

UMA PROPOSTA DE MELHORIA NO ENSINO DE MICROELETRÔNICA NO BRASIL

Luiz Carlos Moreira – lcm@unisantos.br

Universidade Católica de Santos
Av. Conselheiro Nébias, nº 300
11015-002 – Santos – SP

Daniel Maia Silveira – daniel.silveira@poli.usp.br

Universidade de São Paulo – Escola Politécnica
Av. Prof. Luciano Gualberto nº 158 – Trav. 3
05508-900 – São Paulo – SP

Resumo: *Atualmente a área de eletrônica movimenta cerca de US\$ 1 trilhão anualmente no mundo, ultrapassando o petróleo. No Brasil, em 2000, o país teve um déficit de eletrônica na balança comercial de R\$ 3 bilhões onde mais da metade deste valor, cerca de R\$ 1,7 bilhões, deveu-se aos circuitos integrados. Estes dados são assustadores e mostram o atraso do nosso país numa área que hoje é considerada estratégica para o desenvolvimento nacional. Um fator determinante no desenvolvimento da microeletrônica é a formação profissional e científica do engenheiro eletrônico. Este artigo tem como proposta fazer um paralelo com o modelo de ensino francês e brasileiro, identificando falhas e acertos. Também é analisado o modelo de incentivo à microeletrônica na França, denominado CNFM – Comité National de Formation em Microélectronique, e o modelo brasileiro, iniciado em 2001, denominado PNM – Plano Nacional de Microeletrônica. São feitas algumas sugestões para melhorar a eficiência e abrangência do PNM no país.*

Palavras-chave: *Microeletrônica, Ensino, Engenharia Eletrônica, PNM.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a microeletrônica movimenta somas suntuosas atingindo, em 2002, vendas globais de US\$ 140 bilhões. Tem apresentado taxa média de crescimento anual de 13,5% nos últimos 25 anos, além de projetar taxas de crescimento anual superiores a 12% nos próximos 5 anos, segundo GUTIERREZ (2004). No Brasil, entretanto, a realidade é bem diferente, porque nos encontramos entre as maiores economias do mundo e não possuímos indústrias de semicondutores para a fabricação de circuitos integrados (*foundries*). Ainda assim, o brasileiro é um ávido consumidor de produtos eletrônicos em geral (informática, telecomunicações, componentes, CIs, eletrônica embarcada, etc) e este mercado cresce cada vez mais forçando as importações e aumentando o déficit de eletrônicos na balança comercial brasileira, que foi da ordem de R\$ 3 bilhões em 2000. Segundo FERNANDES (2004), mais da metade desse valor, R\$ 1,7 bilhões, deve-se aos circuitos integrados.

Hoje em dia é possível verificar o uso desta tecnologia em todos os níveis da sociedade e em todas as faixas-etárias. Na indústria automobilística há diversas aplicações como: sensor para air-bag, sensor de temperatura, sistemas de ignição eletrônica e computador de bordo; na área médica há tomógrafos computadorizados, ressonância magnética, ultra-sons, equipamentos eletrônicos para exames laboratoriais, biochip ativo para avaliação do DNA, etc; na aviação as aeronaves são computadorizadas assim como na área marítima; para diversão e educação há brinquedos eletrônicos e vídeo-games dos mais variados tipos e tamanhos. Assim, a eletrônica faz parte de nossas vidas desde o momento em que acordamos até o momento em que dormimos e, às vezes, até mesmo durante o sono, já que muitos utilizam rádios-relógio para despertar. Isso sem falar das ciências que fazem uso de instrumentos de precisão viáveis apenas pelo uso da eletrônica. Disto tudo, conclui-se que, todos estes equipamentos são ligados a sistemas computacionais ou integrados em uma única pastilha de silício: *on-a-chip* que são circuitos integrados com funções complexas e custo muito reduzido tornando o produto mais acessível.

