

PSI-3552 Processos e Caracterização de Dispositivos Nanoeletrônicos

Salas Limpas

Laboratório de Microeletrônica
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Prof. Fernando J. Fonseca sala C2-65 (tel. 3091-0730)
email: FERNANDO.EPUSP@GMAIL.COM

Prof. Roberto K. Onmori sala C2-70 (tel.)
email: RKONMORI@LME.USP.BR ou ROBERTO.ONMORI@POLI.USP.BR

LME
PSI 5761 - Int

1


As Salas Limpas

Os constantes avanços no campo da ciência determinaram a necessidade de **atmosferas apropriadas** para o desenvolvimento de sofisticados processos de fabricação, montagem e manutenção nas áreas de engenharia eletrônica, alimentação, farmacêutica, laboratórios, etc., bem como, e fundamentalmente nas áreas médico-cirúrgicas.

São produzidos na atualidade delicados mecanismos usando-se tolerâncias muito precisas, motivo pelo qual a **prevenção da contaminação** torna-se um fator altamente importante na eliminação de defeitos futuros. Uma sala limpa proporciona o ambiente necessário para os processos de fabricação e montagem dos mais diversos mecanismos

LME


2




Pessoas movimentando-se com uma vestimenta "*pouco limpa*" assim como avental ou guarda-pó vai gerar, em média, entre 2 milhões de partículas com menos de 0,5 mm, 300 mil partículas com mais de 0,5 mm e 160 bactérias por minuto. Se uma pessoa veste roupas projetadas, feitas para redução de partículas, temos que as **bactérias são reduzidas em 50%** e as **partículas em 92%**.

As salas chamadas de *clean rooms* parecem seguras, pois são espécies de bolhas, onde **as condições climáticas** (pressão, temperatura, umidade do ar etc) e **a circulação de partículas** são rigorosamente controlados.

As *clean rooms* são tão limpas em relação a quantidade de pó, que ganham até das salas de operações dos hospitais. Se não for desta maneira, não há como fabricar os chips.




3



São produzidos na atualidade delicados mecanismos usando-se tolerâncias muito precisas, motivo pelo qual a prevenção da contaminação torna-se um fator altamente importante na eliminação de defeitos futuros.

Uma sala limpa proporciona o ambiente necessário para os processos de fabricação e montagem dos mais diversos mecanismos.


As salas limpas são construídas com materiais que **não geram partículas** e são **facilmente limpas**. A limpeza do ar transportado de uma sala limpa convencionalmente ventilada depende da quantidade e qualidade do ar de insuflamento e a boa mistura com o ar exterior devidamente filtrados. As salas limpas dependem também da quantidade de geração interna de contaminantes, quantidade de pessoas, grau de atividade, tipo de vestimenta.




4

Os *Disk Drives* são geralmente manufaturados em Salas Limpas de classe 10 ou de classe 100 pois a limpeza é um fator crítico. Por exemplo, os particulados podem causar a ruptura do cabeçote de leitura quando os tamanhos de partícula são maiores do que a distância entre a cabeça e o prato (0,25 micron).

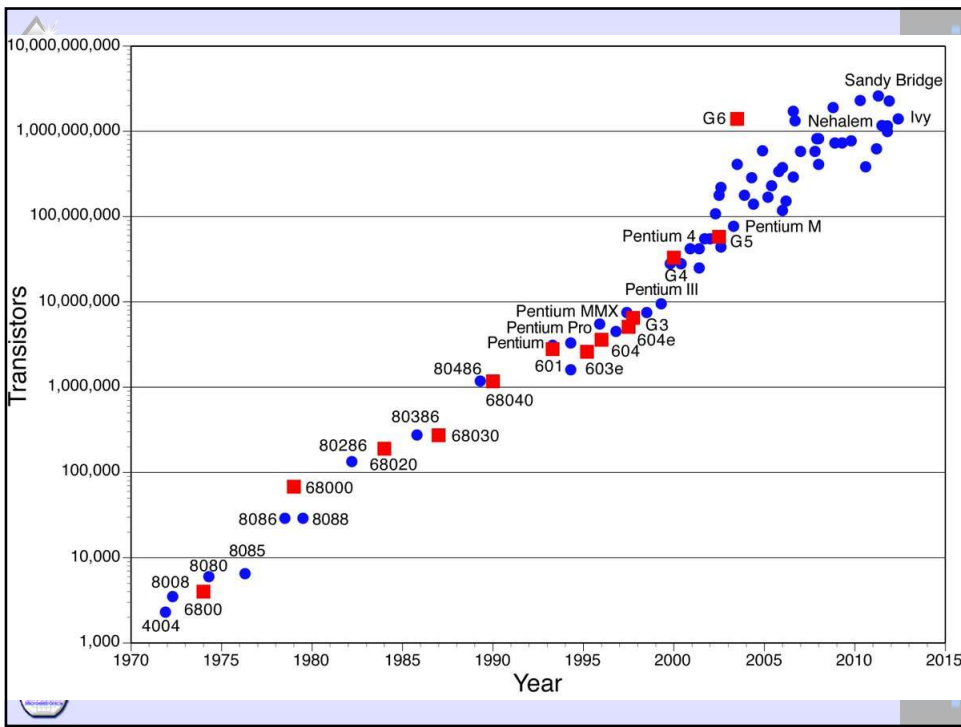
Para finalidades de comparação: nosso cabelo tem de 100 a 200 micra de diâmetro (0,1 a 0,2mm).



