



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Mini-curso:
Introdução a Plasmas

XVI Semana da Física

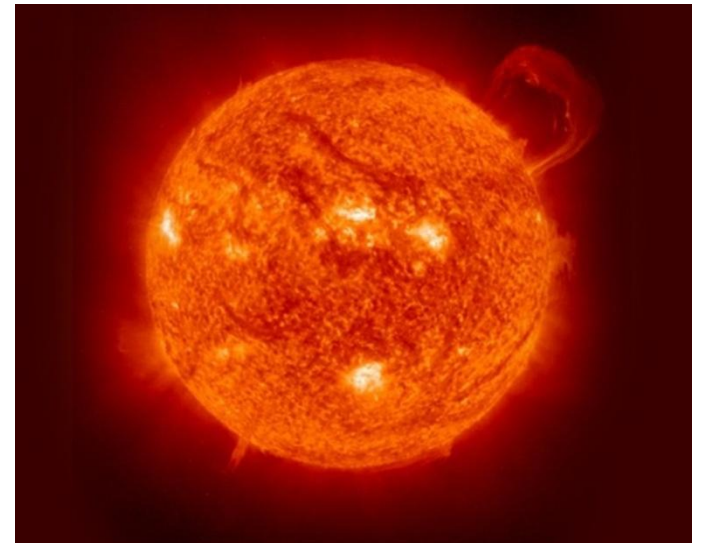
Julio César Sagás

22 de setembro de 2016

Sumário

- *História*
 - Primeiras observações de plasmas
 - Desenvolvimento da tecnologia de plasmas
- *Fundamentos físicos e químicos*
 - Processos colisionais
 - Classificação de plasmas
 - Propriedades
 - Tipos de descargas elétricas
 - Química de plasmas
- *Aplicações*
 - Aplicações de plasmas térmicos
 - Aplicações de plasmas não-térmicos

Um pouco de história



Um pouco de história



1923 Irving Langmuir descobre as oscilações do plasma.

1900

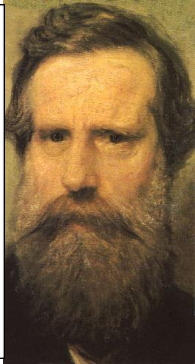
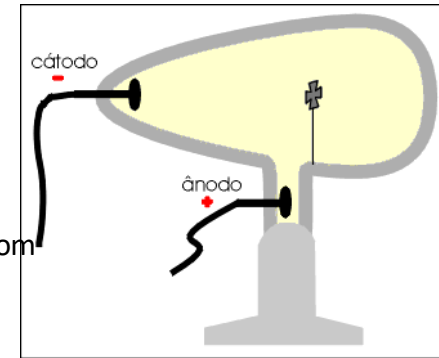
~1900 Joseph John Thomson revela a natureza dos raios catódicos.

~1890 Nikola Tesla realiza descargas em rádio-frequência.

~1880 William Crookes descobre o plasma.

1866 M. Berthelot faz conversão de compostos orgânicos com descargas elétricas.

1857 Werner von Siemens desenvolve o ozonizador, a primeira aplicação de plasmas tecnológicos.



1850

~1830 Michael Faraday estuda a descarga luminescente e discute a possibilidade de um quarto estado da matéria.



~1810 Ivan Petrov e Humphry Davy descobrem separadamente a descarga em arco.



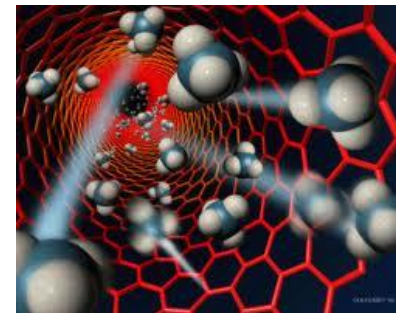
1800

~1781 Henry Cavendish sintetiza H_2O em descargas de H_2/O_2 .

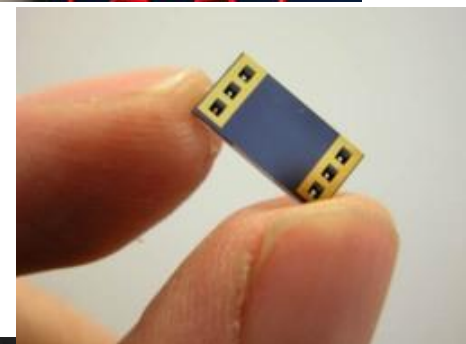
~1780 Georg Christoph Lichtenberg primeiro gera os padrões de descarga elétrica em alta tensão que levam seu nome.

Linha do tempo

Um pouco de história



Atualmente, a tecnologia de plasma apresenta-se como uma ferramenta essencial para a manipulação do mundo micro/nanoscópico.



Só na Alemanha, bem mais de 200 empresas atuam no domínio da tecnologia de plasma de baixa temperatura.

Processadores e chips são fabricados em áreas cada vez menores com o uso da tecnologia de plasmas.



H. Tracy Hall descobre diamantes como um produto de descargas elétricas em gás acetileno em altas temperaturas de processo ($\sim 2000^{\circ}\text{C}$).



General Eletric Co. inventa a lâmpada fluorescente. Esta é a primeira lâmpada de descarga elétrica em baixa pressão para fornecer luz branca e contínua.

Linha do tempo

2000

~2000

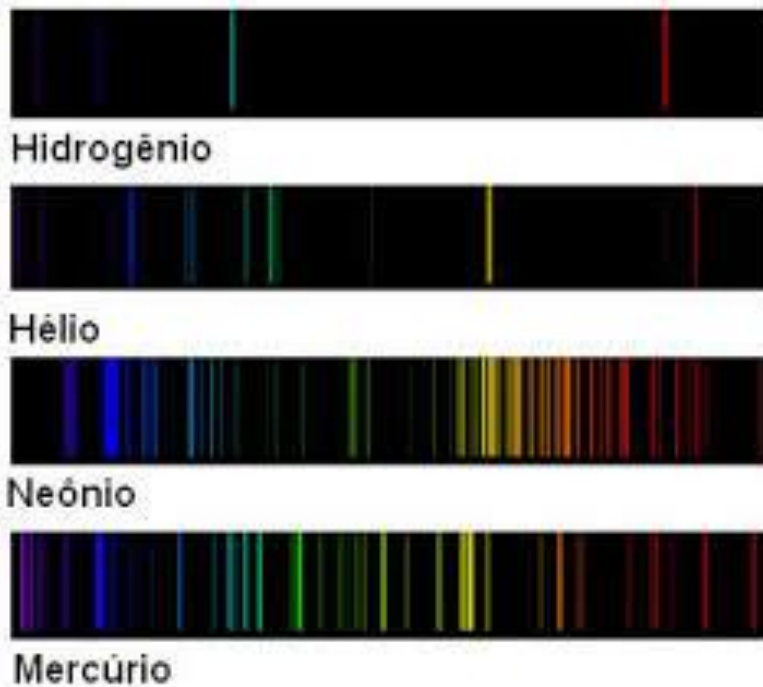
1980

1950

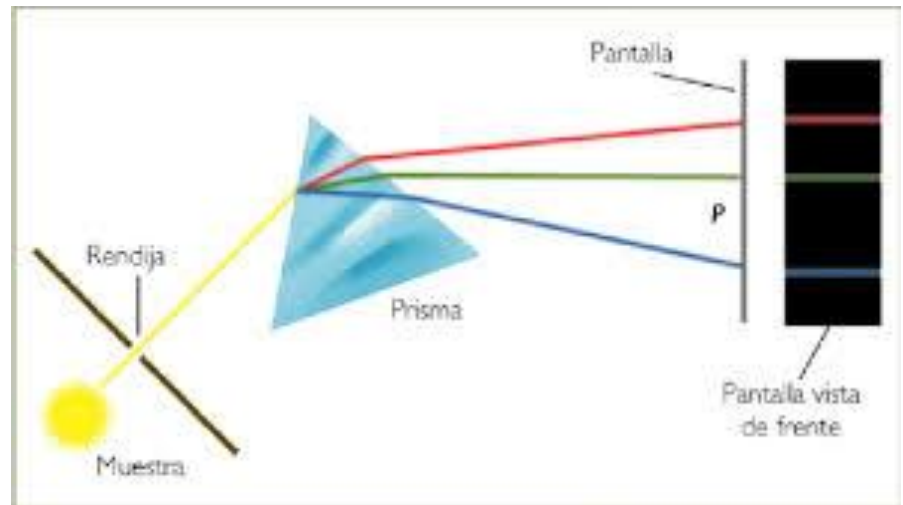
1954

1938

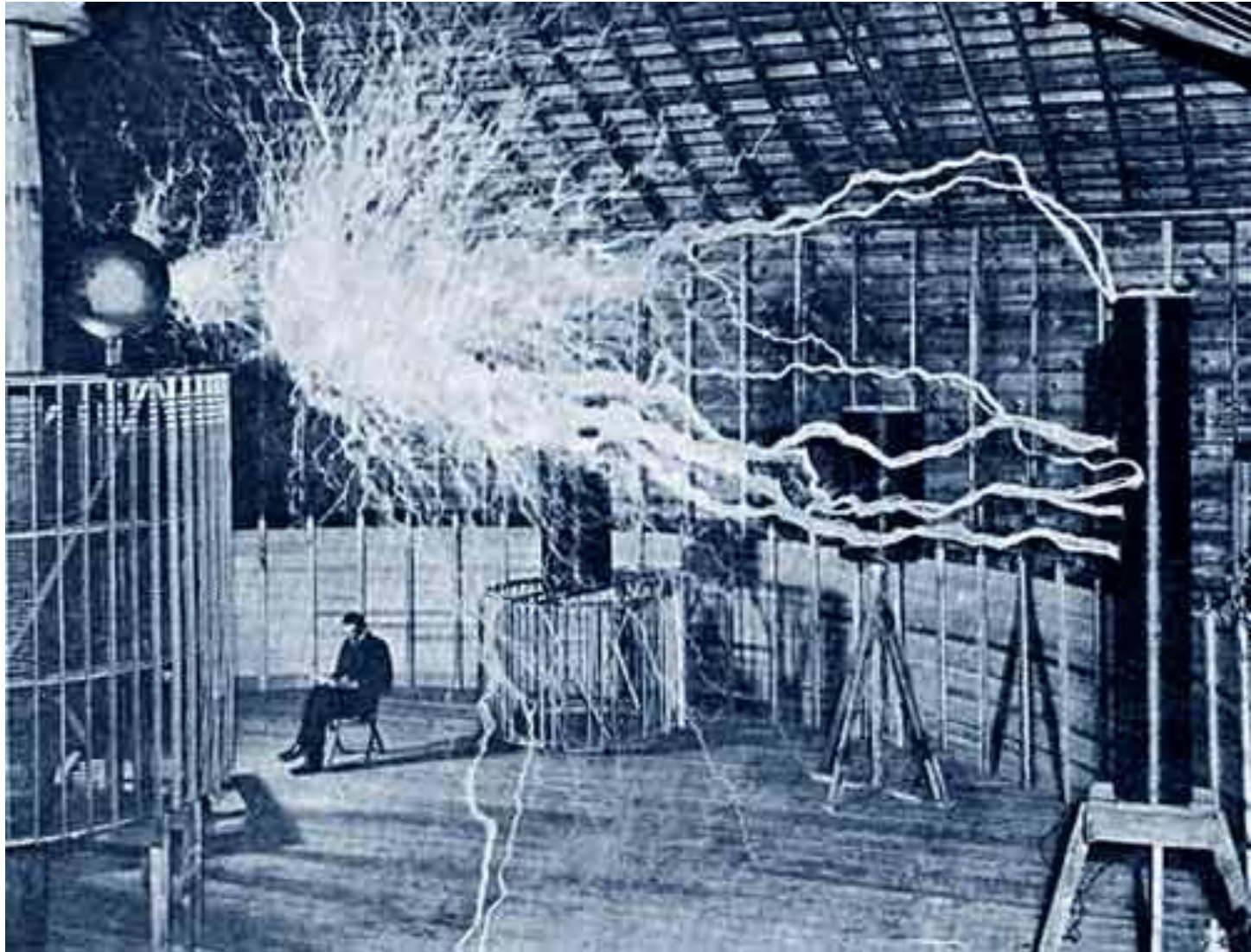
Descargas elétricas e o desenvolvimento da Física Moderna



$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$



É absolutamente seguro



FUNDAMENTOS

Plasmas

Plasma é o quarto
estado da matéria?

Plasmas

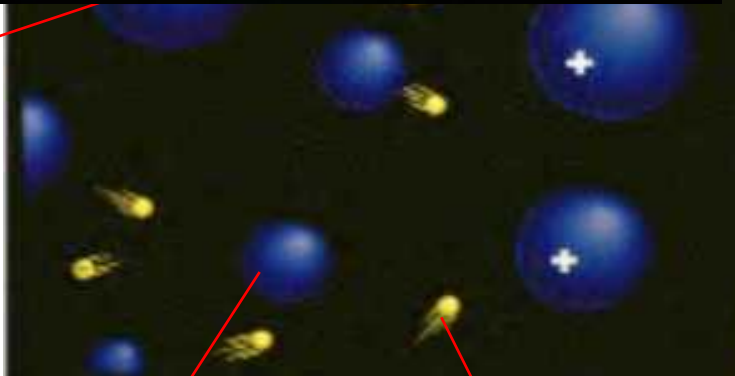
→ Plasma (πλάσμα - “substância moldável”):

ente ionizado no qual as densidades de
proximadamente iguais.

em 1923 por Langmuir e Tonks quando
gases.

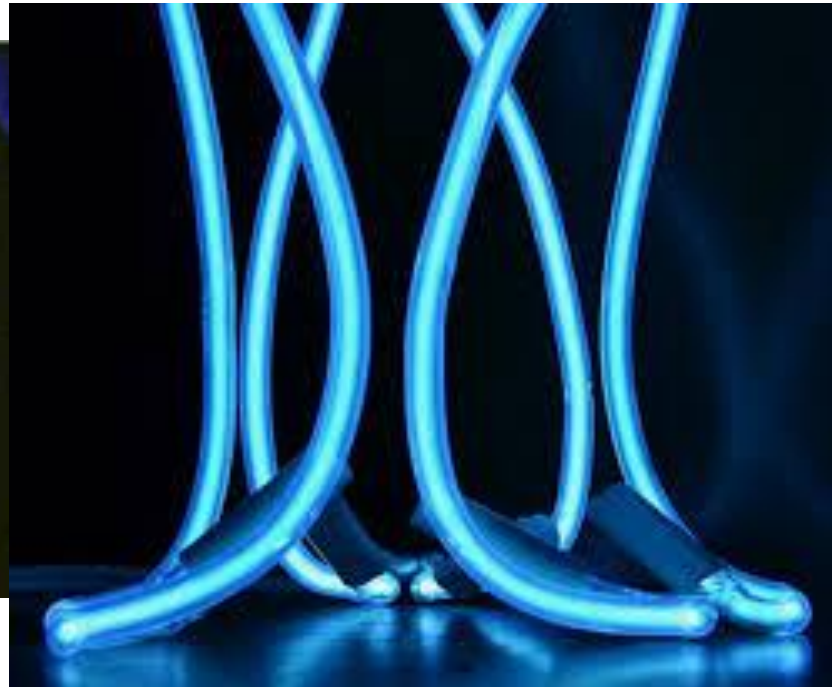


íon



espécie neutra

elétron



Espécies em um plasma

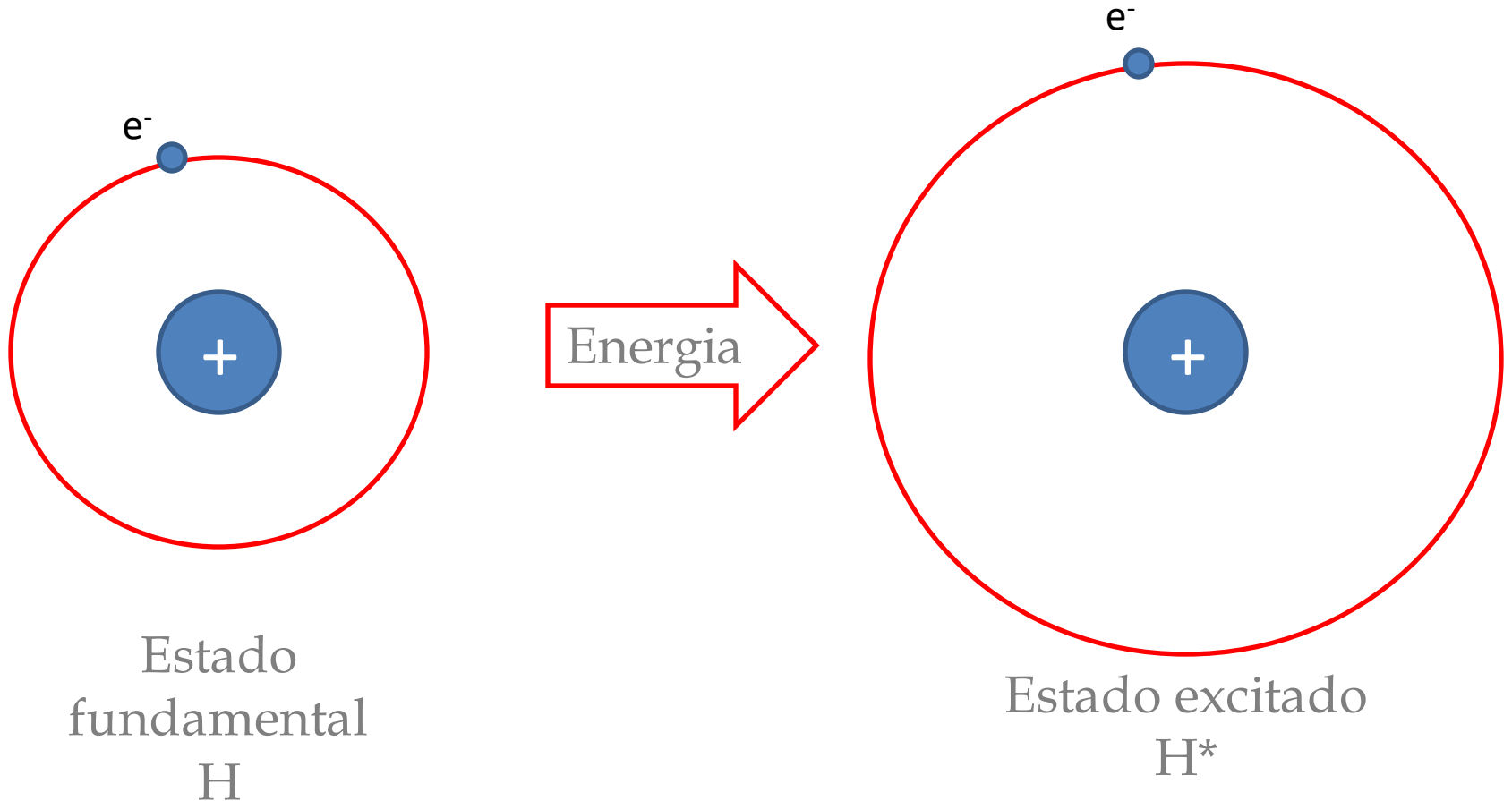
Um plasma é constituído por diversas espécies: partículas neutras, íons, elétrons e espécies excitadas.