Para mudar a dura realidade da indústria de semicondutores no Brasil, se faz necessária a instalação de *foundries* para a produção de CIs. Entretanto, não é preciso, *a priori*, a atração de plantas avançadas como no caso de fabricantes de microprocessadores *top* de linha. Fábricas de médio e pequeno porte devem ter prioridade já que o intuito primordial deve ser agregar valor ao produto nacional e criar aos poucos, pois não poderia ser diferente, uma cultura de microeletrônica entre os engenheiros formados e em formação no país. Para mudar a realidade do país na área de eletrônica é necessário antes mudar a realidade educacional. Existem alguns focos de projetistas em pouquíssimas universidades brasileiras – e em sua maioria públicas. As universidades particulares têm maior quantidade de alunos, logo formam mais engenheiros, entretanto estes engenheiros não têm uma formação em microeletrônica. A falta de capacitação e recursos humanos são as principais barreiras para a instalação deste tipo de indústria no Brasil. É com esta visão que este artigo mostra a estrutura educacional Francesa na área da Microeletrônica e compara com o Brasil. Uma das soluções deste problema é uma mudança na grade curricular da engenharia elétrica como meio de flexibilizar o ensino de acordo com as novidades da tecnologia e da ciência, possibilitando uma melhor formação e a criação de uma cultura de microeletrônica para nossos futuros profissionais de mercado e acadêmicos. Na seção 2 mostraremos a estrutura educacional Francesa no ensino de microeletrônica, ou seja, a quantidade de laboratórios, equipamentos e pessoal. Na seção 3 discutiremos a estrutura da engenharia elétrica no Brasil e algumas mudanças no ensino. Na seção 4 mostraremos a estrutura de microeletrônica no Brasil e o PNM - Plano Nacional de Microeletrônica. E finalmente as conclusões finais deste artigo.

2. ESTRUTURA DA MICROELETRÔNICA NA FRANÇA

Por estar defasado nesta área, em 2001, o governo federal lançou o Plano Nacional de Microeletrônica-PNM que visa a formação de pessoal capacitado além de incentivar e fomentar a criação de *design houses* para o projeto de circuitos integrados. A idéia é louvável, mas é necessário aumentar a abrangência e seu campo de ação a exemplo do que fez a França. Naquele país houve uma modificação no modelo de ensino, onde os alunos interessados em ingressar nas escolas de engenharia fazem dois anos de um curso básico preparatório (nível universitário) visando uma formação científica com sólidos conhecimentos de física e matemática. Apenas os melhores alunos são aceitos nos cursos de engenharia com duração de 3 a 4 anos, onde é dada uma formação específica, seja ela em microeletrônica, telecomunicações, computação, etc. Este é um modelo mais flexível que aceita a introdução de novos conceitos científicos e tecnológicos. Há diversas salas limpas educacionais espalhadas pelo país, onde alunos de graduação fazem um estágio em microeletrônica de uma semana, conforme ilustra a fig.1.



Fig. 1 - Sala limpa educacional Francesa

Neste estágio, estudantes de diversas áreas como a química, física e engenharia elétrica têm a oportunidade de aperfeiçoar-se. Com isso, todos os alunos têm formação de alta qualidade em microeletrônica. Na França há alunos nas modalidades de engenharia + DESS-(Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées)+DEA-(Diplôme d'Etudes Approfondies) e outras. No sistema educacional Francês há diversas especializações dominantes na área da microeletrônica como: Concepção em circuitos microeletrônicos e Microsistemas; concepção; tecnologia e componentes elementares; nanoestruturas, microsistemas e hiperfrequências, além de muitas outras. A formação do engenheiro com habilidade em microeletrônica é feita no último ano de sua formação. São 512 alunos espalhados nas diversas áreas da microeletrônica. No DESS são 184, enquanto no DEA são 225 especialistas; além de 25 formados em áreas diferentes (valores para os anos de 2002 e 2003). Assim, o total de alunos de microeletrônica na França é de 946 para uma população de 59,55 milhões de habitantes. Os pólos do CNFM-**Comité National de Formation em Microélectronique** possuem forte interação com equipamentos científicos e industriais na sua região. Há também o apoio de laboratórios do CNRS-Centre National de la Recherche Scientifique e outros órgãos públicos e privados são ainda centros de recursos para investigação em microeletrônica e de serviço. Na França todos os pólos são equipados com softwares industriais de concepção de circuitos integrados, tais como o MENTOR e CADENCE, ambos para projetos “*Full Custom*”, há também softwares para projetos FPGA são disponibilizados gratuitamente para os os estudantes, assim os circuitos podem ser concebidos de forma completa e eficaz a partir dos desenhos das máscaras até o encapsulamento e teste.