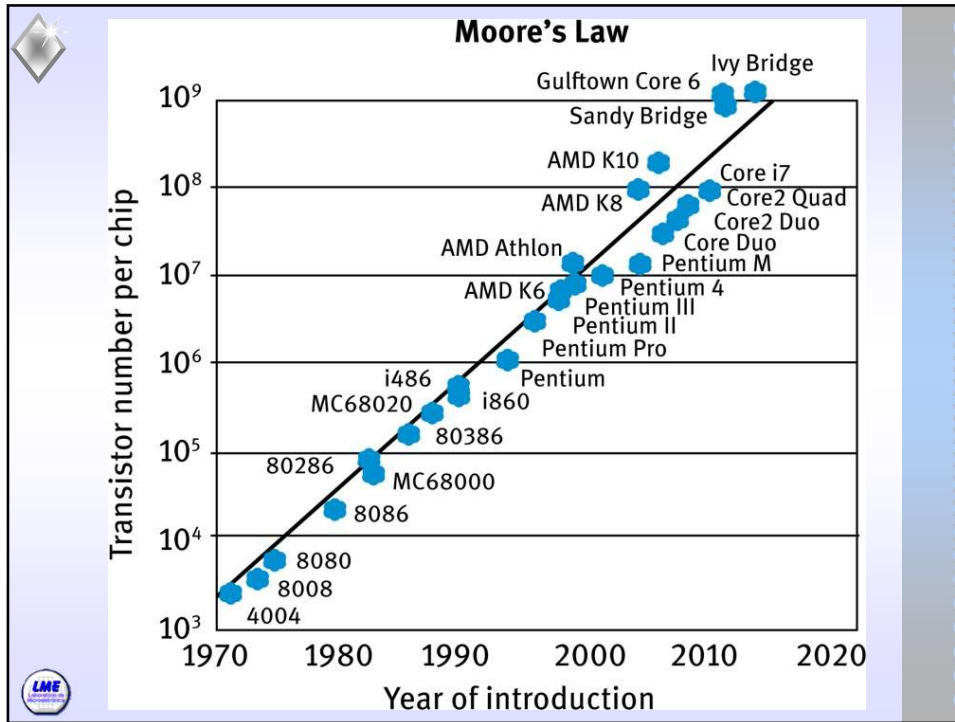
Sala Limpa para a manutenção de HD's



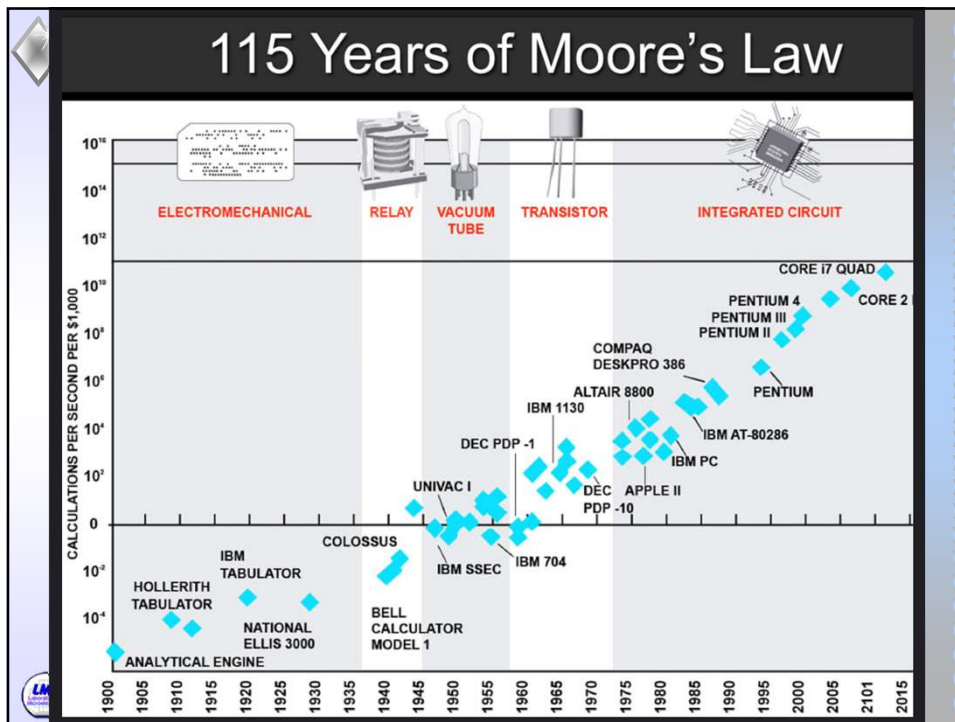
5



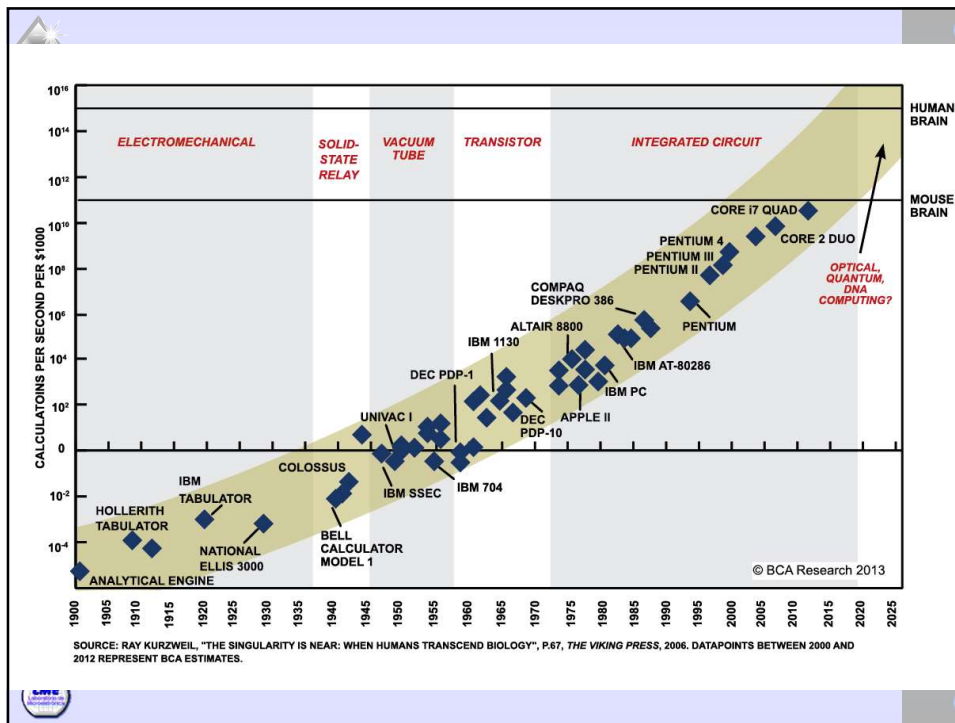
6



7



8




9

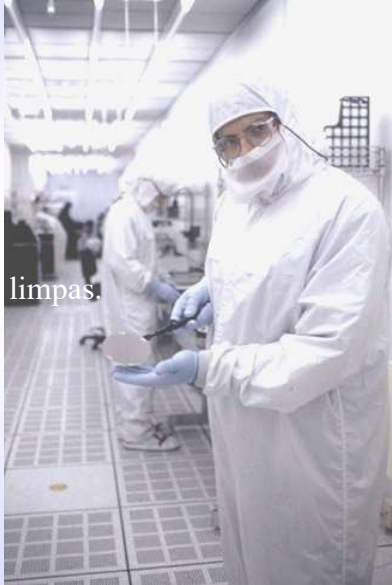
Evolução do Processador Intel


Type	4 kb	16 kb	64 kb	256 kb	1 Mb	4 Mb	16 Mb	64 Mb	256 Mb	1 Gb	4 Gb
Begin of production	1974	1976	1979	1982	1985	1988	1991	1994	1997	2001	2004
Equivalent of type written pages	0,23	1	4	16	64	250	1000	4000	16000	64000	250000
	Growth per year about + 60 %										
Prize for 1 Mbit memory (DM)	150000.-	50000.-	10000.-	800.-	240.-	60.-	10.-	1.-	0.25.-	0.11.-	0.05.-
	Growth about - 40% per year										
Chip size (mm ²)	24	16	25	45	54	91	140	190	250	400	?
Structure size (µm ²)	6	4	2	1.5	1.2	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.15
Number of process steps	70	80	8	120	280	400	450	500	600	?	?
Size of "killer" particles (>µm ²)	1.5	1.3	0.8	0.6	0.4	0.2	0.15	0.1	0.07	0.05	0.03
Total development costs (M\$)	(90)	(140)	200	450	650	1000	2000	3500	5000	7000	?

10


 Sumário:

- 1) A história das salas limpas.
- 2) A poluição do silício.
- 3) Fontes de contaminação.
- 4) Diâmetro das partículas.
- 5) Filtros de ar.
- 6) Fluxo de ar em áreas limpas
- 7) Normas e classificação das salas limpas.
- 8) Comportamento.
- 9) Produtos básicos.
- 10) Bibliografia.
- 11) Limpeza.






11

 A história das salas limpas


As primeiras salas limpas surgiram em hospitais.

O trabalho de Pasteur, Koch, Lister e outros pioneiros cirurgiões que há anos descobriram que bactérias causariam infecções. Lister substancialmente reduziu as infecções operando na sala da “Royal Infirmary”, utilizando como anti-séptico solução de ácido fênico em instrumentos, nas mãos dos cirurgiões e no ar, através de um borrifador.