Estas partículas colidem entre si, transferindo energia e momento umas para as outras.

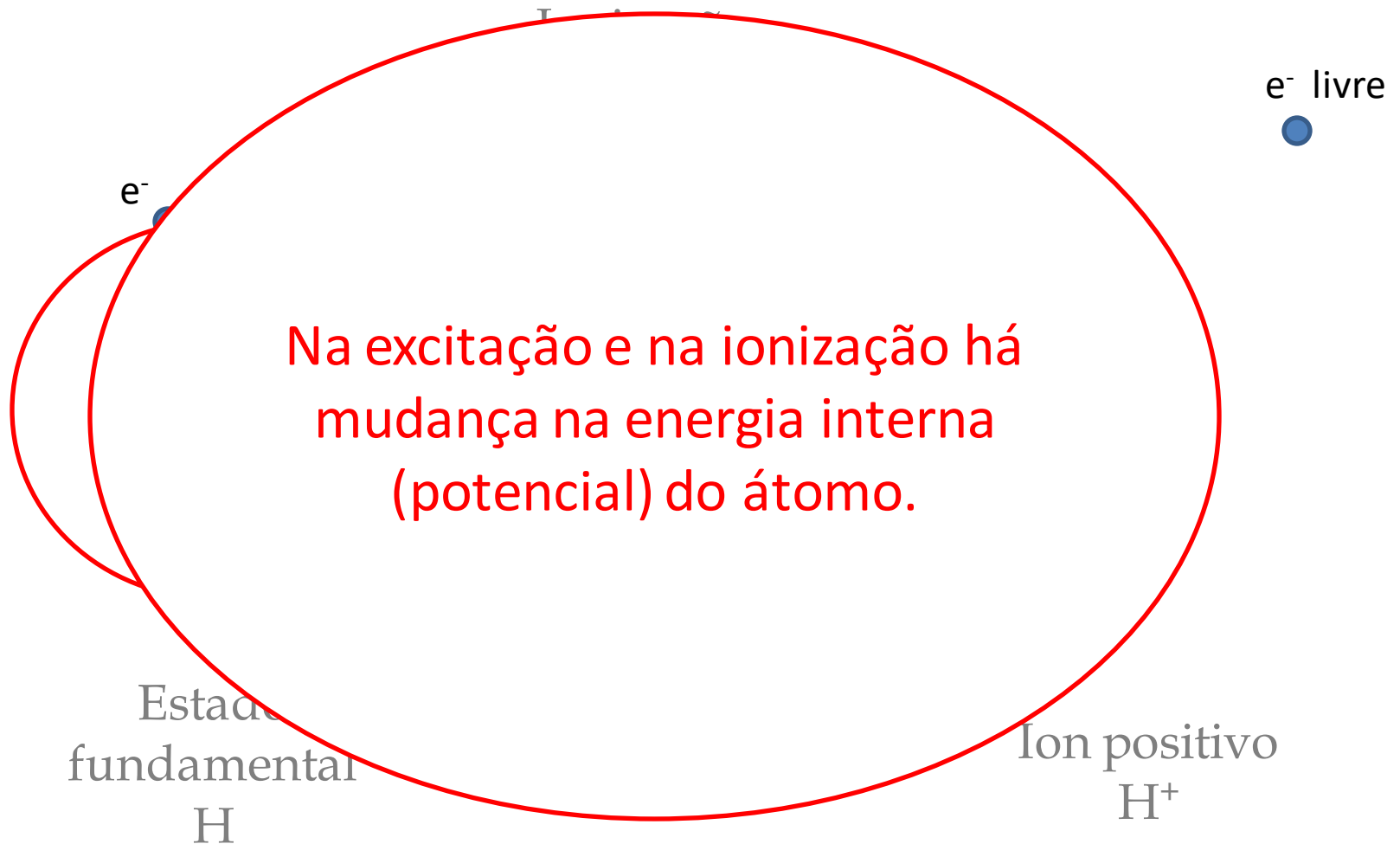


Excitação e ionização

Excitação:



Excitação e ionização



Colisões elásticas e inelásticas

Transferência de energia em uma colisão

Energia cinética
adquirida por
partícula-a

**Elétrons transferem pouca
energia cinética para átomos.**

partícula da
identidade

Para $m_1 = m_2$:

L_1

$$\frac{m_1}{m_2} \cos^2 \theta$$

Colisão íon-átomo

Colisão elétron-átomo

Colisões elásticas e inelásticas

Transferência

uma colisão

Variação de energia
potencial da
partícula-alvo

**Elétrons são muito eficientes
para alterar a energia interna
de átomos e moléculas.**

partícula da
alvo

Para $m_1 = m_2$:

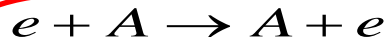
$$\frac{E_1}{E_1}$$

$$= \cos^2 \theta$$

Colisão íon-átomo

Colisão elétron-átomo

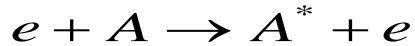
Processos colisionais



Colisão elástica



Ionização por impacto eletrônico direto



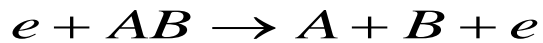
Excitação/formação de metaestável



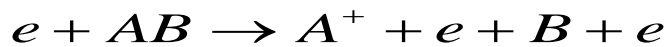
Desexcitação



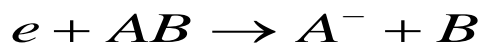
Ionização por etapas



Dissociação



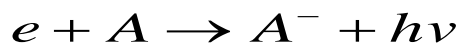
Ionização dissociativa



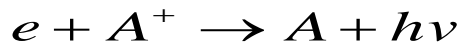
Attachment dissociativo



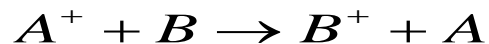
Recombinação no volume



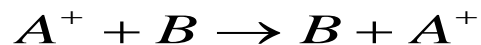
Attachment



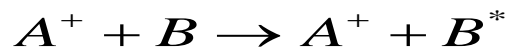
Recombinação radiativa



Transferência de carga (ressonante para B=A)



Colisão elástica



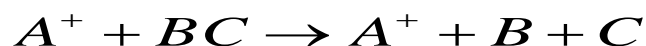
Excitação



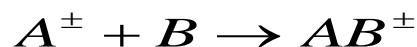
Ionização



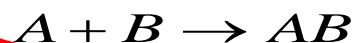
Ionização por efeito Penning



Dissociação



Oligomerização



Oligomerização

Seção de choque

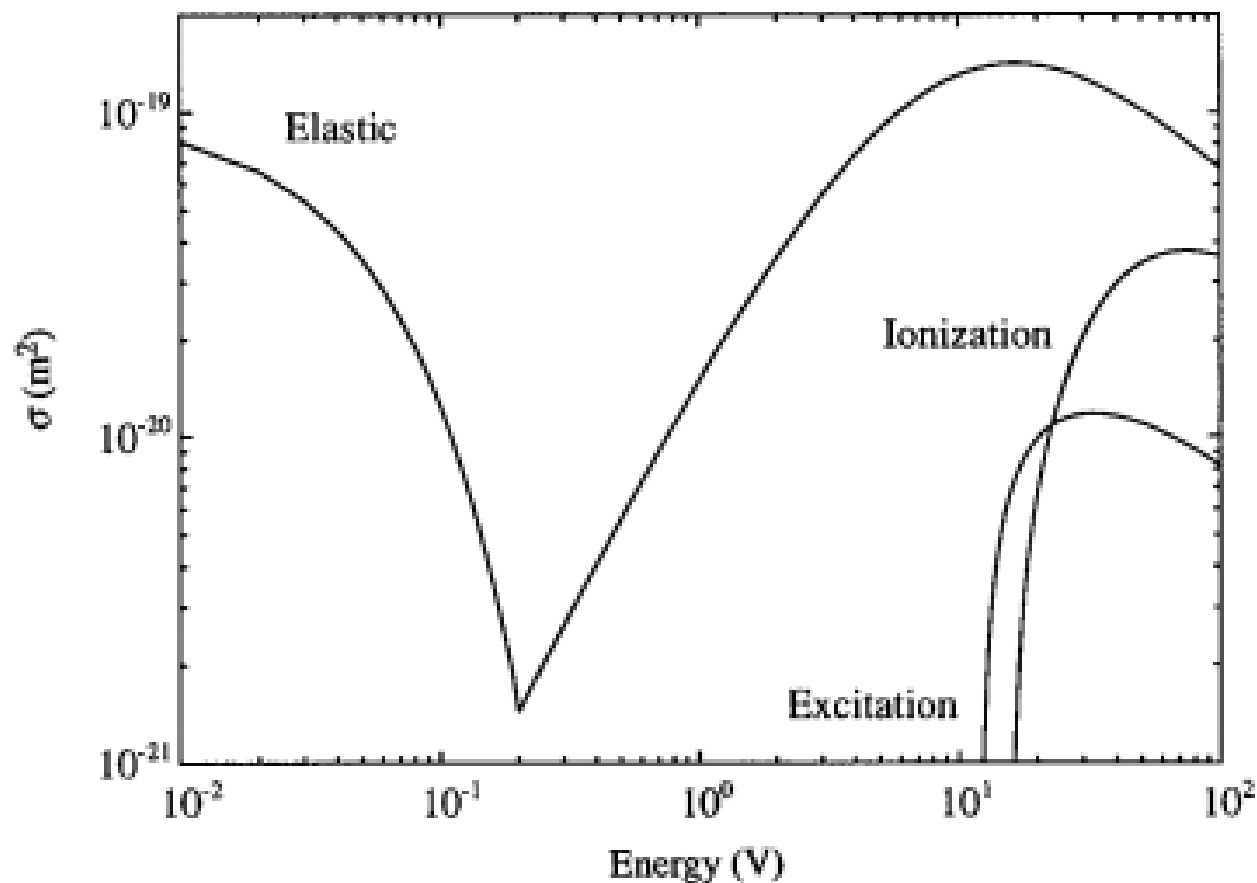
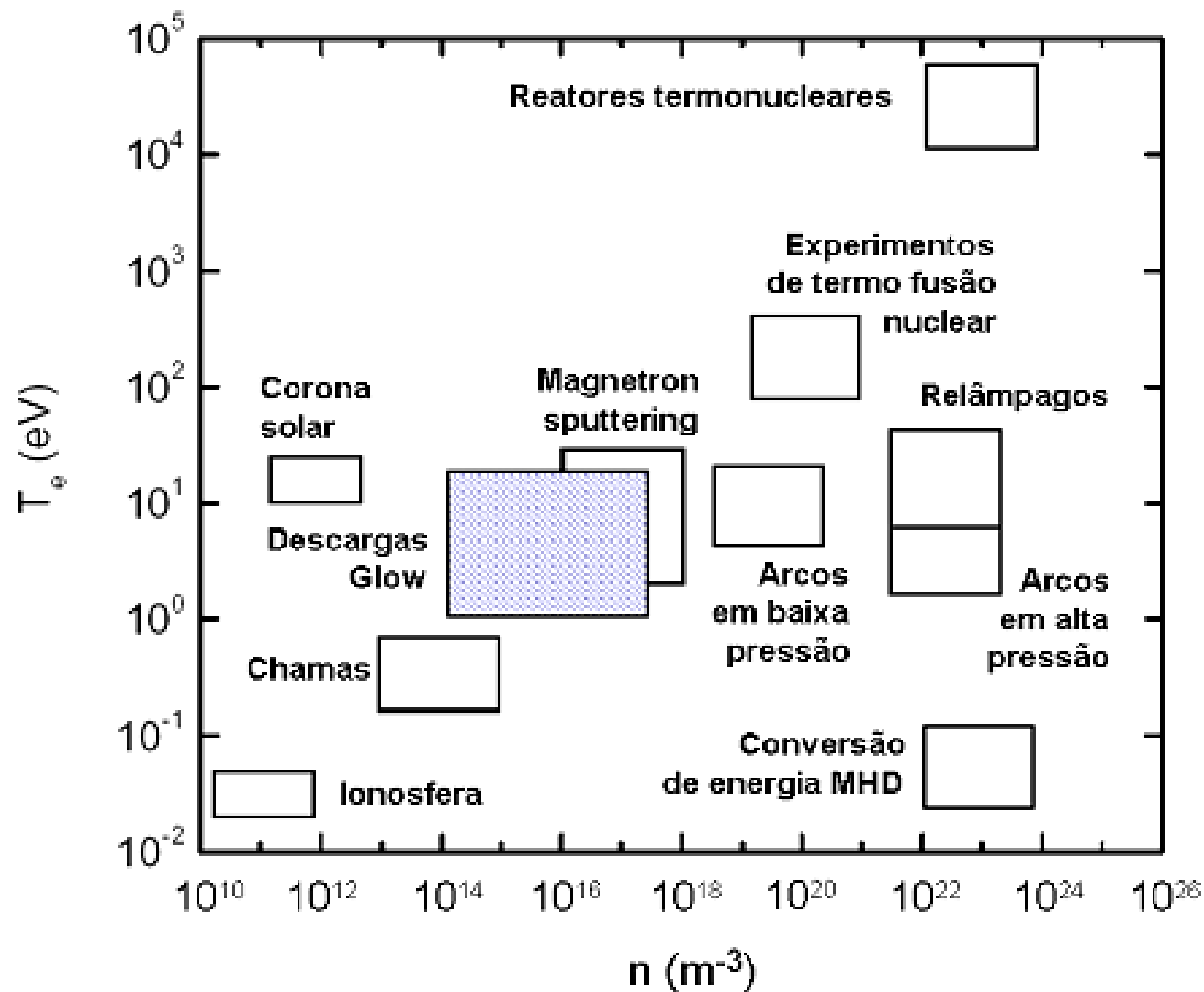


FIGURE 3.13. Ionization, excitation and elastic scattering cross sections for electrons in argon gas (compiled by Vahedi, 1993).

Propriedades de um plasma



Densidade e temperatura

$$n = \frac{\textit{partículas}}{\textit{volume}}$$

$$T = \frac{2}{kf} \langle E_{cin} \rangle$$

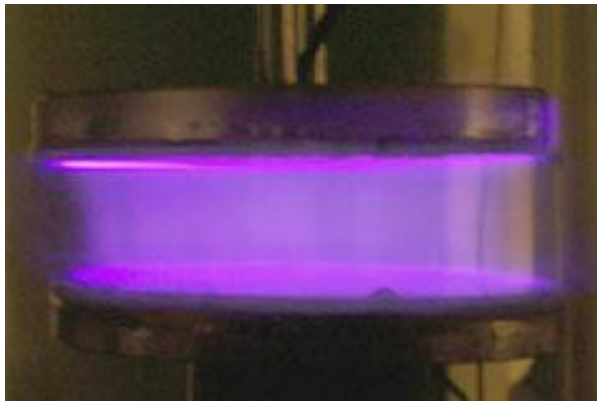
Na física de plasmas, a temperatura costuma ser dada em unidades de energia (eV). Neste caso, o termo temperatura se refere ao produto kT .

Classificação de plasmas: frio e quente



Quente
 $\alpha = 1$

$$\alpha = \frac{n_e}{n_{total}}$$



Frio
 $\alpha \ll 1$

Classificação de plasmas: térmico e não-térmico



Térmico

Equilíbrio Termodinâmico local

$$T_e \approx T_i \approx T_g$$

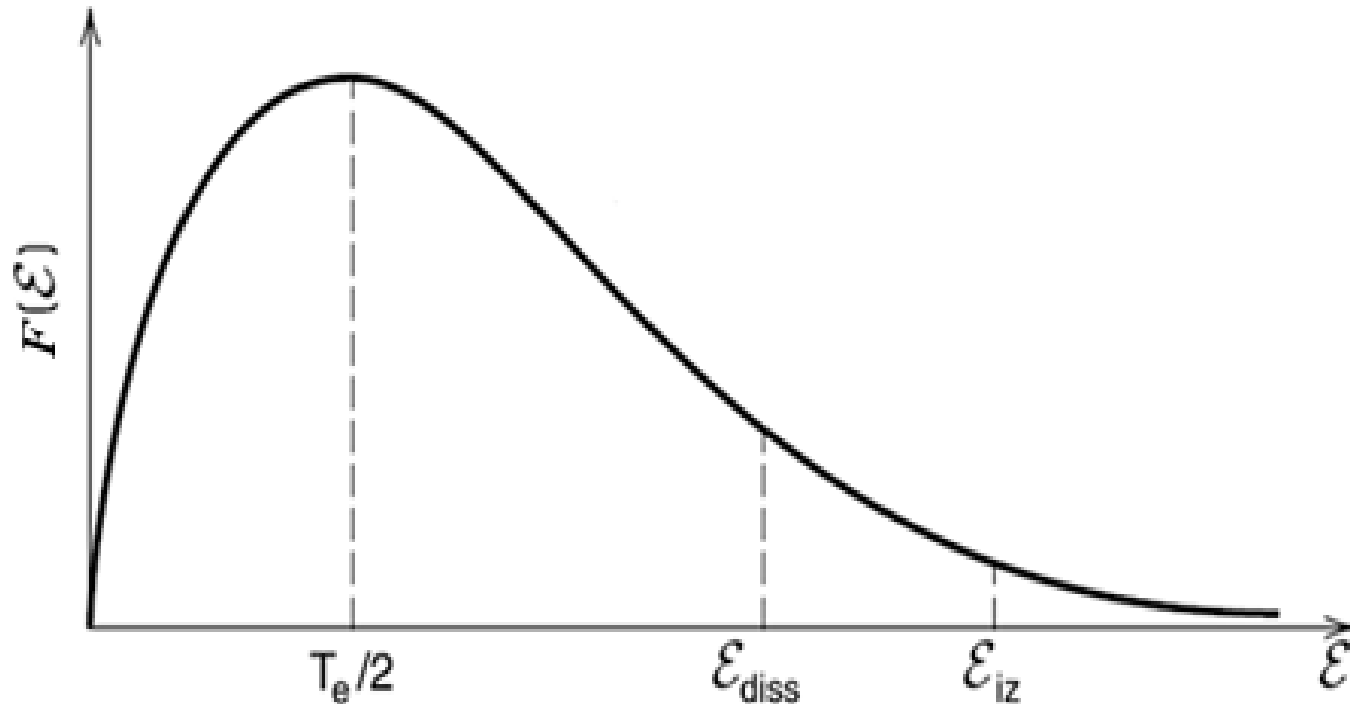


Não-térmico

Fora do equilíbrio termodinâmico

$$T_e \gg T_i \approx T_g$$

Função distribuição de energia



$$F(\varepsilon) = 2 \left(\frac{1}{kT} \right)^{3/2} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\pi}} \exp \left(-\frac{\varepsilon}{kT} \right)$$

Maxwell-Boltzmann

Descargas elétricas em gases

Descarga elétrica não
é sinônimo de plasma!