O CNFM possui uma estrutura descentralizada contando com 3 pólos principais (chamados de *Lords*): **Grenoble** (CIME-Centre Interuniversitaire de Microélectronique); Paris (CEMIP - Centre Interuniversitaire de Microélectronique de Paris Ile-de-France); Toulouse (AIME - Atelier Interuniversitaire de Microélectronique), e 9 pólos especializados com equipamentos específicos para as tecnologias híbridas, para hiperfrequências ou para caracterização e teste: Bordeaux (PCB - Pôle CNFM de Bordeaux); Grand Est (**MIGREST** -

Microélectronique Grand Est : Metz-Nancy-Strasbourg); Lille (**PLFM** - Pôle Lillois de Formation en Microélectronique); Limoges (PLM - Pôle Limousin de Microélectronique); Lyon (**CIMIRLY** - Centre Interuniversitaire de Microélectronique de la Région de Lyon); Montpellier (**PCM** - Pôle CNFM de Montpellier); Orsay (PMIPS - Pôle Microélectronique Paris Sud);PACA (Marseille-Nice-Toulon); Rennes (CCMO - Centre Commun de Microélectronique de l'Ouest). Em Bordeaux, o laboratório CCESMAA dispõe de uma central de tecnologia híbrida e montagem em superfície bem como de equipamentos de análise de construção e de insuficiências dos circuitos integrados. Em Rennes o laboratório CCMO está equipado com meios de tecnologias de silício e caracterização de estruturas integradas. Além disso, ele concebe projetos de circuitos e sistemas para telecomunicações. Em Lyon, há o laboratório CIMIRLY que oferece meios de caracterização dos materiais e dispositivos bem como simulação das tecnologias e dos componentes. O Laboratório de MIGREST fornece apoio de Nancy até Estrasburgo, de trabalhos de concepção de arquiteturas de circuitos integrados analógicos e digitais para sistemas instrumentais. Na cidade de Marselha, Nice e Toulon há novos pólos (criados em Junho de 2001) cuja missão principal é desenvolver a formação inicial em microeletrônica, tanto em termos qualitativos como quantitativos. Inicialmente, as ações dos pólos são principalmente para a concepção dos circuitos integrados. Em Montpellier há o PCM no âmbito do LIRMM-(*Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier*), onde estão agrupados todos os "software" e materiais de CAD bem como os meios de teste. A cidade de Lille tem o laboratório PLFM. Ele é dotado de meios de tecnologia GaAs bem como instrumentos para concepção e caracterização os componentes e de circuitos de radiofrequência e microondas. Em Limoges o CNFM tem o laboratório PLM com postos de CAD e caracterização dos circuitos de microondas e ópticos no âmbito das suas aplicações de sistemas. Na província de Orsay, existe o laboratório PMIPS que dispõe dos equipamentos de tecnologia “fria” e “seca” e meios específicos de caracterização e de concepção de MMICs. Em alguns pólos de formação em microeletrônica existem duas equipes de estudantes: uma equipe se ocupa com a área de processos e a outra com projetos. A equipe de processos utiliza sala limpa e equipamentos de precisão e a equipe de projetos utiliza softwares adequados e computadores para desenhar os circuitos integrados.

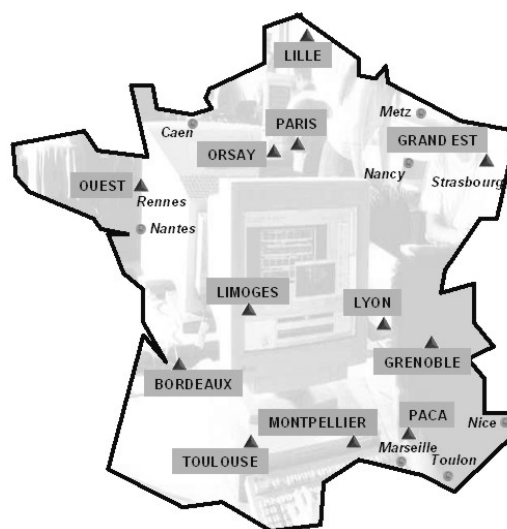


Fig. 2 - Pólos de Microeletrônica na França.

3. A ENGENHARIA ELÉTRICA BRASILEIRA

A engenharia elétrica no Brasil surge com as primeiras instalações telegráficas por volta de 1852 e a instalação da primeira linha telefônica em 1878, no Rio de Janeiro, na época

