

Engenharia do Produto

AULA Desenvolvimento da Tecnologia



Favor colocar o seu celular no modo silêncio!

Não usar eletrônicos em aula!



Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

A microeletrônica apresenta uma história longa num período muito curto. Como fatos históricos mais marcantes temos o descobrimento do efeito transistor em 1947 na Bell Labs e o desenvolvimento do processo planar para a fabricação de CI's (circuitos integrados) em 1959 na Fairchild, resultando nos primeiros CI's comerciais em 1962. Assim, a idade do CI's é de apenas aproximadamente 68 anos.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Apresentou um crescimento de mercado de aproximadamente 16% anuais em média durante as suas 4 décadas iniciais de vida. Este alto crescimento, inigualável em qualquer outra área econômica, fez com que a eletrônica se tornasse hoje o maior mercado mundial, de valor total anual de aproximadamente 1 trilhão de dólares (maior que o da indústria automobilística e do petróleo por exemplo).

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Ela produziu uma nova revolução na história humana, alterando profundamente todas as atividades humanas. A importância da área é tamanha, que podemos chamar a nossa era como a “idade do silício”, dado ser o silício o material básico para a fabricação dos “chips” e outros dispositivos. Isto em alusão à prática comum histórica de classificar as sociedades pela sua habilidade em manipular e usar predominantemente um dado material (idade da pedra, do bronze, etc.)

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

A tecnologia de microfabricação foi desenvolvida inicialmente visando aplicações de microeletrônica (dispositivos discretos e circuitos integrados). Além da imensa evolução havida na tecnologia de microfabricação, chegando-se mesmo à tecnologia de nanofabricação, hoje ela extrapola sua área de aplicações, incluindo a seguinte lista:

- Dispositivos e circuitos integrados eletrônicos
- Dispositivos e circuitos integrados optoeletrônicos
- Estruturas e circuitos fotônicos
- Dispositivos tipo microssensores e microatuadores
- Estruturas e dispositivos de micromecânica
- Estruturas para biologia.
- Fabricação e montagem de placas de circuitos impressos

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

No século 19, pouco se sabia a respeito de semicondutores e muito menos de dispositivos feitos com estes materiais. Houve, no entanto, alguns trabalhos empíricos. É o caso da invenção do retificador a estado sólido, apresentado por F. Braun, em 1874.

O início do século 20 por sua vez foi fundamental para o desenvolvimento da microeletrônica, pois houve um enorme progresso na teoria física, com o desenvolvimento da mecânica quântica, por Bohr, de Broglie, Heisenberg, Schrödinger e outros, notadamente durante os anos 20.

Em 1928, Lilienfeld, um homem muito à frente do seu tempo, patenteou a ideia de modular a condutividade de um semicondutor por meio de um campo elétrico, chamado como dispositivo de efeito de campo.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

No ano de 1936 a Bell Labs decide criar um grupo de pesquisa específico para estudar e desenvolver dispositivos semicondutores, com o objetivo de fabricar o transistor de efeito de campo. Um outro grupo bastante ativo nesta área e que contribuiu significativamente com o trabalho na Bell Labs era o grupo da universidade de Purdue. Em 1940, R. Ohi identifica pela primeira vez semicondutores de Si tipo p e tipo n. No mesmo ano, J. Scaff e H. Theuerer mostram que o nível e o tipo de condutividade do Si é devido à presença de traços de impurezas.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Em meados dos anos 40, ao final da II Guerra mundial, o status da eletrônica era baseado nos seguintes dispositivos básicos:

- Válvulas termiônicas, que apresentavam as seguintes características: muito frágeis, caras e alto consumo de potência.
- Relés elétrico-mecânicos, que por sua vez eram de comutação muito lenta.

Estas limitações destes dispositivos motivaram o reinício da pesquisa e desenvolvimento de novos dispositivos a estado sólido. Assim, em 1946, a Bell Labs recria seu grupo de pesquisa em estado sólido, agora sob liderança de William Shockley, concentrando esforços na pesquisa dos semicondutores Ge e Si e de transistores de efeito de campo.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Persistindo na pesquisa da invenção do FET, Bardeen e Brattain descobrem por acaso o efeito de transistor bipolar, em final de 1947, mais precisamente em 16 de dezembro.



Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

O transistor era constituído por uma base de Ge tipo n (contato de base pelas costas da amostra) e duas junções de contato tipo p na superfície, sendo um de emissor e outro o coletor, feitos um próximo ao outro. Após os cuidados necessários para patentear o invento e convencer o exército americano, que queria mantê-lo como segredo, a Bell Labs o anuncia publicamente em junho de 1948.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

O descobrimento do efeito transistor bipolar é sem dúvida atribuído aos pesquisadores Bardeen e Brattain, mas quem desenvolveu a teoria e explicação sobre o funcionamento do transistor bipolar foi o chefe deles, W. Shockley, em janeiro de 1948. A teoria de Shockley, de injeção de portadores minoritários pela junção emissor-base, foi comprovada por meio de um transistor vertical fabricado em fevereiro de 1948, por J. Shive. Esta teoria torna-se amplamente acessível com o lançamento do livro “Electrons and Holes in Semiconductors” por W. Shockley em 1950.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Um fato histórico que contribuiu muito com o desenvolvimento da microeletrônica foi o fato da Bell Labs licenciar seu invento a outras empresas. Por um preço de US\$ 25.000,00, empresas como Texas Instruments e Sony (na época com outro nome), compraram a licença para aprender e usar a tecnologia de fabricação de transistores. A tecnologia foi transferida através de um workshop realizado na Bell Labs em abril de 1952.

A Sony foi a primeira empresa a fabricar um radio totalmente transistorizado e comercializá-lo em escala, criando assim o mercado de consumo para transistores.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Em 1955, Shockley deixa a Bell Labs e funda sua própria empresa, Shockley Semiconductors, que marca a origem do Vale do Silício, no estado de Califórnia. A sua empresa em si não foi marcante, porém ela começou com pesquisadores e empreendedores de alto nível, que depois criaram a Fairchild (1957) e Intel (1968), entre muitas outras. Entre estes pesquisadores destacam-se Gordon Moore, Robert Noyce e Andrew Grove.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Uma vez dominados alguns processos de fabricação de transistores, nasceu a ideia de se fazer um circuito integrado. Este conceito foi proposto e patenteado por J. Kilby, da Texas Instruments, no ano de 1958.

Kilby demonstrou sua idéia com um circuito fabricado sobre um único bloco de Si, contendo um transistor (em estrutura tipo mesa), um capacitor e um resistor. Os dispositivos eram, no entanto, interconectados por meio de fios soldados nos contatos dos mesmos.



Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Em paralelo, um grupo da Fairchild desenvolve um processo superior para fabricar transistores (J. Hoerni) o chamado processo planar. Este mesmo processo é adaptado logo em seguida, no mesmo ano, por R. Noyce do mesmo grupo, para a fabricação de circuitos integrados.

Este processo foi fundamental para o progresso da microeletrônica, já que seu princípio básico, acrescido de várias inovações e evoluções, vem sendo usado até hoje na fabricação dos modernos CI's. O início da comercialização de CI's inicia-se a partir do ano de 1962, não parando mais de crescer em termos de volume e de densidade de transistores por chip.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

O estudo e desenvolvimento de processos de oxidação de Si permitiram finalmente o desenvolvimento do tão sonhado transistor de efeito de campo com porta isolada, ou seja, o transistor MOSFET ou simplesmente MOS. Em 1960, um grupo da Bell Labs, D. Kahng e M. Atalla, demonstram o transistor MOS. A interface SiO₂/Si é uma interface de muito boa qualidade, com baixa densidade de estados de superfície. Mas apesar disto, os dispositivos MOS apresentavam uma estabilidade pobre, causando um atraso de mais 10 anos para seu uso em grande escala. O motivo deste problema era a falta de controle de contaminação de impurezas.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Tabela 1 Grupos de dispositivos semicondutores, organizados por função e/ou estrutura.

Grupo	Sub-grupo	Dispositivos
Diodos	Retificadores	Diodo p-n
		Diodo p-i-n
		Diodo Schottky
		Diodo de barreira dopada panar - PDB
		Diodo de heterojunção
	Resistência negativa	Diodo túnel
		Diodo de transferência de elétrons
		Diodo túnel ressonante
		Diodo RST
		Diodo IMPATT
Resistivos		Diodo BARITT
		Resistor
Capacitivos		Contato ôhmico
		Capacitor MOS
Chaves de 2 terminais		CCD's (Charge-coupled devices)
		MISS (Metal-Insulator-Semicond. Switch)
Transistores	Efeito de Campo	PDB (Planar-Doped-Barrier Switch)
		MOSFET
		JFET
		MESFET
		MODFET
	Efeito de Potencial	PBT
		BJT – Bipolar Junction Transistor
		HBT – Heterojunction Bipolar Trans.
		MBT – Metal Base Transistor
		RTBT – Resonant-Tunneling Bipolar