Embora as salas limpas de antigamente fossem, em base, idênticas às de hoje, a principal omissão estava na ventilação positiva, através da limpeza do ar. A utilização do ar exterior também mostrou-se muito importante, reduzindo a concentração dos contaminantes.



12




Em 1946, Bourdillon and Colebrook implementaram a utilização de salas com pressão positivas em relação as adjacentes.


Em 1961 e 1962, criou-se o sistema unidirecional ou fluxo laminar conceito de ventilação que utilizam filtros com fluxo sob regime laminar. Também foram feitos *projetos considerando o ser humano como fonte de bactérias e dispersor de partículas de pele e outras e também através da respiração.*

Em 1964, utilizou-se o fluxo de ar como forma de remover contaminantes em hospitais. John Charnley, inseriu a técnica de uma junta artificial tipo bacia. Esta é extremamente efetiva na operação, mas as taxas de assepsia nas junções, nos casos estudados foi de quase 9%. Este método foi um desastre para os pacientes porque com o tempo, os métodos usados no tratamento das infecções não foram muito efetivas e a junção artificial teve de ser removida.

Em 1966, a utilização do fluxo laminar durante operações, reduziu de 9% para 1,3% as infecções durante as operações.




13



Em 1980, criou-se o *Ultraclean* com sistema de fluxo laminar, realizou-se a limpeza dos ambientes de produção, para a fabricação de sistemas de precisão.

Assim criou-se o conceito "Livre de Bactéria" e não apenas livre de poeira. Depois da guerra com desenvolvimento de armazenamentos nucleares bem, como a utilização de armas químicas e biológicas, produziu-se os filtros "*High Efficiency Particulate Air (HEPA)*", filtros que foram necessários para conter micróbios perigosos e contaminantes radioativos.



