design II.

Através dos sites, os estudantes se comunicam com a equipe de educadores, tiram dúvidas, executam as negociações inerentes ao andamento da disciplina, recebem avisos e enviam a documentação dos projetos.

Os sites das disciplinas da linha na Internet são ferramentas de ensino bem utilizadas e que servem de elo de integração da linha.

5.4 Descrição das disciplinas da linha de projeto

Uma vez que as características gerais da linha de projeto já foram apresentadas, é necessário descrever os aspectos específicos de cada disciplina da linha, com especial destaque para os problemas, os objetivos, e os aspectos conceituais priorizados.

5.4.1 Design I

Visa familiarizar estudantes iniciantes com aquilo que é a essência da engenharia, ou seja, com as atividades de síntese, concepção e projeto.

O foco da disciplina *Design I* consiste em construir uma primeira visão geral do que é o processo de projeto, sem no entanto aprofundar todos os aspectos. Em particular, *Design I* preocupa-se com a fase de definição do problema, e o estudo de viabilidade do projeto.

Objetivos e aspectos priorizados

A disciplina *Design I* introduz o conceito de projeto com foco no processo de gestão, incluindo questões tais como metodologia, técnicas básicas de trabalho em equipe, métodos de pesquisa de informação, comunicação escrita e oral, e utilização de ferramentas de software para apoio e gestão de projetos.

Ela tem por objetivos:

- Iniciar os estudantes ao mundo profissional da engenharia, em especial ao processo de projeto em equipe, no contexto de problemas reais, abertos e considerando a incidência de fatores ambientais e socioeconômicos.
- Ajudar os estudantes a desenvolver um senso de responsabilidade, autonomia e autoconfiança, para atender ao equilíbrio entre metodologia rigorosa e criatividade no processo de projeto.
- Favorecer o desenvolvimento de diferentes tipos de saber ligados ao conhecimento prático, tais como saber-fazer, através de atividades de pesquisa, da síntese, integração e utilização de informações e conhecimento teórico diversos.
- Favorecer o desenvolvimento da capacidade de identificar restrições e os métodos de análise adequados a situações complexas, onde existem incertezas importantes a serem consideradas.
- Criar condições para o desenvolvimento de qualidades humanas de liderança, iniciativa, espírito empreendedor, através da aquisição de habilidades de comunicação interpessoal, atitudes e valores.

- Iniciar os estudantes na ética e na prática da engenharia, em especial naquilo que concerne a responsabilidade do engenheiro frente aos clientes, usuários e à sociedade em geral.

Os objetivos descritos resumem, de maneira geral, os cinco aspectos que a linha de projeto visa desenvolver. A ênfase de *Design I* recai sobre os aspectos de *observação e comunicação*. A *modelagem* é abordada de forma rudimentar, enquanto que a *implementação* e *otimização* não são tratadas no contexto desta disciplina.

Problema

Os estudantes devem executar em equipe atividades ligadas à metodologia de projeto. Partindo de uma breve descrição de uma necessidade, eles devem descrever os objetivos, estabelecer a especificação de requisitos, estudar uma bibliografia pertinente ao problema, propor conceitos de solução, analisar a viabilidade dos conceitos propostos, selecionar soluções que melhor atendem os requisitos e planificar a realização e custo do projeto.

Os problemas podem mudar de uma sessão para outra, mas as características gerais permanecem as mesmas, isto é, o tipo de problema tratado em *Design I* sempre envolve desenvolver um estudo de viabilidade de projeto.

Na sessão de inverno de 2004, por exemplo, o problema foi enunciado da seguinte forma: “Desenvolver um estudo de viabilidade de um dispositivo eletrônico digital portátil (*Baladeur Numérique Audio Video*) para reproduzir som e imagem.”

O objetivo não era, evidentemente, desenvolver o dispositivo propriamente dito, mas sim aplicar conceitos de metodologia de projeto, desenvolver o trabalho em equipe, exercitar a comunicação oral e escrita, através de um estudo de viabilidade técnica e econômica de um dispositivo eletrônico de consumo de alta escala.

Dois resultados do projeto de estudo de viabilidade são solicitados. Primeiro, as equipes no papel de empresas devem oferecer o “produto” da forma mais atrativa e eficiente possível através de um site na Internet, o qual deve mostrar também todo o estudo realizado para chegar à concepção final do produto. Segundo, as equipes devem fazer uma exposição oral para apresentar e “vender” a concepção de produto que desenvolveram.

Dinâmica das atividades de aprendizagem

As aulas magistrais tratam dos seguintes tópicos teóricos: metodologia de projeto, que inclui o conceito de projeto, metodologia, definição de problema, análise de requisitos, geração de conceitos, estudo de viabilidade, projeto preliminar e técnicas de tomada de decisão; técnicas de comunicação e trabalho em equipe; uso de ferramentas de software no desenvolvimento de projetos.

Foram ainda ministrados os seguintes seminários para tratar os aspectos específicos ligados ao problema do *Baladeur*: alternativas de suprimento de energia sem fio; conceitos fundamentais sobre Internet; conceitos básicos em formatação de mídia digital; construção de *Websites*.

A equipe de educadores inicia os estudantes no uso de uma ferramenta de software profissional para gerenciamento de projeto, no caso o *MSPProject*, da empresa Microsoft e de uma plataforma livre para gerenciamento de trabalho colaborativo, o *CVS (Concurrent Version System)*, que permite a edição de arquivos por várias pessoas simultaneamente e trabalhando distantes umas das outras.

Estas ferramentas servem para apoiar o trabalho em equipe e para avaliação do andamento da disciplina pelos educadores.

5.4.2 Design II

A disciplina *Design II* visa aprofundar a formação dos estudantes sobre as atividades de síntese, concepção e projeto, a fim de desenvolver o conhecimento de engenharia, o senso crítico, a criatividade, e a motivação frente à formação, na perspectiva de melhor integração do conhecimento teórico com o conhecimento prático.

Objetivos e aspectos priorizados

Design II aprofunda o conceito de projeto, tendo o foco no processo de concepção e introduzindo questões tais como, técnicas de modelagem, análise, simulação e otimização. Além disso, reforça o uso das técnicas básicas de trabalho em equipe, métodos de pesquisa de informação, comunicação escrita e oral, e utilização de ferramentas de software para apoio e gestão de projetos, já introduzidas em *Design I*.

Ela tem por objetivos permitir aos estudantes:

- Desenvolver suas faculdades de observação através da vivência de uma situação que envolve um problema real, aberto, e multidisciplinar.
- Analisar rigorosamente um problema complexo a fim de desenvolver um modelo adequado.

Estes objetivos específicos enfatizam o aspecto de *observação*, *modelagem* e *otimização*. Também estão presentes, mas em menor intensidade, os aspectos de *implementação* e *comunicação*.

Através de aulas magistrais, os tópicos seguintes são tratados de maneira sistemática:

- Metodologia de Concepção e Projeto Assistido por computador (CAD);
- Modelagem de sistemas;
- Identificação experimental de modelos;
- Utilização de Técnicas de simulação;
- Implementação de Ferramentas de Simulação;
- Introdução às Técnicas de Otimização;
- Formação em Eletrônica Prática;
- Técnicas de Comunicação e Trabalho em Equipe.

Problema

O tipo de problema proposto na disciplina de *Design II* possui as seguintes características gerais:

- Trata de processos de conversão de energia, por exemplo de energia solar em energia elétrica;
- Envolve a otimização de processos, cuja fonte de energia é a eletricidade;
- Implica a construção tanto de um protótipo real quanto de uma ferramenta de simulação para apoio do projeto de sistemas similares.

Na sessão de inverno de 2004, o problema de *Design II* foi enunciado da seguinte forma: “Desenvolver um mini-veículo movido à energia solar capaz de executar um trajeto especificado no menor tempo”.

A tarefa a ser realizada pelo mini-veículo pode ser dividida em duas etapas: na primeira, o sistema de captação e armazenamento coleta a energia necessária para se deslocar ao longo do percurso: na segunda, o mini-veículo se desloca ao longo da pista, consumindo a energia armazenada.

Claramente há um problema de otimização entre o tempo de carga e o tempo de deslocamento para ser resolvido. Isto pede uma modelagem tão precisa quanto possível de todos os elementos do sistema, desde a fotocélula, passando pelos dispositivos de armazenamento de energia, até a estrutura física do mini-veículo. A figura 5.3 mostra o esquema apresentado às equipes quando da proposição do problema.

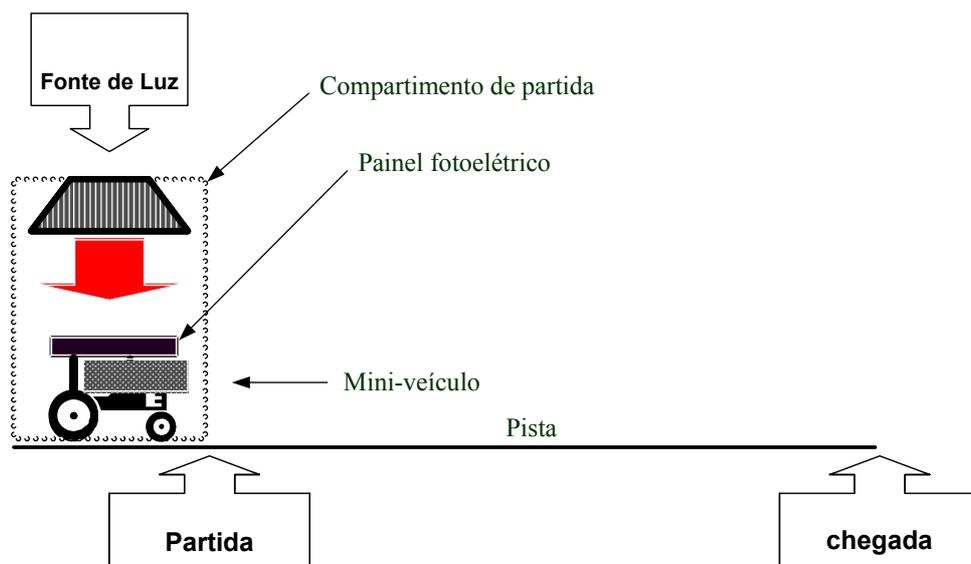


Figura 5.3: esquema da tarefa a ser cumprida pelo mini-veículo.

Restrições adicionais sobre a estrutura (kit LEGO), as fotocélulas armazenadores de energia, motores, sensores etc, são impostas pela equipe de educadores para tornar o problema tratável no contexto da disciplina.

Além do protótipo e da ferramenta de simulação, as equipes são solicitadas a produzir um relatório final sobre o projeto, um manual de utilização da ferramenta de simulação, bem como fazer uma demonstração tanto do protótipo quanto da ferramenta de simulação.

Dinâmica das atividades de aprendizagem

O projeto é realizado seguindo uma abordagem que compreende as seguintes etapas: modelagem, identificação, simulação, validação, otimização e implementação.

O projeto do mini-veículo envolve um grande número de tarefas, desde o aspecto de gestão do projeto em si, a execução dos ensaios necessários para identificação dos parâmetros necessários para construção dos modelos, até a implementação do protótipo, e validação da ferramenta de simulação.

A identificação dos parâmetros eletromecânicos dos motores elétricos, por exemplo, envolve uma seqüência de ensaios de laboratório, no qual as equipes têm a oportunidade de manusear equipamentos eletrônicos de medidas, tais como multímetros, osciloscópios, e outros. Os resultados experimentais obtidos são confrontados com valores teóricos, gerados por simulação, utilizando os pacotes comerciais de simulação matemática tais como *Matlab Simulink*.

O confronto dos dois tipos de resultados, na maioria das vezes, provoca surpresa nos estudantes. Por exemplo, os motores de corrente contínua da LEGO, usados no projeto, têm parâmetros reais de ordem de grandeza muito pequena, e bem diferentes daqueles exemplos didáticos que eles estão acostumados a resolver nas disciplinas teóricas. No entanto, eles podem ser ensaiados e identificados com boa precisão.

Esta constatação muda a percepção dos estudantes que passam a avaliar a relevância de um parâmetro não pela sua ordem de grandeza, mas pela influência do mesmo no comportamento do sistema analisado. Os estudantes ganham com isso uma capacidade de análise qualitativa que lhes permite desenvolver heurísticas de simplificação de sistemas as quais são fundamentais ao processo de construção de modelos.

A validação da ferramenta de simulação construída é feita através dos dados experimentais obtidos do protótipo. Alguns estudantes quando obtêm resultados da simulação que são divergentes do protótipo, de início chegam a dizer que o “erro” está no protótipo e não no modelo implementado pela ferramenta de simulação. Esta concepção equivocada, abre uma excelente oportunidade de reflexão sobre modelo e realidade, a qual pode ser aproveitada pela equipe de educadores.

Para incentivar a realização de projetos de alto nível, é proposta uma competição entre as equipes, na qual é declarada vencedora a equipe que executar a tarefa no menor tempo e cuja ferramenta de simulação apresentar resultados mais próximos daqueles obtidos pelo

protótipo. As figuras 5.4 e 5.5 mostram respectivamente a demonstração do protótipo desenvolvido e da ferramenta de simulação de uma das equipes.

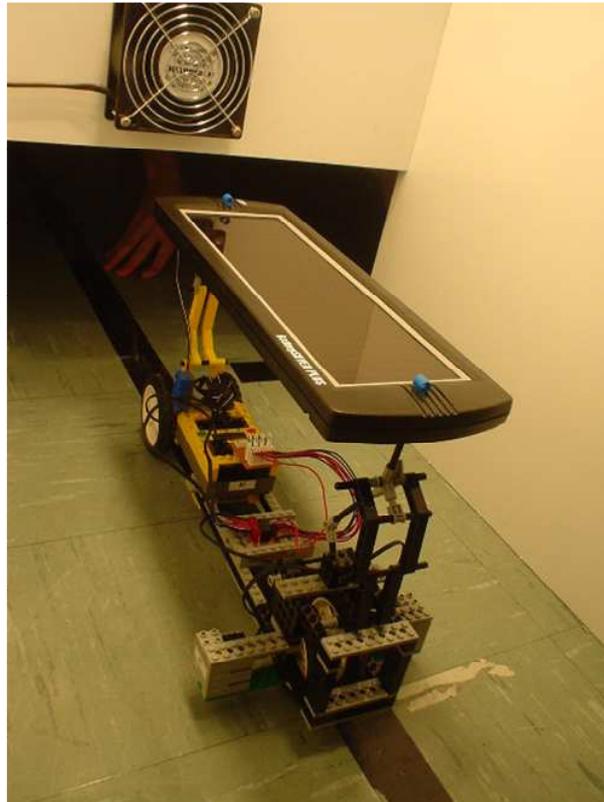


Figura 5.4: Protótipo de um dos mini-veículos.



Figura 5.5: Demonstração da ferramenta de simulação de uma das equipes.

Este é um momento bastante rico de discussão entre a equipe de educadores e as diversas equipes de estudantes porque sintetiza todo o trabalho desenvolvido na sessão, colocando estudantes na posição de entender em profundidade o significado de um modelo e o poder e a limitação da simulação no processo de projeto. Os estudantes começam a

fazer conexões importantes entre mundo real, modelos e simulação que vão lhes permitir construir modelos aceitáveis da realidade e sistemas reais que implementam de forma pragmática aqueles modelos concebidos.

5.4.3 Design III

Design III visa a aprofundar a formação dos estudantes sobre as atividades de síntese, concepção e projeto, a fim de desenvolver senso crítico, criatividade e motivação, levando em conta a perspectiva de integração dos diversos tipos de conhecimento. Metodologia, otimização e implementação, são os focos principais da disciplina, abordados através de um projeto.

Objetivos e aspectos priorizados

A disciplina *Design III* tem por objetivos permitir aos estudantes:

- Dominar e aplicar uma metodologia de concepção de sistemas complexos compreendendo aspectos materiais e lógicos em um projeto de equipe multidisciplinar.
- Integrar os componentes materiais e lógicos de um sistema completo e funcional respeitando as exigências dos clientes, segundo um cronograma específico.
- Documentar um projeto funcional de porte e ser capaz de apresentar seus diferentes aspectos através de demonstração, apresentação oral e pela redação de relatórios de síntese.
- Colocar em prática conhecimento adquirido previamente nas disciplinas de matemática, eletrônica, concepção de software e pela solução de problemas novos em projeto.
- Pesquisar e descobrir, de forma autônoma, o conhecimento complementar necessário para realização de um projeto.

Estes objetivos específicos enfatizam o aspecto de *modelagem, otimização e implementação*. Entretanto, também estão presentes os aspectos de *observação e comunicação*. A disciplina destaca ainda o uso de metodologias de projeto orientadas à integração de hardware e software.

As aulas magistrais abordam os seguintes tópicos específicos:

- Procedimento de concepção: histórico de abordagens de engenharia de sistemas complexos. Metodologia de abordagem de engenharia concorrente. Atividades próprias do engenheiro de sistemas. Gestão e planejamento de projetos de implementação de sistemas complexos. Diagrama de Gantt, Work Breakdown Structure (WBS), noções de encaminhamento crítico, estimação e gestão de risco, gestão de recursos humanos, gestão de orçamento.
- Introdução à visão computacional: formação de imagens, cor, segmentação de regiões e detecção de bordas, características geométricas e fotométricas, classificação e reconhecimento, calibração de uma câmera.
- Ferramentas e ambientes para desenvolvimento integrando hardware e software, tais como o *Umbrello*, que auxilia a modelagem de sistemas baseada em *UML (Unified Modeling Language)*.