capital do império, um ano depois de D. Pedro II ter presenciado a primeira experiência feita por Graham Bell. A primeira localidade a receber iluminação pública eletrificada foi a cidade de Campos-RJ em 1883, e a primeira localidade a ter iluminação pública fornecida por uma usina hidrelétrica foi a cidade de Juiz de Fora-MG, em 1889. O Brasil também é berço de inventores na área da eletricidade e entre eles, merecedor de destaque e pouco conhecido, está o Padre Roberto Landell de Moura, físico e engenheiro, que fez a primeira transmissão de voz sem fio em 1900 a uma distância de 8km na Avenida Paulista cidade de São Paulo. Diferente do que muitos acreditam, não foi Guglielmo Marconi o primeiro a fazer tal experimento. Perdeu-se nesta ocasião a oportunidade de criarmos uma cultura voltada para a tecnologia e o desenvolvimento científico. Este é um problema que tem se repetido há muitas décadas, colocando o país atrás dos acontecimentos importantes da história e deixando-nos à margem do desenvolvimento. Entretanto, muitos de nossos engenheiros possuem competência ímpar e com isso fomos capazes de construir e operar, com tecnologias nacionais, grandes usinas hidrelétricas, centrais de força, usinas termelétricas, redes de distribuição e outras tantas conquistas da engenharia elétrica. Entretanto, nos falta, conquistar aquilo que hoje é considerado uma das portas de entrada para o conjunto de países desenvolvidos: a auto-suficiência na fabricação de tecnologia de microeletrônica. Esta conquista ajudará o Brasil a desenvolver seu parque industrial (independente do setor) e impulsionará a economia de forma semelhante aos países desenvolvidos. Para isso devemos começar com uma melhoria na formação de pessoal especializado através de mudanças significativas no ensino da engenharia elétrica. A nova resolução CNE/CES 11 (2002) institui no artigo 3º que as diretrizes curriculares dos cursos de graduação em engenharia tem a finalidade de formar um profissional com característica generalista, humanista, crítica e reflexiva. Para isso, instituiu que os cursos de engenharia devem ter disciplinas de formação básica, profissionalizante e específica em seus currículos, sendo que 30% são de formação básica, 15% de formação específica e o restante deverá completar e aprofundar o núcleo de disciplinas profissionalizantes, bem como outros conteúdos do curso de engenharia. A diferença entre esta nova resolução e a anterior 48/76 é que na anterior havia uma carga horária mínima específica para cada tipo de formação incluindo as horas de laboratório. Apesar das enormes mudanças na nova resolução ainda estamos atrelados a um tipo de formação pouco flexível comparado a outros sistemas educacionais. Este modelo de ensino forma um engenheiro demasiadamente generalista com deficiências profundas de conhecimentos específicos, já que não é possível conhecer sobre tudo. Por exemplo, nas disciplinas de formação básica temos: Comunicação e Expressão, Expressão Gráfica, Informática, Química e outras de formação básica. Estas disciplinas devem ser fundamentadas no ensino médio, de onde o aluno deve vir com uma preparação mínima para enfrentar um curso superior. Muito tempo tem sido perdido com disciplinas como a de química que costuma ocupar os dois primeiros semestres dos cursos de engenharia elétrica e, em geral, não passa de uma revisão da química ensinada no ensino médio. Já disciplinas como, por exemplo, Mecânica dos Solos e Resistência dos Materiais não agregam nenhum conhecimento relevante para a vida profissional do engenheiro elétrico, e outras como Ciência e Tecnologia dos Materiais e Fenômenos de Transporte deveriam ter seus conteúdos voltados para a formação deste engenheiro. Por exemplo, na ciência dos materiais é necessário estudar materiais isolantes, condutores e semicondutores; em fenômenos de transporte deve ser realizado o estudo de transmissão de calor em materiais elétricos, balanço global de massa em semicondutores, fluxo de cargas elétricas em meio semicondutor, etc. No modelo atual, tais disciplinas não formam um pensamento específico, mas um pensamento muito abrangente e muitas vezes desnecessário para a formação deste profissional. Continuar com este modelo educacional é condenar os nossos futuros engenheiros a uma formação deficiente e, conseqüentemente, ao desemprego, pois não existe um profissional que consiga realizar várias especialidades com qualidade. Portanto, há necessidade de um profissional que conheça bem de uma especialidade. Acreditamos que a carga horária excessiva e abrangente dos cursos de engenharia requer do

aluno maior esforço, o que não significa mais conhecimento adquirido e assim ele fica obrigado a abrir mão de várias outras coisas como sua hora de descanso e lazer para não atrapalhar o andamento de sua graduação. O aluno acaba apenas por decorar o conteúdo das disciplinas, sabe apenas o necessário para não ser reprovado sem necessariamente entender o que está fazendo. Em decorrência disso, começa a esquecer tudo o que lhe foi passado em sala de aula pouco tempo depois. Com uma carga horária menor e mais específica, o aluno passa a ter tempo para assimilar o que aprendeu na sala de aula, além de ter seus conhecimentos reforçados por aulas de laboratório, palestras e visitas técnicas.