Definição formal de plasma

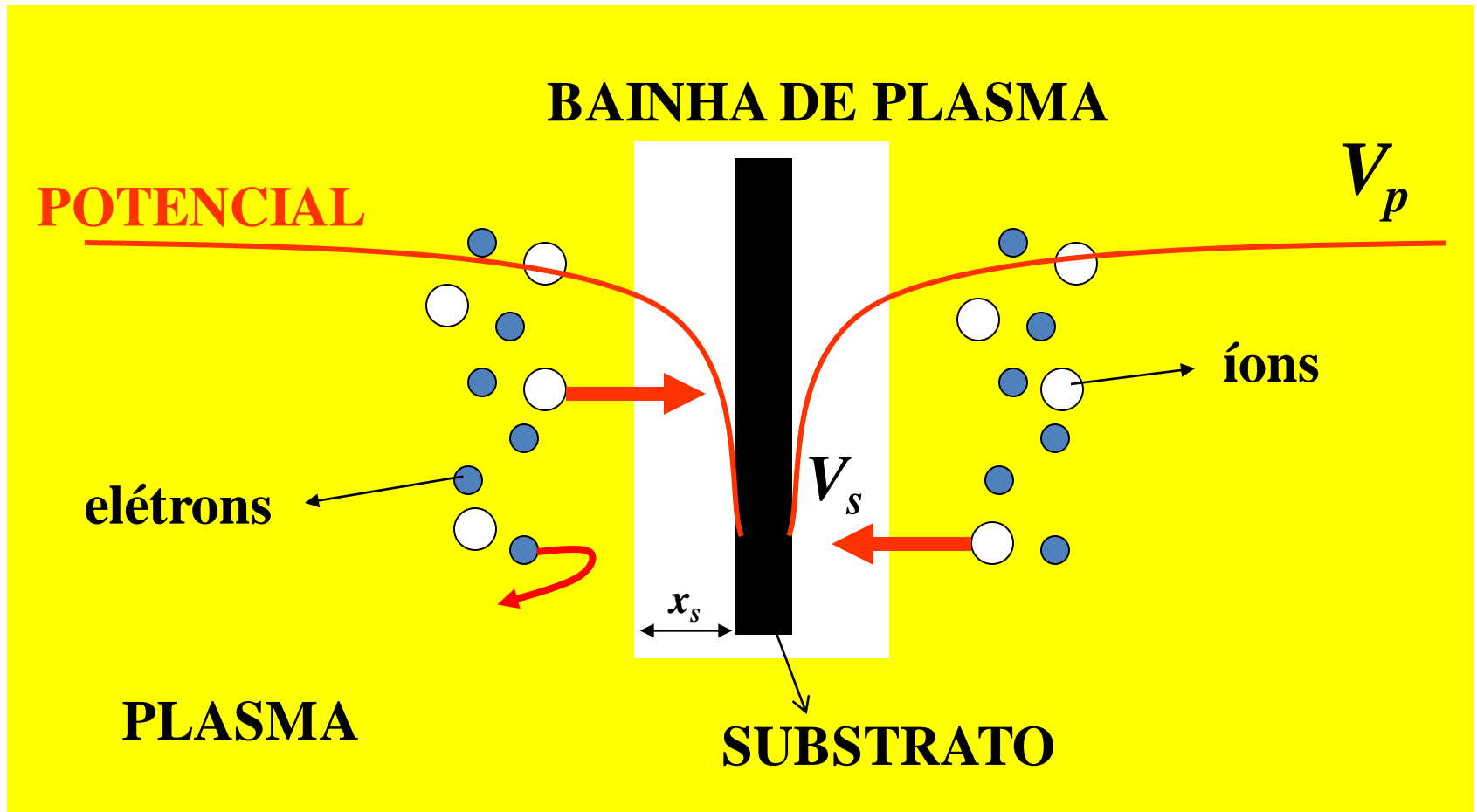
Condição de *quasi*-neutralidade:

$$n_+ \approx n_-$$

Blindagem:

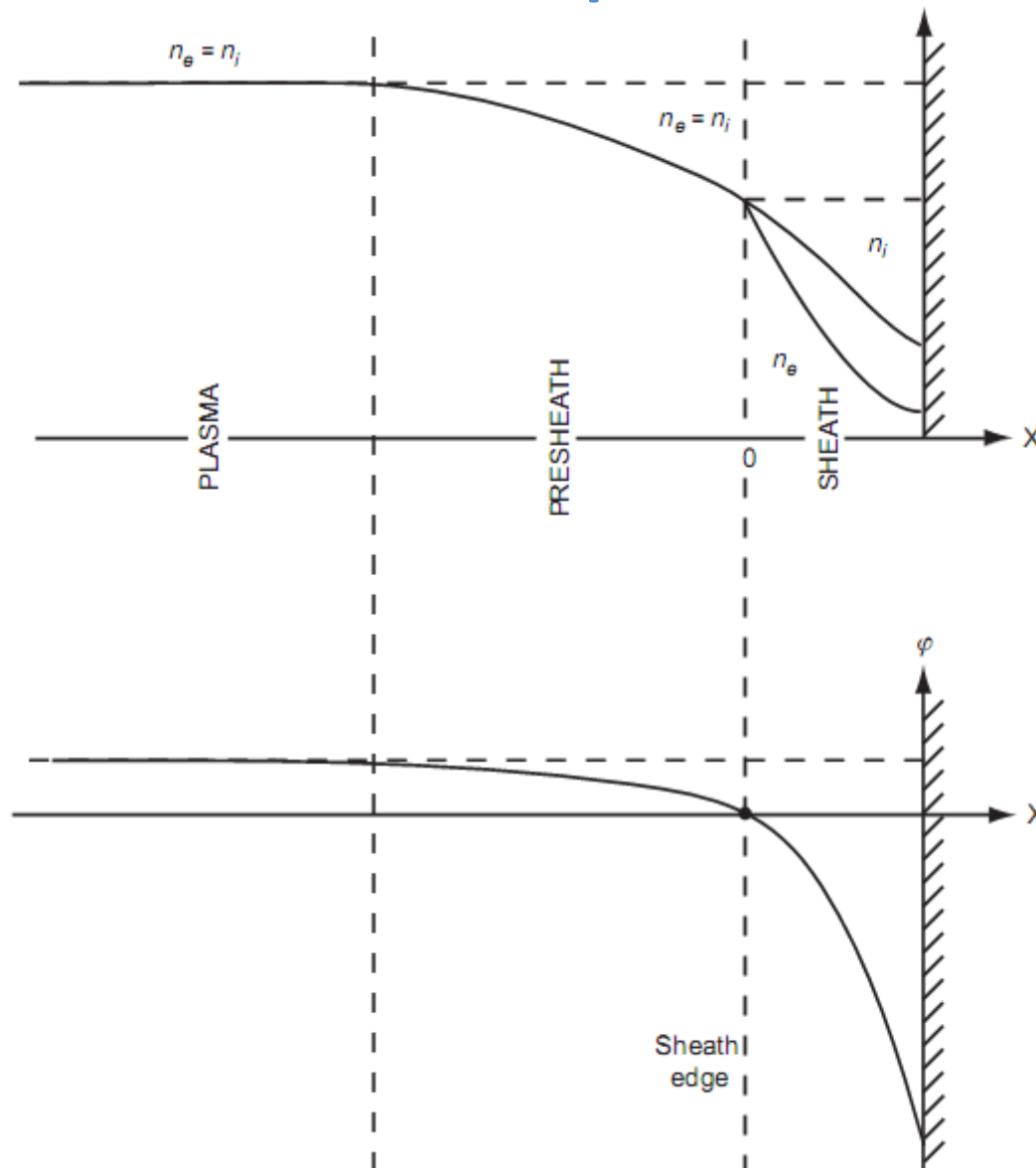
$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e e^2} \right)^{1/2} \ll L$$

Comprimento de Debye e bainha de plasma

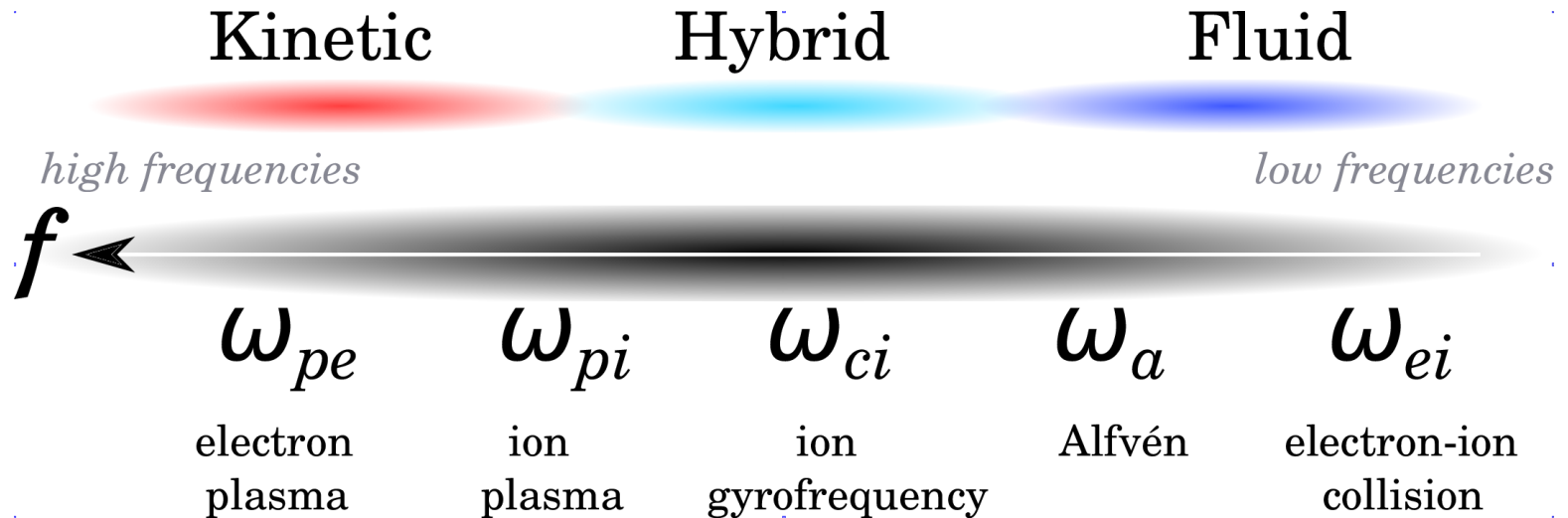


É na região de bainha onde ocorrem as reações de interação plasma-superfície!