Problema

O tipo de problema proposto na disciplina *Design III* possui as seguintes características gerais:

- Implementa um robô móvel, incluindo tanto hardware quanto software.
- Envolve tratamento de imagem e visão computacional, posicionamento geométrico e navegação do robô no terreno. Também envolve a captura e lançamento de uma bola, fazendo referência a algum esporte popular, tal como futebol, pólo, basquete.
- Implica o desenvolvimento de algoritmo de inteligência artificial para realização da tarefa.

No inverno de 2004, por exemplo, o problema proposto no início da sessão foi o seguinte:

“Desenvolver um robô móvel capaz de se deslocar sobre um terreno cujas características são bem especificadas, para executar uma tarefa precisa. Esta consiste em localizar uma bola colorida, apanhá-la e lançá-la em direção à uma trave (gol), com objetivo de colocar a bola dentro do gol.”

A figura 5.6 mostra o esquema apresentado aos estudantes para auxiliar no entendimento das especificações da tarefa. O robô, pode se movimentar livremente nas duas zonas do terreno para apanhar a bola onde ela estiver, porém não pode lançar a bola em

direção ao gol estando dentro da zona vermelha. A tarefa dura 10 minutos. Durante este tempo, o robô pode executar tantos lançamentos quanto puder. Um gol vale três pontos, um lançamento vale 2, e apanhar a bola vale um ponto.

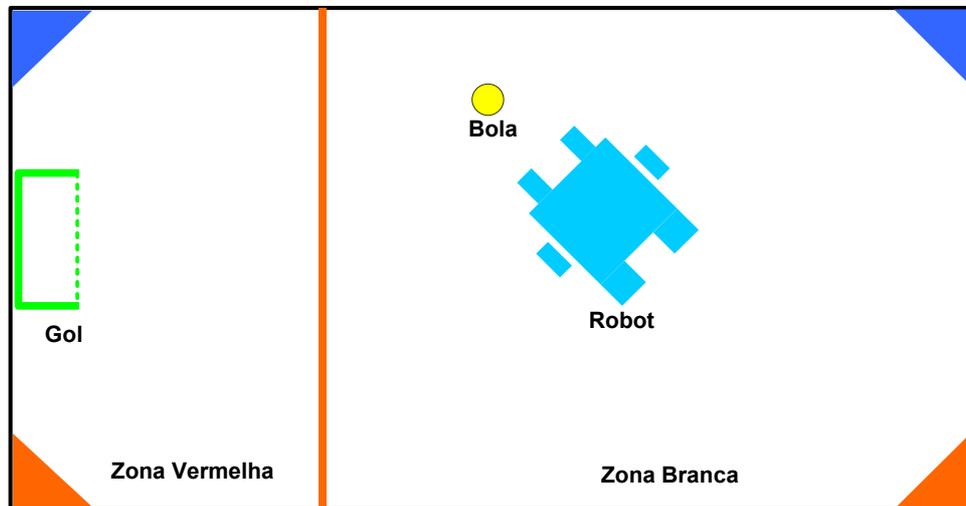


Figura 5.6: Esquema do terreno onde o robô deve executar a tarefa.

Restrições sobre a estrutura física (kit LEGO), dimensões, peso, energia, hardware, software, tipo de câmera, custo etc, são fixados e devem ser respeitados.

Dinâmica das atividades de aprendizagem

As aulas magistrais têm como objetivo fornecer informações básicas aos estudantes para direcionar o trabalho das equipes, e para buscar por conta própria o conhecimento mais aprofundado sobre as ferramentas necessárias para a implementação do robô, e sobre os conceitos teóricos que devem ser dominados para serem aplicados no projeto.

As equipes trabalham num contexto de desenvolvimento de produto. Eles devem distribuir equilibradamente as responsabilidades, conduzir conjuntamente os diversos aspectos do protótipo mantendo uma estreita colaboração interna.

Produzir os resultados esperados dentro do calendário previsto e apresentar o sistema funcional quando de uma demonstração pública ao fim da sessão, são requisitos essenciais que têm repercussão direta na avaliação.

A avaliação tem caráter individual e coletivo. Ela compreende o acompanhamento contínuo do andamento do projeto, através das reuniões de orientação, e se efetua através da análise de quatro documentos intermediários que relatam o desenvolvimento das fases do projeto. Através destes documentos, a equipe de educadores verifica se os concei-

tos teóricos foram compreendidos e aplicados de forma adequada, e podem reorientar as equipes naqueles pontos que não foram devidamente aprendidos.

O conhecimento de projeto adquirido nas disciplinas anteriores da linha é requisitado naturalmente em *Design III*. Para planejamento e gestão, por exemplo, é utilizado o *MS-Project*, da disciplina *Design I* e ainda é exigido um estudo de viabilidade de alternativas de solução, tal como foi ensinado naquela disciplina. A figura 5.7 apresenta um fragmento de relatório que mostra o estudo de viabilidade do projeto para o subsistema de alimentação.

6.2.2 Alimentation

Tableau 5
Concepts du sous-système d'alimentation

	Régulateur linéaire intégré	Régulateur non-linéaire (« switching ») intégré	Régulateur non-linéaire (« switching ») de notre conception
Description	Utilisation d'un régulateur linéaire intégré.	Utilisation d'un régulateur non-linéaire (« switching ») intégré.	Utilisation d'un régulateur non-linéaire (« switching ») de notre conception.
Figure			

Figura 5.7: Fragmento de relatório , mostrando as alternativas consideradas para o projeto do subsistema de alimentação.

É exigida a documentação de todas as fases do projeto, e a demonstração do protótipo, através de um competição. Esta ocorre no final da disciplina, onde inicialmente é verificado se os protótipos atendem às especificações técnicas definidas, tais como dimensão, peso, estrutura física, etc. Depois as equipes demonstram que os protótipos realizam a tarefa de acordo com as regras estabelecidas. A figura 5.8 ilustra o momento de uma demonstração.

Em caso de não terem sucesso na demonstração, as equipes têm ainda duas chances adicionais, em datas posteriores, para demonstrar seus protótipos.

A demonstração da tarefa, sendo um requisito para aprovação na disciplina, gera tensão emocional nos estudantes. O aspecto positivo desta situação é o aumento da responsabilidade e do envolvimento dos estudantes, além da experiência de aprendizagem diante de situações difíceis que envolvem riscos, tão comuns na vida profissional do engenheiro.

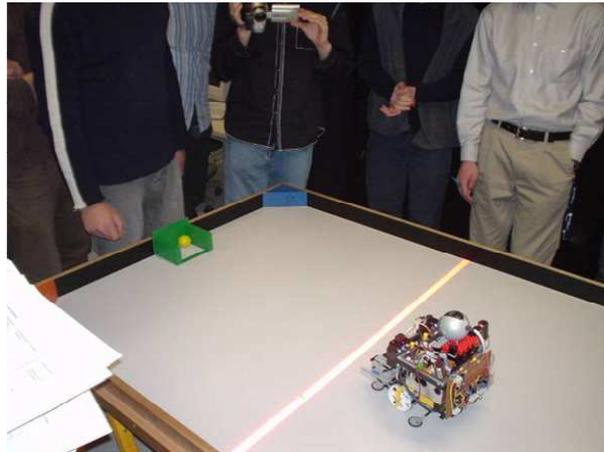


Figura 5.8: Um dos protótipos faz um gol durante a competição.



Figura 5.9: Na borda da mesa, um estudante aguarda ansioso que o robô lance a bola para completar a tarefa.

5.4.4 Design IV

A disciplina Design IV visa sintetizar as aquisições de conhecimento obtidas ao longo da formação através da realização de um projeto de maior porte, permitindo integrar diversos elementos das áreas de elétrica e computação no contexto de um procedimento de projeto de engenharia. Este procedimento inclui as fases de definição, análise, implementação, validação e documentação. A ênfase é colocada sobre os resultados do projeto, sua conclusão dentro do prazo estabelecido e satisfação do cliente.

Objetivos e aspectos priorizados

Design IV tem como objetivos específicos permitir aos estudantes:

- Sintetizar o conhecimento prático adquirido na formação em projeto bem como

colocar em ação o conhecimento teórico adquirido durante toda formação.

- Realizar um projeto de porte em equipe no contexto industrial ou em laboratório, com destaque ao desenvolvimento do produto, a entrega dentro do prazo prescrito, e a satisfação do cliente.
- Desenvolver o senso crítico face às realizações dos pares e sua capacidade de se expressar claramente a respeito da profissão.
- Comunicar eficazmente a informação pertinente ao seu projeto com seus colegas, seus superiores e seus pares.
- Demonstrar o sentido ético próprio da profissão no contexto da realização do seu projeto.
- Agir de modo responsável perante a sociedade e o meio ambiente.

Todos os aspectos das disciplinas anteriores estão presentes em Design IV, entretanto, o aspecto da implementação é o foco principal.

Problema

Diferentemente das demais disciplinas da linha, em *Design IV* as equipes não resolvem o mesmo problema. Com a intenção de tornar a experiência mais próxima de uma situação típica da vida profissional, os estudantes trabalham em equipe como uma empresa, oferecendo serviços de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para um projeto definido a partir de uma solicitação feita por um cliente real.

O cliente pode ser uma empresa, uma organização, um grupo ou mesmo uma pessoa. O cliente é representado por um supervisor. A natureza do projeto pode ser industrial ou acadêmica, a implementação podendo ser tanto realizada em uma indústria como em um laboratório universitário.

A equipe é inteiramente responsável por definir as tarefas a serem executadas, a fim de conduzir a termo com sucesso, no prazo prescrito, o projeto que a mesma se propõe a realizar. Cada equipe tem um “tutor”, professor do departamento. Cada equipe tem que propor o projeto que deve ser aceito antes do início de cada sessão.

Em decorrência da forma pedagógica adotada, os problemas abordados nos projetos são bastante variados. A título de exemplo, é feito aqui um breve comentário sobre um deles,

que se refere ao “Desenvolvimento do protótipo de um sistema para foto-identificação de *belugas*, também conhecidas com baleias brancas”.

O estudo das populações passa pela identificação dos indivíduos que pertencem a esta população. A foto-identificação é uma técnica que permite a identificação de um indivíduo de uma dada espécie, através de um banco de fotos de indivíduos conhecidos desta população. Esta técnica é muito útil ao estudo da biologia porque evita que os animais sejam molestados pelo monitoramento. O problema é que os sistemas de foto-identificação existentes não são adaptados para identificação de *belugas*. O objetivo do projeto então é adaptar o procedimento de foto-identificação para *belugas*. Em termos técnicos, o projeto envolve processamento de imagens e banco de dados. A figura 5.10 mostra o fragmento de um dos documentos do projeto, onde é apresentado o conceito de identificação de um indivíduo da população, a partir do registro de sinais particulares.

Dinâmica das atividades de aprendizagem

Os estudantes são inteiramente responsáveis por adquirir as informações necessárias a fim de executar os trabalhos de forma a produzir uma implementação de sucesso do projeto. A avaliação é feita pelo “cliente” e pelo “tutor” e pelos responsáveis pela disciplina.

Ao longo da sessão, quatro reuniões formais de revisão do projeto são realizadas. Cada equipe deve apresentar oralmente o projeto e fornecer um documento escrito desta.

Os membros de todas as equipes, os tutores e os responsáveis pela disciplina assistem a estas apresentações. O supervisor deve, de preferência também estar presente e avaliar e aprovar os documentos sobre o andamento dos trabalhos. A equipe deve também produzir um relatório completo escrito no tempo da última apresentação oral.

A formação das equipes é livre, com um número mínimo de dois membros, dependendo da amplitude do projeto. Os projetos devem ser compatíveis com as atividades profissionais de engenheiros eletricitas ou engenheiros de computação e podem ser especializados ou multidisciplinares.

Um supervisor, seja industrial ou acadêmico, quando se fizer necessário, representa o cliente. O cliente é responsável por fornecer os recursos apropriados para garantir o sucesso do projeto.

A avaliação da disciplina é baseada principalmente no sucesso do projeto. A banca julga o sucesso do projeto após demonstração antecipada de desempenho aceitável e das

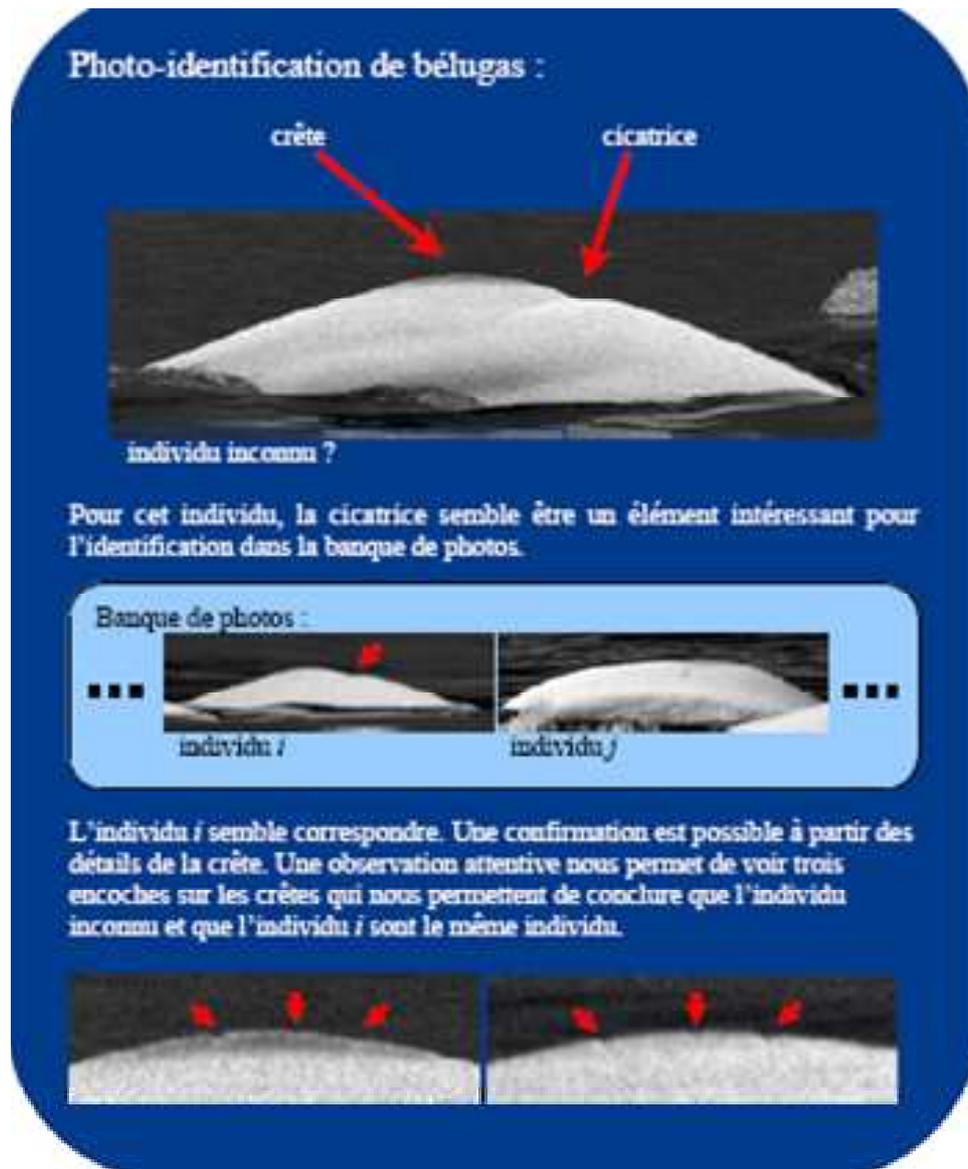


Figura 5.10: Fragmento de um dos documentos do projeto, mostrando o conceito de foto-identificação de belugas proposto.

funcionalidades do sistema desenvolvido. A demonstração deve ter lugar antes ou ao curso da última apresentação oral. A avaliação leva em conta também o acompanhamento contínuo do andamento do projeto.

5.5 Analisando a linha de projeto sob a ótica do currículo reflexivo

No aspecto da prática pedagógica, a linha de projeto implementa de fato uma abordagem de ensino-aprendizagem inteiramente compatível com o *currículo reflexivo*, conforme foi

observado no estágio realizado na sessão de inverno de 2004.

No aspecto dos fundamentos pedagógicos, apesar da linha de projeto não fazer menção explícita a nenhum modelo em especial, sua base implícita é compatível com a filosofia pragmatista de Dewey e do ensino reflexivo de Schön, conforme apresentado nos capítulos anteriores, os quais são a base do modelo de currículo reflexivo.

Na apresentação da linha de projeto e nos comentários sobre as disciplinas, feita neste capítulo, já foram utilizadas categorias do *currículo reflexivo*, tais como *tema-condutor* e *conceitos organizadores*. No que segue é aprofundada a análise da linha sob o enfoque do currículo reflexivo, apontando outras correspondências, bem como lacunas e limitações.

Também são apontadas algumas sugestões que podem melhorar a linha de projeto quando necessário. Algumas destas sugestões foram feitas no fim do estágio citado, tendo sido parte delas incorporadas à linha de projetos. As mesmas são apresentadas então como contribuições do estágio.