14

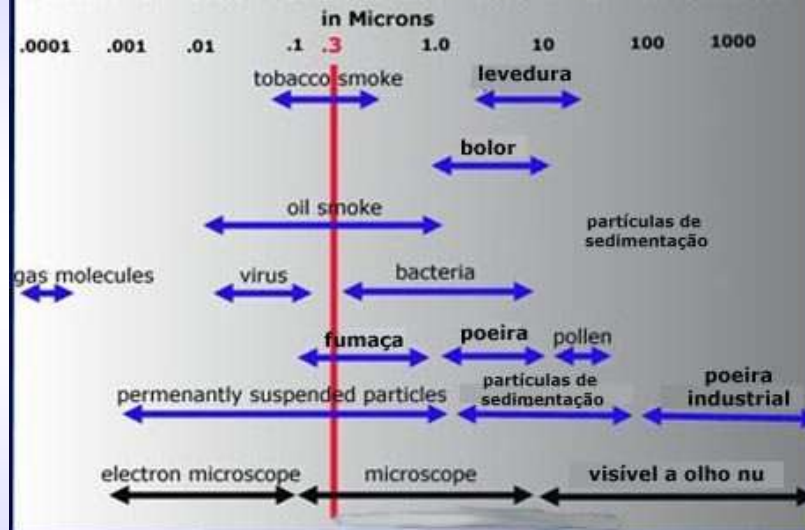
Fontes de contaminação

- 1) **Fontes de partículas** suspensas no ar:
Nenhum filtro possui uma eficiência de 100%.
- 2) **Material de construção:** geram partículas principalmente por desgaste.
- 3) **As pessoas** são consideradas a **maior fonte** de contaminação em salas limpas:
Só por descamação o ser humano perde 10% do seu peso por ano, o que corresponde a 20 gramas por dia no caso de uma pessoa de 70 kg.
- 4) **Respiração/alimentação:**
A respiração e o ato de falar jogam milhares de partículas no ambiente, obrigando o usuário da sala limpa, em certas aplicações, a usar máscaras.
A mastigação excita a emissão de saliva, conseqüentemente de partículas e gotículas, proibindo a goma de mascar em sala.
- 5) **Produtos:** O acesso de produtos traz obrigatoriamente uma contaminação. Apesar de existirem ante-salas, gradientes de pressão e até duchas de ar limpo, qualquer pessoa ou objeto introduzido na sala limpa leva junto uma certa quantidade de contaminantes. Inclui utilização de fluídos diversos (ar comprimido, gases, água desionizada, etc.).
- 6) **Equipamentos** em geral (metalizadoras, fotogravadoras, micros, ...)




15


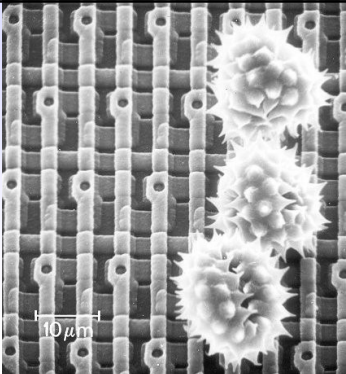
Relative Particle Size of Air Contaminants



16

 **Sumário**

- 1) A história das salas limpas.
- 2) A poluição do silício.
- 3) Fontes de contaminação.
- 4) Diâmetro das partículas
- 5) Filtros de ar**
- 6) Fluxo de ar em áreas limpas
- 7) Normas e classificação das salas limpas.
- 8) Comportamento.
- 9) Produtos básicos.
- 10) Bibliografia geral.
- 11) Limpeza



17

 **Filtros de ar**

Os filtros de ar para sistemas de controle de contaminação são, quase exclusivamente, **filtros de fibras**.

O meio filtrante: fibra é uma esteira ou um papel composto de fibras, predominantemente sintéticas ou de vidro.

Os seguintes mecanismos são responsáveis pela separação de partículas em um filtro de fibras:

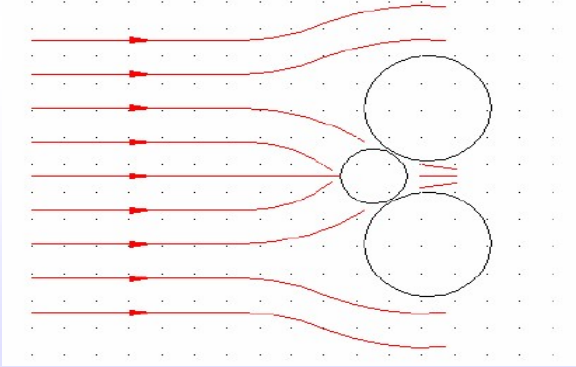
- **peneira**
- **inércia**
- **interceptação**
- **difusão**



18

Efeito de peneira : entra em ação quando a distância entre duas fibras é menor que o diâmetro da partícula (na filtragem “dear”, este efeito é pouco desejável: impede a penetração das partículas até a profundidade do meio filtrante, sendo bloqueada assim rapidamente a passagem do ar através do filtro pelas partículas acumuladas na sua superfície)

Separação de partículas mediante o efeito de peneira

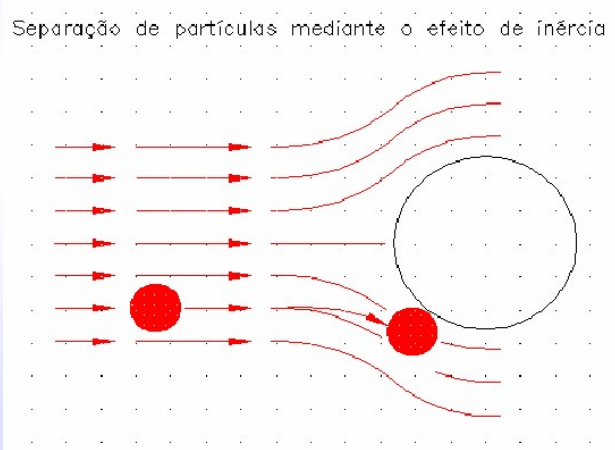


LME

19

Efeito de inércia: efetivo sobretudo para partículas $> 1 \mu\text{m}$ e com uma massa significativa. Nestas circunstâncias, a partícula não consegue seguir a deflexão abrupta da sua linha de fluxo quando desviada em torno da fibra, continuando aproximadamente em linha reta até sua colisão com a fibra.

Separação de partículas mediante o efeito de inércia



LME

20

Efeito de interceptação: entra em ação quando a linha de fluxo, carregando a partícula, aproxima-se suficientemente da fibra para a partícula colidir com a mesma.

Separação de partículas mediante o efeito de interceptação

LME


21

Efeito de difusão : forças de superfície (forças van der Waal) são responsáveis pela retenção das partículas na superfície das fibras do filtro, permanecendo assim as partículas definitivamente capturadas e assim eliminadas do fluxo de ar.