Nas universidades particulares, além do problema com a estrutura curricular, a falta de professores mestres e doutores ou a contratação deles apenas como “horistas”, acaba com qualquer tentativa de se iniciar um grupo de pesquisa, deixando de oferecer ao aluno a oportunidade de se desenvolver. A falta de titulação não significa que o professor não seja capaz de transmitir o conteúdo da disciplina, mas acreditamos que a pós-graduação amplie a visão do professor colocando-o nos limites do conhecimento. Por outro lado, como ponto forte, estas instituições possuem uma boa estrutura física e de laboratórios, porém o acervo de suas bibliotecas é limitado, prejudicando muito os estudantes. Um outro desafio nas instituições particulares é ter que ensinar no ciclo básico da graduação o que os alunos deveriam ter aprendido no ensino-médio, a ponto de muitas destas universidades se sentirem forçadas a criar “cursos de nivelamento” na tentativa de dar alguma base aos alunos que ingressam nas engenharias. Além disso, existem os “cursos preparatórios” para o “provão” (Exame Nacional de Cursos – ENC), demonstrando que há pouca qualidade no ensino. É evidente que essa realidade pode ser modificada, bastando que haja vontade e empenho por parte das pessoas responsáveis pelas políticas educacionais no Brasil.

4. ESTRUTURA DA MICROELETRÔNICA NO BRASIL

A eletrônica no Brasil começou na década de 1960 com atividades acadêmicas e industriais e com uma defasagem de aproximadamente catorze anos em relação aos EUA, nesta época foi instalada a fábrica de diodos e transistores da companhia Philco em nível industrial. Alguns anos mais tarde o Laboratório de Microeletrônica da Universidade de São Paulo produz um “*Waffer*” com vários transistores e na década de 1970 produz o primeiro circuito integrado no Brasil. Temos, então o início da microeletrônica no Brasil. Atualmente, a América do Sul apresenta o seguinte panorama de instituições que faziam uso da microeletrônica: no Chile tínhamos o Laboratório da Universidade de Santiago que fazia pesquisa em transistores *BJT* (*Bipolar Junction Transistor*) e *MOS* (*Metal Oxide Silicon*), mas atualmente encontra-se fechado. Na Venezuela o *Instituto de Investigaciones Científicas* que permaneceu ativo entre 1970 e 1982 atualmente está fechado. Na Argentina temos a Universidade de Mar Del Prata com um laboratório modesto, podendo fabricar estruturas de transistores *MOS* simples. No Brasil temos os seguintes laboratórios de microeletrônica: na Universidade de São Paulo com o Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) e Laboratório de Microeletrônica (LME) que também podem fabricar pequenas estruturas de transistores *MOS*, na Universidade Estadual de Campinas com o CCS (Centro de Componentes Semicondutores). As demais universidades são: UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFPe - Universidade Federal do Pernambuco, UnB Universidade de Brasília, UFRJ- Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina. Entre todas estas universidades temos apenas 3 salas limpas com condições de implementar transistores. Entretanto, para a implementação de circuitos integrados educacionais temos apenas o CCS da UNICAMP com capacidade de aproximadamente 100 componentes (transistores) com largura de canal de 2 μ m. Ele está instalado numa área construída de aproximadamente 1200 m², sendo que 50% da área é de laboratórios. Também há uma infraestrutura administrativa (Coordenadoria e Secretaria) e infraestrutura para apoiar o processo como: Oficina Mecânica, Oficina de Manutenção, Oficina de Serviços Eletrônicos, Sala de Desenhos e Projetos, Sala de computadores e estações de trabalhos, Almoxarifado,

Biblioteca, Sala de Reuniões e Seminários e 12 salas para pesquisadores e pessoal que lá trabalham CCS(2004). Os equipamentos para as atividades de laboratórios são: Sistema de distribuição dos gases principais utilizados nos processos; ar comprimido; água comum deionizada. Possui 120 m² em salas limpas, sendo 25 m² em salas de classe de limpeza 100 , 50 m² em salas de classe 1000 e 45 m² em salas de classe 10000, onde está instalado o implantador de ions, sistema de exposição por feixes de eletrons, stepper e foto-alinhadoras. No restante das áreas normais dos laboratórios, encontram-se evaporadoras, estufas, fornos de oxidação e recozimento, capelas químicas, salas de medidas, etc. Na fig.3 (a) pode se ver um implantador de ions e na 3 (b) projetos de máscaras implemenmtadas pelo CCS. Esta sala limpa comporta uma quantidade de 12 alunos para processos.



Fig. 3 - Sala limpa do CCS: (a) Implantador de Ions; (b) Desenho de Máscaras.