5.5.1 Princípios

O *currículo reflexivo* é fundamentado em quatro princípios:

- saberes
- humanismo
- aprender fazendo
- contexto
- pensamento reflexivo

Destes princípios, *saberes*, *aprender fazendo* e *contexto*, são explicitamente assumidos pela linha de projeto. Já o *pensamento reflexivo* está implícito nas reuniões de orientação, que são exemplos autênticos de ensino reflexivo. O humanismo aparece também de forma clara nos objetivos educacionais da linha, mas não é destacado nas atividades de ensino-aprendizagem com tanta ênfase.

5.5.2 Tema-condutor

Conforme já foi dito antes, “projeto”, forma o *tema-condutor* da linha porque organiza o conteúdo a ser estudado, conectando as experiências de aprendizagem com a vida profissional. Este é o enfoque dado por todas as disciplinas da linha, quando da proposição dos problemas.

O tema-condutor “projeto” também se mostra como um contexto adequado para o desenvolvimento do pensamento reflexivo, porém não desenvolve muito o aspecto social, preconizado pelo princípio humanista. Isto se explica em parte pela falta de tempo para aprofundar as questões sociais que poderiam ser discutidas em torno dos problemas de engenharia tratados. Vale lembrar que as disciplinas da linha já são consideradas pelos estudantes bastante densas tanto em termos de informações quanto de atividades.

Assim, para explorar melhor o tema-condutor, tanto no aspecto técnico quanto social, um caminho seria tentar relacionar as disciplinas da linha com as outras ministradas em paralelo, visando criar uma abordagem transdisciplinar no currículo. Este parece ser um caminho natural para integrar a linha ao restante do currículo e superar as limitações atuais da linha.

Destaca-se ainda que muitas das aulas magistrais se devem à falta de interação da linha com as outras disciplinas, sendo isto um dos pontos negativos da linha de projetos em relação ao currículo reflexivo.

5.5.3 Conceitos organizadores

Os professores que conceberam a linha de projetos, além de serem profissionais de engenharia com grande experiência na área de projetos, demonstraram ter conhecimento e intuição pedagógica ao perceberem que um conjunto de conceitos essenciais em projeto poderia ser o elemento-chave para organização da linha de disciplinas.

Observação, modelagem, otimização, implementação e comunicação constituem os aspectos essenciais de um projeto e são conceitos gradativamente introduzidos e aprofundados. Cada vez que estes aspectos são retomados numa disciplina, mais detalhes e aprofundamento são introduzidos. Porém, quando isto acontece, a visão de conjunto dos estudantes a respeito de projeto, é refinada um pouco mais.

5.5.4 Fases

O processo educativo concebido pelo *currículo reflexivo* possui cinco fases, cada qual possuindo um nome, um objetivo pedagógico específico e demandando um papel diferente do professor, conforme mostrado na tabela 5.2

Tabela 5.2: Fases do currículo reflexivo

FASE	NOME DA FASE	OBJETIVO	PAPEL DO PROFESSOR
I	Iniciação	Adquirir conceitos organizadores de ciência e engenharia e desenvolver conhecimento prático básico de engenharia	instrutor
II	Construção	Adquirir conceitos organizadores da engenharia e desenvolver o pensamento reflexivo	instrutor/orientador
III	Expansão	Transferir conhecimento de uma área para outras através dos conceitos organizadores adquiridos e consolidar o pensamento reflexivo	orientador
IV	Aprofundamento	Adquirir conhecimento avançado em áreas específicas e desenvolver conhecimento prático específico	orientador/consultor
V	Realimentação	Obter experiência profissional de campo sob supervisão docente	consultor

A linha de projetos foi concebida para um currículo de quatro anos, sendo ministrada uma disciplina a cada ano. Além disso, no Canadá, parte do conteúdo de ciência básica é desenvolvido em um nível intermediário, chamado de preparatório para o estudo universitário. Também há que ser considerado que o modelo reflexivo foi concebido para um curso todo, enquanto a linha de projeto é uma parte do currículo. Então, é aceitável que não exista uma correspondência direta entre as fases do *currículo reflexivo* e as disciplinas da linha.

De maneira imprecisa, entretanto, é possível dizer que *Design I* e *Design II* têm objetivos e características tanto da fase I e II. Já *Design III* agrega as fases III e IV. *Design IV* tem uma correspondência direta com a fase V.

5.5.5 Problemas de engenharia e atividades de ensino-aprendizagem

Embora o enunciado dos problemas das disciplinas mudem de tempos em tempos, suas características essenciais são preservadas. Isto é importante porque ao mesmo tempo que a mudança renova a dinâmica da linha, a estrutura pedagógica permanece estável, quer dizer, os objetivos permanecem válidos e as atividades de ensino-aprendizagem são desenvolvidas da mesma forma.

Isto também quer dizer que não há necessidade de mudar a infraestrutura utilizada, nem substituir recursos materiais de custo elevado freqüentemente. A complexidade dos problemas permanece o mesmo.

O papel das aulas magistrais é disponibilizar o conhecimento teórico básico a respeito de um tópico específico. Elas são suficientes para que os estudantes possam continuar a aprofundar o estudo e obter mais conhecimento, mas não pretendem cobrir em profundidade o tópico apresentado. Algumas vezes estas aulas tratam de assuntos já vistos em outras disciplinas. Isto poderia ser apontado como sendo uma “superposição de conteúdos”, mas o enfoque faz com que não seja.

Para os estudantes, estas aulas são, muitas vezes, não apenas uma revisão, mas principalmente um novo ponto de vista sobre tópicos que antes eles só tinham tido oportunidade de aprender sob o viés da teoria. A modelagem talvez seja um dos aspectos que mais traga surpresa e novos *insights* aos estudantes quando desenvolvendo seus projetos. Nada é completamente novo, nem o formalismo matemático, nem os procedimentos de identificação de parâmetros, nem o uso das ferramentas de simulação. Tudo isto é visto em outras disciplinas, porém colocar tudo isto junto no contexto de um problema real, envolve um tipo de conhecimento novo, o “*conhecimento prático*” que o currículo reflexivo busca enfatizar.

Outro aspecto que torna a linha inovadora, talvez sua característica realmente singular é que o processo de aprendizado de projeto se dá num contexto de diálogo contínuo entre a equipe de educadores e as equipes de estudantes. A partir da ação das equipes, isto é, daquilo que as equipes produzem, os professores sugerem, orientam, esclarecerem, questionam. Em outras palavras, os professores promovem um processo de reflexão que convida os estudantes a pensarem sobre aquilo que fazem, sobre os resultados que obtêm e principalmente nos caminhos que os levam a produzir estes resultados. Isto tudo, coloca o pensamento reflexivo no centro do processo educativo.

5.5.6 Contribuições do estágio para melhoria da linha

Desde a implementação em 1998, a linha de projeto não havia sofrido nenhuma revisão maior, apenas alterações localizadas em nível de disciplina. No final do estágio realizado durante a sessão de inverno de 2004, foi feito um relato sobre as aquisições obtidas durante o estágio e apresentadas sugestões de melhoria da linha. Este evento foi o início de um processo de revisão da linha, sendo por si só uma primeira contribuição.

As contribuições do estágio para este trabalho compreendem os seguintes itens: análise geral da linha de projeto, desde os fundamentos pedagógicos até as estratégias de ensino-aprendizagem correntes de cada disciplina; análise detalhada de cada uma das disciplinas da linha, incluindo problemas, atividades desenvolvidas e sistemas de avaliação; identificação de pontos fortes e pontos fracos da linha; recomendações para melhoria.

Dentre os pontos fortes foram destacados os seguintes: a base pedagógica consistente; a integração das disciplinas da linha sob um conjunto de conceitos organizadores; o desenvolvimento das disciplinas em equipe de educadores; a adequada infraestrutura para realização das atividades de ensino aprendizagem, incluindo, pessoal, espaço físico, laboratórios, equipamentos e materiais; a utilização de um conjunto de ferramentas de ensino e pesquisa usuais, tais como kit *LegoMindstorms*, *CVS*, *MSProject*.

Em contrapartida foram destacados os seguintes pontos fracos: não havia critérios de avaliação em comum entre as disciplinas; a avaliação não era usada como instrumento de aprendizagem em todas as disciplinas; a avaliação individual era pouco considerada; a linha não tinha integração com o restante do curso e do currículo; tópicos não técnicos, tais como ética e meio ambiente, eram pouco discutidos; falta de interação das equipes de educadores da linha; e talvez a maior fraqueza, a disciplina de *Design IV* não era realmente integrada à filosofia do restante da linha.

Diante do quadro apresentado, após o estágio foram feitas algumas recomendações aos responsáveis pela linha. As principais foram: definir alguns critérios de avaliação em comum, como por exemplo explicitando os itens a serem observados na documentação escrita, nas apresentações orais; utilizar os relatórios intermediários como instrumento de aprendizagem, fortalecendo o caráter reflexivo das orientações às equipes; realizar reuniões com todos os educadores da linha ao fim de cada sessão para trocar experiências e introduzir inovações; colocar um professor com experiência em outras disciplinas da linha como responsável da disciplina *Design IV*, criar prêmios como forma de valorizar os projetos

desenvolvidos nesta disciplina; colocar a linha em evidência no programa, valorizando o seu caráter integrador e a sua metodologia inovadora.

Estas observações serviram de contribuição para a revisão da linha de projeto que ocorreu já na sessão de inverno de 2005. Destaca-se como importante, a mudança que foi promovida em *Design IV*, apontada como sendo um ponto fraco da linha. Até 2004, esta disciplina era ministrada por professores temporários (“*chargé de cours*”), que não fazem parte do corpo docente efetivo do *GEL-GIF/LAVAL*. Estes professores desconheciam a filosofia da linha e desta forma todo o trabalho de construção de uma visão de conjunto feito pela linha não resultava na síntese esperada. O que foi observado no estágio é que muito do conhecimento desenvolvido sobre gestão de projeto e das técnicas de concepção nem sequer apareciam durante o desenvolvimento dos projetos. Além do mais, o nível dos projetos era bastante variado, em parte porque os problemas tratados tinham grau de complexidade muito distintos.

Atualmente, a equipe de educadores de *Design IV* tem um professor que conhece bem a linha para supervisioná-los. Os estudantes são responsáveis por obter a formação necessária para execução do projeto, porém é exigido que eles apresentem documentos conforme as técnicas desenvolvidas nas disciplinas anteriores da linha, tais como gráfico de Gant, diagrama de propriedades funcionais, *Work Breakdown Structure* (WBS) entre outros. Assim, em cada uma das quatro reuniões previstas ao longo da sessão, as equipes sabem quais são o, tipo, de resultados que devem ser apresentados. Além disso, os problemas passaram a ser propostos antes do início da sessão. Com isso é possível fazer um julgamento prévio da pertinência, relevância, da viabilidade e da complexidade, que faz com que os projetos sejam mais equilibrados.

5.6 Considerações finais

Através do estudo de caso, mostrado neste capítulo foi possível demonstrar o uso do modelo reflexivo na análise de um curso corrente.

Um aspecto interessante é que a experiência obtida durante o estágio na Universidade Laval serviu de base para a construção do modelo reflexivo. Analisar o curso de engenharia elétrica, sob a ótica do modelo, agora já desenvolvido é uma forma de colocar em prática a *reflexão-sobre-ação* no contexto do próprio desenvolvimento deste trabalho.

As limitações da linha de projeto apenas evidenciam as limitações de um currículo tradicional, orientado a conteúdo e estruturado em disciplinas. A falta de integração da mesma e com as demais disciplinas do currículo, é um reflexo disto.

Na perspectiva de avançar na direção de um currículo reflexivo, uma estratégia interessante é ampliar o contexto de aplicação dos problemas, buscando incluir requisitos que demandem estudos de tópicos contidos em outras disciplinas da mesma sessão. Com isso, além da integração vertical da linha de projeto, poderia ser melhorada a integração horizontal do currículo.

Foram justamente as reflexões sobre as estratégias para melhorar a integração horizontal do curso de engenharia elétrica da Universidade Laval, que inspiraram as soluções adotadas para integração dos tópicos de conhecimento que são estudados numa determinada fase do modelo reflexivo, conforme é descrito no próximo capítulo.

Capítulo 6

Aplicando o modelo reflexivo na concepção de um curso de engenharia de controle e automação

“Pensar é original quando faz surgir considerações que ainda não tinham sido anteriormente apreendidas.”

John Dewey

6.1 Introdução

Neste capítulo, o processo de concepção de um curso de engenharia segundo o modelo de currículo reflexivo é visto com maior nível de detalhe, principalmente quanto à organização das atividades de aprendizagem no contexto de uma fase.

Inicialmente são identificados e descritos os agentes que influenciam na definição do perfil profissional desejado. Quatro agentes são identificados: o sistema profissional, o sistema educacional, a comunidade de ensino e pesquisa e o mercado de trabalho.

Em seguida, as contribuições dos diversos agentes são organizadas nos termos do modelo, sintetizando assim o perfil profissional desejado.

Seguindo o processo de concepção apresentado no capítulo 4 e com base no perfil profissional desejado, são propostos os temas condutores do currículo.

Para ilustrar a possibilidade de abordagens diferentes na construção do currículo reflexivo, ao invés de trabalhar um tema único, tal como foi feito no exemplo mostrado antes,

neste capítulo, a cada fase é associada um tema-condutor diferente. No mesmo sentido, um novo problema de engenharia é associado a cada fase.

O perfil profissional desejado é também tomado como base para identificação dos conceitos organizadores.

Após terem sido explicitados os seguintes componentes do currículo: perfil profissional desejado, conceitos organizadores e problemas de engenharia, a arquitetura do currículo é então desenvolvida, seguindo-se os critérios de organização de cada uma das fases, conforme já foi descrito na apresentação inicial do modelo.

Uma vez que a arquitetura geral do curso esteja definida, então um novo nível de refinamento é introduzido no modelo para descrever a organização das atividades de aprendizagem de cada fase do currículo.

Por simplificação, apenas uma fase é mostrada em detalhe. A fase escolhida é a de *iniciação*. Tal escolha justifica-se por diversas razões. A primeira razão é lógica. Sendo a *iniciação* concebida para ser a primeira fase do currículo, é razoável que seja a primeira a ser refinada.

A segunda razão é de ordem metodológica. Os resultados preliminares deste trabalho foram obtidos de experimentos realizados no contexto da disciplina de introdução à engenharia, ministrada no primeiro período letivo do curso de ECA. Estes resultados encorajaram a estender a metodologia baseada no ensino reflexivo a outras disciplinas da fase de iniciação.

A terceira é de relevância. Há necessidade de enfrentar o desafio de integrar o conhecimento teórico básico (cálculo, física, informática etc) ao conhecimento teórico profissionalizante (sistemas de controle, automação etc) e ao conhecimento prático (saber-fazer, saber agir, saber-ser).

Ao final do capítulo são feitas algumas considerações pertinentes ao uso do modelo na concepção de um curso de engenharia, ressaltando-se os aspectos positivos, negativos e limitações correntes.

6.2 Os agentes que definem o perfil profissional de um engenheiro

Como foi dito no início do trabalho, a concepção de um currículo não é um processo estritamente racional, desenvolvido de forma linear. Diversos agentes contribuem para aportar aspectos que misturam lógica, racionalidade, tradição, idiosincrasias etc, que vão moldar a abrangência, profundidade e cobertura do conteúdo teórico tratado e os atributos desejados dos egressos.

São os agentes que vocalizam os princípios humanos que norteiam o currículo, além de constituir o contexto no qual se insere a formação profissional do engenheiro.

Quatro agentes são identificados: o sistema profissional, o sistema educacional, a comunidade de ensino e pesquisa e o mercado de trabalho. A seguir é feita uma breve discussão de cada um deles, incluindo suas contribuições para definição do perfil profissional desejado.

6.2.1 Sistema profissional

Ele representa as organizações que normatizam, orientam e fiscalizam o exercício da profissão. No Brasil este papel é atribuído ao Conselho Federal de Engenharia Arquitetura e Agronomia (CONFEA), que tem como uma de suas principais atribuições a de editar a legislação que rege o exercício profissional.

A partir de 1º julho de 2007 a Resolução N^o 1010 do (CONFEA, 2005) entrou em vigor, introduzindo importantes mudanças na forma de reconhecer a atribuição profissional.

A Resolução N^o 1010 estabelece normas, estruturadas dentro de uma concepção matricial, para a atribuição de títulos profissionais, atividades e competências no âmbito da atuação profissional, para efeito de fiscalização do exercício das profissões inseridas no Sistema.

No seu artigo 2º, a Resolução N^o 1010 assume o seguinte conjunto de definições para fins das atribuições de títulos profissionais:

- I** - atribuição: ato geral de consignar direitos e responsabilidades dentro do ordenamento jurídico que rege a comunidade;
- II** - atribuição profissional: ato específico de consignar direitos e responsabilidades para o exercício da profissão, em reconhecimento de competências e habilidades derivadas de formação profissional obtida em cursos regulares;
- III** - título profissional: título atribuído pelo Sistema Confea/Crea a portador de diploma expedido por instituições de ensino para egressos de cursos regulares, correlacionado com o(s) respectivo(s) campo(s) de atuação profissional, em função do perfil de formação do egresso, e do projeto pedagógico do curso;
- IV** - atividade profissional: ação característica da profissão, exercida regularmente;
- V** - campo de atuação profissional: área em que o profissional exerce sua profissão, em função de competências adquiridas na sua formação;
- VI** - formação profissional: processo de aquisição de competências e habilidades para o exercício responsável da profissão;
- VII** - competência profissional: capacidade de utilização de conhecimentos, habilidades e atitudes necessários ao desempenho de atividades em campos profissionais específicos, obedecendo a padrões de qualidade e produtividade;
- VIII** - modalidade profissional: conjunto de campos de atuação profissional da Engenharia correspondentes a formações básicas afins, estabelecido em termos genéricos pelo Confea;
- IX** - categoria (ou grupo) profissional: cada uma das três profissões regulamentadas na Lei n 5.194 de 1966;

Observa-se a assimilação dos conceitos da abordagem de educação por competências, o que reflete a preocupação de aproximar a legislação profissional à realidade da formação acadêmica.