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Memórias não voláteis	FAMOS
	MNOS
Tiristores	SCR – Silicon-Controlled Rectifier
	IGBT – Insulated-Gate Bipolar Trans.
	Transistor unijunção
	SIThy – Static-Induction Thyristor
Fontes de Luz	LED
	Laser
	VCSEL – Vertical-cavity surface emitting laser
Fotodetetores	Fotocondutor
	Fotodiodo p-i-n
	Fotodiodo de barreira Schottky
	CCIS – Charge-coupled image sensor
	APD – Avalanche Photodiode
	Fototransistor
	MSM – metal-semiconductor-metal
Dispositivos Ópticos Biestáveis	SEED – Self-electrooptic-effect device
	Etalon bi-estável
Outros Dispositivos Fotônicos	Célula solar
	Modulador eletro-óptico
Sensores	Termistor
	Sensor Hall
	Strain Gauge (piezoelétrico)
	Transdutor Interdigital, tipo SAW
	ISFET – Ion-sensitive FET

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Este número grande de tipos dispositivos justifica-se pelas necessidades específicas nas diversas aplicações. Dentro dos circuitos integrados, no entanto, os dispositivos e tecnologias predominantes são as tecnologias MOSFET e BJT, como mostram os dados. Estes dados são restritos ao período de 1974 a 1986. Desde aquela época, a mesma tendência de redução relativa da participação da tecnologia BJT e do aumento do uso da tecnologia MOSFET, em particular a CMOS, continuou.

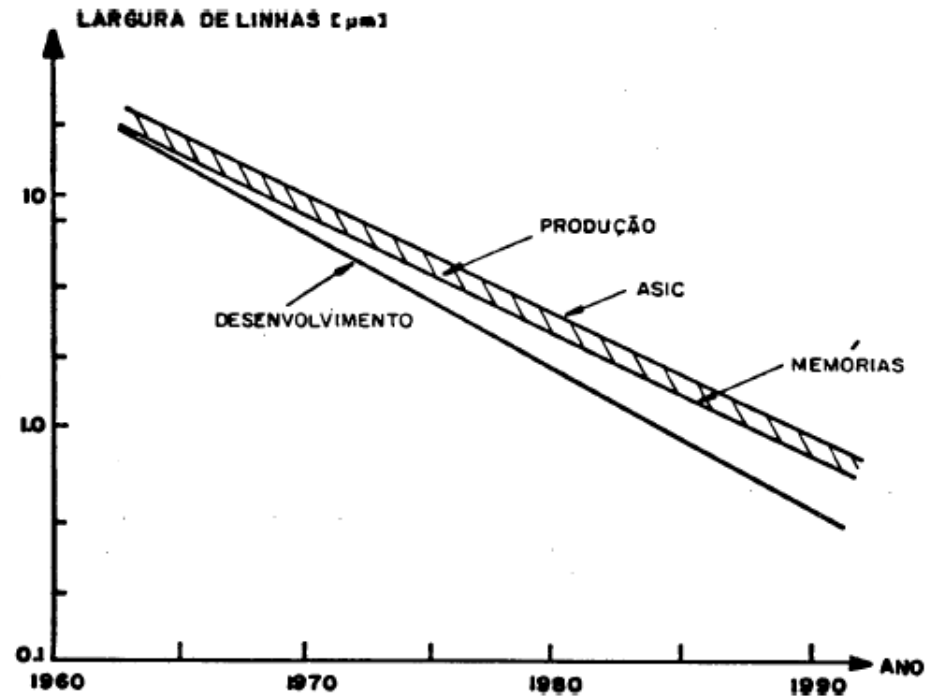
Atualmente, na virada do século 20 ao 21, mais de 85% do mercado de semicondutores corresponde à tecnologia CMOS.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

A evolução da microeletrônica não se restringe ao desenvolvimento de novos dispositivos, apresentados acima, mas apresenta também outros aspectos tão importantes quanto. Estes outros aspectos incluem os seguintes:

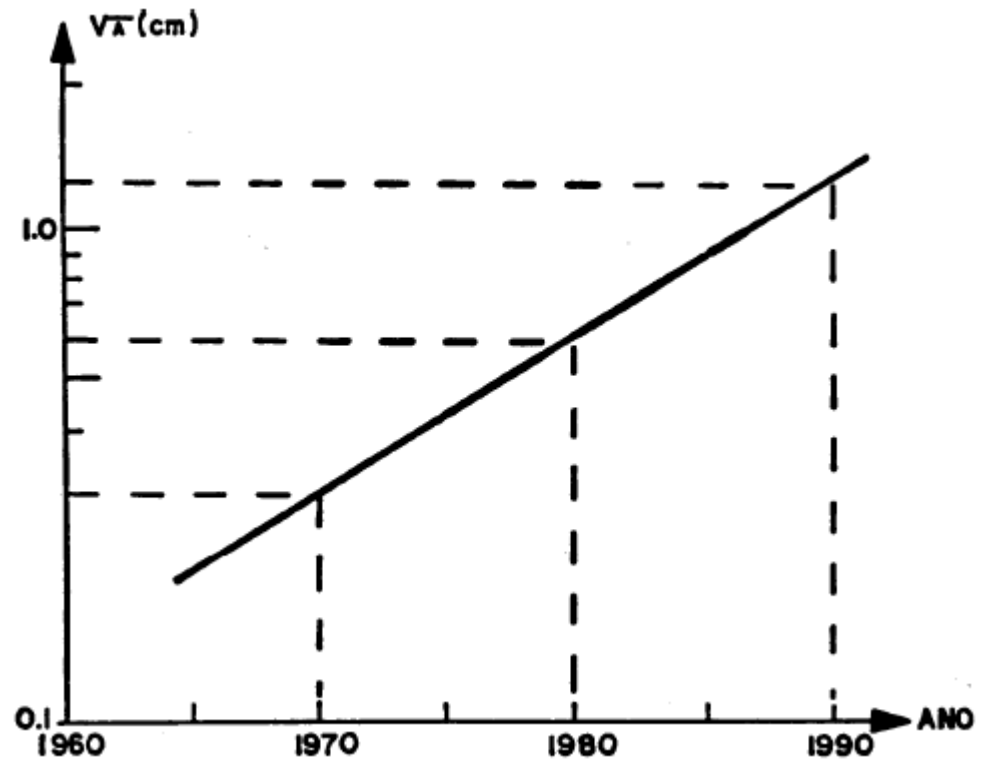
- Uma redução contínua das dimensões mínimas. Esta evolução corresponde a uma redução com fator 2 a cada 6 anos. Esta evolução foi possível graças a avanços tecnológicos nos processos de fabricação em geral e em especial, nos processos de fotolitografia.



Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

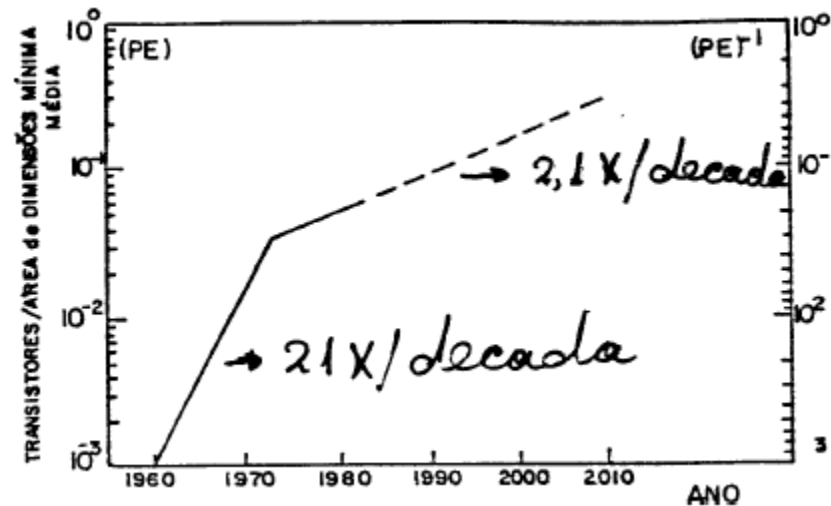
Uma evolução na área máxima dos chips. Esta evolução corresponde a um aumento de fator 2 na área do chip a cada 4 anos. A área máxima dos chips está relacionada com a densidade de defeitos por unidade de área, que garanta um rendimento aceitável de produção. A evolução na qualidade dos processos de fabricação resulta numa redução gradual da densidade de defeitos e como consequência permite este aumento gradual da área dos chips.



Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Uma evolução na eficiência de empacotamento, ou seja, do número de dispositivos por área de dimensão mínima da tecnologia. Esta evolução está relacionada a otimização do layout empregado e do uso de novas estruturas físicas dos dispositivos, isolamento e interconexões. No início, havia muito espaço de melhoria, resultando numa média de aumento de 21 vezes por década. Após os anos 70, houve uma redução na taxa de aumento da eficiência de empacotamento para 2,1 vezes por década.