Na Universidade de São Paulo temos duas salas limpas um é o LSI-Laboratório de Sistemas Integraveis e o outro o LME-Laboratório de Microeletrônica. Ambos os laboratórios tem pequenas equipes de processos e projetos de circuitos integrados. Eles também podem receber alunos para estágio de graduação ou cursos de extensão. Nestes laboratórios processos básicos são desenvolvidos e integrados para obter sistemas micro-eletromecânicos e dispositivos simples de microeletrônica e ópticos, além disso realizam-se pesquisa e desenvolvimento fisico, químico e elétrico em função de processos para microeletrônica. Também há simulação, caracterização elétrica e modelamento de dispositivos SOI-Silicon-On-Insulator.



Fig. 3 - Sala limpa do LSI : (a) Plasma etching; (b) Evaporador para metalização.

O LSI tem uma área de 70 m² de sala limpa classe 10.000 para o processo de circuito integrado, 100 m² para caracterização física e elétrica e 100 m² para processos de equipamentos. Logo, a área total disponível é de 300m² LSI(2004). O LME-Laboratório de Microeletrônica ocupa uma área de aproximadamente 2000m². As atividades do LME incluem: áreas de processos de microeletrônica, projetos de circuitos integrados, dispositivos de silício amorfo, polímeros, circuitos integrados híbridos, testes e caracterização de dispositivos LME(2004).

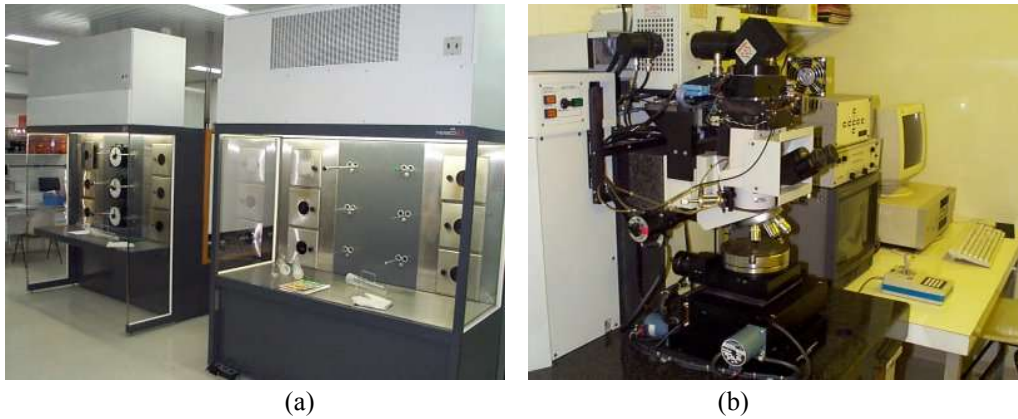


Fig. 4 - Sala limpa do LME: (a) Forno de difusão; (b) Gerador de Padrões.

Também há pequenos grupos de projetos de circuitos integrados em algumas universidades com os seguintes equipamentos: A II/UFRGS possui 10 estações de trabalho SUN e 20 computadores PC. Ferramentas de CAD: Cadence, Mentor, Synopsys, MaxPlus2 Altera, Foundation Xilinx, Tanner e ferramentas próprias. Testes: 1 sistema de parâmetros de semicondutores HP4145, 1 sistema de microponteiras, osciloscópio de amostragem de alta frequência, gerador de funções até 3 GHz.



Fig.5 - Pólos de Microeletrônica no Brasil.

O Grupo DELET da UFRGS dispõe de infraestrutura para projeto de hardware: sistema de prototipação FPGA, equipamentos de teste, testador JTAG, conjunto de equipamento para processamento digital de sinais e imagens e kits DSP. Tem à disposição ferramentas de software para prototipação de DSP (como MatLab) e ambientes para desenvolvimento de aplicações em microcontroladores. O Grupo ENE da UnB dispõe de 4 estações SUN (SunLX, Sun Sparc e Ultra Sparc) e 2 Estações Pentium II Unix. Ferramentas de CAD: Cadence Design Systems, Synopsys e Mentor Graphics, SIMON e MOSES. Medidas: em RF para até 40 GHz, Laboratório de Prototipagem de Circuitos Impressos até a faixa de Microondas; dispõe de reator a plasma (RF, 13,56 MHz). O grupo LCI/DEE/UFSC dispõe de fotoalinhadora, spinner, capelas químicas e evaporadora para filmes de Al, Au e Cr. O Grupo LPC/UFRJ possui apenas ferramentas para projetos de circuitos integrados. Estes são todos os