Sem entrar em detalhes que fogem ao objetivo deste trabalho, pode-se dizer que a

Resolução N^o 1010 provê mecanismos legais para reconhecer as atribuições profissionais em um ambiente de grande variedade de especializações, ênfases e modalidades de cursos de engenharia, partindo do credenciamento dos mesmos através da avaliação dos respectivos projetos pedagógicos.

Certamente ainda é muito cedo para verificar os efeitos da nova resolução, porém seu espírito já traz o efeito positivo de fomentar o diálogo entre os dois sistemas (Giorgetti, 2007).

Atividades profissionais

A especificação de quais são as atividades profissionais da engenharia já estava presente na legislação anterior, Resoluções N^o 218-73 do (CONFEA, 1973) e N^o 417-99 do (CONFEA, 1999), sendo que ambas são ratificadas pela nova legislação. A tabela 6.1 explicita quais são as atividades de engenharia.

Tabela 6.1: Atividades profissionais de engenharia ratificadas pela Resolução No 1010.

<p>Atividade 1. Supervisão, coordenação e orientação técnica;</p> <p>Atividade 2. Estudo, planejamento, projeto e especificação;</p> <p>Atividade 3. Estudo de viabilidade técnico-econômica;</p> <p>Atividade 4. Assistência, assessoria e consultoria;</p> <p>Atividade 5. Direção de obra e serviço técnico;</p> <p>Atividade 6. Vistoria, perícia, avaliação, arbitramento, laudo e parecer técnico;</p> <p>Atividade 7. Desempenho de cargo e função técnica;</p> <p>Atividade 8. Ensino, pesquisa, análise, experimentação, ensaio e divulgação técnica, extensão;</p> <p>Atividade 9. Elaboração de orçamento;</p> <p>Atividade 10. Padronização, mensuração e controle de qualidade;</p> <p>Atividade 11. Execução de obra e serviço técnico;</p> <p>Atividade 12. Fiscalização de obra e serviço técnico;</p> <p>Atividade 13. Produção técnica e especializada;</p> <p>Atividade 14. Condução de trabalho técnico;</p> <p>Atividade 15. Condução de equipe de instalação, montagem, operação, reparo ou manutenção;</p> <p>Atividade 16. Execução de instalação, montagem e reparo;</p> <p>Atividade 17. Operação e manutenção de equipamento e instalação;</p> <p>Atividade 18. Execução de desenho técnico.</p>

O contexto no qual as atividades são desenvolvidas, depende da modalidade de engenharia considerada. A tabela de atividades deve ser vista como sendo uma especificação

geral do tipo de atividades que profissionais de engenharia podem executar, entretanto, sem nada dizer quanto ao nível de complexidade e nem quanto ao peso relativo de cada atividade no cotidiano da engenharia.

6.2.2 Sistema educacional

Ao sistema educacional cabe a responsabilidade de definir os padrões e procedimentos que assegurem a qualidade da educação, bem como avaliar os cursos de engenharia quanto ao atendimento dos padrões e procedimentos pedagógicos estabelecidos.

No Brasil, o papel de sistema educacional é exercido pelo Ministério da Educação (MEC), isto é, um órgão oficial do Estado, o que confere um poder de fiscalização adicional ao sistema educacional. Nem todos os países adotam o modelo estatal. Nos EUA, por exemplo o sistema educacional é constituído por agências autônomas, tais como a ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*), que reúne funções de avaliação não compulsória, norteadora das boas práticas da educação (ABET, 2003).

Diretrizes curriculares dos cursos de engenharia

Durante muito tempo os instrumentos de orientação curricular, avaliação e certificação dos cursos de engenharia no Brasil, foram baseados na idéia de currículo mínimo, que enfatizava os tópicos de conteúdo teórico e a carga horária ministrada (CFE, 1976), (MEC, 1994).

A partir de 2002, porém, foram editadas as *Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia* (DCNCE-MEC), que estabelecem um novo perfil geral dos egressos dos cursos de engenharia (MEC/CNE, 2001).

A DCNCE-MEC é um documento que tem avanços e retrocessos. Avança no sentido de relacionar as competências e habilidades que a formação em engenharia deve desenvolver, mas não faz distinção clara entre os dois conceitos. Em certos pontos também confunde competência com atividade.

Pode ser considerado um avanço o fato de não prescrever um “currículo mínimo” em termos de conteúdo e carga horária. Porém, a especificação de percentuais de carga horária divididos em conteúdos básicos, profissionalizantes e específicos, na visão pessoal do autor, mostra o quanto o Brasil paga tributos ao conservadorismo para poder progredir alguns passos rumo ao século XXI.

Pode-se ainda afirmar que a DCNCE-MEC teve forte influência dos *Crítérios para Acreditação de Programas de Engenharia nos Estados Unidos e Canadá*, editado pela ABET, denominado de EC2000, o qual define, dentre outros critérios, quais são os resultados de aprendizagem esperados, que os estudantes ao final da formação devem ser capazes de demonstrar (ABET, 2003).

A tabela 6.2 apresenta uma comparação entre a DCNCE-MEC e o EC2000 evidenciando a grande semelhança dos mesmos.

Tabela 6.2: Uma visão comparativa dos resultados de aprendizagem esperados respectivamente pelo MEC e pela ABET.

MEC	ABET
a) aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;	A) habilidade para aplicar conhecimentos matemáticos, ciência, e instrumentais à engenharia;
b) projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;	B) habilidade para projetar e conduzir experimentos, bem como analisar e interpretar dados;
c) conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;	C) habilidade para conceber um sistema, componente ou processo para atender a necessidades desejadas;
d) planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;	D) habilidade para executar função em equipes multidisciplinares;
e) identificar, formular e resolver problemas de engenharia;	E) habilidade para identificar, formular e resolver problemas de engenharia;
f) desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;	F) entendimento da responsabilidade ética e profissional;
g) supervisionar a operação e a manutenção de sistemas;	G) habilidade para comunicar-se efetivamente;
h) avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas;	H) a ampla educação necessária para entender o impacto de soluções de engenharia em um contexto social e global;
i) comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;	I) o reconhecimento da necessidade e a habilidade para engajar-se no aprendizado ao longo da vida;
j) atuar em equipes multidisciplinares;	J) o conhecimento de questões contemporâneas;
k) compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;	K) habilidade para usar técnicas, e modernas ferramentas de engenharia necessárias à prática de engenharia;
l) avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental;	
m) avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia;	
n) assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.	

Comparando-se as duas colunas da tabela 6.2, conclui-se que as DCNCE-MEC acrescentam quatro itens que não têm correspondência nos critérios EC2000 da ABET (itens d, g, h, m). Por outro lado, Os critérios EC2000 apresentam um item que não tem correspondente nas DCNCE-MEC (o item J). As observações permitem formular a seguinte conjectura: a educação em engenharia no Brasil aparentemente enfatiza mais a aquisição das habilidades técnicas que Estados Unidos e Canadá, e menos as questões humanistas.

Também confirma-se o traço conservador das DCNCE-MEC, pois as mesmas enfatizam competências em “supervisionar a operação e a manutenção de sistemas” e “avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas”, mas ignoram os avanços no campo da prevenção de falhas, tolerância a erros, e de forma mais ampla na segurança de sistemas, não se preocupando em explicitar competências nestas áreas.

A especificação do conteúdo básico, que deve representar 30% da carga horária total de um curso de engenharia, é mostrado na tabela 6.3.

Tabela 6.3: Conhecimento teórico básico preconizado pelas DCNCE do MEC.

TÓPICOS BÁSICOS
<ul style="list-style-type: none">• Metodologia Científica e Tecnológica;• Comunicação e Expressão;• Informática;• Expressão Gráfica;• Matemática;• Física;• Fenômenos de Transporte;• Mecânica dos Sólidos;• Eletricidade Aplicada;• Química;• Ciência e Tecnologia dos Materiais;• Administração;• Economia;• Ciências do Ambiente;• Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania.

Já o conteúdo profissionalizante deve ocupar 15% da carga horária total, sendo que os tópicos cobertos devem ser um subconjunto coerente daqueles que são especificados na tabela 6.4.

O restante da carga horária, ou seja, 55%, deve ser constituído por conteúdo específico e outros conteúdos. O primeiro também é um subconjunto retirado da tabela dos conteúdos profissionalizantes, porém, os mesmos devem ser tratados com maior profundidade. Os segundos, são conteúdos destinados a caracterizar a área de formação, sendo a sua especificação responsabilidade exclusiva de cada curso.

A figura 6.1 sintetiza a estrutura de um curso de engenharia, segundo as *Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia* do MEC.

Tabela 6.4: Conhecimento teórico profissionalizante preconizado pelas DCNCE do MEC.

TÓPICOS PROFISSIONALIZANTES		
<ul style="list-style-type: none"> Algoritmos e Estruturas de Dados; Bioquímica; Ciência dos Materiais; Circuitos Elétricos; Circuitos Lógicos; Compiladores; Construção Civil; Controle de Sistemas Dinâmicos; Conversão de Energia; Eletromagnetismo; Eletrônica Analógica e Digital; Engenharia do Produto; Ergonomia e Segurança do Trabalho; Estratégia e Organização; Físico-química; Geoprocessamento; Geotecnia; Gerência de Produção; 	<ul style="list-style-type: none"> Gestão Ambiental; Gestão Econômica; Gestão de Tecnologia; Hidráulica, Hidrologia Aplicada e Saneamento Básico; Instrumentação; Máquinas de fluxo; Matemática discreta; Materiais de Construção Civil; Materiais de Construção Mecânica; Materiais Elétricos; Mecânica Aplicada; Métodos Numéricos; Microbiologia; Mineralogia e Tratamento de Minérios; Modelagem, Análise e Simulação de Sistemas; Operações Unitárias; Organização de computadores; Paradigmas de Programação; 	<ul style="list-style-type: none"> Pesquisa Operacional; Processos de Fabricação; Processos Químicos e Bioquímicos; Qualidade; Química Analítica; Química Orgânica; Reatores Químicos e Bioquímicos; Sistemas Estruturais e Teoria das Estruturas; Sistemas de Informação; Sistemas Mecânicos; Sistemas operacionais; Sistemas Térmicos; Tecnologia Mecânica; Telecomunicações; Termodinâmica Aplicada; Topografia e Geodésia; Transporte e Logística

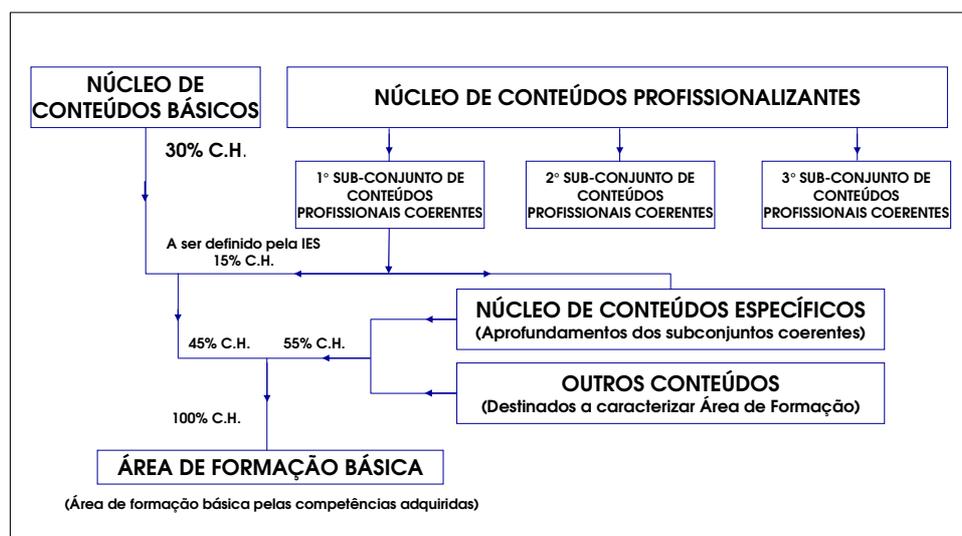


Figura 6.1: Estrutura de um curso de engenharia na visão das diretrizes curriculares do MEC. Fonte: (Giorgetti, 2007).

6.2.3 Comunidade de ensino e pesquisa em controle e automação

A engenharia de controle e automação é uma modalidade que vem se consolidando nos últimos anos como sendo um campo profissional com identidade própria, construída a partir da pesquisa desenvolvida inicialmente em áreas tradicionais da ciência e tecnologia, tais como a elétrica, mecânica, informática e a produção. É sem dúvida uma área multidisciplinar, mas isto não significa que deve ser vista como uma justaposição de conhecimentos daquelas áreas (Bruciapaglia e Farines, 1990), (da Silveira *et al.*, 1998), (Pena *et al.*, 2001).

A engenharia de controle e automação tem o caráter inegável de integração do conhecimento de áreas distintas, mas não se resume no papel do engenheiro de controle e automação a ser um integrador de tecnologias de naturezas diferentes (Bruciapaglia *et al.*, 2001).

Afirmar-se, como faz (Rodrigues, 2004), que a identidade da engenharia de controle e automação recai sobre o aspecto de “controle” pode introduzir mais confusão que esclarecimento sobre a área. A rigor, todas as engenharias e técnicas tradicionais tratam do controle de algum aspecto da natureza. Por exemplo, a elétrica tem por objeto o controle da eletricidade como fenômeno físico. O conhecimento em eletricidade permite a construção de máquinas elétricas, tais como um motor, com o qual o campo eletromagnético controlado produz torque mecânico capaz de produzir movimento.

De fato, levando em conta os interesses humanos, estudados por (Habermas, 1987), pode-se dizer que a necessidade do uso da técnica no trabalho leva ao interesse de controle, logo toda técnica está ligada de forma subjacente ao interesse de controle (Domingues, 1986).

Os objetos de estudo da área de controle e automação são os sistemas que permitem controlar os processos físicos e abstratos sem a intervenção humana (Murray *et al.*, 2003). Assim, se a intenção é de simplificar a terminologia, poderia ter-se reduzido simplesmente a denominação para “engenharia de automação”. Não sendo este o caso, o autor prefere manter explícitos os seus dois aspectos fundamentais: controle e automação.

No que é apresentado a seguir, a visão da comunidade de ensino e pesquisa é colocada na perspectiva do Departamento de Automação e Sistemas da UFSC (DAS/UFSC), cujo curso de graduação de engenharia de controle e automação foi o primeiro a ser criado do Brasil e desenvolve pesquisa de excelência na área de controle e automação.

Cursos similares (mais de setenta) existem hoje no Brasil na forma de curso de engenharia de controle e automação ou de engenharia mecatrônica.

Assim sendo, o DAS/UFSC é visto como o contexto local para concepção de um curso de engenharia de controle e automação, desenvolvido através do exemplo mostrado mais adiante.

Uma visão descritiva do perfil desejado dos egressos do curso de engenharia de controle e automação da UFSC (ECA/UFSC) é reproduzido a seguir:

O Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC visa formar engenheiros com potencialidade para atuar tanto nas empresas de engenharia e nas indústrias de produção de equipamentos e software para automação industrial, como nos setores usuários da Automação, podendo sua intervenção acontecer nos seguintes níveis:

- *automatização de processos e sistemas em setores industriais, comerciais e de serviços;*
- *modernização, otimização do funcionamento e manutenção de unidades de produção automatizadas;*
- *projeto e integração de sistemas de automação industrial em empresas de engenharia; concepção e instalação de unidades de produção automatizadas;*
- *concepção e fabricação em unidades de produção automatizada;*
- *desenvolvimento de produtos de instrumentação, controle, operação e supervisão de processos industriais. Empresas que atuam nesta área, de forte base tecnológica, precisam estar preparadas para disputar o mercado mundial;*
- *treinamento de recursos humanos em indústrias e instituições de ensino;*
- *pesquisa científica e tecnológica.*

Além disso, espera-se que o profissional formado possa também se dedicar ao desenvolvimento e gerência do próprio negócio, tornando-se um empresário. Para tanto, o engenheiro formado deverá ter uma sólida formação técnico científica e profissional geral, que o capacite a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade. Alicerçado numa formação abrangente, ele estará capacitado para exercer

ação integradora, podendo ser considerado como um Engenheiro de Sistemas orientado à concepção, implementação, uso e manutenção de sistemas automatizados. Sua formação diferencia-se, assim, daquela do engenheiro orientado a processo (mecânico, químico, elétrico,...).