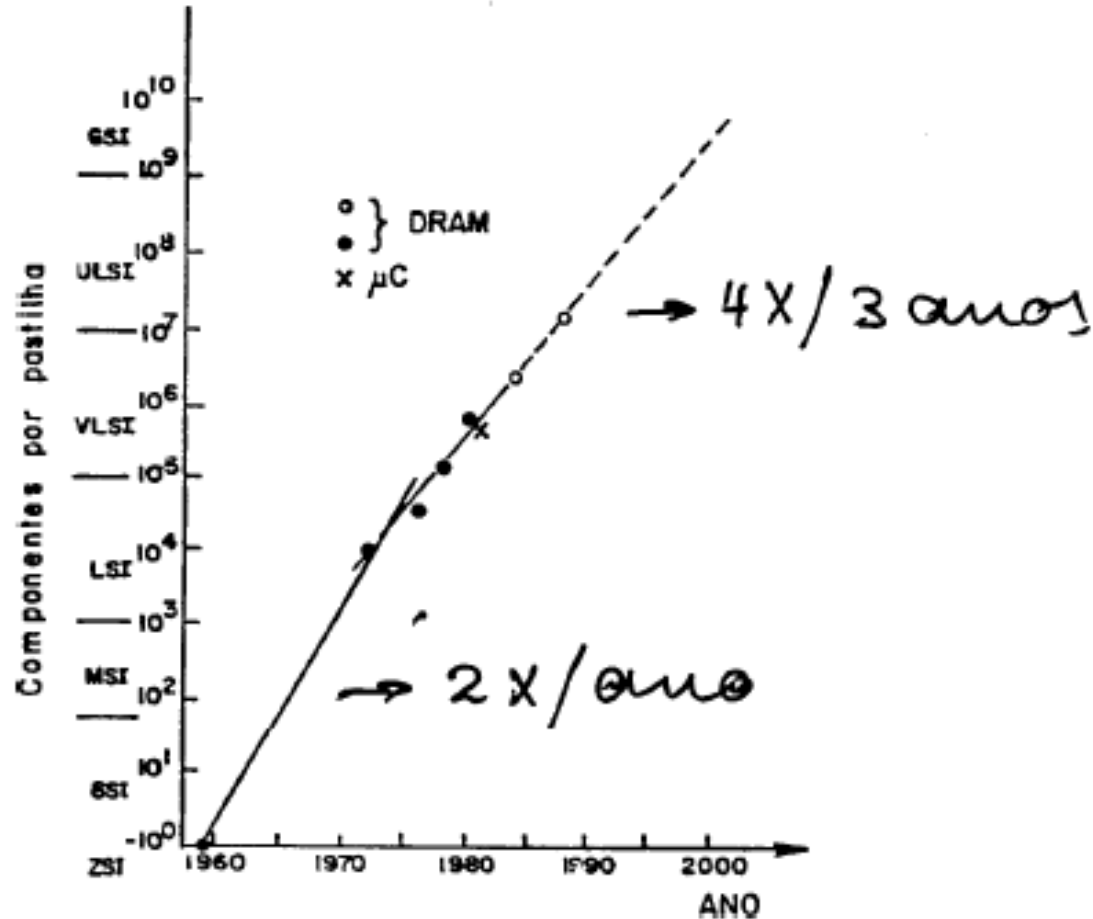
Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

A combinação das 3 evoluções citadas acima, de redução nas dimensões mínimas, aumento da área dos chips e aumento na eficiência de empacotamento, levou a um aumento assombroso no número de dispositivos por chip. Associado a cada faixa de número de dispositivos por chip convencionou-se chamar o nível de integração pelas siglas: SSI (Small Scale Integration), MSI (Medium Scale Integration), LSI (Large Scale Integration), VLSI (Very Large Scale Integration), ULSI (Ultra-Large Scale Integration) e GSI (Giga Scale Integration). Atualmente, na virada do século, estamos entrando na era do GSI. O crescimento contínuo do número de dispositivos por chip é de aproximadamente um fator 2 a cada 18 meses, ao longo das últimas 3 a 4 décadas. Este crescimento é conhecido como a lei de Moore.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