Separação de partículas mediante o efeito de difusão

LME


22


 A eficácia dos efeitos de interceptação e de inércia **aumenta** com o tamanho e a massa das partículas. O **contrário** vale para o efeito de **difusão** : quanto maior o tamanho e a massa, tanto menor a mobilidade das partículas e conseqüentemente a probabilidade de separação. Assim sendo, são **caracterizados** os meios filtrantes de filtros de fibra por um **tamanho de partículas** , cujo grau de separação passa por um mínimo, e o grau de penetração passa por um máximo. **Este máximo de penetração, o ponto mais fraco do filtro, é denominado em inglês o *Most Penetrating Particle Size - MPPS*.**

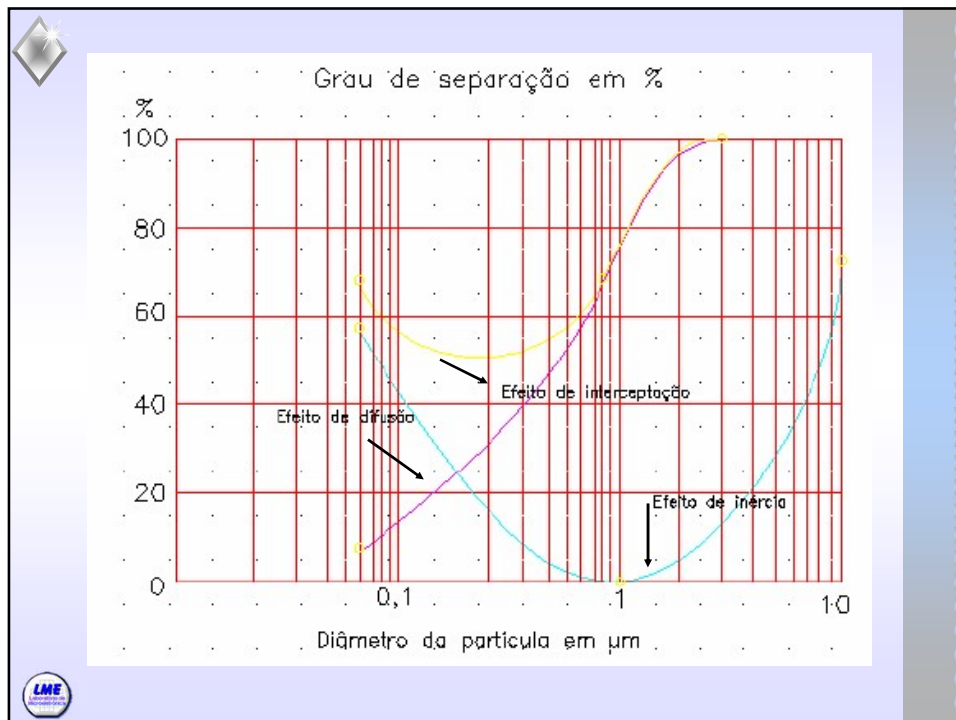
O **diâmetro MPPS** depende da velocidade do ar, da densidade e morfologia das partículas, e do diâmetro das fibras. Normalmente, encontra-se na faixa de 0,1 - 0,5 μm .

Filtros grossos e finos têm, de modo geral, seu máximo na faixa **0,2 - 0,5 μm** .

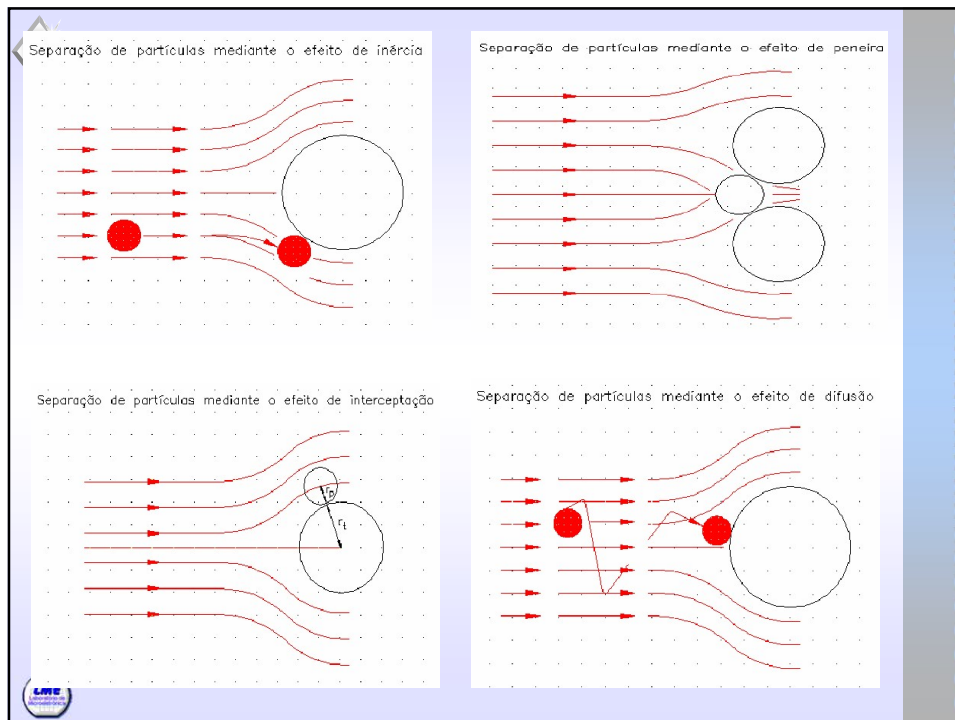
Filtros de alta e altíssima eficácia (os filtros HEPA e ULPA), mostram seu máximo de penetração normalmente na faixa **0,1 - 0,2 μm** .



23



24



25

2.4. Classificação de filtros de ar conforme NBR 6401

Norma NBR 6401 de 1980, conforme revisão efetuada em 15 de abril de 1988, pela Comissão de Estudos 4:08.4 - Ar Condicionado Comercial e Central, da ABNT.