Observa-se que o texto apresenta inicialmente as áreas de atuação profissional do engenheiro de controle e automação. Depois descreve os tipos de atividades que o mesmo deve ser capaz de realizar. E por fim, os atributos de habilidades, competências, que o estudante egresso deve exibir. De forma mais difusa também é possível inferir os valores e atitudes que devem ser desenvolvidos pela formação. A tabela 6.5 mostra as áreas de conhecimento que são abrangidas pelo curso de ECA/UFSC.

Com base na visão descritiva do perfil, são montadas duas tabelas para apresentar os conteúdos teóricos que são tratados no curso de ECA/UFSC (DAS, 2006). Os tópicos de conhecimento básico são mostrados na 6.6. Já os conhecimentos profissionalizantes gerais e específicos são mostrados na tabela 6.7.

Tabela 6.5: Áreas de conhecimento do curso de engenharia de controle e automação da UFSC e os respectivos tópicos cobertos em cada uma delas.

ÁREAS DE CONHECIMENTO		
SISTEMAS DE CONTROLE	INFORMÁTICA	AUTOMAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> • Modelagem de processos físicos; • Análise, projeto, síntese de controladores contínuos e discretos para sistemas realimentados lineares e não-lineares; • Técnicas modernas de controle multivariável e de otimização; • Instrumentação em controle; 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas digitais e micro-processadores; • Arquiteturas de computadores; • Controladores lógicos programáveis; • Especificação e concepção de software e de sistemas informáticos; • Linguagens de programação e sistemas operacionais; • Software em tempo real; • Sistemas informáticos distribuídos e redes de computadores; • Bancos de dados; • Inteligência artificial e sistemas especialistas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Processos de fabricação; • Elementos de engenharia do produto; • Comando numérico e programação de sistemas automatizados; • Gerência da produção, planejamento do processo; • Sistemas integrados da manufatura, modelagem e avaliação de desempenho de sistemas a eventos discretos (SEDs).

A estrutura curricular do ECA é composta pelos seguintes elementos: ciclo básico, formado pelos conteúdos básicos, tais como matemática, física, informática etc; ciclo profissionalizante, formado pelos conteúdos profissionalizantes gerais e específicos. Estes

Tabela 6.6: Conhecimento teórico básico desenvolvido no contexto do ECA UFSC.

TÓPICOS BÁSICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Metodologia Científica e Tecnológica • Comunicação e Expressão • Informática Básica • Expressão Gráfica • Matemática • Física • Fenômenos de Transporte • Mecânica dos Sólidos • Química • Eletricidade Aplicada • Ciência e Tecnologia dos Materiais • Economia e organização Industrial • Ciências do Ambiente • Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania • Introdução à ECA

Tabela 6.7: Conhecimento teórico profissionalizante geral e específico da engenharia de controle e automação da UFSC

TÓPICOS ESPECÍFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Acionamentos e Instrumentação • Métodos Numéricos • Processos, Sistemas e Controle • Automação • Informática Industrial • Robótica • Segurança

últimos são aqueles pertinentes às áreas de conhecimento em sistemas de controle, informática e automação. Estágio curricular e o projeto de fim de curso são os elementos que completam a estrutura, que é representada na figura 6.2.

6.2.4 Mercado de trabalho

De acordo com (Gama e da Silveira, 2002) o “mercado de trabalho” é uma abstração social, que comporta diferentes opiniões correspondendo a diferentes práticas e visões do mundo. Ignorar a demanda do mercado representa um risco para a concepção de um

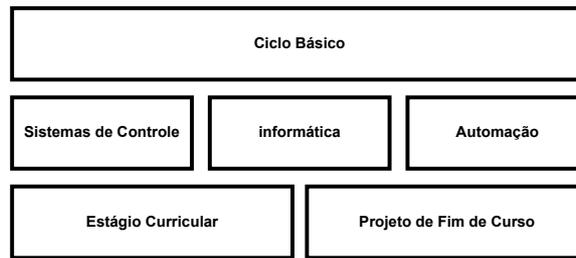


Figura 6.2: Estrutura curricular do curso de engenharia de controle da UFSC

curso de engenharia, que são profissionalizantes por definição. Por outro lado, conhecer as demandas do mercado não é tarefa fácil.

O completo conhecimento do mercado de engenharia de controle e automação vai além dos objetivos deste trabalho, no entanto, na concepção de um curso visando a sua real implementação, isto se faz necessário. Assim sendo, recomenda-se a leitura do trabalho de (Gama, 2002), o qual apresenta uma metodologia para consulta do mercado de trabalho para auxiliar no desenho de cursos de engenharia.

6.3 Concepção de um curso de engenharia de controle e automação baseado no modelo reflexivo

Nesta seção é desenvolvido um exemplo, mostrando alguns detalhes adicionais do processo de concepção de um curso de engenharia de controle e automação com base no modelo reflexivo. Os dados levantados a partir da visão dos agentes considerados na seção anterior são sintetizados no perfil profissional desejado, mostrado a seguir. O mesmo é a base para a definição dos demais componentes do currículo.

6.3.1 Perfil profissional desejado

De acordo com o modelo reflexivo, o perfil profissional desejado é uma especificação dos saberes, das áreas de conhecimento e dos atributos pessoais que os egressos de um curso de engenharia devem adquirir para atuarem num determinado conjunto de áreas profissionais.

Saberes necessários

A tabela 6.8 mostra quais são os saberes necessários aos engenheiros de controle com base nas contribuições dos agentes que influenciam na definição do currículo.

Tabela 6.8: Saberes necessários ao engenheiro da ECA UFSC.

SABERES			
CONHECIMENTO	HABILIDADES	COMPETÊNCIAS	VALORES e ATITUDES
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de Controle • Informática • Automação 	<ul style="list-style-type: none"> • aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia; • desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas; • comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica; • atuar em equipes multidisciplinares; • avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental; • avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia; 	<ul style="list-style-type: none"> • projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados; • conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos; • planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia; • identificar, formular e resolver problemas de engenharia; • avaliar criticamente aspectos de confiabilidade e segurança de sistemas; • compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais; 	<p><i>VALORES:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • honestidade • solidariedade • democracia • justiça • rigor científico <p><i>ATITUDES:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • autoconfiança • autonomia • iniciativa • liderança • cooperação • responsabilidade social • reflexão crítica • assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.

Perfil desejado

A figura 6.3 sintetiza toda discussão realizada nesta seção, indicando os elementos que especificam o perfil profissional desejado e remetendo às respectivas tabelas, nas quais são explicitados os itens pertinentes a cada elemento considerado.

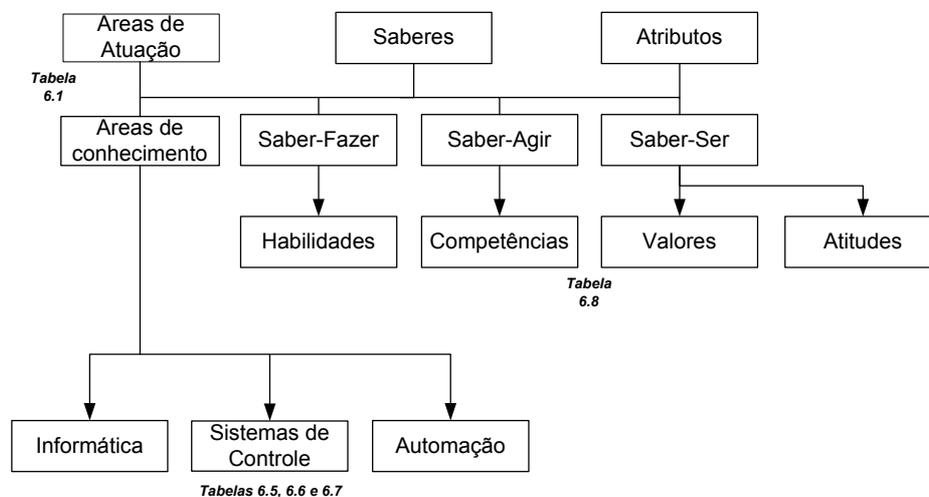


Figura 6.3: Esquema de representação do perfil profissional visado pelo curso de engenharia de controle e automação da UFSC.

6.3.2 Temas-condutores

Como já foi dito, não há um algoritmo acabado para definição de cada um dos componentes do modelo reflexivo. Além disso, a seleção de temas-condutores e de problemas de engenharia estão sujeitos fortemente ao contexto local, que implica o interesse do corpo docente, as limitações de recursos disponíveis, o que também depende da visão de mundo dos atores envolvidos.

Para efeito do exemplo, são propostos quatro temas-condutores, cada um deles endereçado a uma fase específica do curso. Com exceção da última fase do currículo, a realimentação que, por definição, tem um tema-condutor livre, que depende do contexto que cada estudante enfrenta em sua experiência no mundo do trabalho. Em outras palavras, na fase de realimentação, cada estudante desenvolve o seu próprio tema-condutor.

Atividades, tais como o seminário de apresentação dos projetos de fim de curso, que a coordenação do curso ECA/UFSC organiza todo semestre, desde a primeira turma do curso em 1994, é um exemplo de atividade de aprendizagem que pode ser utilizada como recurso pedagógico durante a fase de realimentação.

A idéia do seminário é que os estudantes apresentem seus trabalhos e o defendam perante uma banca e dos demais colegas. Além de apresentar seus próprios trabalhos, cada estudante também é convidado a ser membro de alguma banca julgadora. Assim, tem a experiência de avaliar o trabalho de seus pares.

Voltando à questão da definição dos temas-condutores, são propostos os seguintes: automação, energia, sustentabilidade, segurança. Os mesmos são condutores respectivamente das fases de, Iniciação, Construção, Aprofundamento e Expansão.

Tema condutor 1: automação

O tema “automação” desperta um grande interesse nas pessoas em geral, não apenas pelo aspecto técnico, mas também pelo fascínio que a tecnologia exerce sobre a imaginação. Tal fascínio pode ser evidenciado pelo grande sucesso que obras de ficção, tais como o livro “Eu, robô” de (Asimov, 1950), ou filmes, tais como “Tempos Modernos”, de Charles Chaplin, tiveram junto ao público.

Além do fascínio, a automação também traz inquietações sobre os impactos sociais que pode ter. Isto é, vem sendo sistematicamente observado nas discussões que ocorrem no contexto da disciplina de Introdução à ECA/UFSC. A automação é um interesse central

dos estudantes que ingressam no curso, e para a grande maioria dos estudantes, este é o aspecto sobre o qual eles desenvolvem maior expectativa em relação ao curso.

Com base nisto, justifica-se a seleção do tema, colocando o mesmo como condutor do processo inicial de formação. Esta estratégia pode ser muito eficaz inclusive para desequilibrar os conhecimentos prévios formados no contexto do senso comum e que, se não forem desafiados desde o início do curso, podem se transformar em obstáculos epistemológicos à aprendizagem, no sentido que (Bachelard, 1998) dá ao termo.

Tema condutor 2: energia

É possível pensar qualquer atividade humana na qual não esteja envolvida alguma forma de transformação de energia? Da física quântica, por exemplo, sabe-se que a presença do observador muda o observado justamente porque na observação alguma forma de energia está envolvida.

O tema “energia” possui interesse muito amplo, desde os aspectos puramente científicos, tais como aqueles que são estudados pela física, química etc, passando pelos econômicos, tais como a necessidade de conservação de recursos naturais, até as reflexões filosóficas acerca do futuro do universo.

No contexto de um curso de engenharia de controle e automação, o tema “energia” pode ser focado, além daqueles mencionados, sob o aspecto dos sistemas de controle, que manipulam e transformam a natureza da energia, tal como ocorre em um gerador de energia elétrica, em um reator químico ou em um motor de automóvel.

“Energia” é, portanto, um tema que pode contribuir substancialmente para o desenvolvimento da visão de conjunto da área de controle e automação, posto que “energia” pode ser considerado um elemento unificador de todos os sistemas do universo (Delizoicov *et al.*, 2002).

Conclui-se que “energia” pode ser um tema-condutor de uma fase, especialmente adequado à fase de construção, onde busca-se a organização do conhecimento teórico das ciências básicas e sua integração com o conhecimento teórico profissionalizante da engenharia de controle e automação, com a finalidade de formar a visão de sistema do futuro engenheiro.

Tema condutor 3: sustentabilidade

O tema “sustentabilidade” já foi explorado no exemplo desenvolvido no capítulo 4. Naquele exemplo simplificado porém, a “sustentabilidade” foi apresentada como sendo um tema-condutor num nível de abstração muito elevado para se adequar a uma quantidade grande de contextos diferentes, permitindo assim, abordar-se aspectos técnicos, humanos e sociais implicados no tema sustentabilidade.

Quando se pensa em sustentabilidade como sendo um tema-condutor de uma fase, evidentemente os conceitos que se pretende estudar através do tema, os problemas que serão tratados, e as atividades de aprendizagem a serem desenvolvidas, são restritas aos objetivos da fase. Contudo, a idéia de associar-se os aspectos sociais, ecológicos aos conceitos de controle (tais como estabilidade,) são ainda válidos.

Assim sendo, o tema-condutor “sustentabilidade” é bastante adequado para criar um ambiente onde o conhecimento, anteriormente adquirido num domínio, possa ser utilizado para adquirir conhecimento novo de outras áreas.

De forma similar, no trabalho que (da Silveira, 2003) desenvolveu para o ensino do conceito de estabilidade, o autor discute os aspectos físicos, matemáticos, e de controle que fundamentam o conceito, confrontando-o com as idéias intuitivas dos estudantes e ao conceito de homeostase, da biologia.

Tema condutor 4: segurança

A grande difusão de sistemas que funcionam de forma autônoma, isto é, sem a intervenção humana direta, coloca uma importante questão: quem garante que tais sistemas vão funcionar de forma correta, sem causar danos a usuários humanos e a outros sistemas que estão sob seu controle?

Esta é uma questão que infelizmente não tem sido suficientemente esclarecida, seja no contexto acadêmico, seja no contexto social mais amplo. Talvez por excesso de confiança na tecnologia e nos engenheiros, as pessoas comuns não atentam para situações simples do cotidiano, nas quais suas vidas ficam inteiramente a mercê de uma máquina. Porém, qualquer um que entre num elevador, aperte o botão do painel para indicar o andar desejado, no momento em que a porta se fechar, perde a sua autonomia e coloca a vida na responsabilidade do sistema automatizado. O risco de ocorrer um acidente existe.

Além do risco à integridade física, os riscos à privacidade e à identidade das pessoas

aumentam na medida em que as novas tecnologias, tais como a Internet, vão cada dia mais aproximando-se do cotidiano das pessoas, através das relações comerciais, financeiras e sociais, que se estabelecem no meio virtual.

(Murray, 2002) chama a atenção para um cenário onde a área de controle e automação está inserida em sistemas que vão desde a operação de usinas nucleares até a telemedicina. Num mundo assim, o tema “segurança” é plenamente justificado para ser condutor de uma fase de um curso de engenharia de controle e automação.

6.3.3 Conceitos organizadores

A identificação de um conjunto de conceitos capazes de cumprir o papel de ser organizadores do conhecimento na área de engenharia de controle e automação, tal como é proposto pelo modelo reflexivo, é fruto de um trabalho coletivo, que só pode ser realizado por pesquisadores com amplo conhecimento da área. Em outras palavras, requer um estudo específico e aprofundado.

São muito escassos os trabalhos que visam constituir uma perspectiva unificada para o conhecimento na área de controle e automação. Dentre os mais recentes, merece destaque o de (Rodrigues, 2004), que busca estabelecer uma visão integrada do conhecimento a partir de quatro conceitos que poderiam ser tomados como sendo conceitos organizadores fundamentais: sistema, topologia, lógica e suporte material. É um enfoque promissor do ponto de vista epistemológico, porém, do ponto de vista pedagógico, que é adotado neste trabalho, necessitaria de maior refinamento.

Do ponto de vista pragmático, assumido como uma das bases do modelo reflexivo, importa definir conceitos organizadores que sejam subjacentes à intervenção dos engenheiros no mundo. Em outras palavras, sejam imanentes da própria engenharia de controle. Sendo assim, os seguintes conceitos são assumidos como sendo organizadores:

- sistema
- realimentação
- controle
- automação
- desempenho

- estabilidade
- robustez
- confiabilidade
- projeto

Além destes, há uma grande quantidade de conceitos que adicionados aos conceitos organizadores citados formam a rede estruturada de conceitos que constitui o que vem sendo chamado neste trabalho de visão de conjunto da área de controle e automação.

Cada área de conhecimento abrangida no ensino de engenharia de controle e automação demanda um estudo detalhado para refinar os conceitos, tal como faz (Cantú, 2005) ao tratar de redes de computadores.

O suporte de ferramentas específicas que auxiliam a organização de idéias também se faz necessário no processo de identificação dos conceitos-organizadores. Como exemplo do uso de uma ferramenta na organização de conceitos de uma área restrita, pode ser citado o trabalho de (Cantú, 2005). Este autor utiliza os mapas conceituais para organizar o ensino de redes de computadores. O estudo mostra que os mapas conceituais se constituem em uma ferramenta útil e versátil, demonstrando sua aplicação desde o planejamento de ensino, passando pelas atividades de aprendizagem em sala de aula, até o aspecto da avaliação dos resultados da aprendizagem (Cantú *et al.*, 2004).

6.3.4 Problemas de engenharia

Cada fase do currículo é associada a pelo menos um problema de engenharia. Tais problemas têm como papel incentivar o estudo do conhecimento teórico e dar oportunidade de desenvolver o conhecimento prático.