Bainha de plasma

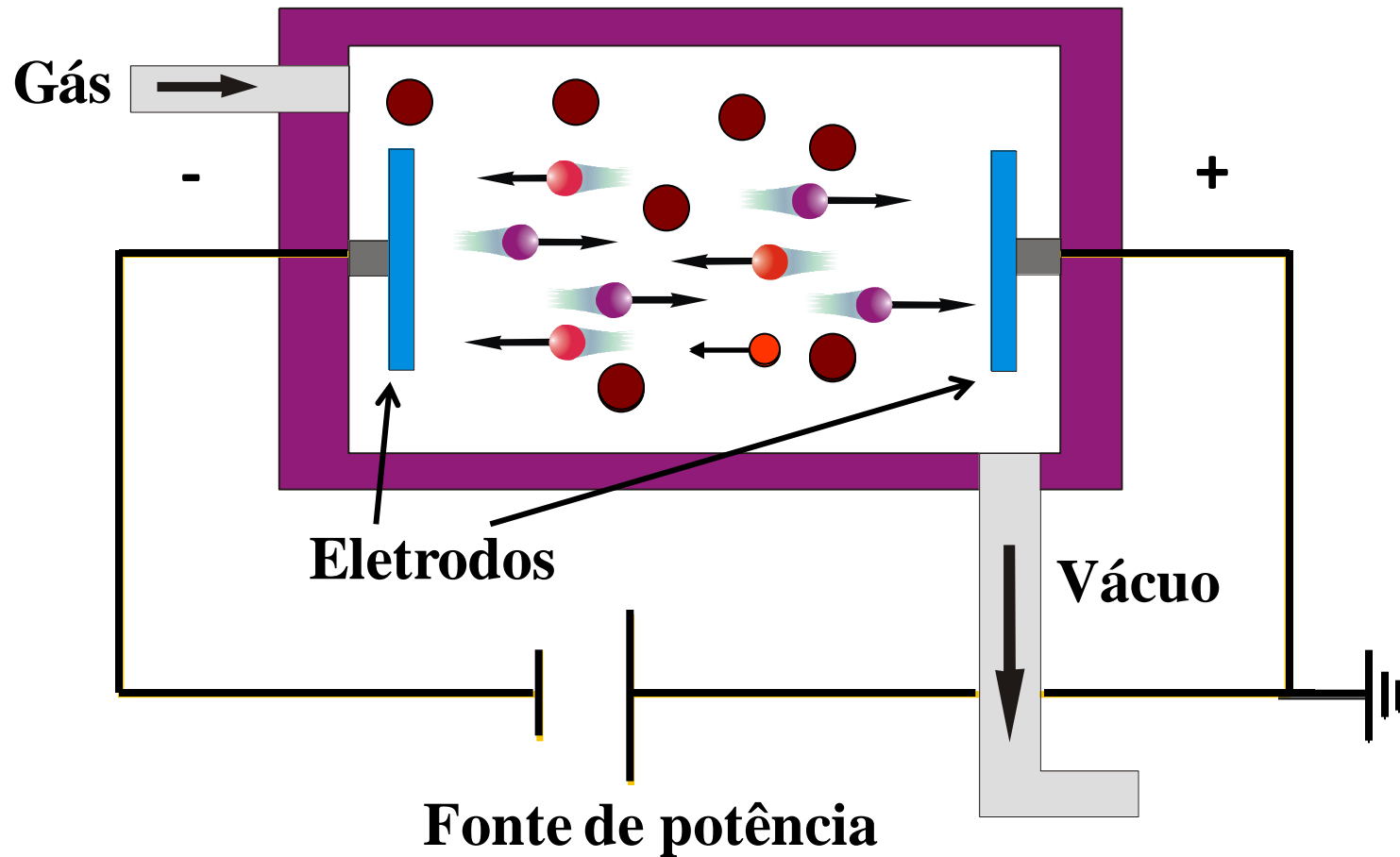


Frequência de plasma

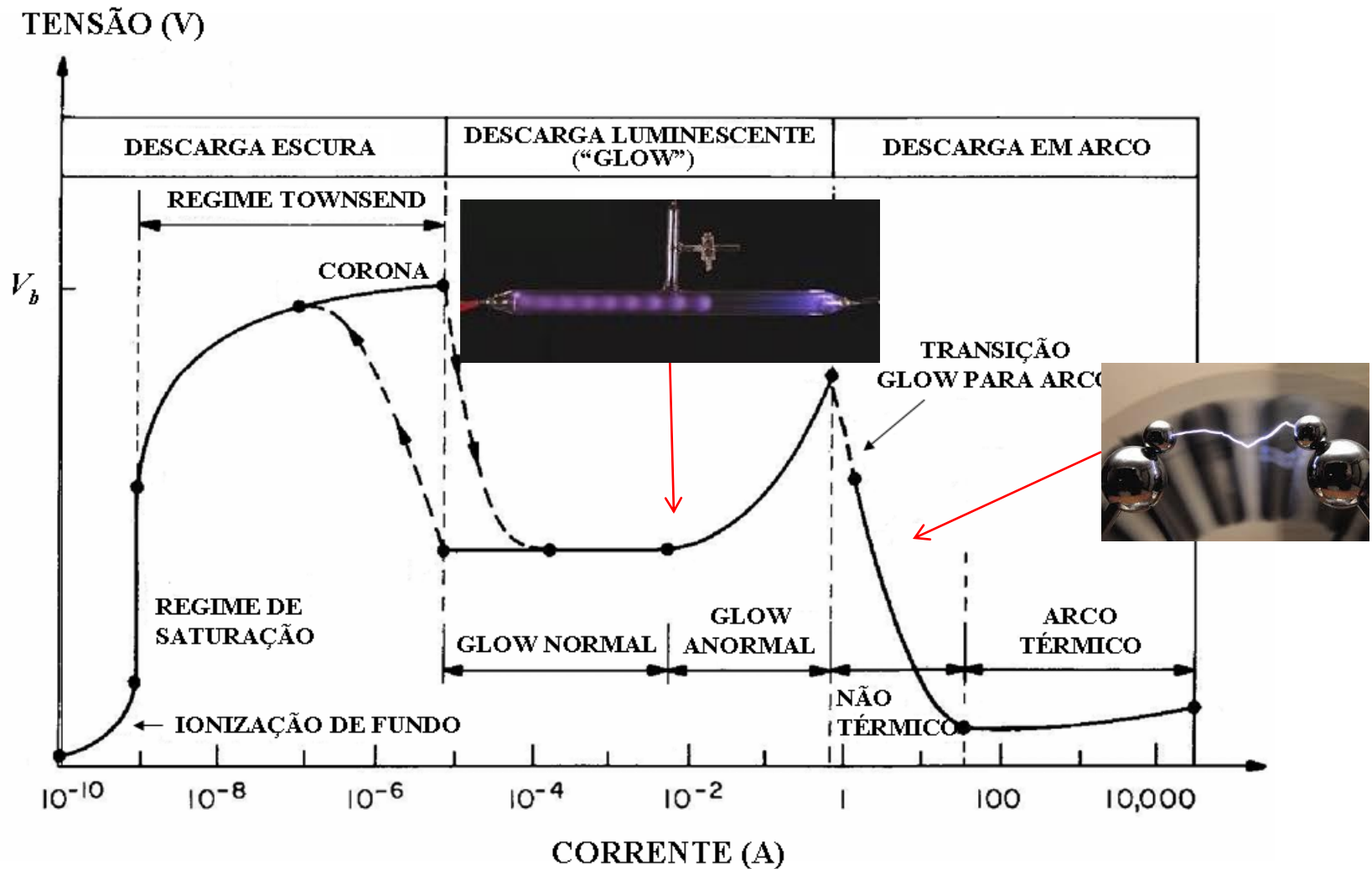


$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2}$$

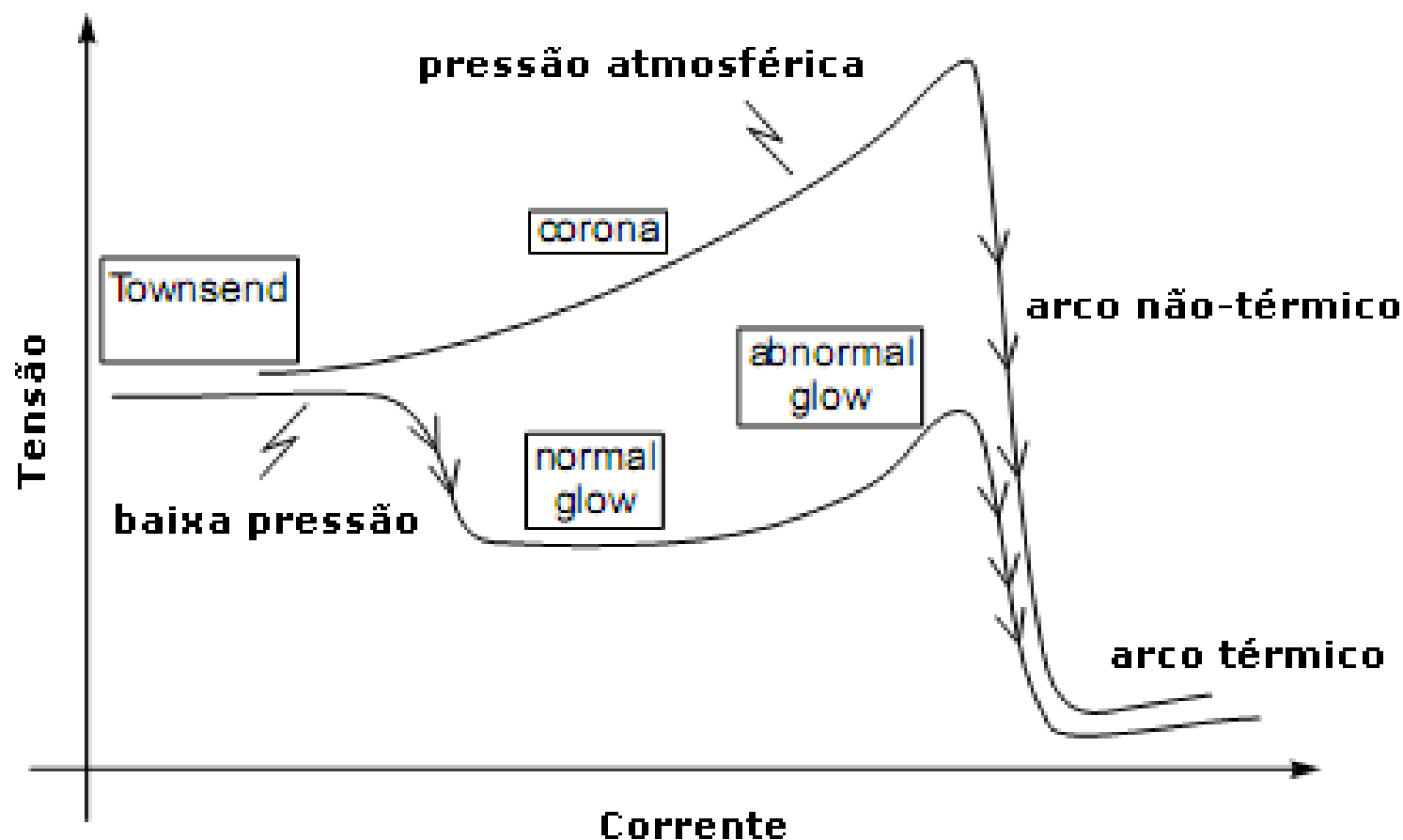
Como gerar um plasma?



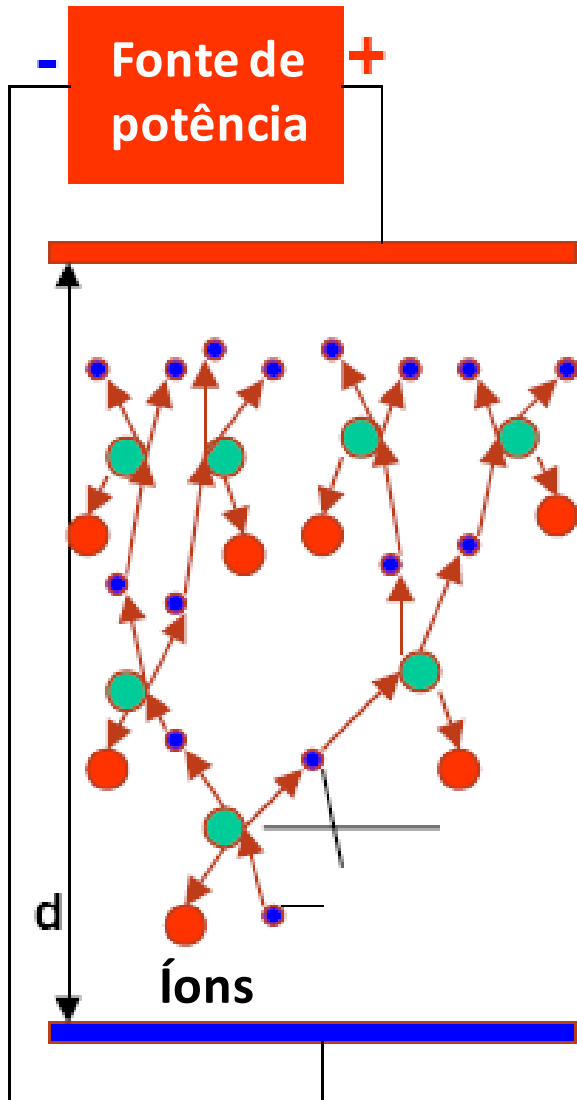
Como gerar um plasma?



Como gerar um plasma?



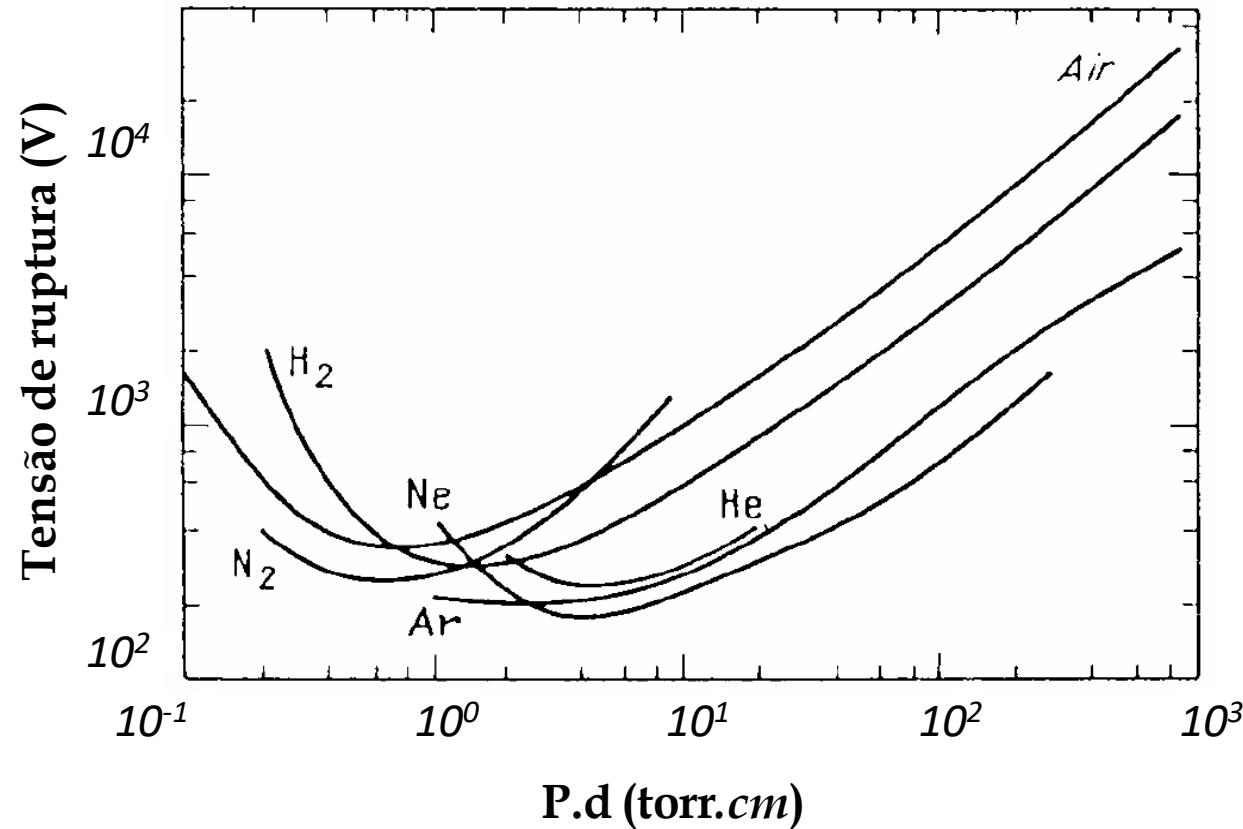
Descarga de Townsend



- **Descargas de Townsend** ocorrem quando os elétrons livres adquirem (entre duas colisões sucessivas) energia maior do que a energia de ionização do gás.
- Os elétrons causam ionização, gerando novos elétrons, que também podem causar mais ionizações, levando então ao processo de **avalanche**.
- O número de elétrons cresce **exponencialmente** com a distância entre os eletrodos.

$$dn = \alpha n dx$$

Descarga DC: Lei de Paschen



- Em baixa pressão a tensão de ruptura depende apenas do **produto $P.d$**

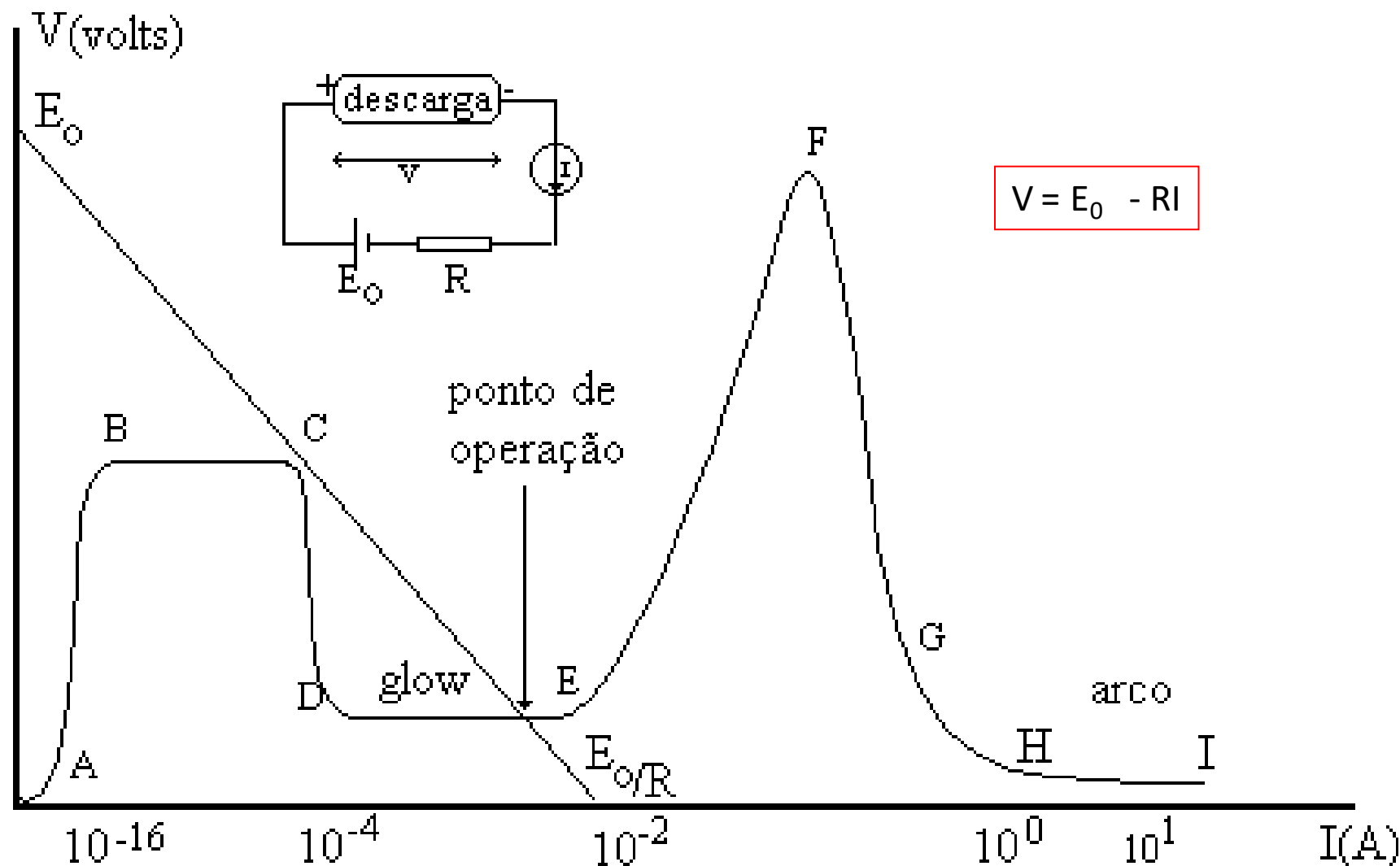
$$V_b = \frac{Bpd}{\ln \frac{Apd}{\ln(1 + 1/\gamma)}}$$

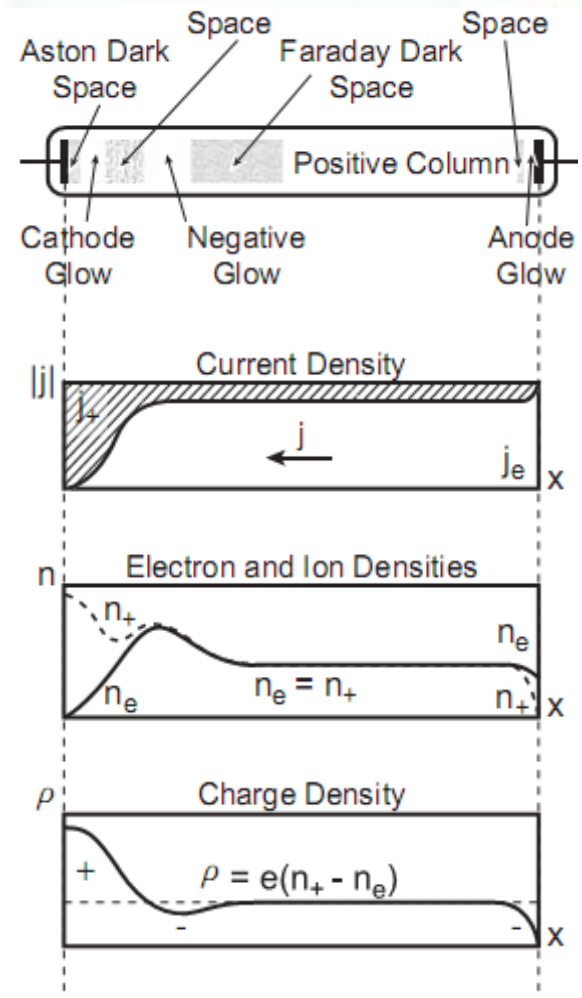
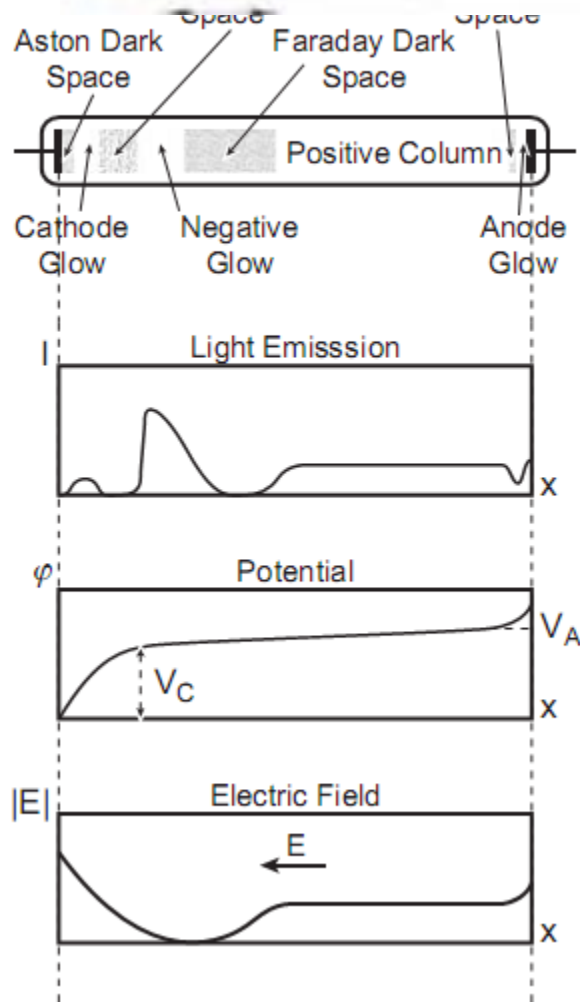
- A tensão de ruptura mínima e o correspondente valor de $P.d$ depende do gás e do **coeficiente de emissão de elétrons secundários (γ)** do material.

$$(V_b)_{min} = e \frac{B}{A} \ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)$$