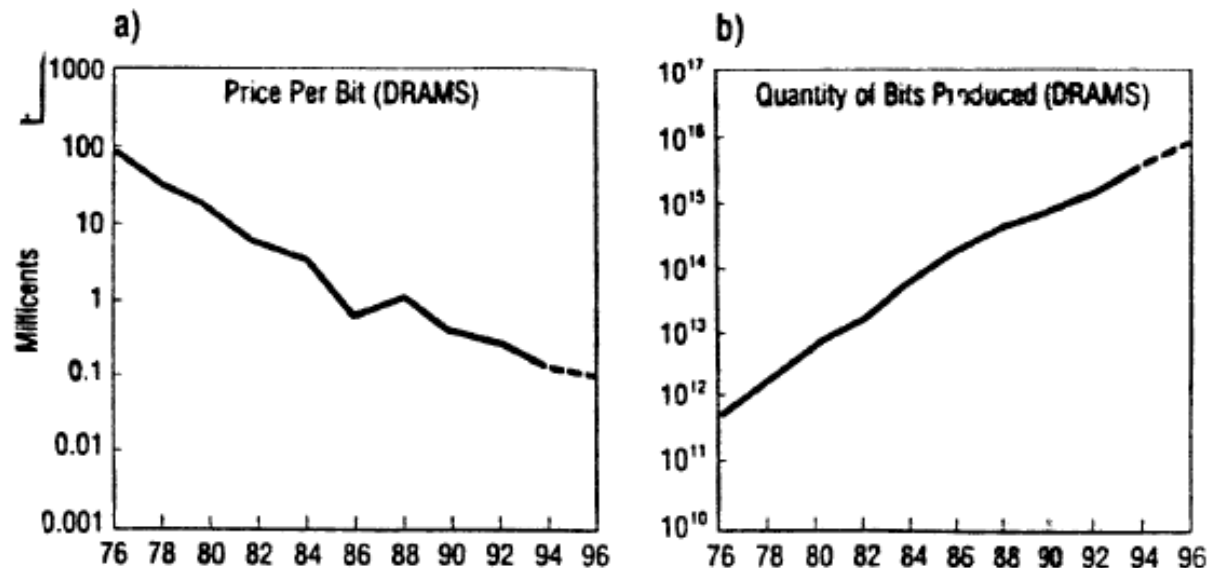


Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

Uma evolução contínua na redução do custo por transistor ou por bit de informação é mostrada abaixo. Esta redução de custo tem levado a um enorme crescimento do uso de eletrônica, com um crescimento médio anual de 16% no mercado de semicondutores ao longo das últimas décadas.

Ressaltamos que nenhum outro setor econômico teve tal crescimento na história da humanidade. A figura mostra o aumento contínuo do número de bits de DRAM produzidos.



Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

Evolução da Microeletrônica

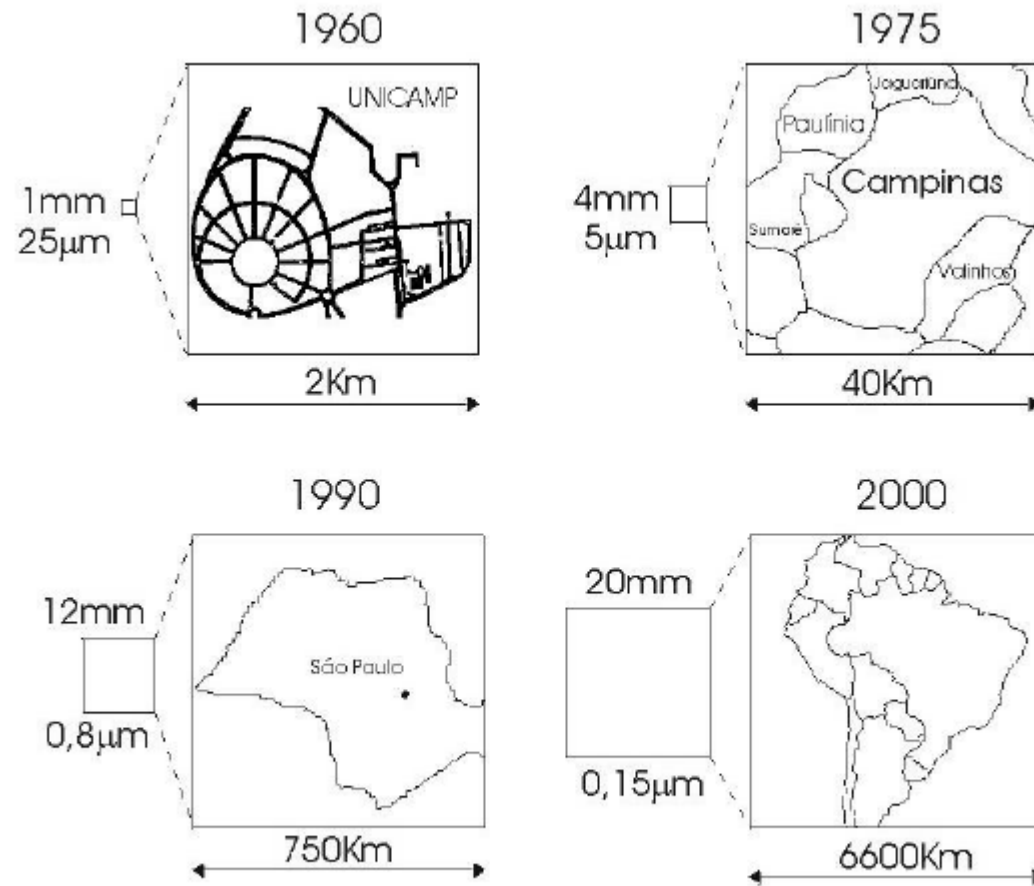


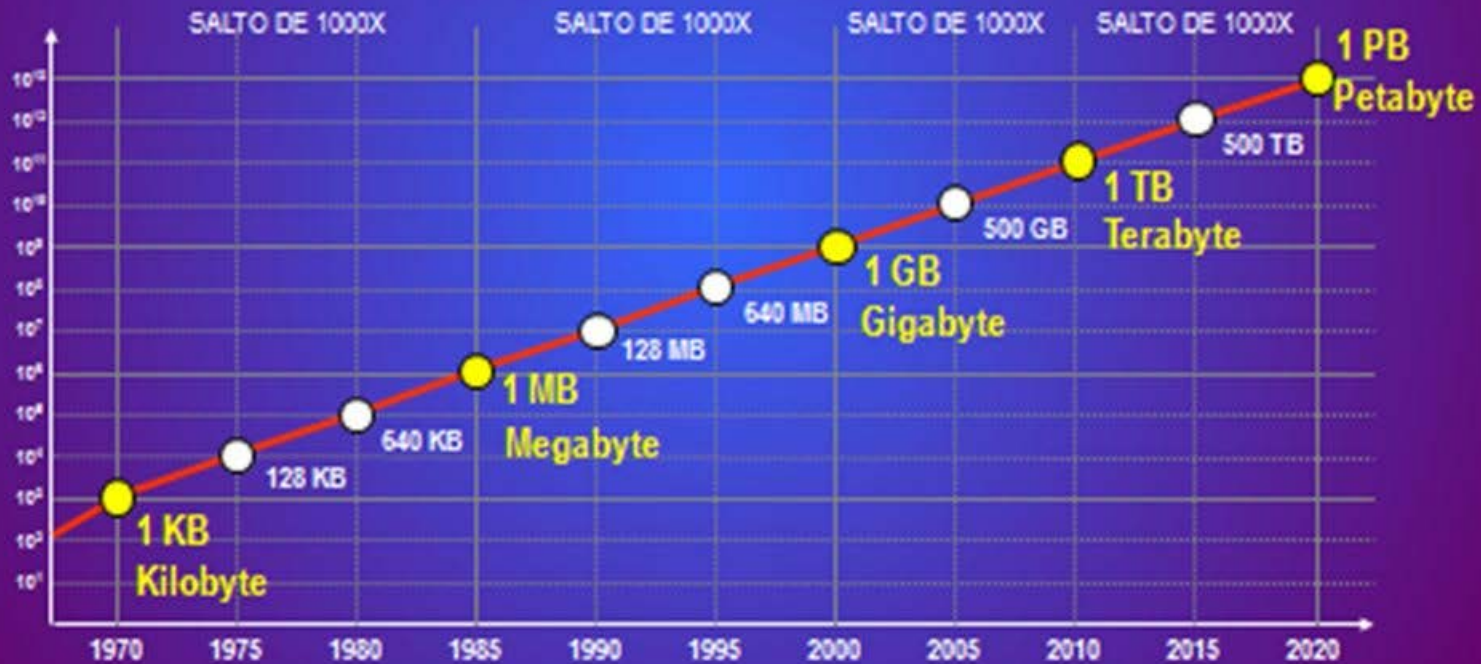
Fig. 13 Ilustração de mapas desenhados, contendo detalhes de todas as ruas, em áreas de chips nas diversas fases tecnológicas.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas

MICROELETRÔNICA

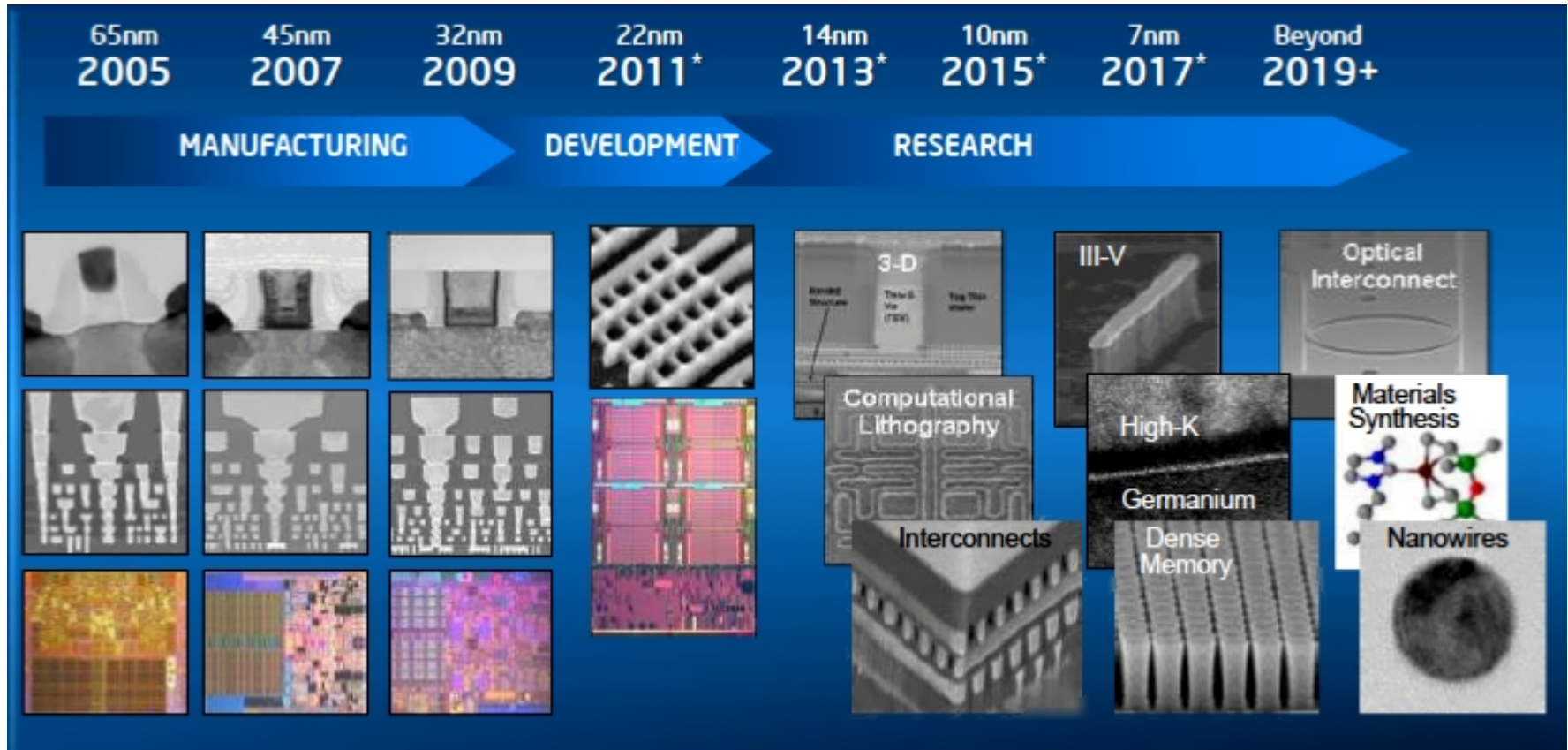
Evolução dos chips de memória

cada vez menores, mais rápidos e mais baratos



Fonte: João A. Zuffo (USP) e Everaldo Siqueira

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas



Atividade – em grupo

Pesquise a evolução de algum processo de fabricação como foi apresentado para a área dos semicondutores.

Por exemplo:

- 1) Tecnologia de fabricação de roupas;
 - 2) Tecnologia de fabricação de componentes eletrônicos;
 - 3) Tecnologia de fabricação de bolas;
 - 4) Tecnologia de fabricação de televisores;
- Etc....

Enviar texto com esses elementos para vmachado@utfpr.edu.br

Nome dos arquivos e serem enviados

EP_201x_x_AtividadeX_Aluno1_Aluno2.doc