Os critérios para construção de um problema de engenharia são gerados com base na característica da fase onde o mesmo é usado. Adaptações visando utilizar os recursos disponíveis e atender as restrições impostas pelo contexto local vão ser sempre necessárias.

Assim sendo, são selecionados os seguintes problemas de engenharia: sistema integrado de manufatura, na fase de Iniciação; veículo elétrico movido à energia solar, na fase de Construção; usina de produção de gás de lixo, na fase de Expansão; e um sistema de informação para saúde pública, na fase de Aprofundamento.

Sem entrar em detalhes desnecessários que prejudicariam a compreensão global do exemplo, a seguir é feita uma breve apresentação de alguns problemas de engenharia que poderiam atender aos temas-condutores definidos anteriormente, para cada fase do currículo reflexivo.

Sistema integrado de manufatura

Este problema diz respeito ao projeto e implementação de uma planta que executa tarefas de processamento de materiais, movimentação de partes semi acabadas, montagem final de produtos manufaturados e a expedição para fins de comercialização. É um problema típico de automação. Mais adiante, quando for abordada a organização da fase de iniciação, serão apresentados mais detalhes sobre este problema.

Veículo elétrico movido à energia solar

Existe forte evidência que a emissão de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis é uma das causas principais do chamado efeito estufa que provoca o aquecimento global da Terra. Diversas alternativas energéticas vêm sendo pesquisadas. Veículos elétricos movidos à energia solar são uma das alternativas que parecem ser promissoras, porém diversos aspectos tecnológicos precisam ser desenvolvidos, tais como dispositivos de armazenamento de energia de alta capacidade e baixo volume e peso, aumento de rendimento dos processos de conversão energética envolvidos etc.

Este problema de engenharia, proposto na fase de construção, oferece um incentivo ao estudo da física, desde os tópicos de mecânica, passando pela eletricidade até os tópicos mais avançados da física moderna. Assim sendo, requer o desenvolvimento do conhecimento sobre modelagem de sistemas, dando sentido ao estudo de equações diferenciais, álgebra linear e sinais e sistemas, bem como os subsídios da teoria de controle.

Usina de produção de gás a partir do lixo

O lixo produzido pelos grandes aglomerados urbanos tem sido motivo de preocupação não apenas das localidades onde os mesmos são gerados. O lixo é preocupação contemporânea global. A reciclagem dos resíduos urbanos passou, nos últimos anos, de uma questão de consciência individual a uma imposição legal em diversos países. No entanto, o metano produzido naturalmente nos aterros sanitários se dispersa no ar, atingindo as camadas

superiores da atmosfera, sendo um dos responsáveis pelo efeito estufa.

O aproveitamento do metano, através da implementação de usinas de produção de gás, de baixo custo, fácil operação, e tecnicamente seguras é um desafio instigante. O seu estudo demanda o conhecimento de sistemas multivariáveis, sistemas em tempo real, controle distribuído, dentre outros. Assim sendo, este é um problema de engenharia que oferece oportunidade de expandir o conhecimento tratado no curso de engenharia de controle e automação, no sentido de introduzir aqueles tópicos mencionados e ao mesmo tempo integrar os aspectos humanos no qual o tema-condutor da sustentabilidade pode ser associado a valores tais como a importância da preservação da vida no planeta.

Sistema de informação para a saúde pública

A eficiência do sistema de saúde de um país não depende apenas do nível de competência profissional específico de seus agentes, tais como médicos, enfermeiros, dentistas etc. Ela depende também da disponibilidade de informações confiáveis sobre os eventos que ocorrem no contexto do sistema que permite aos gestores tomarem decisões acertadas, em tempo adequado, visando preservar a qualidade de vida da população.

No Brasil, tem sido muito discutida a insuficiência de recursos alocados na saúde para atender a demanda do setor. Também é mostrado com frequência a má aplicação destes recursos escassos, o que só faz degradar o funcionamento do sistema de saúde. Faz-se necessária portanto, a implementação de um sistema que colete informações da área de saúde, tais como registro de doenças, demanda de medicamentos etc.

A complexidade deste problema, oferece uma perspectiva não usual aos estudantes de controle e automação de adquirir conhecimento em tópicos tais como, em estrutura de banco de dados, engenharia de software, redes de computadores, sistemas distribuídos, segurança de sistemas, dentre outros. Tais assuntos, mesmo tendo sido tratados em fases anteriores, através deste problema, no contexto, recebem um tratamento mais aprofundado.

6.3.5 Arquitetura do curso

A figura 6.4 sintetiza a parte da concepção do curso que corresponde à organização dos temas-condutores, dos problemas de engenharia e dos conceitos-organizadores ao longo das diferentes fases do curso de engenharia de controle e automação, baseado no modelo

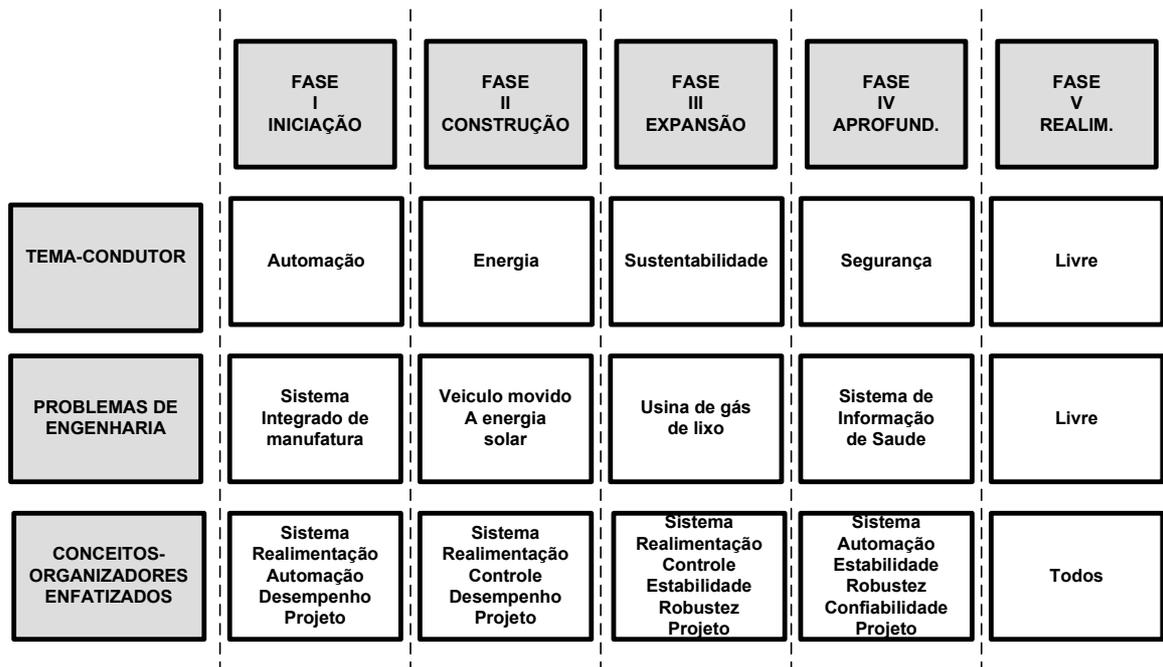


Figura 6.4: Arquitetura do curso de ECA UFSC baseado no modelo reflexivo.

reflexivo. Os blocos na vertical indicam o conjunto de componentes que constitui cada fase do curso, e na horizontal, indicam respectivamente, o tema-condutor, o problema de engenharia tratado, e os conceitos-organizadores que são mais enfatizados, em cada fase.

Na seção seguinte será refinado o planejamento da fase I, a Iniciação, cuja descrição resumida pode ser vista na primeira coluna da figura 6.4.

6.4 Organização das atividades de aprendizagem da fase de iniciação

Esta seção introduz um refinamento no modelo, visando esclarecer como é a organização das atividades de aprendizagem no contexto de uma das fases do currículo. Com este refinamento é possível demonstrar finalmente de que maneira a aprendizagem baseada em problemas (*PBL*) é integrada ao modelo reflexivo.

A escolha da fase de Iniciação é motivada pelos resultados obtidos na disciplina de introdução à engenharia, descritos em (Vallim, 2000) e mais recentemente em (Vallim *et al.*, 2006b). O último trabalho citado, consiste numa síntese do primeiro, e no início do desenvolvimento do modelo reflexivo.

As idéias de temas-condutores e conceitos-organizadores estão colocadas de forma subjacente, enquanto que a base do ensino reflexivo, que é o diálogo professor-estudantes, já se encontra incorporada na metodologia de ensino e aprendizagem desenvolvida e mostrado naquele trabalho.

O passo natural a seguir é estender a abordagem pedagógica utilizada em uma única disciplina a uma fase toda. Entretanto, com o desenvolvimento da proposta de modelo de currículo reflexivo, as idéias iniciais podem ser então incorporadas num contexto mais amplo e com diretrizes mais consistentes, porque levam em consideração a formação desejada como um todo.

6.4.1 Problema de engenharia: Sistema integrado de manufatura

A idéia original deste problema foi desenvolvida no contexto da disciplina de introdução à engenharia, porém para possibilitar a exploração de tópicos de outras disciplinas o problema modificado, introduzindo mais requisitos e envolvendo maior complexidade. especificações de custo, desempenho e segurança foram adicionadas. Exigência de justificativas técnicas fundamentadas sobre as decisões tomadas, são elementos que incentivam ao estudo de física, cálculo, álgebra, que são fundamentais para encontrar soluções otimizadas de custo e desempenho, por exemplo.

Enunciado

A empresa DUREZA INC. é líder mundial na fabricação de artefatos de aço para fins industriais e busca aprimorar sua produção. Assim sendo, decidiu automatizar uma etapa de seu processo que ainda é realizada por operadores humanos.

A etapa em questão consiste no deslocamento de blocos maciços de aço, destinados à fabricação de carcaça de motores para indústria automobilística.

Os blocos são retirados por um guindaste, ainda quentes, do setor de fundição e colocados em um vagão com capacidade para três blocos.

O vagão transporta os blocos até o ponto no qual um robô manipulador os retira e insere em um sistema de resfriamento. Neste aplica-se um tratamento térmico que garante as propriedades físicas necessárias ao material.

Recentemente a empresa adquiriu quatro subsistemas inteligentes: um guindaste, um vagão para armazenamento e transporte, um robô manipulador, e um sistema de resfriamento de blocos, para automatizar completamente a etapa de produção descrita anteriormente.

Requisitos

Neste momento a Dureza INC. tem a necessidade de que seja desenvolvido um projeto específico para integrar os subsistemas visando cumprir os seguintes requisitos:

1. A produção deve ser maximizada, ou seja, deseja-se que o número de blocos transportados por unidade de tempo seja o maior possível.
2. As perdas devem ser minimizadas, ou seja, os erros de manipulação dos blocos que acarretem em danos aos mesmos devem ser mínimos, idealmente zero.
3. O sistema de resfriamento não deve ficar ocioso, a menos que não existam blocos para serem resfriados. Por outro lado, solicitações de deslocamento do vagão não devem ser atendidas se o guindaste já estiver deslocando blocos para serem carregados no vagão. Neste caso o vagão deve ser primeiro carregado e depois atender a solicitação de deslocamento.
4. É desejável que o vagão se desloque o mais carregado possível, a menos que isto comprometa a especificação 3.
5. Um subsistema não pode obter informações sobre o estado dos demais subsistemas via sensores. Estes deverão se comunicar através de troca de mensagens enviadas por sinais codificados e transmitidas através de uma interface de comunicação “wireless” infravermelha.

A integração deverá ser realizada a partir dos quatro subprojetos existentes com as adaptações necessárias em cada subsistema para operarem de forma coordenada.

As interfaces físicas e lógicas entre cada subprojeto, bem como o protocolo geral a ser desenvolvido, deverão ser negociadas entre as empresas de engenharia em questão.

Ao final do desenvolvimento, o sistema deverá ser constituído de três fases, nominalmente: **Inicialização**: Etapa na qual o sistema efetua os procedimentos necessários para

iniciar seu funcionamento. **Fase normal:** Operação do sistema em funcionamento normal. **Terminação Parada:** Etapa na qual o sistema efetua os procedimentos necessários para terminar suas atividades.

Requisitos adicionais

O produto final será composto de:

- Protótipo implementado em escala utilizando kit de montagem “Legomindstorm®”
- Documentação de projeto contendo a descrição geral do ambiente, especificações funcionais, restrições operacionais e a descrição do protocolo de comunicação implementado e das modificações (físicas e lógicas) efetuadas em cada subsistema.
- O Documento final deverá conter plantas, desenhos, esquemas, bem como o memorial de cálculo, e considerações técnicas justificadas de todas as decisões de projeto.
- A formatação do documento deve seguir os padrões e normas técnicas vigentes.

Função de custo a ser minimizada

A solução do problema é avaliada com base na função C , a ser minimizada:

$$C = P_t \frac{T_{medido}^2}{T_{maximo}^2} + P_c \frac{C_{medido}^2}{C_{maximo}^2} + P \quad (6.1)$$

A avaliação do protótipo leva em conta três variáveis: o tempo de transporte das 3 peças, o custo da parte física do mesmo e as falhas de operação. A equação 6.1 representa a função de custo normalizada. P_t e P_c são coeficientes que expressam a importância que o contratante atribui a cada variável, atualmente ambos têm valor 10. T_{medido}^2 é o tempo que o protótipo leva para transportar 3 peças. T_{maximo}^2 é o tempo máximo admitido para um protótipo transportar 3 peças, fixado pela empresa em 2 minutos. C_{medido}^2 é o custo calculado da parte física do protótipo. C_{maximo}^2 é o custo máximo admitido para parte física de um protótipo, estabelecido pela empresa. P é a penalidade, fator que expressa a ocorrência de procedimento de segurança incompleto ou inexistente. Seu valor é calculado, considerando-se o total de falhas ocorridas no momento dos testes, valendo cada evento observado, um ponto de penalidade.

Outras informações

Outros detalhes sobre o problema, incluindo os critérios de avaliação da solução desenvolvida, tabela de custo do material disponível e os critérios de atribuição de nota ao final da atividade, podem ser vistos no anexo.

6.4.2 Saberes desenvolvidos na fase

De acordo com as características da fase de Iniciação, previamente estabelecidos pelo modelo, um conjunto de saberes é definido para serem desenvolvidos na mesma. A tabela 6.9 mostra quais são estes saberes. Para facilitar a comparação com o currículo corrente, os nomes dos tópicos de conhecimento foram mantidos conforme o projeto pedagógico atual do curso.

Tabela 6.9: Saberes da Fase de Iniciação.

SABERES			
CONHECIMENTO	HABILIDADES	COMPETÊNCIAS	VALORES e ATITUDES
<ul style="list-style-type: none"> • Introdução à engenharia • Aspectos sociais da Automação e Controle • Desenho Técnico • Física • Física Experimental • Introdução à Informática Fundamentos de Estrutura de Dados • Cálculo Diferencial e Integral • Geometria Analítica • Álgebra • Sistemas Digitais • Aspectos de Segurança em Sistemas de Controle e Automação 	<ul style="list-style-type: none"> • aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia; • desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas; • comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica; • atuar em equipes multidisciplinares; • avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental; • avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia; 	<ul style="list-style-type: none"> • identificar, formular e resolver problemas de engenharia; • projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados; • avaliar criticamente aspectos de confiabilidade e segurança de sistemas; • compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais; 	<p><i>VALORES:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • honestidade • solidariedade • ética • rigor científico <p><i>ATITUDES:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • autoconfiança • autonomia • iniciativa • liderança • cooperação • responsabilidade social

Os tópicos de conhecimento teórico necessários à resolução do problema de engenharia proposto na fase são desenvolvidos em seqüência, segundo a organização mostrada na figura 6.5.

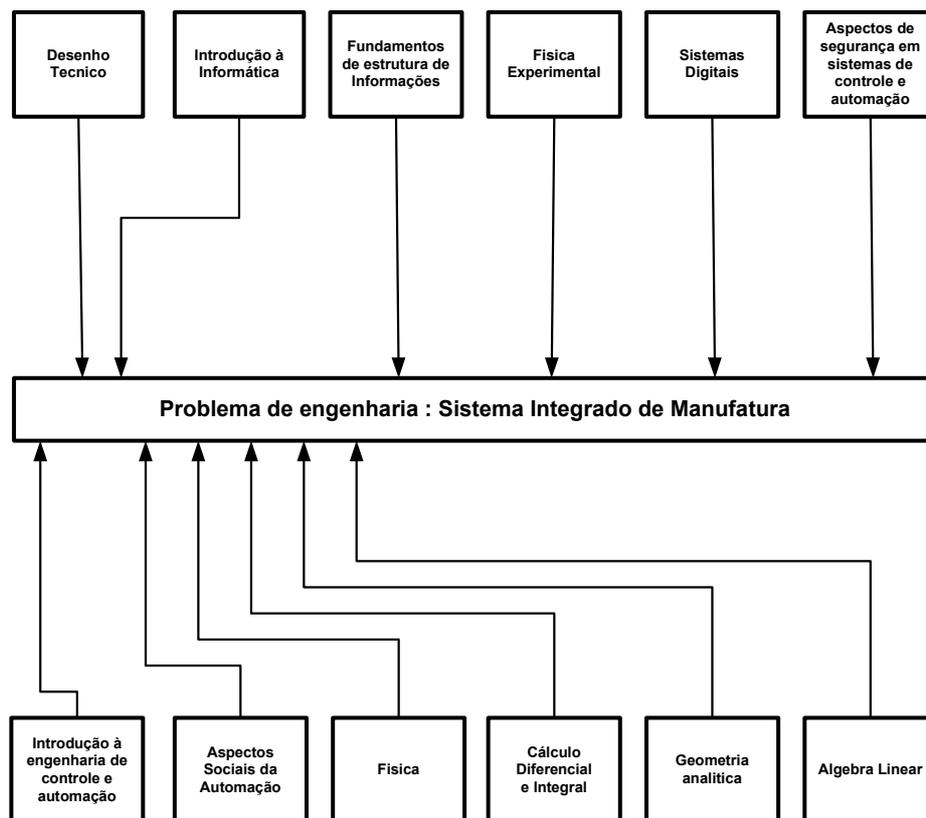


Figura 6.5: Organização das atividades de aprendizagem da fase de Iniciação

Todos tópicos são estudados através do processo PBL e seguindo o cronograma mostrado na figura 6.6. A parte do cronograma que é indicada como sendo “reunião de projeto”, refere-se portanto, ao momento no qual o estudo de um tópico determinado é discutido no contexto da execução do projeto que resolve o problema de engenharia proposto na fase.