Classe de Filtro Eficiência (%)

GROSSOS	G0	30 - 59
	G1	60 - 74
	G2	75 - 84
	G3	85 e acima
FINOS	F1	40 - 69
	F2	70 - 89
	F3	90 e acima
ABSOLUTOS	A1	85 - 94,9
	A2	95 - 99,96
	A3	99,97 e acima

Métodos de Ensaio:

Classe G: Teste Gravimétrico, conforme ASHRAE 52 - 76 (Arrestance)
Classe F: Teste Colorimétrico, conforme ASHRAE 52 - 76 (Dust Spot)
Classe A: Teste DOP conforme U.S.Military Standard 282

26



A Poluição do Silício

A produção de uma lamina de Silício de 8 polegadas gasta em média:

- 121,92 cm Cúbicos de gases pesados
- 11,36 litros de água que fica contaminada após a utilização
- 10 quilogramas de substâncias químicas
- 883 centímetros cúbicos de gases venenosos
- 3,35 quilogramas de dejetos venenosos
- 11,35 litros de água deionizada

Se uma fábrica produzir 5000 laminas de silício (baixa média semanal), a quantidade de elementos usados seria em torno de:

- 35 bilhões de metros cúbicos de gases pesados
- 390 bilhões de litros de água que fica contaminada após a utilização
- 271 mil toneladas de produtos químicos
- 240,5 mil quilômetros cúbicos de gases venenosos
- 314 bilhões de litros de água deionizada

Dos 54 produtos químicos mais utilizados na produção de chips, circuitos e monitores, suspeita-se que 15 são cancerígenos e 14 são metais pesados.



27



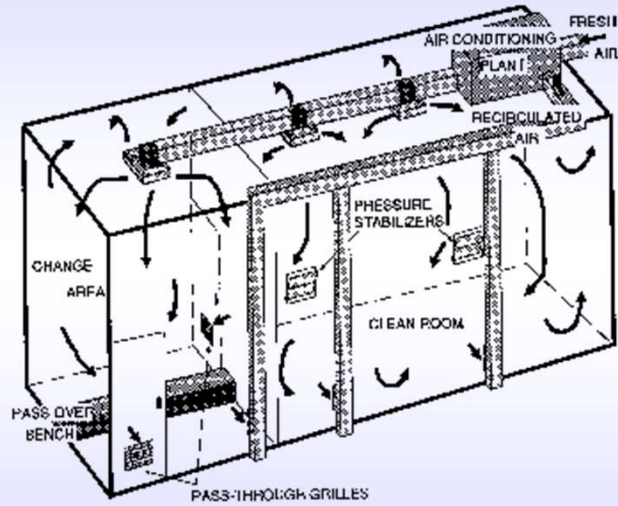
Sumário

- 1) A história das salas limpas.
- 2) A poluição do silício.
- 3) Fontes de contaminação.
- 4) Diâmetro das partículas
- 5) Filtros de ar
- 6) Fluxo de ar em áreas limpas**
- 7) Normas e classificação das salas limpas.
- 8) Comportamento.
- 9) Produtos básicos.
- 10) Bibliografia geral.
- 11) Limpeza