equipamentos no Brasil para microeletrônica. Disto tudo podemos concluir que os locais adequados para fabricar um circuito integrado são o CCS, LSI e LME, entretanto eles estão muitos atrasados em relação ao âmbito mundial. A atual situação que o Brasil está atravessando não permite a aquisição de uma sala limpa avançada de US\$ 4 bilhões para a produção de circuitos integrados para processos 0,18 μ m ou menor, mas é necessária a aquisição de uma sala não tão avançada com tecnologia bipolar e *MOS-Metal Oxide Semiconductor* de 0,8 μ m ou 0,5 μ m. Este tipo de sala pode ser adquirido com um custo bastante reduzido junto a fábricas que estão desativando este tipo de processo e pode ser transformada em sala limpa educacional e para implementação de circuitos integrados, onde todos os alunos podem fazer estágios de microeletrônica em suas dependências, incluindo os alunos das universidades particulares. Em um futuro próximo, será instalada na UFRGS uma planta para a fabricação de dispositivos semicondutores usando tecnologia e equipamentos cedida pela Motorola. O terreno já existe e o prédio está em fase de projeto, o local será a referência nacional para os integrantes de grupos de microeletrônica e receberá o nome de CEITEC (Centro de Excelência em Tecnologia Eletrônica Avançada). Além de todos esses laboratórios, ainda há outros que constroem dispositivos eletrônicos com o intuito de usá-los para estudos físicos tais como o IF-USP(SP) que constrói dispositivos de GaAs, IFQ-USP (SC), DF-UFGM(BH), PUC(RJ), e dois laboratórios que implementam transistores de silício: IF-UFRGS(RS) e DF-UFPe(PE).

Projetar circuitos integrados não deve ser uma exclusividade de países de primeiro mundo; é uma questão de necessidade e de defesa da soberania nacional. Pensando nisso, foi criado o Plano Nacional de Microeletrônica – PNM como um esforço político de alavancar a instalação de indústrias de microeletrônica aliado a um plano acadêmico de formação de recursos humanos especializados.

No âmbito da educação o PNM estipulou metas para a formação de engenheiros, mestres e doutores em microeletrônica (Tabela 1), baseado em levantamento parcial de pessoal formado na área, como ilustra a Tabela 2.

Tabela 1 – Metas do PNM

Alunos/ano	Situação Atual	Alvo Inicial
Eng. Sensibilizados	50	5000
Eng. c\ Especialização	122	1000
Mestres	59	300
Doutores	28	100

Fonte:SWART (2001).

O que se vê na Tabela 1 é um imenso abismo entre a realidade (número de profissionais nos dias de hoje) e as metas que se deseja alcançar. Está muito claro que a procura de alunos de graduação pela área de microeletrônica está muito abaixo do esperado e, por esta razão, não há uma realimentação nos cursos de mestrado e doutorado. Sem alunos, estes cursos ficam vazios, os recursos financeiros diminuem (já que a produção científica é muito reduzida) e a formação de RH fica comprometida. As universidades públicas, por excelência, detêm um papel fundamental na formação desses recursos humanos, no entanto é preciso lembrar que as instituições particulares graduam a grande maioria dos engenheiros e o apoio do PNM para algumas destas universidades, mediante certos pré-requisitos, seria uma forma de incentivá-las a melhorar a qualidade do ensino. Algumas poucas instituições privadas têm se esforçado neste sentido, mesmo sem receber qualquer apoio. Um exemplo disto é a Universidade Católica de Santos – UniSantos, que já possui um elenco de disciplinas de microeletrônica em sua grade curricular (apesar de ter que seguir o modelo inflexível já discutido antes) e está prestes a criar o seu “*Centro de Formação de Projetistas de Microeletrônica*” – CFPM para gerar recursos humanos, oferecer cursos de extensão universitária e criar uma cultura de pesquisa em microeletrônica (nos cursos de engenharia e

ciências da computação) visando, no futuro, a abertura de um curso de mestrado. Acreditamos que o PNM precisa incentivar a criação de novos grupos em instituições emergentes para disseminar o conhecimento de microeletrônica como forma de descentralizar a informação, para promover diálogo entre os grupos e dar a oportunidade de surgimento de novas lideranças no setor de pesquisa.

Tabela 2 – Descrição de formandos por instituição.