6.4.3 Dinâmica de desenvolvimento da fase

O processo de aprendizagem baseada em problemas é desenvolvido em 7 fases (Walsh, 2005), porém isto não significa que as mesmas ocorram seqüencialmente:

1. Identificar o problema.
2. Explorar o conhecimento pré-existente.
3. Gerar hipóteses.
4. Identificar questões de aprendizagem.

5. Empreender auto estudo para aquisição de novos conhecimentos.
6. Reavaliar e aplicar o novo conhecimento ao problema.
7. Avaliar e refletir sobre a aprendizagem realizada.

A proposição de uma “situação problemática” (ou um problema de engenharia, nos termos do modelo) é apenas o ponto de partida para todas as atividades que ocorrem na fase, porém a mesma tem papel essencial para criar o envolvimento dos estudantes no processo de aprendizagem que se segue.

A característica marcante da *PBL* é dar aos estudantes a autonomia para planejar os estudos, a responsabilidade de desenvolver o plano. Outra característica é a variedade de estratégias de estudo empreendidas. No contexto do modelo reflexivo, na fase de Iniciação, a autonomia dos estudantes não é muito grande, porém a responsabilidade destes pelo desenvolvimento do plano é.

Um ciclo de *PBL* consiste tipicamente das seguintes atividades: primeiro encontro para identificação do problema; planejamento de estudos; consultorias; trabalhos de laboratório; seminários; estudo individual; estudo em grupo; tutoriais; avaliação formativa; avaliação somativa; desenvolvimento do projeto; reunião de educadores. (Dalle *et al.*, 2003).

A duração de um ciclo *PBL* é geralmente de duas semanas. A figura 6.6 mostra o cronograma de desenvolvimento das atividades citadas.

6.5 Considerações finais do capítulo

Este capítulo teve o objetivo de demonstrar em maior nível de detalhes, a aplicação do modelo de currículo reflexivo na concepção de um curso de engenharia de controle e automação. Para atingir este objetivo, o curso de ECA/UFSC foi tomado como exemplo para desenvolver um estudo de caso.

Foi necessário introduzir alguns refinamentos no modelo reflexivo a fim de esclarecer a integração dos princípios e componentes, descritos anteriormente, ao processo PBL desenvolvido em uma fase.

A dificuldade de descrever todas as fases em todos os seus respectivos detalhes levou à opção de descrever apenas uma, a de Iniciação.

ATIVIDADES DA PRIMEIRA SEMANA				
SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA
Primeiro encontro para proposição do problema	Estudo planejado	Tutorial	Tutorial	Estudo individual
Planejamento de estudo	Reunião de projeto	Trabalho de Laboratório	Reunião De projeto	Estudo em grupo
Seminário	Consultoria	Estudo Planejado	Consultoria	Validação de estudos
Estudo individual	Estudo em grupo	Estudo individual	Estudo em grupo	Avaliação formativa
ATIVIDADES DA SEGUNDA SEMANA				
Tutorial	Estudo planejado	Tutorial	Tutorial	Estudo em grupo
Consultoria	Reunião de projeto	Trabalho de laboratório	Reunião De projeto	Validação dos estudos
Trabalho De laboratório	Consultoria	Estudo Planejado	Consultoria	Avaliação somativa
Seminário	Estudo em grupo	Estudo individual	Estudo individual	Reflexão sobre a atividade

Figura 6.6: Cronograma de desenvolvimento de um ciclo de atividades PBL na fase de Iniciação.

Pelo que foi exposto pode-se concluir que o modelo reflexivo muda as bases de organização do currículo tradicional, dando autonomia e responsabilidade aos estudantes em relação a sua própria aprendizagem. Por outro lado, obriga o corpo docente e a estrutura

administrativa a interagirem como um grupo realizando a educação como trabalho coletivo. Esta é, na visão do autor, uma limitação séria do modelo: ele não funciona sem um contrato coletivo dos seus atores.

Capítulo 7

Reflexões Finais

DAS UTOPIAS

“Se as coisas são inatingíveis ...ora!

Não é motivo para não querê-las...

Que tristes os caminhos, se não fora

A mágica presença das estrelas! ”

Mário Quintana

O objetivo principal deste trabalho foi apresentar uma estrutura de referência para guiar a concepção de um curso de engenharia que visa educar profissionais capazes de ingressarem na carreira com menor dificuldade e continuar aprendendo ao longo da vida.

Buscando fundamentação teórica, identificou-se que profissionais que possuem tais capacidades são chamados de “praticantes reflexivos”, e suas capacidades são desenvolvidas em sintonia com o desenvolvimento de um tipo de talento denominado de pensamento reflexivo.

O pensamento reflexivo só pode ser desenvolvido através da ação. Em consequência, uma estrutura de referência para concepção de um currículo de engenharia foi proposta visando formar engenheiros capazes de atuarem profissionalmente através de uma prática reflexiva, ou seja, de intervir profissionalmente com base no pensamento reflexivo. Tal estrutura de referência foi denominada de modelo de currículo reflexivo.

O modelo tem suas bases pedagógicas apoiadas nas contribuições teóricas do pragmatismo de John Dewey, no ensino reflexivo de Donald Schön e no modelo de educação baseada em competências de Philippe Perrenoud. Além disto, o modelo incorpora os

princípios e processos da abordagem de aprendizagem baseada em problemas (*PBL*) como sendo um método para desenvolver de forma integrada os saberes necessários aos engenheiros reflexivos.

O modelo é constituído de princípios e componentes. Os princípios, agregam os valores que norteiam as decisões do processo de concepção. Os componentes definem os procedimentos que caracterizam o perfil profissional desejado e os saberes necessários para atender aos requisitos deste perfil.

Os componentes ainda são determinantes da organização das atividades de aprendizagem que devem ser realizadas para criar o ambiente no qual os saberes necessários são adquiridos.

O modelo reflexivo apresenta várias características originais, dentre as quais quatro são fundamentais: o uso de temas que agregam aspectos técnicos e humanistas, chamados de temas-condutores; o desenvolvimento dos saberes através da aquisição gradual de conceitos que auxiliam na formação da visão de conjunto da engenharia, chamados de conceitos-organizadores; a arquitetura do currículo em fases que leva em consideração o amadurecimento profissional dos estudantes ao longo do processo de formação; o uso do método de aprendizagem baseado em problemas, a *PBL*, para conectar os aspectos técnicos da formação aos aspectos humanistas.

Depois da apresentação formal do modelo, foram apresentados dois exemplos de aplicação do modelo. No primeiro, foi feito estudo de caso de um curso de engenharia elétrica, no qual o modelo é usado para análise de um currículo corrente. No segundo, um curso de engenharia de controle e automação é concebido como base no modelo reflexivo. Neste caso, alguns aspectos do modelo foram refinados para introduzir os detalhes necessários para uma compreensão mais aprofundada dos resultados do modelo, principalmente no que se refere ao desenvolvimento das atividades de aprendizagem.

7.1 Resultados Obtidos

A idéia de criar um ambiente adequado para adquirir conhecimento teórico e prático utilizando problemas reais de engenharia levou ao desenvolvimento de uma ferramenta de aprendizagem de sistemas de automação. A mesma é descrita no artigo “CEBE: uma plataforma de experimentação real aplicada ao ensino de sistemas a eventos discretos”

(Bouzon *et al.*, 2004), publicado no Congresso Brasileiro de Automática (CBA), realizado em setembro de 2004, em Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil.

A disciplina de introdução à engenharia ofereceu um campo de experimentação de boa parte das idéias apresentadas neste trabalho. em especial, o conceito de ensino reflexivo, a aquisição de conceitos que auxiliam na aquisição de outros conceitos e o uso da *PBL* puderam ser testados lá. Os resultados obtidos foram apresentados no artigo “Practicing Engineering in a Freshman Introductory Course” (Vallim *et al.*, 2006b), publicados na revista IEEE Transaction on Education de fevereiro de 2006.

A apresentação preliminar do modelo reflexivo foi feita no artigo “Uma Estrutura Curricular para um Curso de Engenharia de Controle e Automação” (Vallim *et al.*, 2006c), publicado no Congresso Brasileiro de Automática (CBA), realizado em setembro de 2006, em Salvador, Bahia, Brasil.

Com modificações, que tornaram mais claras algumas idéias do modelo, foi publicado o artigo “A Curriculum Framework for Undergraduate Degree in Control and Automation Engineering” (Vallim *et al.*, 2006a), no 45th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), realizado em dezembro de 2006, em San Diego, CA, USA.

Não foram ainda submetidos à publicação os seguintes resultados: os desenvolvimentos mais recentes do modelo, tal como apresentados no capítulo 4; o estudo de caso, apresentado no capítulo 5, onde se analisa o curso de engenharia elétrica da Universidade Laval com base no modelo reflexivo; a concepção de um curso de engenharia de controle e automação baseado no modelo reflexivo, conforme descrito no capítulo 6.

7.2 Dificuldades e limitações do trabalho

No caminho de desenvolvimento deste trabalho a maior dificuldade foi, sem dúvida, a falta de ferramentas e instrumentos que possibilitassem testar idéias e ajustar a proposta aos resultados obtidos. Infelizmente, é um preço a ser pago por trilhar o caminho da educação, onde os sistemas envolvidos não são facilmente modelados.

Da dificuldade registrada, chega-se a uma grande limitação da proposta. No tempo de desenvolvimento da tese, o modelo não pode ser validado diretamente e completamente sobre um caso real (por exemplo, o currículo do curso de engenharia de controle e automação). Para minimizar este problema, procurou-se sentar as bases do modelo em um

referencial teórico consolidado, e complementá-lo com idéias, métodos e procedimentos já validados em experimentos. Desta forma, buscou-se uma “validação indireta” do modelo.

7.3 Questões em aberto e perspectiva de trabalhos futuros

Apesar das limitações citadas anteriormente, o autor considera que o modelo de currículo reflexivo cumpre os três requisitos que se espera de um trabalho científico: relevância, originalidade e não-trivialidade.

O trabalho é relevante porque contribui à reflexão de um problema importante ao contexto da engenharia em geral e à área de controle em particular: dotar os estudantes de saberes que os habilitem a continuar aprendendo ao longo da vida.

A formulação de um modelo para auxiliar o processo de concepção de um curso de engenharia por si só já se constitui em um empreendimento original na área da educação em engenharia. A idéia de um processo de concepção guiado por temas-condutores e conceitos organizadores, e a arquitetura em fases que levam em conta o amadurecimento dos estudantes, são aspectos que conferem originalidade à proposta.

Finalmente, a busca da integração de saberes de natureza distinta, a valorização dos princípios na organização do currículo, e a integração dos aspectos técnicos e humanistas, além da preocupação em garantir a articulação entre a estrutura curricular e a metodologia de ensino aprendizagem, fazem da proposta uma solução não-trivial ao problema tratado.

Não obstante, é preciso reconhecer que o modelo reflexivo é uma proposta inacabada. Dentre as questões que precisam ser mais refinadas podem ser citadas as seguintes: desenvolver procedimentos mais detalhados para cada um dos componentes, visando tornar o processo de tomada de decisões mais explícito; estruturar os procedimentos de avaliação da aprendizagem nas fases; descrever as fases com mais detalhes como foi esboçado para a fase de iniciação; elaborar diretrizes mais estruturadas para construção de problemas de engenharia.

Além destes caminhos para a melhoria do modelo, uma perspectiva de continuidade do trabalho, aponta para o desenvolvimento de uma ferramenta de software para apoiar o processo de concepção de um curso de engenharia baseado no modelo reflexivo. Assim, grande parte das informações que foram armazenadas em tabelas, e processadas manual-

mente, podem, no futuro, serem processadas automaticamente, facilitando o trabalho dos envolvidos na construção de um currículo de um curso de engenharia.

Por fim, para subsidiar o desenvolvimento de trabalhos futuros, são levantadas ainda as seguintes questões em aberto, cuja discussão e aprofundamento ajudarão no refinamento do modelo:

1. Como implementar efetivamente o modelo em um curso de engenharia?
2. Como ligar conceitos teóricos e o desenvolvimento dos projetos no modelo?
3. Como manter o modelo, frente a rotina e a necessidade de propor novos projetos?
4. Como avaliar individualmente a formação do estudante?
5. Como ensinar a criatividade?
6. Como não deixar o humanismo apenas na intenção?
7. Como introduzir efetivamente a engenharia com pessoas sem grande experiência em engenharia (professores com dedicação exclusiva à academia)?
8. Como incentivar os professores a dedicarem maior atenção à formação de engenheiros em contraposição, por exemplo, ao incentivo dado para o professor pesquisador através da bolsa de produtividade do CNPq?
9. Como integrar na formação, outras atividades, tais como iniciação científica, programa de educação tutorial (PET), a Empresa Junior, etc?

Referências Bibliográficas

- AAU (2004). Study Regulations for 3rd-6th Semester for the Bachelor of Science Programme in Medialogy at Aalborg University. Relatório técnico, Aalborg University, Aalborg, Denmark.
- ABET (2003). *2004-2005 Criteria for Accrediting Programs in Engineering*. ABET Engineering Accreditation Commission, Baltimore, USA, 1 edição.
- Abumoghli, I. (2005). *Energy and Environment to Achieve the MDGs*. Bureau for Development Policy Energy and Environment Group, UNDP,, New York, NY, USA, 1 edição.
- Aguirre, E. e Raucent, B. (2002). L'apprentissage par projet...vous avez dit projet? Non, par projet! Proc. *19ème Colloque de l'AIPU*, Louvain-la-Neuve,Belgique.
- Albanese, M. A. e Mitchell, S. (1993). Problem-based learning: a review of literature on its outcomes and implementation issues. *Acad Med*, Vol. 68, No. 1, pp. 52-81.
- Altman, C. J., Turns, J., e Mannering, F. (1999). Integrating Knowledge Across the Engineering Curriculum. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, San Juan, PR, USA.
- Angotti, J. A. P. (1993). Conceitos unificadores e o ensino de física. *Caderno Brasileiro de Física*, Vol. 15, No. 1, .
- Asimov, I. (1950). *I, Robot*. Signet, New York, USA, 1 edição.
- Ausubel, D. P. (1978). *Psicologia educacional*. Interamericana, Rio de janeiro, Brasil, 1 edição.
- Bachelard, G. (1998). *La Formation de l' Eprit Scientifique*. Librairie Philosophique J. Vrin, Paris, France, 1 edição.

- Bazzo, W. A. (1998). *Ciência, Tecnologia e Sociedade: e o contexto da educação tecnológica*. Editora da UFSC, Florianópolis, Brasil, 1 edição.
- Bazzo, W. A., Pereira, L. T. V., e von Linsingen, I. (2000). *Educação tecnológica: enfoques para o ensino de engenharia*. Editora da UFSC, Florianópolis, Brasil, 1 edição.
- Bean, D. (2005). Realidade como interação com o mundo. Proc. *IV Conferência Nacional sobre Modelagem e Educação Matemática*, Feira de Santana, Bahia, Brasil.
- Besterfield-Sacre, M., Shuman, L. J., Wolfe, H., Atman, C. J., McGourty, J., Miller, R. L., Olds, B. M., e Rogers, G. M. (2000a). Defining the outcomes: A framework for ec-2000. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 43, No. 2, pp. 100–110.
- Besterfield-Sacre, M., Shuman, L. J., Wolfe, H., Atman, C. J., McGourty, J., Miller, R. L., Olds, B. M., e Rogers, G. M. (2000b). EC2000 Outcome Attributes: Definition and Use. Relatório técnico, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, Canada.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., e Krathwohl, D. R. (1979). *Taxionomia de Objetivos Educacionais. Vol. 1: Comínio Cognitivo*. Editora Globo, Porto Alegre, Brasil, 7 edição.
- Bloom, B. S., Krathwohl, D. R., e Masia, B. B. (1973). *Taxionomia de Objetivos Educacionais. Vol. 2: Domínio Afetivo*. Editora Globo, Porto Alegre, Brasil, 1 edição.
- Bobbitt, J. F. (1924). *How to make a curriculum*. Houghton Mifflin, Boston, USA, 1 edição.
- Bouzon, G., de L. C. de Oliveira, M., Lacombe, J. P. C., Vallim, M. B. R., Freitas, G., Cury, J. E. R., e Farines, J.-M. (2004). CEBE: uma plataforma de experimentação real aplicada ao ensino de sistemas a eventos discretos. Proc. *Congresso Brasileiro de Automática*, Gramado, RS, Brasil. SBA.
- Brannigan, V. M. (2003). Teaching Ethics in the Engineering Design Process: A Legal Scholar's Perspective. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Boulder, CO, USA.
- Bruciapaglia, A. H. e Farines, J.-M. (1990). Formação de Recursos Humanos em Controle e Automação Industrial. *Revista Controle & Automação*, Vol. 2, No. 4, pp. 205–213.