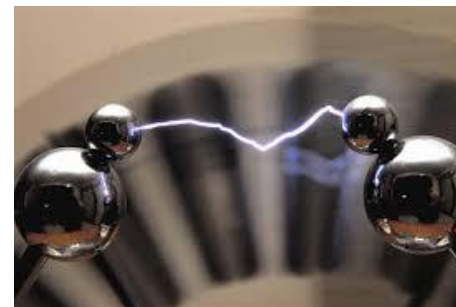
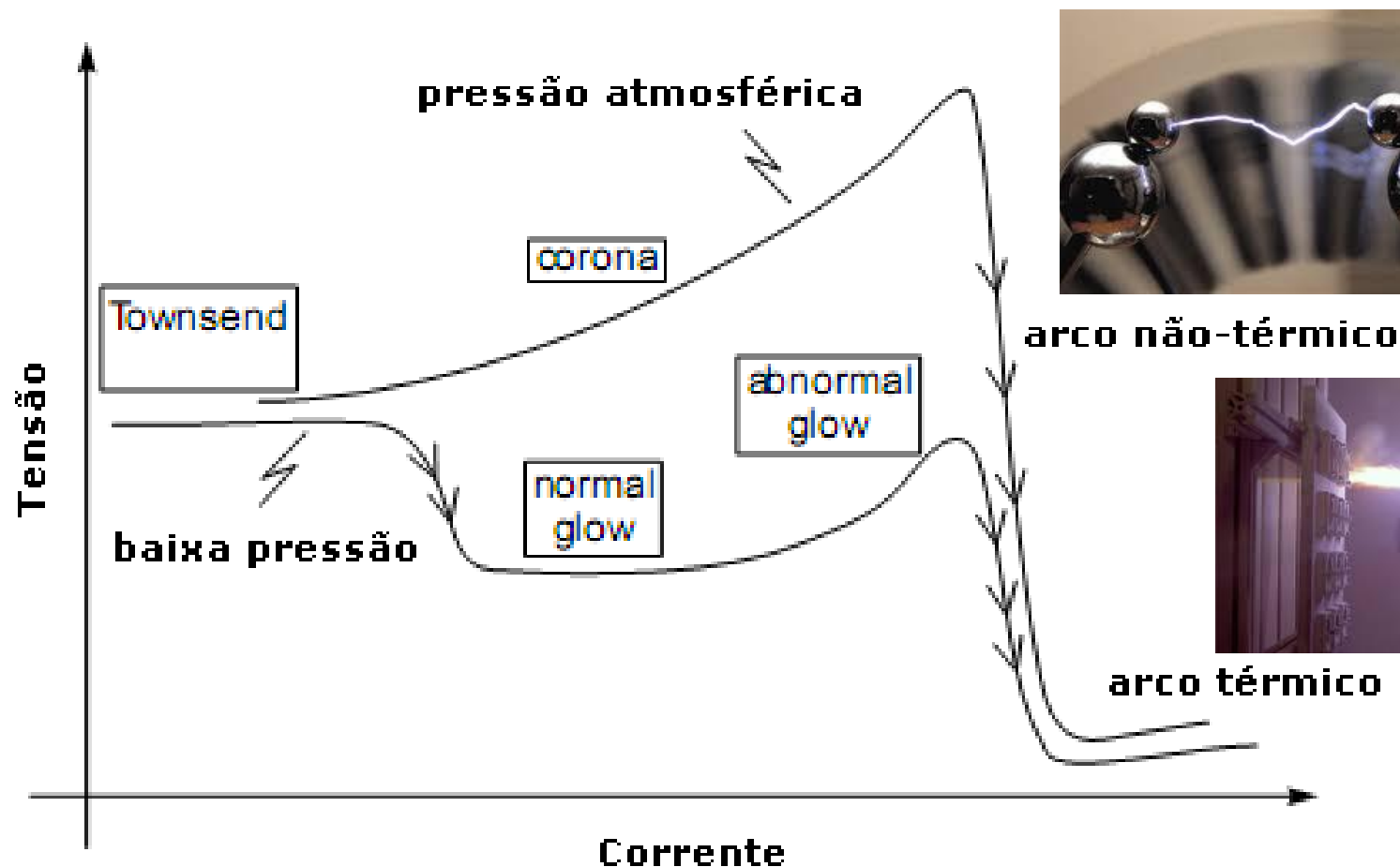
$$(P.d)_{min} = \frac{e}{A} \ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)$$

Reta de carga e ponto de operação

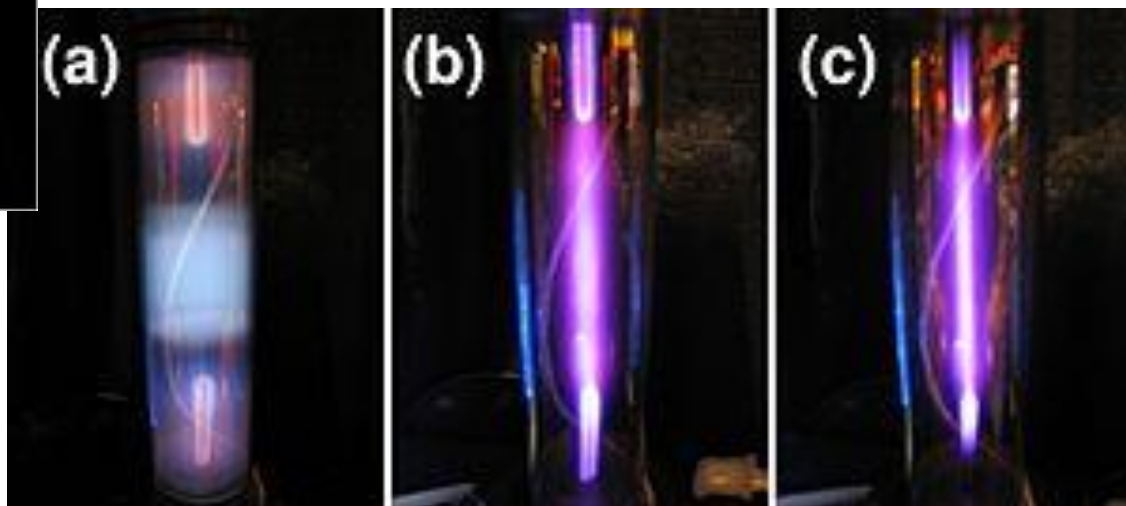
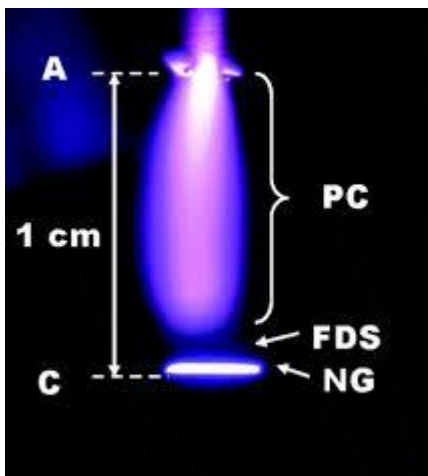




Descarga em arco – pressão atmosférica

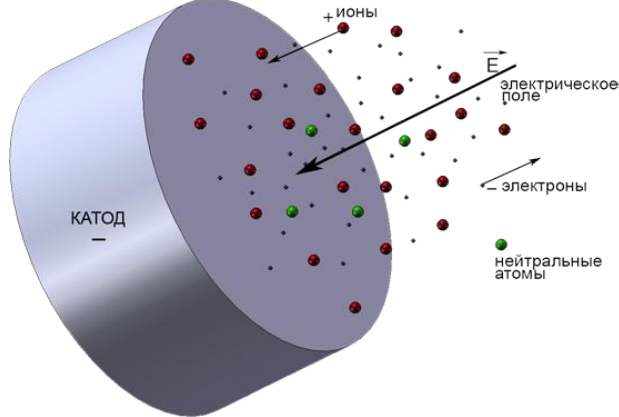


Transição *glow* para arco

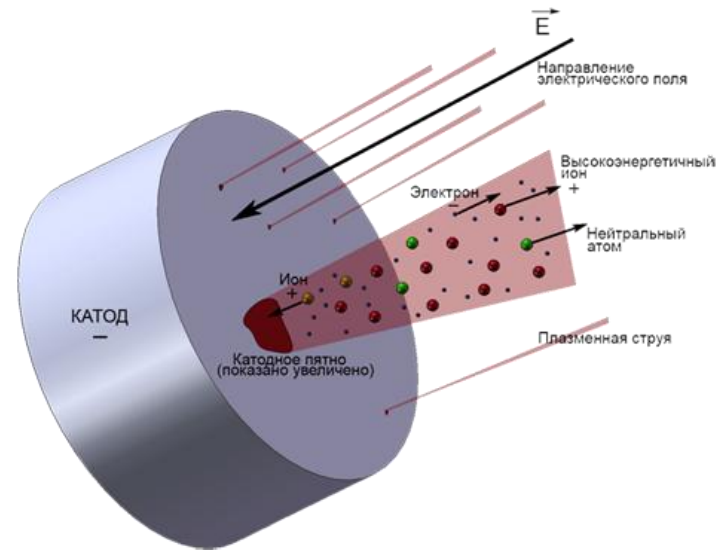


Descarga em arco

- Descarga luminescente



- Descarga em arco



- Кátodos quentes (W, Mo, etc): aguentam alta temperatura
- Кátodos frios (Cu, Al, etc): metal vaporiza no “pé do arco”. O arco “dança” sobre a superfície.
- Compatibilidade cátodo e gás é importante.

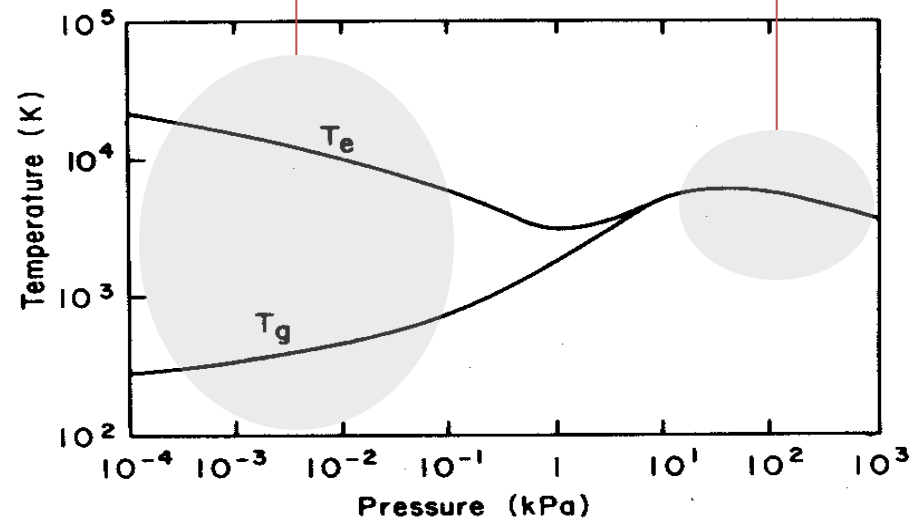
Arcos térmicos e não-térmicos

➤ Plasmas não-térmicos

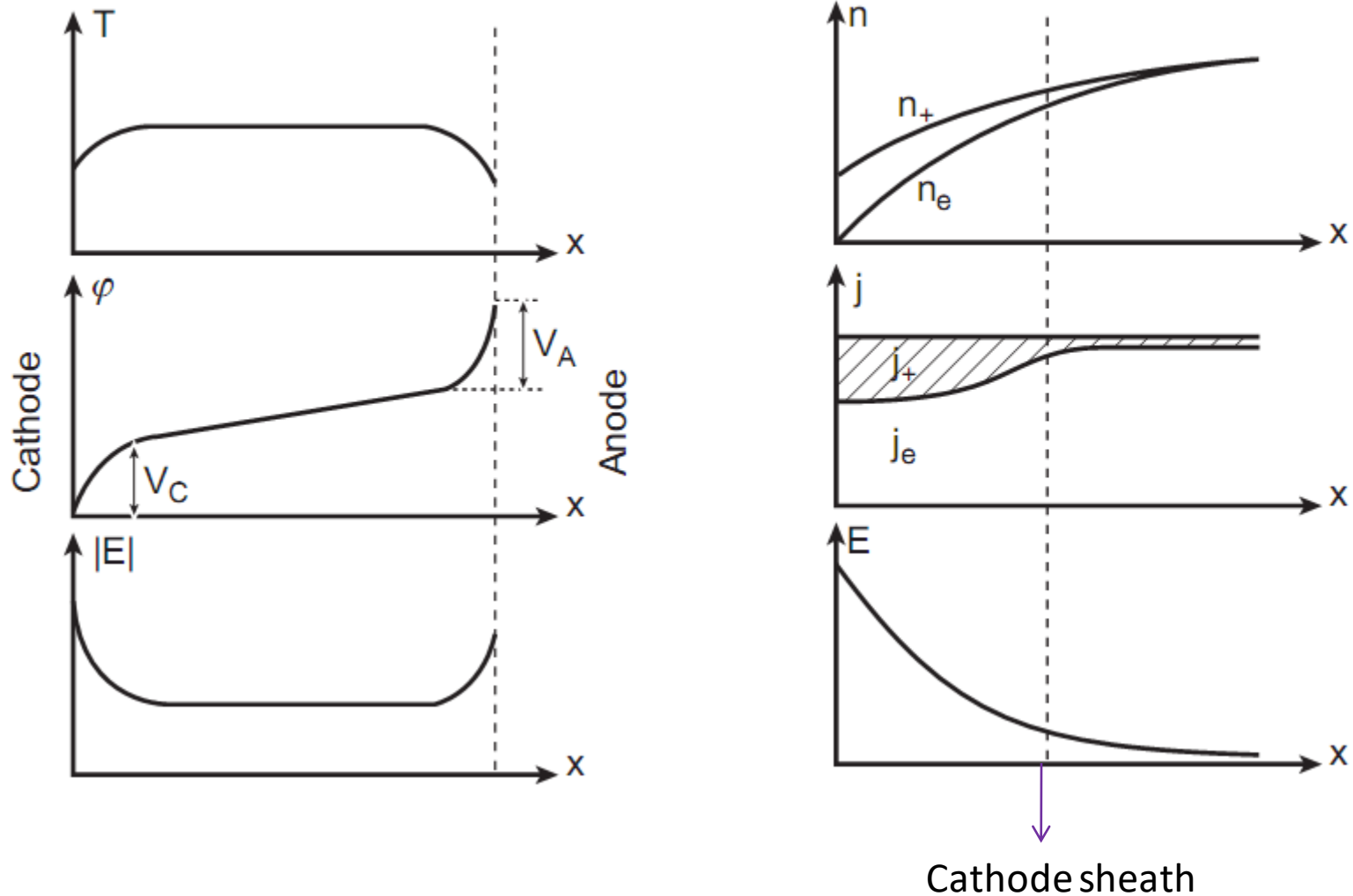
- ✓ Fora do equilíbrio termodinâmico
- ✓ Ionização por impacto eletrônico
- ✓ Seletividade química

➤ Plasmas térmicos

- ✓ Equilíbrio termodinâmico
- ✓ Aquecimento do gás
- ✓ Equipartição de energia



Descarga em arco



Descargas em rádio-frequência

CARACTERÍSTICAS

Descargas com eletrodos **dielétricos**
ou sem eletrodos

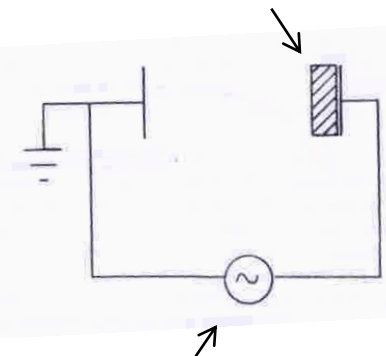


Descargas DC são rapidamente extinguidas



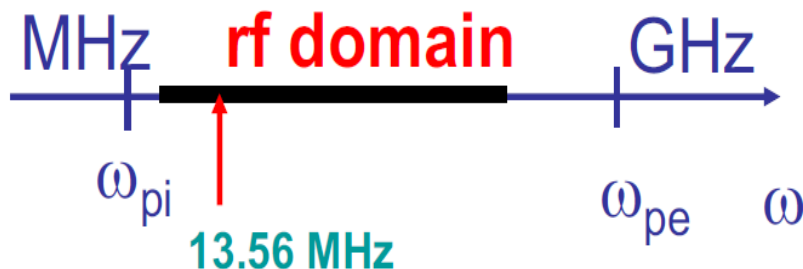
Solução: alternar o campo elétrico em uma frequência f

Eletrodo isolante



Fonte AC

- Em frequências $> 100\text{kHz}$, os **elétrons acompanham o campo** e os **íons não**.



$$\omega_{pe} = (4\pi n_e e^2 / m_e)^{1/2} = 5.64 \times 10^4 n_e^{1/2} \text{ rad/s}$$

$$f_{pe} \approx 8980 \sqrt{n_e} \text{ (Hz)}$$

$$\omega_{pi} = (4\pi n_i Z^2 e^2 / m_i)^{1/2} = 1.32 \times 10^3 Z \mu^{-1/2} n_i^{1/2} \text{ rad/s}$$

onde: $\mu = m_i / m_p$

Descargas em rádio-frequência

CARACTERÍSTICAS

Descargas com eletrodos metálicos ou **dielétricos**
ou sem eletrodos

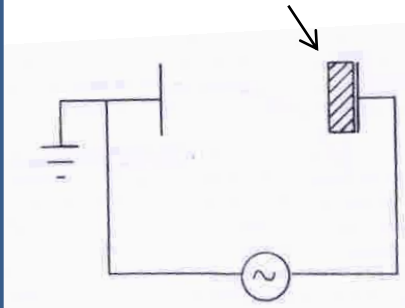


Descargas DC são rapidamente extinguidas



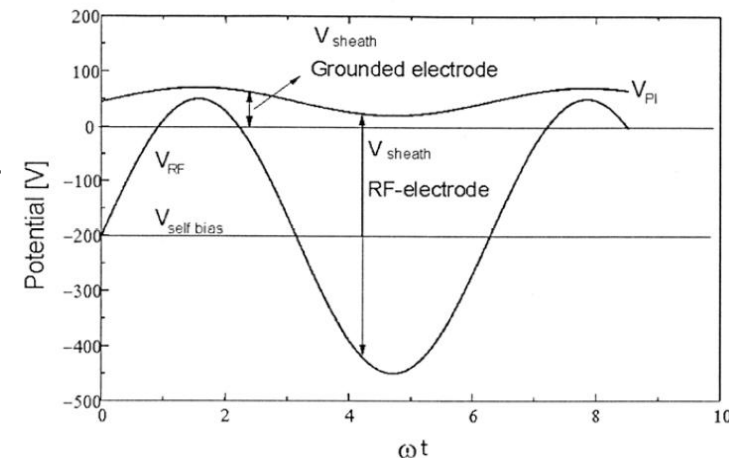
Solução: alternar o campo elétrico em uma frequência f

Eletrodo isolante



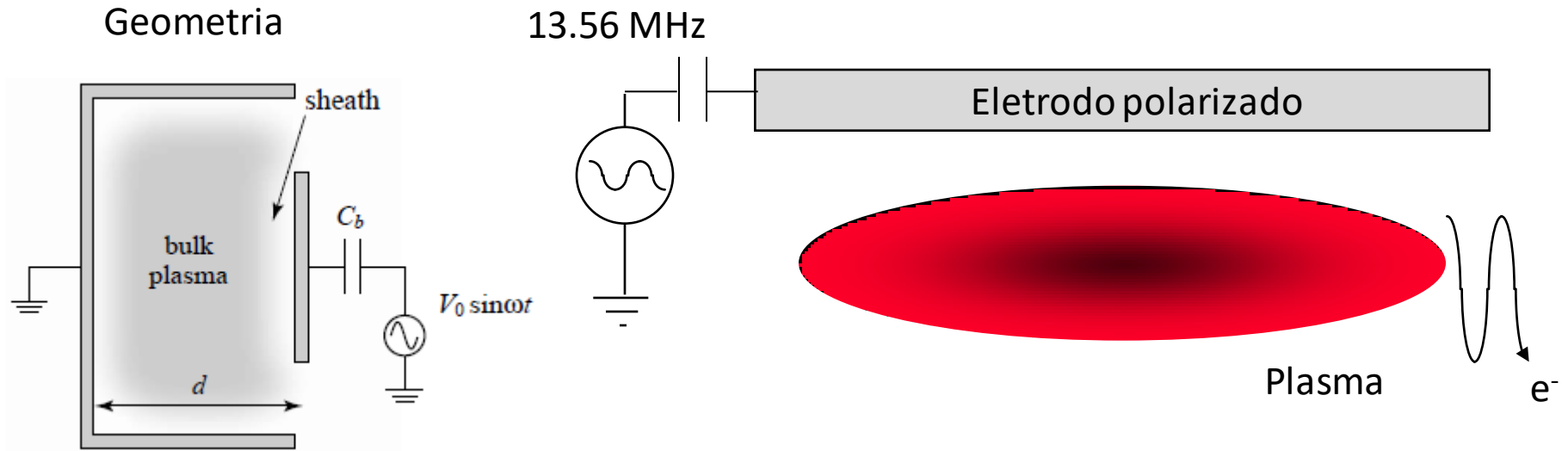
AC power supply

- Em frequências $> 100\text{kHz}$, os **elétrons acompanham o campo** e **os íons não**.
- Em frequências $> 100\text{kHz}$, o campo alternado faz os elétrons oscilar e adquirir energia suficiente para causar colisões ionizantes, reduzindo assim a dependência da descarga com os elétrons secundários → **diminuição da tensão de ruptura da descarga**.