28

Fluxos de ar em áreas limpas

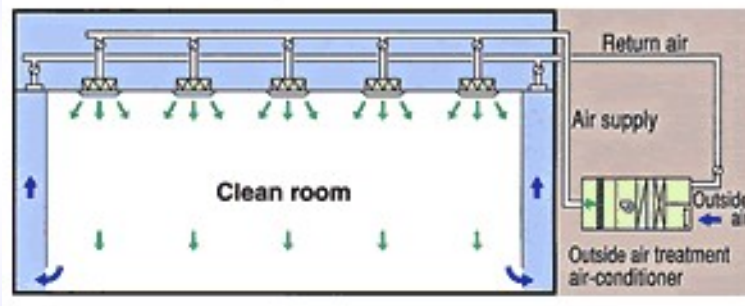


Conventionally ventilated cleanrooms

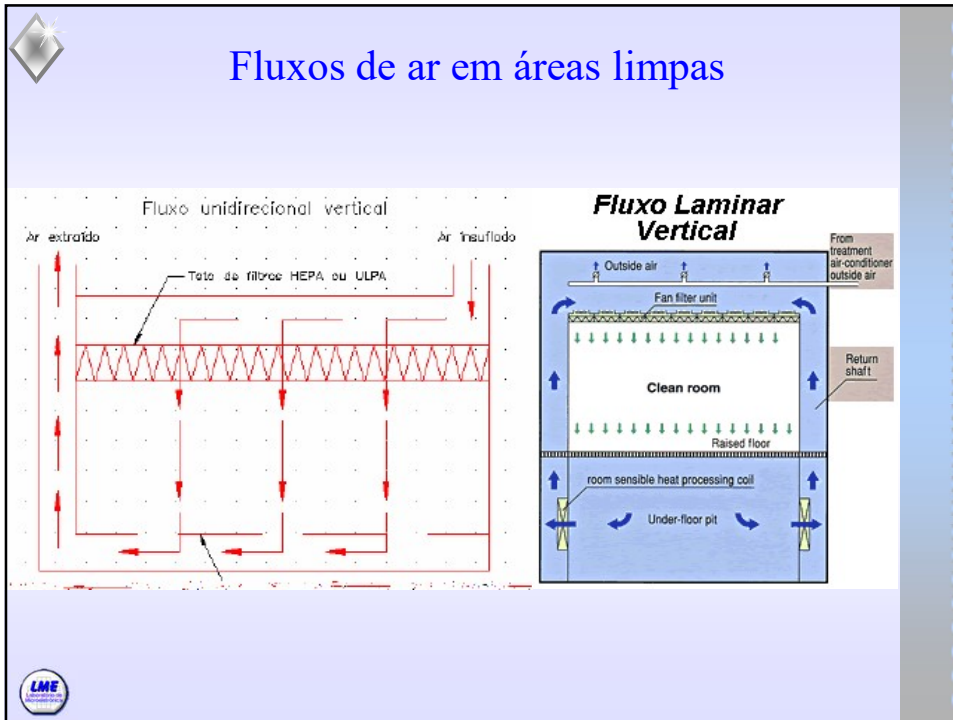
29

Fluxos de ar em áreas limpas

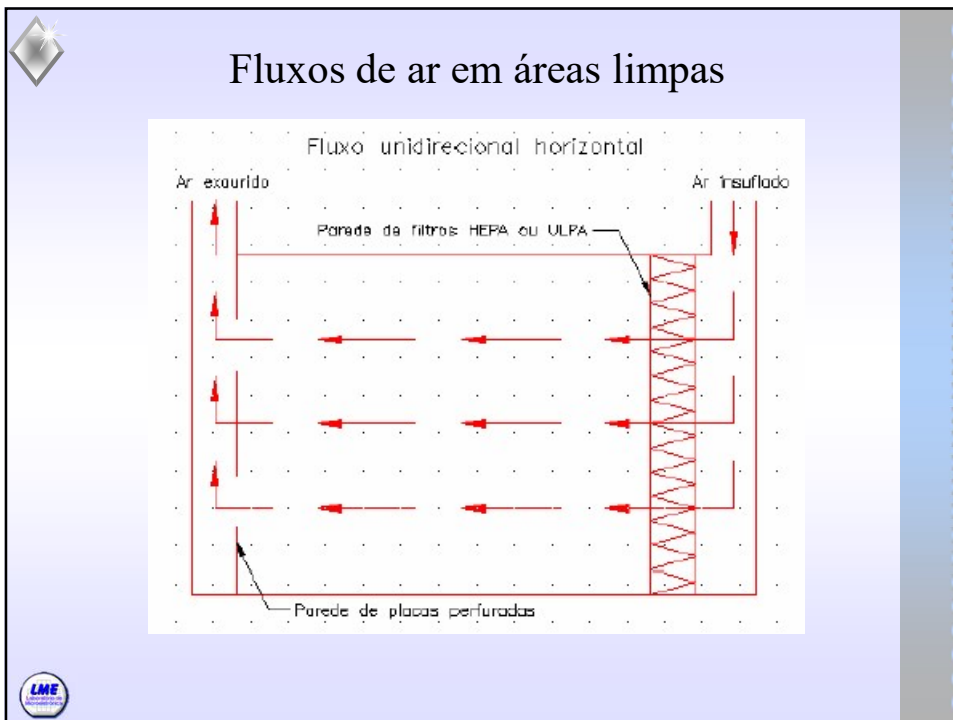
Ventilação Turbulenta




30



31




32




Sumário

- 1) A história das salas limpas.
- 2) A poluição do silício.
- 3) Fontes de contaminação.
- 4) Diâmetro das partículas
- 5) Filtros de ar
- 6) Fluxo de ar em áreas limpas
- 7) Normas e classificação das salas limpas.**
- 8) Comportamento.
- 9) Produtos básicos.
- 10) Bibliografia geral.
- 11) Limpeza



33




Normas e classificação de salas limpas

- **Classes de pureza de ar**

Para poder distinguir sistematicamente diferentes níveis de qualidade de áreas limpas, foram estabelecidas classes de pureza de ar.

A sistemática de classificação mais conhecida no mundo inteiro é o **U.S. Federal Standard 209** - servindo desde décadas mundialmente como base de orientação a respeito. Foi substituída pela norma ISO 14644-1.
- **Classificação conforme NBR 13700**

No Brasil, entrou em vigor em 1996, uma norma baseada na referida norma americana, a NBR 13.700.




34

A determinação das classes de pureza de ar é baseada numa tabela. Os valores limite das concentrações de partículas são dadas para duas unidades de medição para o volume de ar: o pé cúbico - como nas versões anteriores do U.S. Federal Standard 209 - e o metro cúbico.

Classes de limpeza para partículas em suspensão											
Classe ^{xx}		Limites de classes ^z									
		0,1µm		0,2µm		0,3µm		0,5µm		5,0µm	
SI	Sistema Inglês ^{zzz}	Unid. m ³	Vol. ft ³	Unid. m ³	Vol. ft ³	Unid. m ³	Vol. ft ³	Unid. m ³	Vol. ft ³	Unid. m ³	Vol. ft ³
M1		350	9,91	75,7	2,14	30,9	0,875	10	0,283	-	-
M1,5	1	1240	35	265	7,5	106	3	35,3	1	-	-
M2		3500	99,1	757	21,4	309	8,75	100	2,83	-	-
M2,5	10	12400	350	2660	75	1060	30	353	10	-	-
M3		35000	991	7570	214	3090	87,5	1000	28,3	-	-
M3,5	100	-	-	26600	750	10600	300	3530	100	-	-
M4		-	-	76700	2140	30900	875	10000	283	-	-
M4,5	1000	-	-	-	-	-	-	35300	1000	247	7
M5		-	-	-	-	-	-	100000	2830	618	17,5
M5,5	10000	-	-	-	-	-	-	353000	10000	2470	70
M6		-	-	-	-	-	-	1000000	28300	6180	175
M6,5	100000	-	-	-	-	-	-	3530000	100000	24700	700
M7		-	-	-	-	-	-	10000000	283000	61800	1750

35



Classe da Sala Limpa


Classe 1: Contagem de **1 partícula** por pé cúbico de ar (tamanho de partícula $\geq 0,5$ micron)

Classe 10: Contagem de **10 partículas** por pé cúbico de ar (tamanho de partícula $\geq 0,5$ micron)

Classe 100: Contagem de **100 partículas** por pé cúbico de ar (tamanho de partícula $\geq 0,5$ micron)

Classe 1000: Contagem de **1000 partícula** por pé cúbico de ar (tamanho de partícula ≥ 0.5 micron)

e assim sucessivamente até a **classe 100.000**
que é a menos rigorosa existente.