- Bruciapaglia, A. H., Farines, J.-M., e Cury, J. E. R. (2001). A automação no processo produtivo: desafios e perspectivas. *Revista Nexus*, Vol. pp. 28–31.
- Cantú, E. (2005). *Elementos para o fortalecimento da mediação docente na educação tecnológica: aplicação no ensino aprendizagem de redes de computadores*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Brasil.
- Cantú, E., Farines, J.-M., e Angotti, J. A. (2004). Uma Abordagem para Ensinar e Aprender Redes de Computadores Baseada em Mapas Conceituais. Proc. *XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC 2004)*, Salvador, BA, Brasil.
- CFE (1976). *Resolução No 48 de 21 de junho de 1976*. DOU, Brasília, Brasil, 1 edição.
- CONFEA (1973). *Resolução No 218 de 29 de junho de 1973*. DOU, Brasília, Brasil, 1 edição.
- CONFEA (1999). *Resolução No 417 de 05 de março de 1999*. DOU, Brasília, Brasil, 1 edição.
- CONFEA (2005). *Resolução No 1010 de 22 de agosto de 2005*. DOU, Brasília, Brasil, 1 edição.
- da Silva Telles, P. C. (1993). *História da Engenharia no Brasil - Século XX*. Clube de Engenharia /Clavero, Rio de Janeiro, Brasil, 1 edição.
- da Silva Telles, P. C. (1994). *História da Engenharia no Brasil - Séculos XVI a XIX*. Clube de Engenharia /Clavero, Rio de Janeiro, Brasil, 2 edição.
- da Silveira, M. A. (1996). Aprender a aprender e aprender fazendo: proposta para um curso de engenharia integrado. Proc. *XI Congresso Brasileiro de Automática*, Vol. 2, pp. 863–867, São Paulo, Brasil. SBA.
- da Silveira, M. A. (2001). Conceitos, sentido e competências: aplicando o ensino concorrente. *Revista de Ensino de Engenharia*, Vol. 20, No. 2, pp. 15–25.
- da Silveira, M. A. (2003). Planificação de conteúdos e de problemas: um ensaio sobre a didática do conceito de estabilidade. *Revista de Ensino de Engenharia*, Vol. 22, No. 1, pp. 33–48.

- da Silveira, M. A. (2005). *A Formação do Engenheiro Inovador*. Sistema Maxwell, Rio de Janeiro, Brasil.
- da Silveira, M. A., da Silva, C. T. C., e Neto, M. S. (1998). A engenharia de controle e automação na PUC-Rio: uma habilitação multidisciplinar. *Proc. XII Congresso Brasileiro de Automática*, Vol. 2, pp. 619–624, Uberlândia, MG, Brasil. SBA.
- da Silveira, M. A. e do Carmo, L. C. S. (1999). Sequential and Concurrent Teaching: Structuring Hands-on Methodology. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 2, No. 2, pp. 103–108.
- Dalle, D., Denis, G., Lachiver, G., Boutin, R. H. N., e Bourque, S. (2003). L'apprentissage par problèmes et par projets en ingénierie. Relatório técnico, Université Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada.
- DAS (2006). Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação. Relatório técnico, Pró-Reitoria de Ensino de Graduação, Departamento de Ensino de Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Delizoicov, D., Angotti, J., e Pernambuco, M. M. (2002). *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. Cortez Editora, São Paulo, Brasil, 1 edição.
- Delors, J. (2001). *Educação: um tesouro a descobrir. Relatório para UNESCO da comissão Internacional sobre educação no século XXI*. Editora Cortez, São Paulo, Brasil, 6 edição.
- Deluiz, N. (2001). O modelo das competências profissionais no mundo do trabalho e na educação: Implicações para o currículo. *Boletim Técnico do Senac*, Vol. 27, No. 3, pp. 13–25.
- Depresbiteris, L. (2001). Avaliando competências na escola de alguns ou na escola de todos? *Boletim Técnico do Senac*, Vol. 27, No. 3, pp. 37–48.
- Descartes, R. (1968). *Discurso do Método*. Ed. Sá da Costa, Lisboa, Portugal, 5 edição.
- Dewey, J. (1979a). *Democracia e Educação*. Ed. Nacional, São Paulo, Brasil, 4 edição.
- Dewey, J. (1979b). *Experiência e educação*. Ed. Nacional, São Paulo, Brasil, 1 edição.

- Diefes-Dux, H. A., Moore, T., Zawojewski, J., Imbrie, P., e Follman, D. (2004). A Framework for Posing Open-Ended Engineering Problems: Model-Eliciting Activities. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Savannah, GA, USA.
- Director, S. W., Khosla, P. K., Rohrer, R. A., e Rutenbar, R. A. (1995). Reengineering the Curriculum: Design and Analysis of a New Undergraduate Electrical and Computer Engineering Degree at Carnegie Mellon University. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 83, No. 9, .
- Doll-Jr, W. E. (1997). *Curriculo: uma perspectiva pós-moderna*. Ed. Artes Médicas, Porto Alegre, Brasil, 1 edição.
- Domingues, J. L. (1986). Interesses humanos e paradigmas curriculares. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, Vol. 67, No. 156, pp. 351–366.
- Dorf, R. C. e Bishop, R. H. (2001). *Sistemas de controle Moderno*. LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 8 edição.
- Droin, L. E., Simons, S. M., e Willians, M. M. (1993). A New Paradigm for Engineering and Engineering Technology Education to Renew America's Tecnology. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Washington, DC, USA.
- Fink, F. K. (1999). Integration of Engineering Practice into Curriculum: 25 Years of Experience with Problem Based Learning. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, San Juan, PR, USA.
- Fisher, P. D., Fairweather, J. S., e Amey, M. (2001). Systematic reform un undergraduate engineering education: the role of colletive responsability. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Reno, NY, USA.
- Freire, P. (1987). *Pedagogia do oprimido*. Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, Brasil, 17 edição.
- Gama, S. Z. (2002). *Novo Perfil do Engenheiro Eletricista no Início do Século XXI*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PUC-Rio, Rio de Janeiro - Brasil.

- Gama, S. Z. e da Silveira, M. A. (2002). Definindo Competências para engenharia: a visão do mercado de trabalho. *Revista de Ensino de Engenharia*, Vol. 21, No. 2, pp. 31–40.
- GEL-GIF/Laval (2005a). Guides de Études 2005-2006: Programme de baccalauréat en génie informatique. <http://www2.gel.ulaval.ca/fileadmin/documentation/enseignement/bacc/GuideGIF05.pdf>.
- GEL-GIF/Laval (2005b). Guides de Études 2005-2006: Programme de baccalauréat en génie électrique. <http://www2.gel.ulaval.ca/fileadmin/documentation/enseignement/bacc/GuideGEL05.pdf>.
- Ghiraldelli-Jr, P. (2005). *Caminhos da Filosofia*. DP&A Editora, Rio de Janeiro, Brasil, 1 edição.
- Giorgetti, M. F. (2007). Considerações Sobre a Concessão de Atribuições Profissionais. Proc. VI Congresso Nacional de Profissionais do Sistema Confea/Crea, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Gomes, A. A. e Galego, C. (2006). Emancipação, ruptura e inovação: O focus group como instrumento de investigação. *Revista Educação & Linguagem*, Vol. 1, No. 13, pp. 196–209.
- Habermas, J. (1987). *Conhecimento e interesse : com um novo posfácio*. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro, 1 edição.
- Hanifin, L. E., Eagle, P. J., e Ramirez, M. R. (1994). Greenfield: A new paradigm of engineering education, and a strategy for its rapid development, implementation, and dissemination. Proc. ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference, pp. 687–691, San Jose, CA, US.
- Heer, D., Traylor, R. L., Thompson, T., e Fieze, T. S. (2003). Enhancing the Freshman and Sophomore ECE Student Experience Using a Platform for Learning. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 46, No. 4, pp. 434–443.
- Henriques, M. S. (1998). O pensamento complexo e a construção de um currículo não linear. Proc. 21a Reunião da ANPED.

- Heyhood, J. (1997). Outcomes based engineering education i: Theory and practice in the derivation of “outcomes” a european historical perspective. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- Hiskey, T. W. (2000). Education and Careers 2000: Enhanced Skills for Engineers. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 88, No. 8, pp. 1367–1370.
- Jones-Jr, E. C. (2000). A Journey Through the FIE Bookshelf 1971-2000. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Kansas City, MO, USA.
- Kjaersdam, F. e Enemark, S. (1994). *The Aalborg Experiment: Project Innovation in University Education*. Aalborg University Press, Aalborg, Denmark, 1 edição.
- Kraus-Jr, W. (1991). Aspectos do planejamento curricular e da atividade de ensino em engenharia de controle e automação. Dissertacao (mestrado em engenharia eletrica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis - Brasil.
- Lachiver, G., Dalle, D., Boutin, N., Clavet, A., Michaud, F., e Dirand, J.-M. (2002). Competency- and Project-Based in Electrical & Computer Engineering at the Université de Sherbrooke. *IEEE Canadian Review*, Vol. , No. 1, pp. 21–24.
- Lachiver, G. e Tardif, J. (2002). Fostering And Managing Curriculum Change and Innovation. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Boston, MA, USA.
- Martin, F. G. (1994). *Circuits to Control: Learning Engineering by Designing LEGO Robots*. Tese de Doutorado, Program in Media Arts and Sciences - Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.
- Maslow, A. H. (2000). *Maslow no gerenciamento*. Qualitymark, Rio de Janeiro, Brasil, 1 edição.
- MEC (1994). *Portaria Nº 1.694 de 5 de dezembro de 1994*. DOU, Brasilia, Brasil, 1 edição.
- MEC/CNE (2001). *Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia - parecer CNE/CES 1362/2001 de 12/12/2001*. DOU, Brasilia, Brasil, 1 edição.

- Mina, M., Omidvar, I., e Knott, K. (2003). Learning to Think Critically to Solve Engineering Problems: Revisiting John Dewey's Ideias for Evaluating Engineering Education. Proc. *ASEE Annual Conference and Exposition*, Nashville, TN, USA.
- Moore, D. J. e Voltmer, D. R. (2003). Curriculum for Engineering Renaissance. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 46, No. 4, pp. 452–455.
- Murray, R. M. (2002). Control in an Information Rich World. Relatório técnico, CDS, Pasadena, USA.
- Murray, R. M., Åström, K. J., Boyd, S. P., e Stein, R. W. B. G. (2003). Future Directions in Control in a Information Rich world. *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 23, No. 2, pp. 20–33.
- Papert, S. (1988). *Logo: Computadores e educação*. Editora Brasiliense.
- Pena, R. T., Jota, F. G., e Seixas-Filho, C. (2001). A New Undergraduate Degree in Control Engineering. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 44, No. 4, pp. 399–405.
- Perrenoud, P. (1997a). Apprentissage de la citoyenneté...des bonnes intentions au curriculum caché. former les professeurs, oui, mais à quoi? Proc. *Séminaire national de l'enseignement agricole*, Toulouse, HG, France.
- Perrenoud, P. (1997b). *Construire des compétences dès l'école*. Collection Pratiques et Enjeux pédagogiques, Paris, France, 1 edição.
- Perrenoud, P. (1998a). Construire des compétences, est-ce tourner le dos aux savoirs? *Résonances. Mensuel de l'école valaisanne*, Vol. , No. 3, pp. 3–7.
- Perrenoud, P. (1998b). La transposition didactique à partir de pratiques: des savoir aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation (Montréal)*, Vol. 24, No. 3, pp. 487–517.
- Perrenoud, P. (2001). Construire un référentiel de compétences pour guider une formation professionnelle. Proc. *Faculté de Psychologie et des sciences de l'éducation, Université de Genève*, Genève, Suisse.
- Perrenoud, P. (2004). L'université entre transmission de savoirs et développement de compétences. Proc. *Congrès de l'enseignement universitaire et de l'innovation*, Girona, GI, Espagne.

- Piaget, J. (1975). *Equilibration of cognitive structures*. University of Chicago Press, Chicago, IL, 1 edição.
- Piaget, J. (1991). *O nascimento da inteligência na criança*. Guanabara, 1 edição.
- Pinto, D. P., da Silva Portela, J. C., e de Oliveira, V. F. (2003). Diretrizes curriculares e mudança de foco no curso de engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, Vol. 22, No. 2, pp. 31–37.
- Polya, G. (1945). *How To Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton University Press, New Jersey, USA, 1 edição.
- Polya, G. (1962). *Mathematical Discovery*. John Wiley, New York, USA, 1 edição.
- Poussart, D., Arias, M., Bergevin, R., Grenier, D., Rancourt, D., Tremblay, P., e Viarouge, P. (1997). Sur le développement de la formation en conception et design dans les programmes de génie électrique et de génie informatique: rapport d'étape du groupe ad hoc de design du département de génie électrique et de génie informatique. http://www.gel.ulaval.ca/poussart/design/Design_gel.htm.
- Queiroz, M. H. (2004). *Controle Supervisório Modular e Multitarefa de Sistemas Compostos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - UFSC, Florianópolis - Brasil.
- Ramadge, P. J. e Wonham, W. M. (1987). Supervisory control of a class of discrete event process. *SIAM Journal on Control and Optimization*, Vol. 25, No. 1, pp. 206–230.
- Rau, D.-C., Chu, S.-T., e Lin, Y.-P. (2004). Strategies for Constructing Problem-Based Learning Curriculum in Engineering Education. Proc. *International Conference on Engineering Education ICEE 2004*, Gainesville, Florida, USA.
- Ribas, A. F. (2004). Las líneas maestras del aprendizaje por problemas. <http://www.ub.es/mercanti/pbl.htm>.
- Ribeiro, L. R. D.-C., Filho, E. E., e Mizukami, M. D.-G. N. (2004). Uma experiência com PBL no ensino de engenharia sob a ótica dos alunos. *Revista de Ensino de Engenharia*, Vol. 23, No. 1, pp. 63–71.

- Rodrigues, A. C. G. (2004). *Um modelo para engenharia de controle no Brasil*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Brasil.
- Safoutin, M. J., Altman, C. J., Adams, R., Rutar, T., Kramlich, J. C., e James L. Friedley (2000). Defining the outcomes: A framework for ec-2000. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 43, No. 2, pp. 188–199.
- Schön, D. A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner: Toward a New Design for Teaching and Learning in Professions*. Jossey-Bass Inc., San Francisco, USA, 1 edição.
- Shuman, L. J., Atman, C. J., e et ali (2002). The Future of Engineering Education. Proc. *ASEE-IEEE Frontiers in Education Conference*, Boston, MA, USA.
- Silva, F. C. d. (2006). Habermas, Rorty e o pragmatismo americano. *Dados*, Vol. 49pp. 99 – 117.
- Steiner, C. J. (1998). Educating for Innovation and Management: The Engineering Educators' Dilemma. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 41, No. 1, pp. 1–7.
- Taylor, F. W. (1947). *The principles of scientific management*. Harper and Brothers, New York, USA, 2 edição.
- Terman, F. E. (1998). A Brief History of the Electrical Engineering Education. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 8, pp. 1792–1800.
- Traylor, R. L., Heer, D., e Fiez, T. S. (2003). Using an Integrated Platform for Learning to Reinvent Engineering Education. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 46, No. 4, pp. 409–419.
- Tyler, R. W. (1949). *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. The University of Chicago, Chicago, Illinois, USA, 1 edição.
- Vallim, M. B. R. (2000). Em direção à melhoria do ensino na área tecnológica: a experiência de uma disciplina de introdução à engenharia de controle e automação. Dissertação (mestrado em engenharia elétrica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Brasil.

- Vallim, M. B. R., Farines, J.-M., e Cury, J. E. R. (2006a). A curriculum framework for undergraduate degree in control and automation engineering. Proc. *45th IEEE Conference on Decision and Control*, San Diego, USA. IEEE.
- Vallim, M. B. R., Farines, J.-M., e Cury, J. E. R. (2006b). Practicing Engineering in a Freshman Introductory Course. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 49, No. 1, pp. 74–79.
- Vallim, M. B. R., Farines, J.-M., e Cury, J. E. R. (2006c). Uma Estrutura Curricular para um Curso de Engenharia de Controle e Automação. Proc. *Congresso Brasileiro de Automática*, Salvador, Brasil. SBA.
- Vargas, L. H. M. (2001). A Bioquímica e a Aprendizagem Baseada em Problemas. *Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular*, Vol. , No. 1, .
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1 edição.
- Walsh, A. (2005). *The Tutor in Problem Based Learning: A Novice's Guide*. Program for Faculty Development, McMaster University, Faculty of Health Sciences, Hamilton, Canadá, 2 edição.