Descargas em rádio-frequência

Acoplamento capacitivo(CCP)



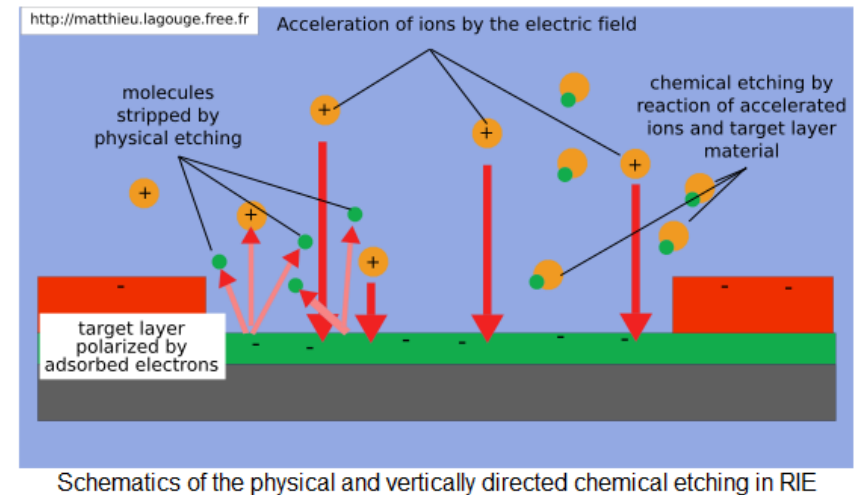
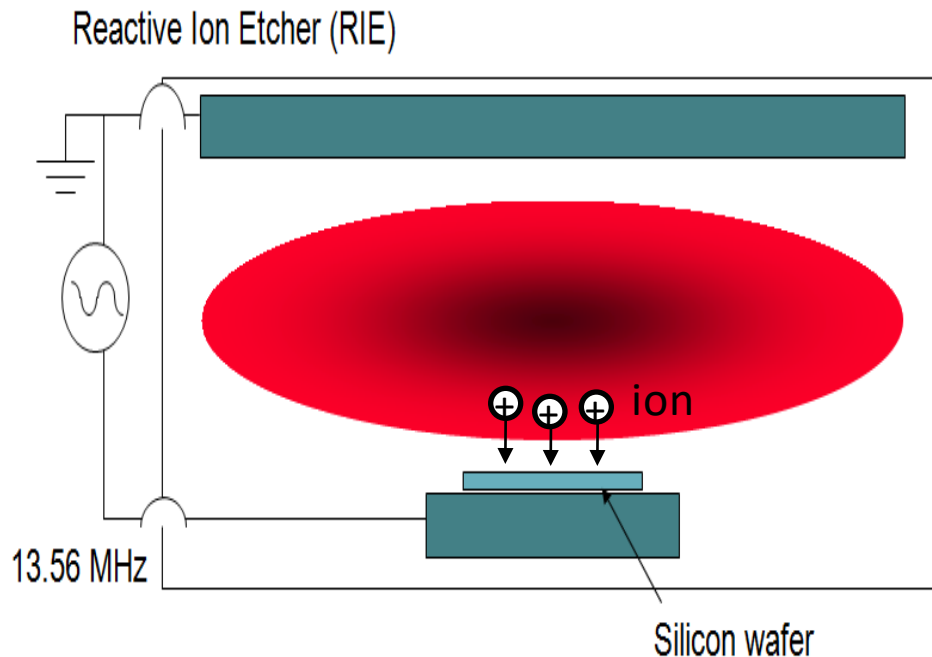
→ O sinal RF é usado para gerar um campo elétrico variável no tempo entre o plasma e o eletrodo;

→ Este campo elétrico transfere energia para os elétrons, oscilando-os;

→ Com a energia adquirida os elétrons ionizam o gás..

Descargas em rádio-frequência

Autopolarização do substrato

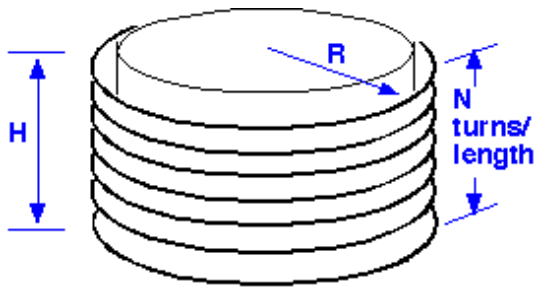


Descargas em rádio-frequência

Acoplamento indutivo (ICP)

Princípio da descarga

I.



Uma tensão RF é aplicada a uma bobina enrolada em torno de um dielétrico. Isto gera um campo magnético dado por:

$$B_z = \frac{NI}{\mu_0} e^{j\omega t}$$

μ_0 vacuum permeability

II.

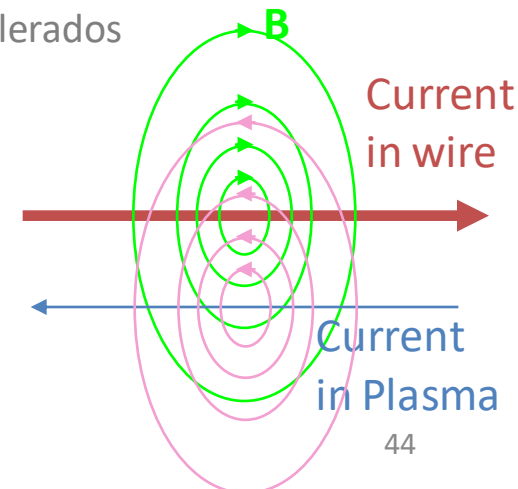
Este campo magnético variável no tempo cria um campo elétrico variável no tempo (perpendicular ao campo magnético).

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \rightarrow$$

$$E_\theta = -\frac{j\omega r}{2} (B_{z0}) e^{j\omega t}$$

III.

O campo elétrico induz uma corrente no plasma. Os elétrons assim acelerados sustentam a descarga.

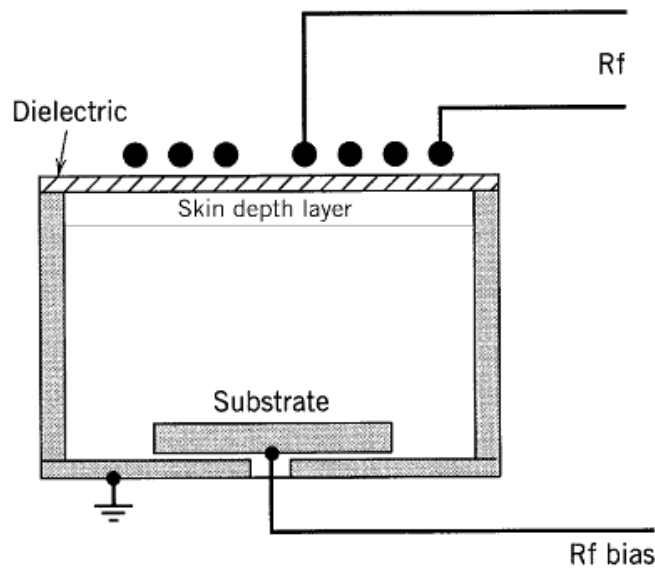


Descargas em rádio-frequência

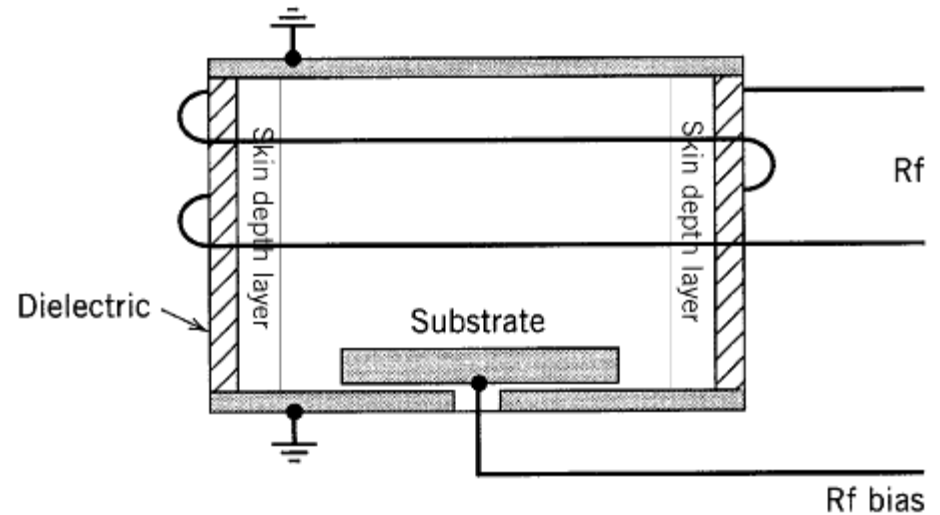
Acoplamento indutivo(ICP)

Exemplos de configuração da bobina

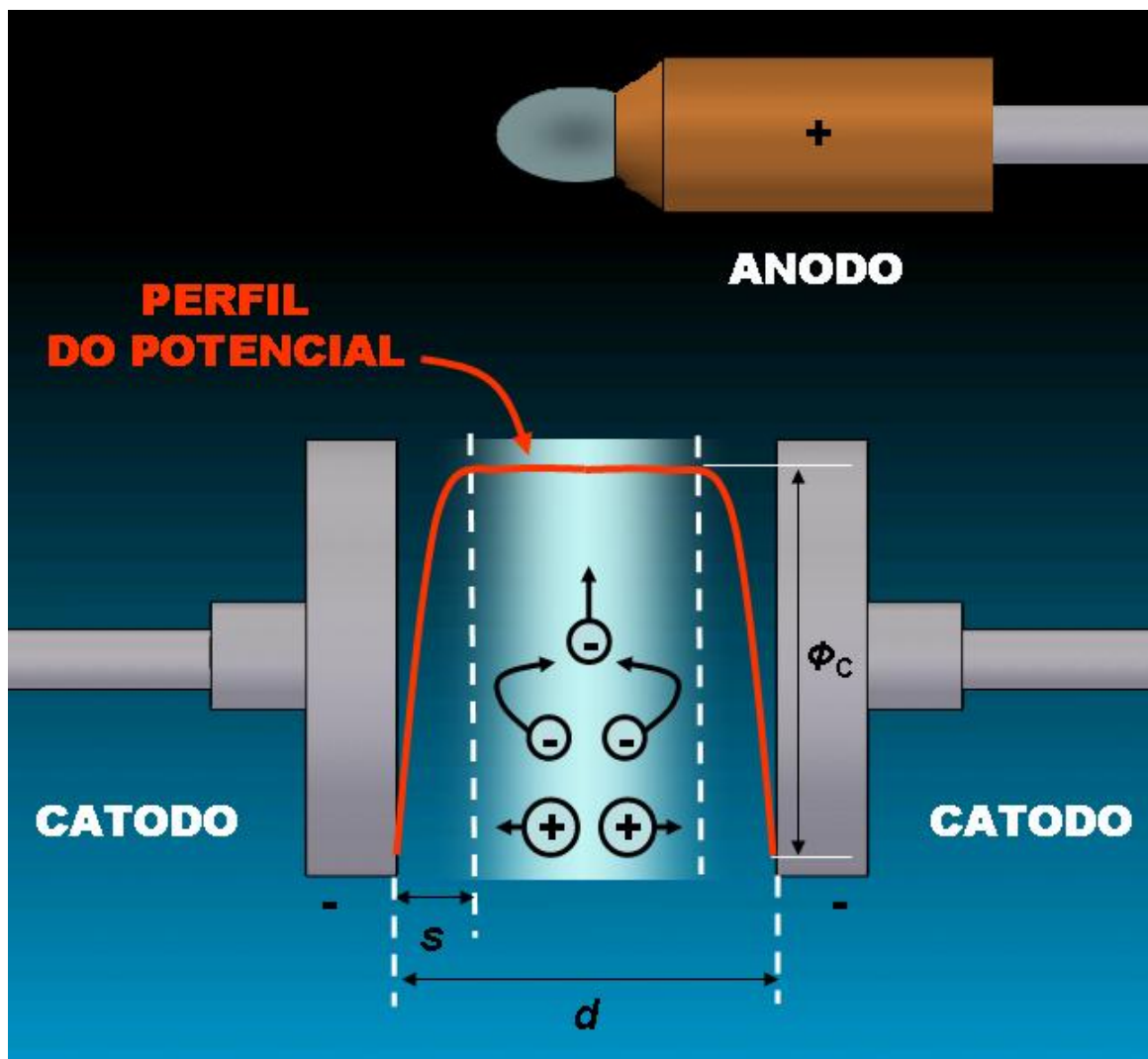
Bobina planar



Bobina cilíndrica



Descarga de cátodo oco

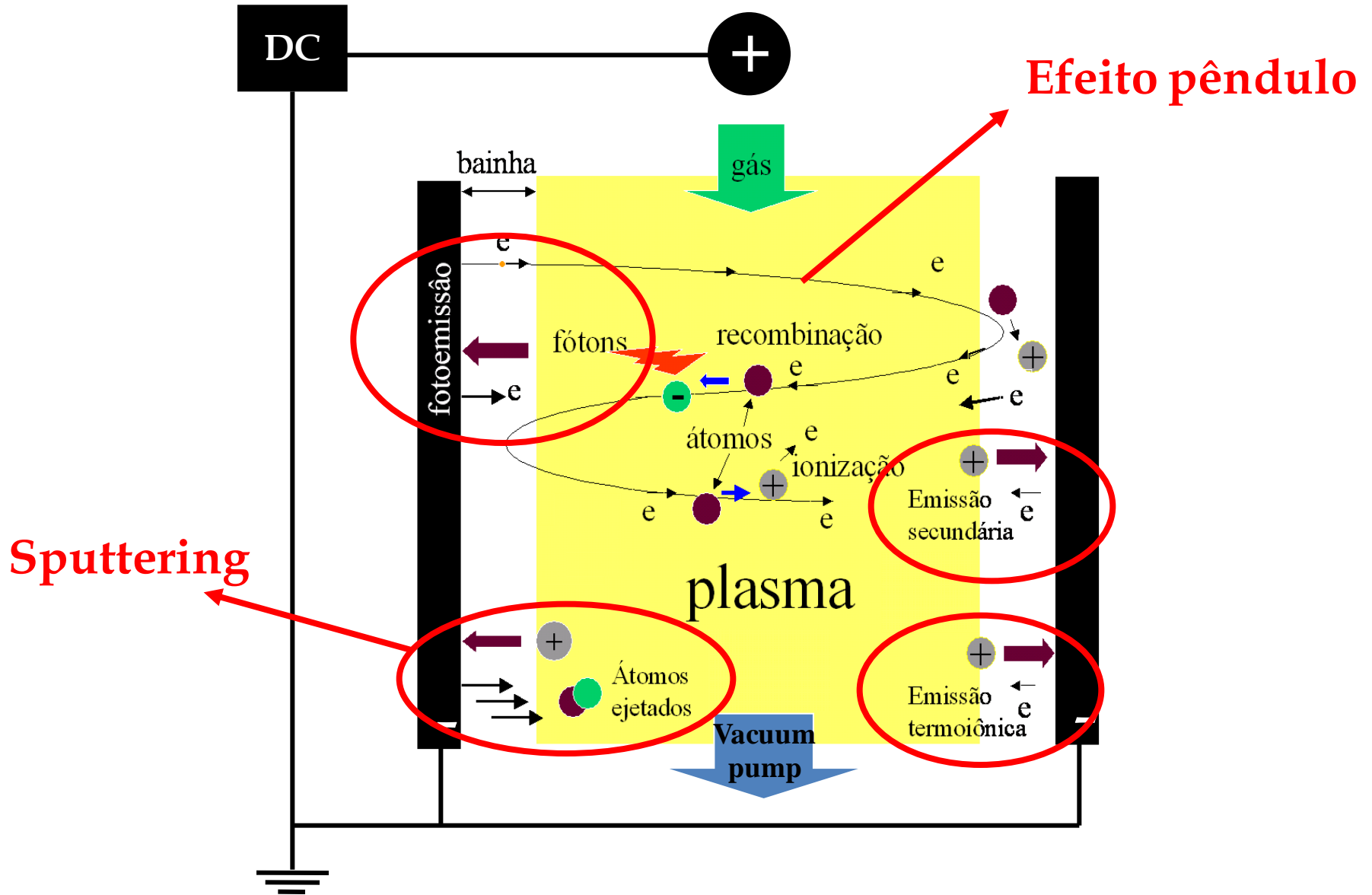


- Os elétrons ficam confinados entre as superfícies polarizadas negativamente.

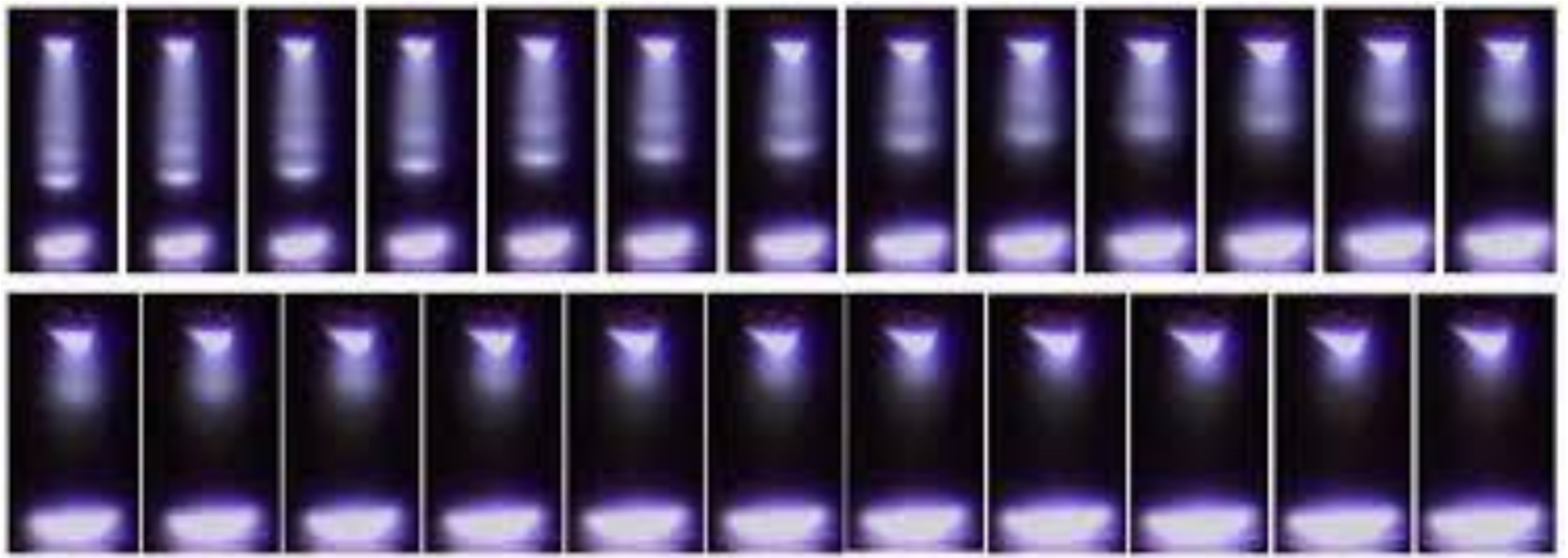
- Tal efeito gera plasmas mais densos.