36

Tabela Resumo

	Tamanho das partículas em microns	CLASSE					
		100.000	10.000	1.000	100	10	1
Quantidade máxima de partículas por PE ³ >=	5,0	700	70	7	-	-	-
	0,5	100.000	10.000	1.000	100	10	1
	0,3	-	-	-	300	30	3
	0,2	-	-	-	750	75	7,5
	0,1	-	-	-	-	350	35
Distribuição do ar		Turbulento		Misto	Laminar		
Nº de recirculações por hora para área com pé direito até 3m		10-25	20 - 60	120 - 130	360 - 500	500 - 600	500 - 600
m ³ /h por m ² de piso		30 - 75	60 - 180	360 - 900	1000 - 1600	1600 - 1800	1600 - 1800
Velocidade de face nos filtros (m/s)		-	-	01 - 0,25	0,3 - 0,45	0,45 - 0,50	0,45 - 0,50
Melo de distribuição do ar		Difusor		Teto filtrante			
		Teto perfurado	Teto perfurado Duto filtrante				
Retorno do ar		Lateral ou junto do piso		Lateral, junto ao piso ou pelo piso	Junto ao piso ou pelo piso	Piso	
Sobrepessão na sala (Pa)		> 5	> 10-20	> 10 - 20	> 15 - 25	> 15	> 15

37

A identificação da classe de pureza de ar compreende três informações: a designação numérica da classe de pureza, o tamanho ou os tamanhos de partículas para os quais os limites de concentração estão especificados, e ainda o estado ocupacional da área limpa.

- Como construído (as-built)

Sistema de controle de contaminação completo e com todas suas partes ligadas e em operação, porém, sem dispositivos de produção, sem equipamentos e sem pessoal.


- Em repouso (at rest)

Sistema de controle de contaminação completo, com dispositivos e equipamentos de produção funcionando como combinado entre usuário e fornecedor, porém sem pessoal.

- Em operação (operational)


Sistema de controle de contaminação operando como o estabelecido, com a equipe de pessoal especificada trabalhando como combinado.

38




Sumário

- 1) A história das salas limpas.
- 2) A poluição do silício.
- 3) Fontes de contaminação.
- 4) Diâmetro das partículas
- 5) Filtros de ar
- 6) Fluxo de ar em áreas limpas
- 7) Normas e classificação das salas limpas.
- 8) Comportamento.**
- 9) Produtos básicos.
- 10) Bibliografia geral.
- 11) Limpeza




39



Comportamento Humano

O pessoal que trabalha em áreas limpas deve estar ciente do fato de que o homem é uma fonte de contaminação muito eficaz, pois transmite esta contaminação não somente por via aérea, mas também por contato.

Conseqüentemente, é necessário aplicar uma **disciplina rígida** de trabalho para contornar este risco. Além disso, é necessário **diminuir as interações diretas entre homem e processo**, limitando-se sempre que possível à supervisão do processo. Assim, processos automáticos fazem contribuições altamente relevantes ao controle de contaminação.



40



PRODUTOS BÁSICOS REQUERIDOS PARA O CONTROLE DE LIMPEZA EM UMA SALA LIMPA

TAPETE ADESIVO



Este tapete é colocado nas **portas de entrada** das Salas Limpas para remover ou minimizar a **poeira aderida às solas dos sapatos** sempre que o pessoal entra na Sala Limpa.

A poeira das solas é atraída à camada adesiva do tapete ficando impregnada no mesmo.



41





CORTINAS DE AR

Geralmente instalado na entrada da Área controlada, a cortina ou câmara de ar é uma maneira eficiente de **remover ou minimizar a poeira** que é acumulada na superfície das luvas e das vestimentas.



42




LUVAS


As luvas para Sala Limpa servem como a primeira proteção para os produtos contra a contaminação introduzida pelas mãos nuas.

As mãos contêm contaminantes tais como o cloreto e sódio.



Os tipos mais comuns de luvas incluem as Nitrílicas, as de Látex e as de Vinil, todas isentas de talco.



43




VESTIMENTAS



Um bom conjunto de vestimentas **previne o espalhamento** de partículas da roupa do colaborador no ambiente.

As fontes mais comuns geradoras de partículas são **algodão/jeans** (macacões para Sala Limpa/Jalecos), **cabelo** (touca), **sapatos** (botas/sapatos/protetores descartáveis para sala limpa), **células de pele e pêlos faciais** (máscaras).



44



PANOS ANTI-PARTÍCULAS



Os panos anti-partícula são ideais para limpeza geral de peças, estações de trabalho e máquinas. Os panos anti-partícula projetados para aplicações em Ambientes Críticos **não soltam partículas nem sofrem desfiamento**.

A maioria dos panos anti-partícula são fabricados de poliéster ou microfibra.



45



ARTIGOS DE ESCRITÓRIO



Os artigos de escritório para Sala Limpa são materiais especialmente formulados apropriados para aplicações em Ambientes Críticos. Estes artigos de papelaria são diferentes dos normais nos termos de **liberação de gases** (volatilização), de **particulados** (particulação) e de **contaminação iônica**.

Alguns exemplos de artigos de escritório são papel, arquivos e canetas para Sala Limpa.



46



EMBALAGENS



A embalagem serve como uma “Sala Limpa móvel”, protegendo e transportando produtos de uma posição a outra (o material da embalagem previne que os produtos sejam expostos ao ambiente comum que é altamente contaminado).

Os materiais ideais para embalagens de Sala Limpa incluem sacos LDPE, sacos de NylonPE, os sacos de alumínio com barreira de umidade e as embalagens com blindagem eletrostática.



47



SISTEMA DE IONIZAÇÃO



Os sistemas de ionização do ar geram uma grande quantidade de **íons positivos e negativos para aumentar a condutividade do ar.**

Quando os íons percorrem o ar, eles são atraídos por partículas e superfícies de carga oposta. Assim, a neutralização de superfícies carregadas reduz a atração de poeira.

A poeira será removida com a circulação de ar por meio de filtros HEPA/ ULPA.



48



Bibliografia

Todos os textos, fotos e tabelas foram consultados de “sites” da Internet, sendo a maioria deles na língua inglesa.

A seguir estão os “sites” utilizados:

http://www.cabano.com.br/salas_limpas.htm	(Português)
http://www.vestclean.com.br/	(Português)
http://www.cleanroomeng.com/	(Inglês)
http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/cleanroom_e/aboutcr/	(Inglês)
http://www.hitachiplant.hbi.ne.jp/English/cleanroom/index.htm	(Inglês)
http://www.haackcompany.com/Products/CleanRm.html	(Inglês)
http://www.dataicu.com/cleanroom.html	(Inglês)
http://www.genesismission.org/product/cleanroom_trilogy.html	(Inglês)