Instituição	Tecnólogo	Bacharel	Mestre	Doutor	Total
UFRGS		20	11	4	35
UFSC			2	1	3
FATEC	24				
EPUSP		17	13	8	38
UNICAMP		10	8	5	23
ITA&INPE			1		1
UFRJ		5	3	3	11
EFEI		14	3		17
UFPE		5	3	1	9
UnB		6	4	1	11
UNESP		23	2		25
UFMG		5	3	1	9
UFBA(JP)		4		1	5
UFRN			1	1	2
UFSM					
CEFET-PR					
PUC-RS					
UFES		3	3	2	8
UFC					
Total	24	122	59	28	233

Fonte: SWART (2001).

É importante que o PNM não restrinja o desenvolvimento da microeletrônica apenas a alguns poucos grupos já estabelecidos, mas que crie condições para novos grupos e novas idéias. Desta forma, podemos concluir que o Brasil com uma população de 179 milhões de habitantes está mais estruturado em comparação aos outros países da América do Sul quanto ao ensino da microeletrônica. Entretanto, quando comparado com o EUA onde se estima em 30 a 100 laboratórios acadêmicos para uma população de 276 milhões de habitantes, percebe-se que existe um atraso muito grande em nosso país. Comparar o desenvolvimento da microeletrônica no Brasil com os EUA é muito difícil em decorrência desta defasagem, sendo assim, resolvemos comparar o desenvolvimento entre Brasil e França, pois esta última tinha a mesma capacidade que o Brasil há uns 20 anos atrás. Hoje, a França está muito mais avançada (conforme descrito anteriormente) no ensino de microeletrônica e na indústria do que o Brasil, apesar de ter começado nas mesmas condições.

5. CONCLUSÕES

Atualmente o Brasil não possui uma boa estrutura de microeletrônica, tanto na indústria como na educação, em contra partida com o sistema Francês descrito anteriormente que desobriga o ensino superior de oferecer uma formação muito. O intuito não é acabar com o atual ensino de engenharia, mas atualizar seu propósito (de forma engenheiro generalista) e oferecer também uma opção para uma formação específica. A formação generalista seria para o profissional chamado apenas engenheiro, sem nenhuma especialização, somente para ocupar cargos administrativos que exijam o mínimo de conhecimento específico ou para aqueles estudantes que ainda não decidiram por uma certa área. Por outro lado, teríamos também um

engenheiro cuja grade curricular seria toda voltada para a formação específica, sem esquecer que para este profissional é importante conhecer sobre meio-ambiente, ética, filosofia e biologia, entre outras, em cursos a serem oferecidos em nível de extensão universitária e de cunho opcional. O ensino de microeletrônica no Brasil, deve seguir uma nova sistemática, focada no projeto de circuitos integrados, cujo caminho é viável para todas as universidades brasileiras sejam elas federais, estaduais ou particulares. Esta idéia precisa ser desenvolvida em nosso país se quisermos progredir na área da eletrônica, contudo devemos estar conscientes de que as fábricas avançadas de CI's não devem ser, no momento, a maior preocupação devido a atual situação financeira que o país atravessa; a instalação destas fábricas pode ficar para uma segunda etapa. A primeira etapa deve ser uma reforma educacional nas áreas de engenharia elétrica, eletrônica, computação e ciências da computação com a participação e o apoio do PNM.

REFERÊNCIAS

CCS – Centro de Componentes Semicondutores. Universidade Estadual de Campinas – SP. <http://www.ccs.unicamp.br>, consultado no dia 01 de junho de 2004.

CNE, Resolução CNE/CES 11/2002. Diário Oficial da União, Seção 1, p. 32, Brasília, 9 de abril de 2002.

CNFM – Comitê National de Formation en Microélectronique. Centro de Pesquisas Científicas – França. <http://www.cnfm.fr/FormationSpecialiste.html>, consultado no dia 25 de maio de 2004.

FERNANDES, M.N. “Microeletrônica: Milhões de Caminhos”. Jornal A Tribuna, Caderno de Ciência e Meio Ambiente, p. D-3. Santos, 10 de maio de 2004.

GUTIERREZ, R. M. V; LEAL, C. F. C. Estratégias Para uma Indústria de Circuitos Integrados no Brasil. Departamento da Indústria Eletrônica – BNDES. Brasília, janeiro de 2004.

LME – Laboratório de Microeletrônico. Universidade de São Paulo – SP. <http://www.lme.usp.br>, consultado no dia 26 de maio de 2004.

LSI – Laboratório de Sistemas Integráveis. Universidade de São Paulo – SP. <http://www.lsi.usp.br>, consultado no dia 26 de maio de 2004.

SWART, J. W. Plano de Formação de Recursos Humanos em Microeletrônica. Plano Nacional de Microeletrônica – Acadêmico. Outubro de 2001.