- Embora possa ser criado propositalmente, o efeito de cátodo oco pode ser um problema no tratamento de peças que contenham furos. Nestes casos, pode haver sobreaquecimento.

Descarga de cátodo oco

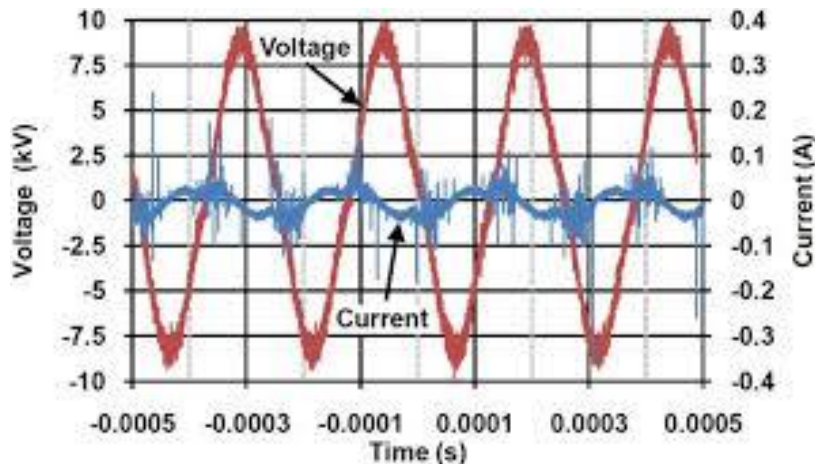
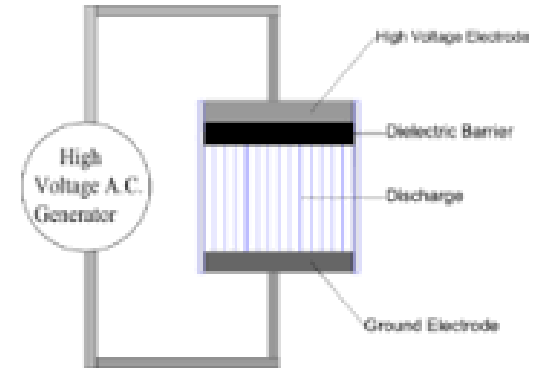


APGD (Atmospheric pressure glow discharge)



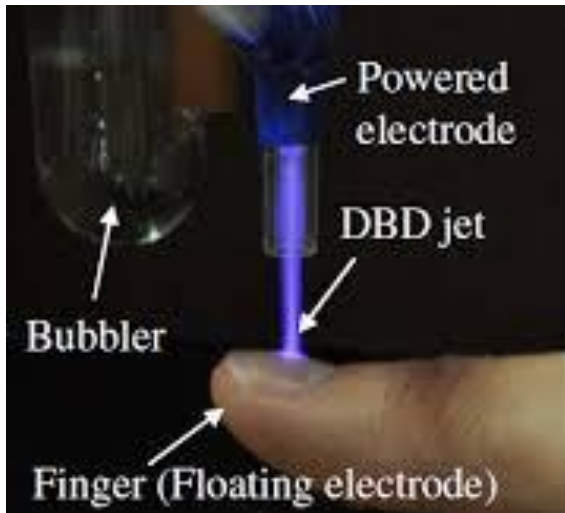
- Em pressão atmosférica a tendência é que a descarga luminescente se transforme em um arco.
- Portanto, é preciso criar estratégias para limitar a corrente da descarga.
- Dentre elas, estão a refrigeração dos eletrodos e/ou o uso de geometrias mais complexas.

Descarga de barreira dielétrica (DBD)



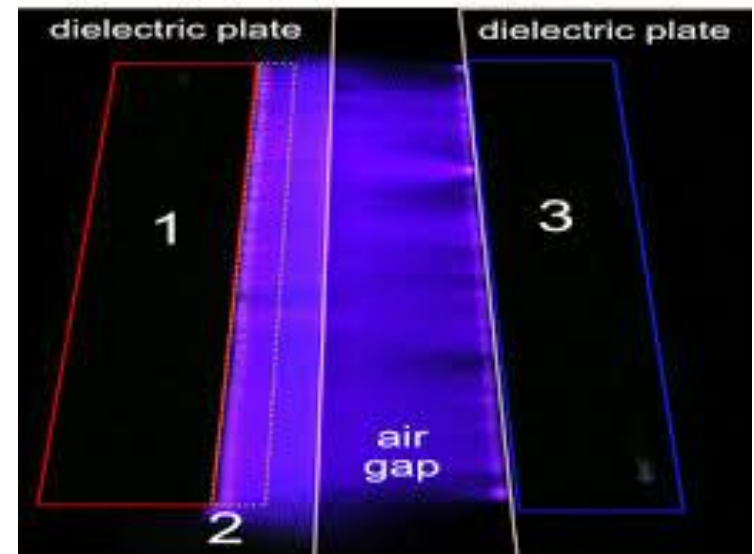
- Na DBD o menos um dos eletrodos é coberto com um dielétrico. O que limita a corrente da descarga, uma vez que não há corrente de condução, apenas de deslocamento.
- Estas descargas podem operar em pressão atmosférica e serem usadas para gerar jatos de plasma.

Descarga de barreira dielétrica (DBD)

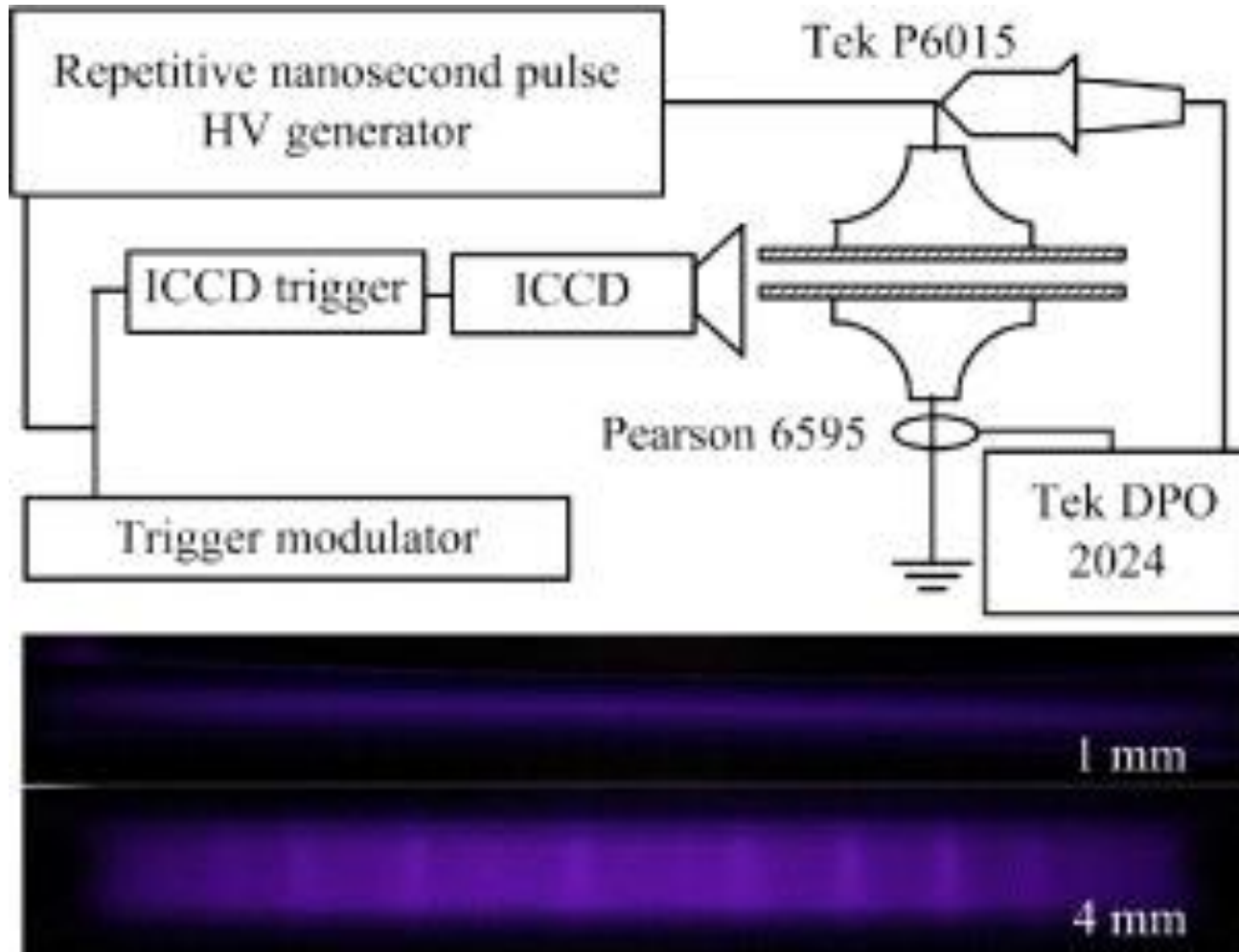


- As descargas podem ser “contínuas” se assemelhando visualmente a uma descarga luminescente ou filamentosas (modo mais comum).

- A potência é tipicamente baixa.



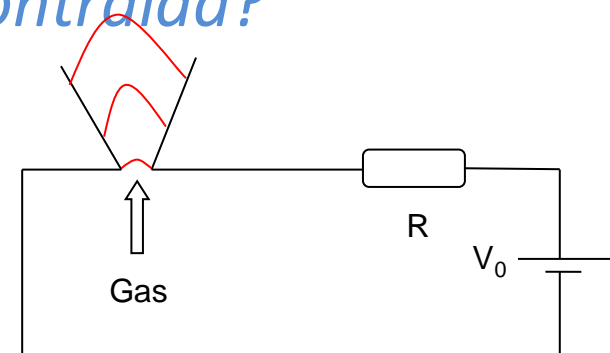
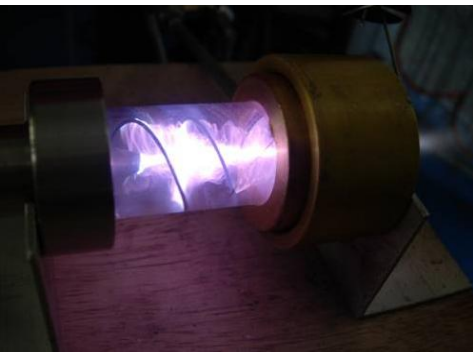
Nanosecond pulsed discharge



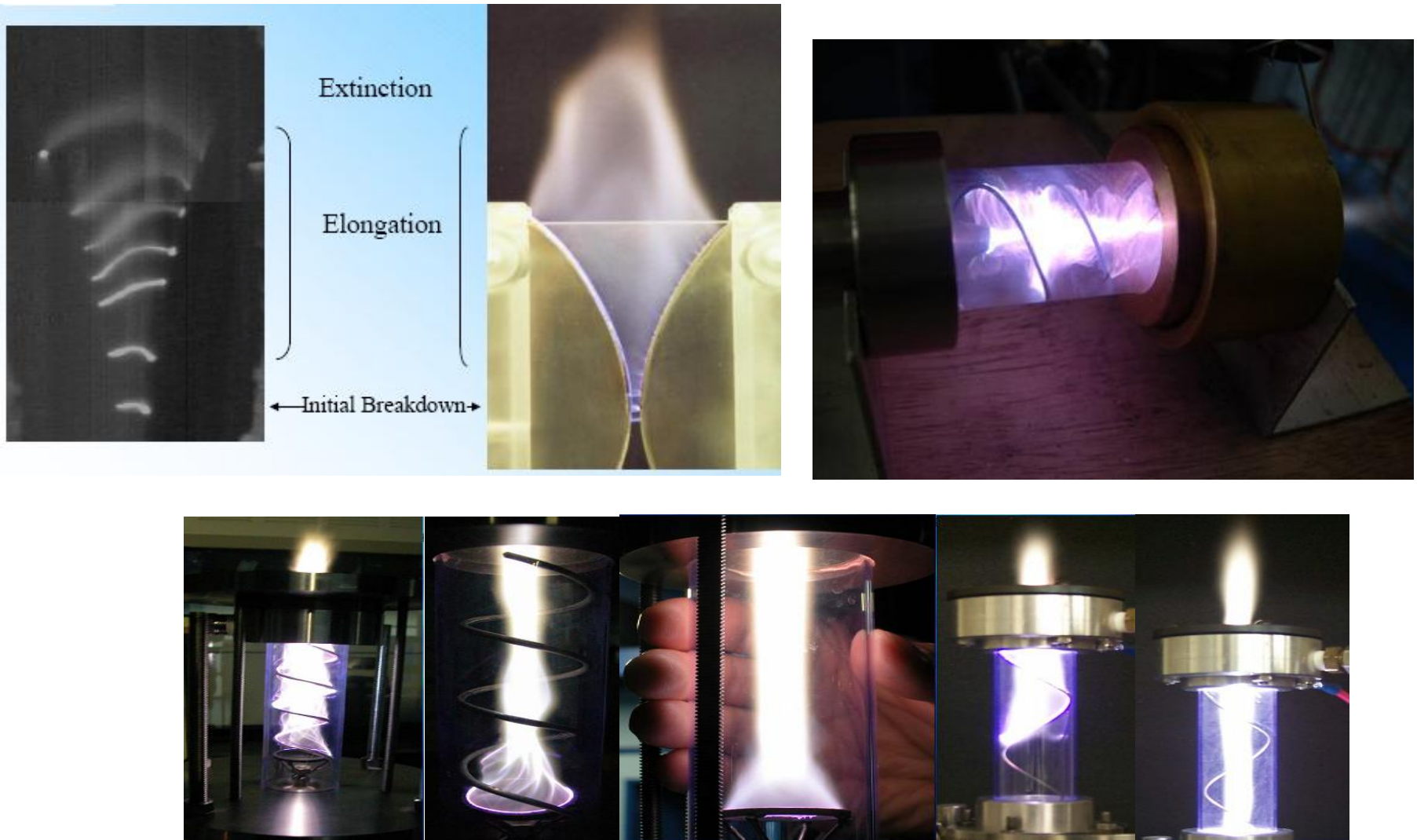
Descargas de “arco” deslizante

Descarga não-estacionária

- *Eletrodos divergentes*
- *A ruptura ocorre na menor distância entre eletrodos*
- *A coluna de plasma é empurrada pelo gás*
- *A descarga é extinta e reiniciada*
- *Pode gerar plasmas térmicos, não-térmicos ou no regime transicional*
- *Arco ou descarga luminescente contraída?*



Descargas de “arco” deslizante



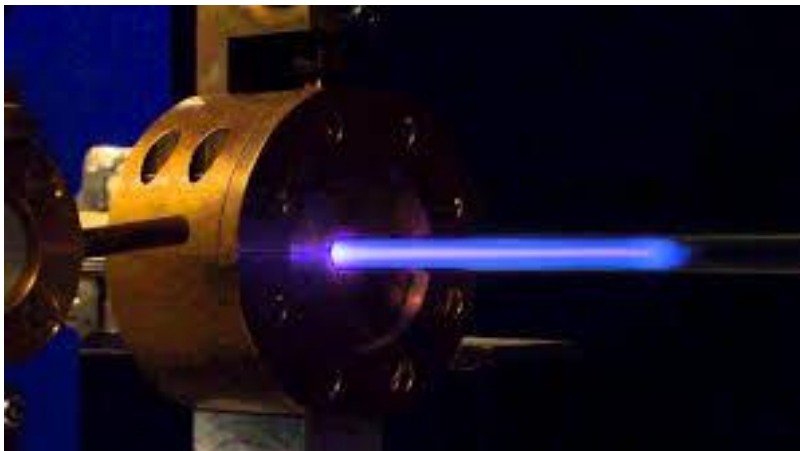
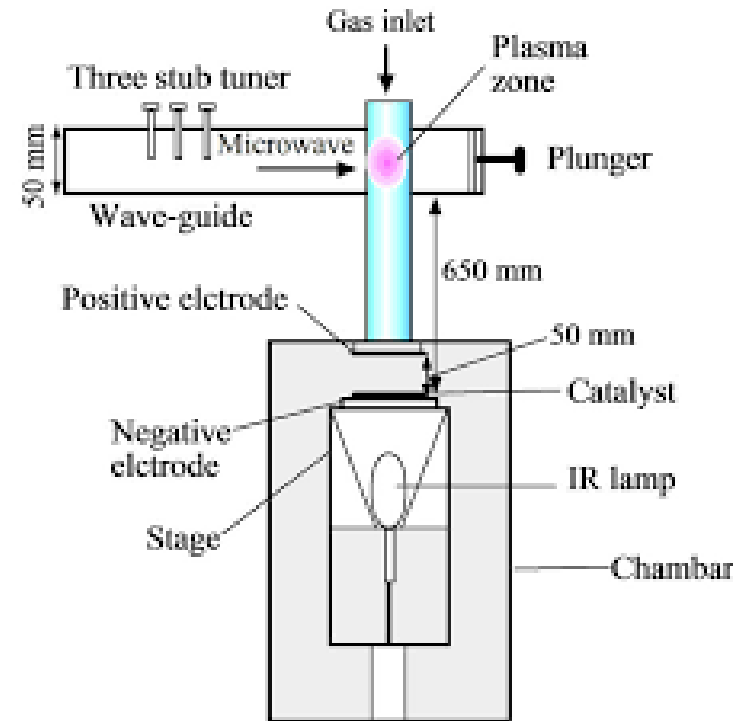
Corona



- Ocorrem em pressão atmosférica.
- São descargas de baixa luminosidade.
- Problemas em linhas de transmissão de alta tensão.

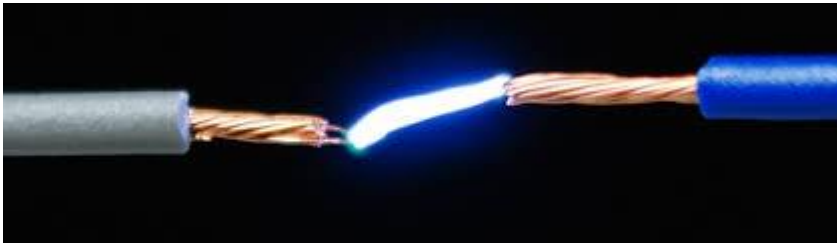


Micro-ondas

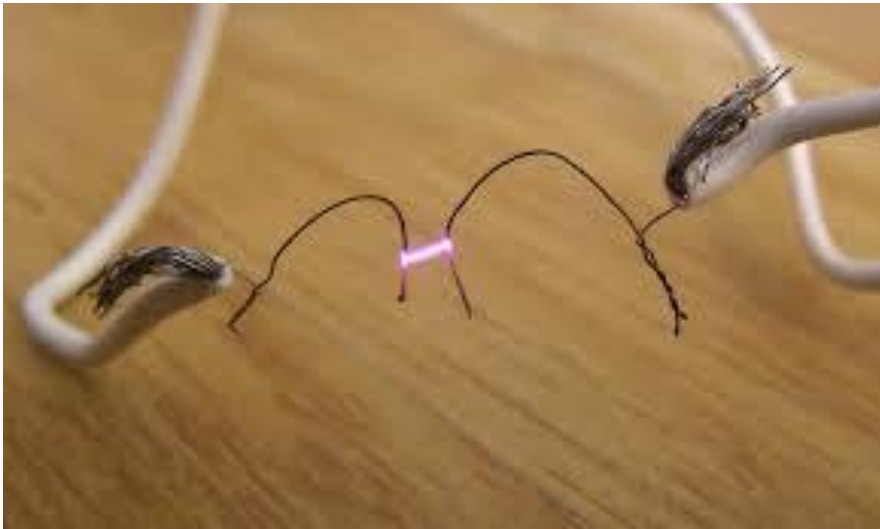


- Sem eletrodos.
- Frequências da ordem de GHz (mesma ordem da frequência de plasma).
- Geram plasmas de alta densidade.

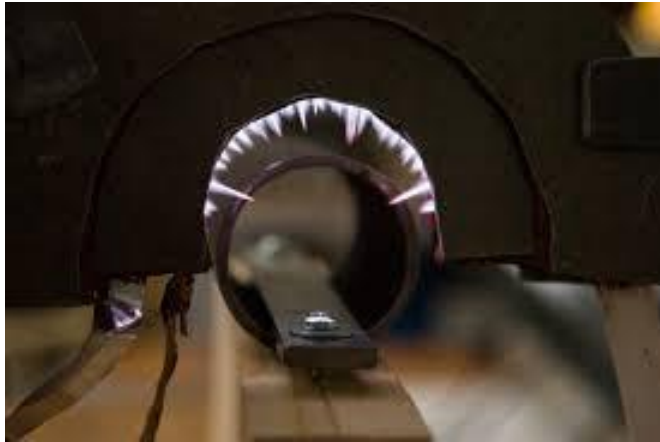
Descarga “spark”



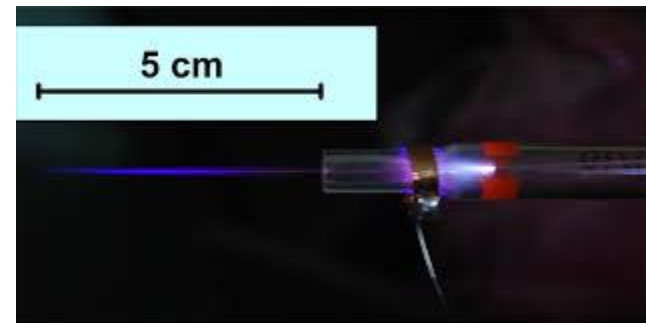
- Entre a corona e o arco.
- Usada para ignição de motores de combustão interna.



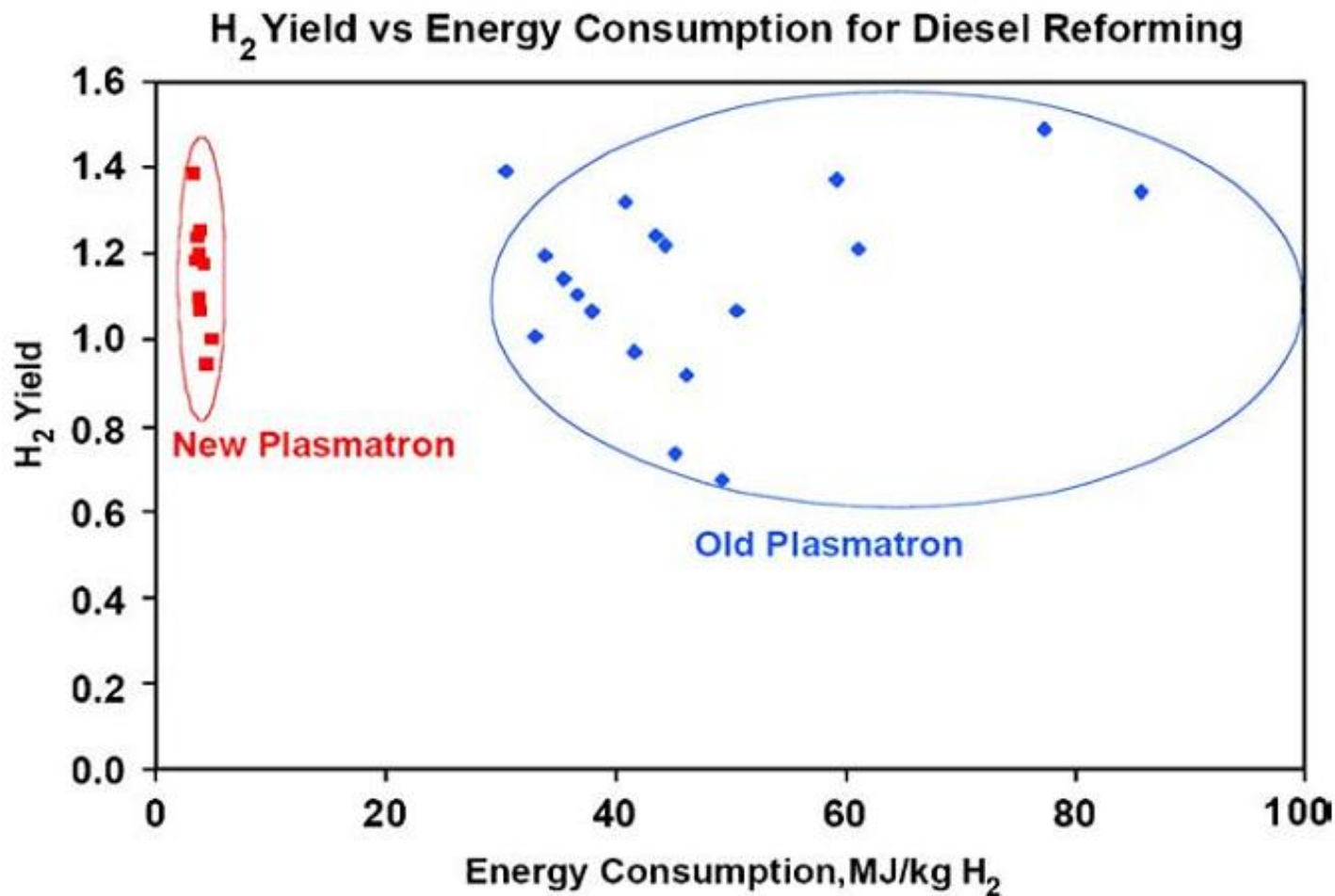
Jatos de plasma



- Podem ser gerados por DBD, arco deslizante, arco, micro-ondas, RF, etc....



Química de plasmas: com ou sem equilíbrio?



O que a tecnologia de plasmas pode oferecer à Química?

- Con

E se for uma reação
envolvendo elétrons?

O que a tecnologia de plasmas pode oferecer para a Química?

- Em um plasma fora do equilíbrio termodinâmico $T_e \gg T$, logo $v_e \gg v$

$$\langle K \rangle = \int_0^{\infty} v_e \sigma(v_e) F_e(v_e) dv_e$$

Só depende da velocidade
(energia) dos elétrons

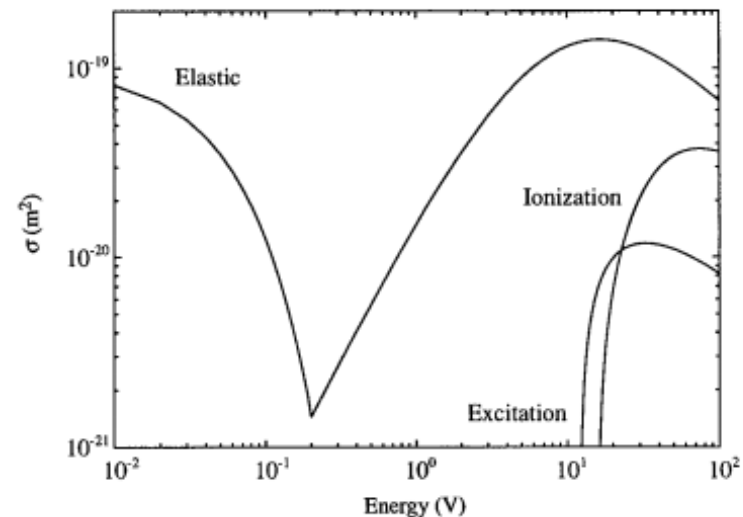


FIGURE 3.13. Ionization, excitation and elastic scattering cross sections for electrons in argon gas (compiled by Vahedi, 1993).

Constante de reação

10^{-8}

Mas o número de
elétrons é muito
pequeno!

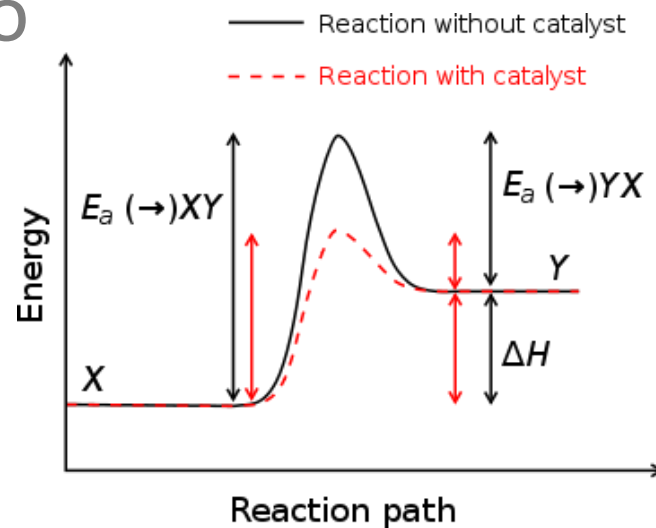
3000

O que a tecnologia de plasmas pode oferecer para a Química?

- Redução da energia de ativação

$$k_R(E_v, T) = k_{R0}(E_v, T) \exp\left(-\frac{E_a - \alpha E_v}{T}\right)$$

Energia vibracional Temperatura translacional



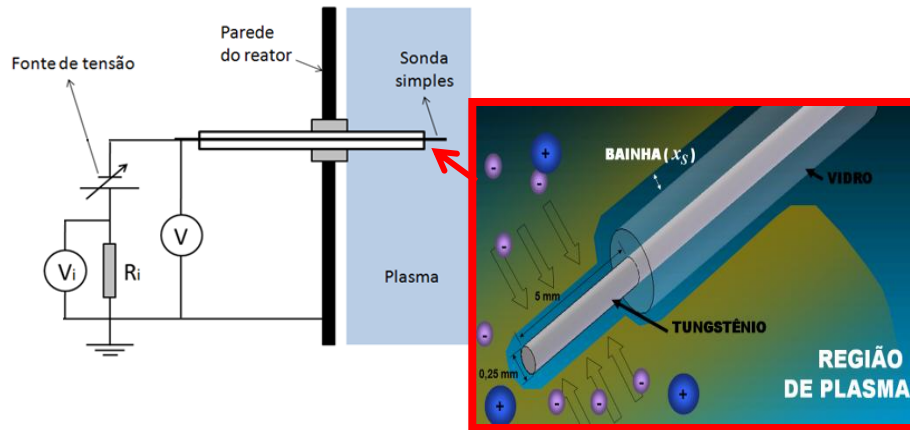
$$\alpha \approx \frac{E_{ad}}{E_{ad} + E_{ar}}$$

Modelo de Fridman-Macheret

- Geração de radicais e espécies excitadas

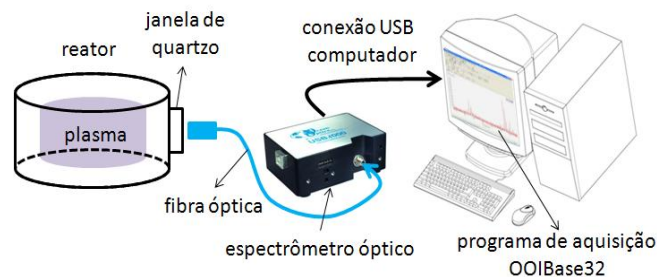
Diagnóstico de plasmas

- Sonda de Langmuir



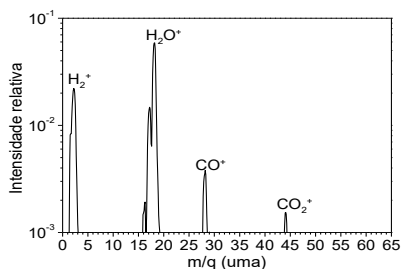
- potencial flutuante (V_f);
- potencial de plasma (V_p);
- temperatura eletrônica (T_e);
- densidade de elétrons e de íons (n_e , n_i);
- comprimento de Debye (λ_{De});
- função distribuição de energia dos elétrons (FDEE).

- Espectroscopia óptica de emissão



- intensidade da emissão de espécies neutras e iônicas do gás;
- estimativa da densidade do de espécies neutras como F e O atômico (actinometria).

- Espectrometria de massa



- pressão parcial das espécies neutras do gás (íons + e – também é possível).

Simulações

- Modelos de fluidos

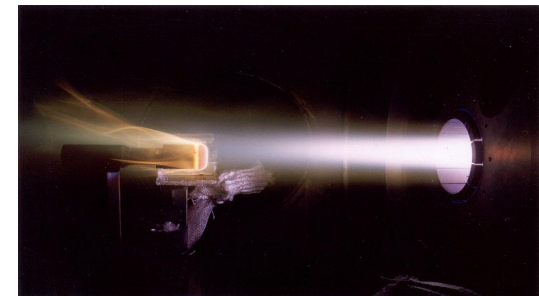
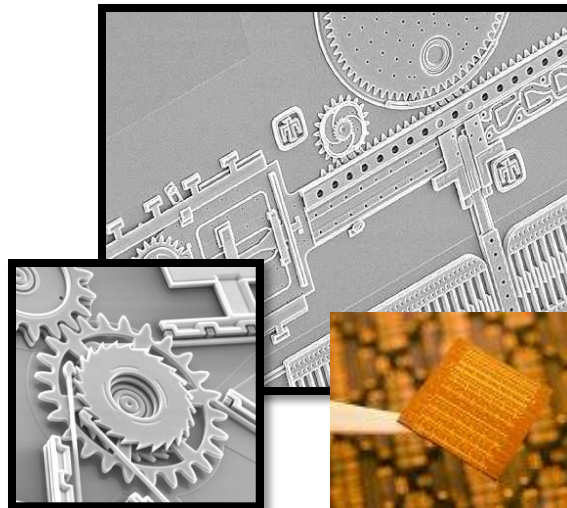
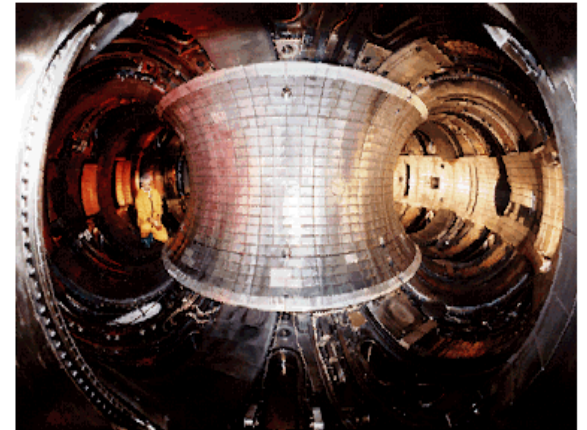
- *Usa as equações da magnetohidrodinâmica (MHD)*

- Modelos cinéticos

- *Simula o comportamento das partículas sob a ação de campos*
 - *Usa métodos estatísticos (PIC/Monte Carlo)*

- Modelos híbridos

Aplicações



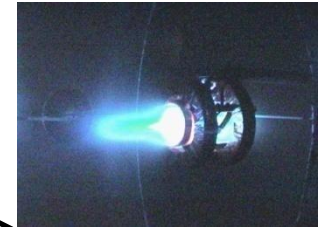
Aplicações

- Displays a plasma;
- Lasers;
- Lâmpadas fluorescentes;
- Fontes de feixe de elétrons e íons.



**Fontes de luz
e radiação**

- Propulsores
a plasma.



**Energia
Mecânica**

**Aplicação dos
“Plasmas frios”**

Eletricidade

pressão > 1 Torr

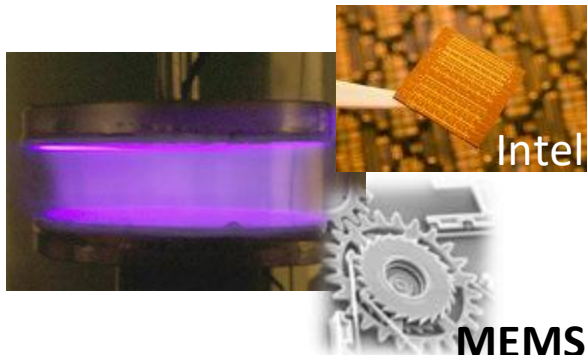
Química

Calor

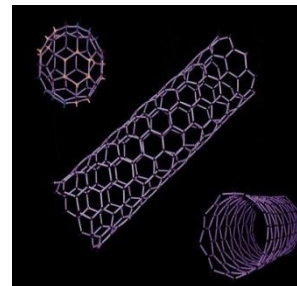
- Comutadores de energia elétrica;
- Geração de energia.

Processamento de materiais por plasmas

- Microeletrônica: corrosão, deposição, oxidação, implantação, passivação;
- Deposição e pinturas para área automotiva e aeroespacial;
- Fusão de materiais, soldagem, corte, têmpera;
- Síntese de cerâmicas, pós ultrapuros, nano-pós, nano-tubos;
- Tratamentos de adesão (ex.: produtos têxteis);
- Tratamento de materiais para bio-compatibilidade, esterilização e limpeza.



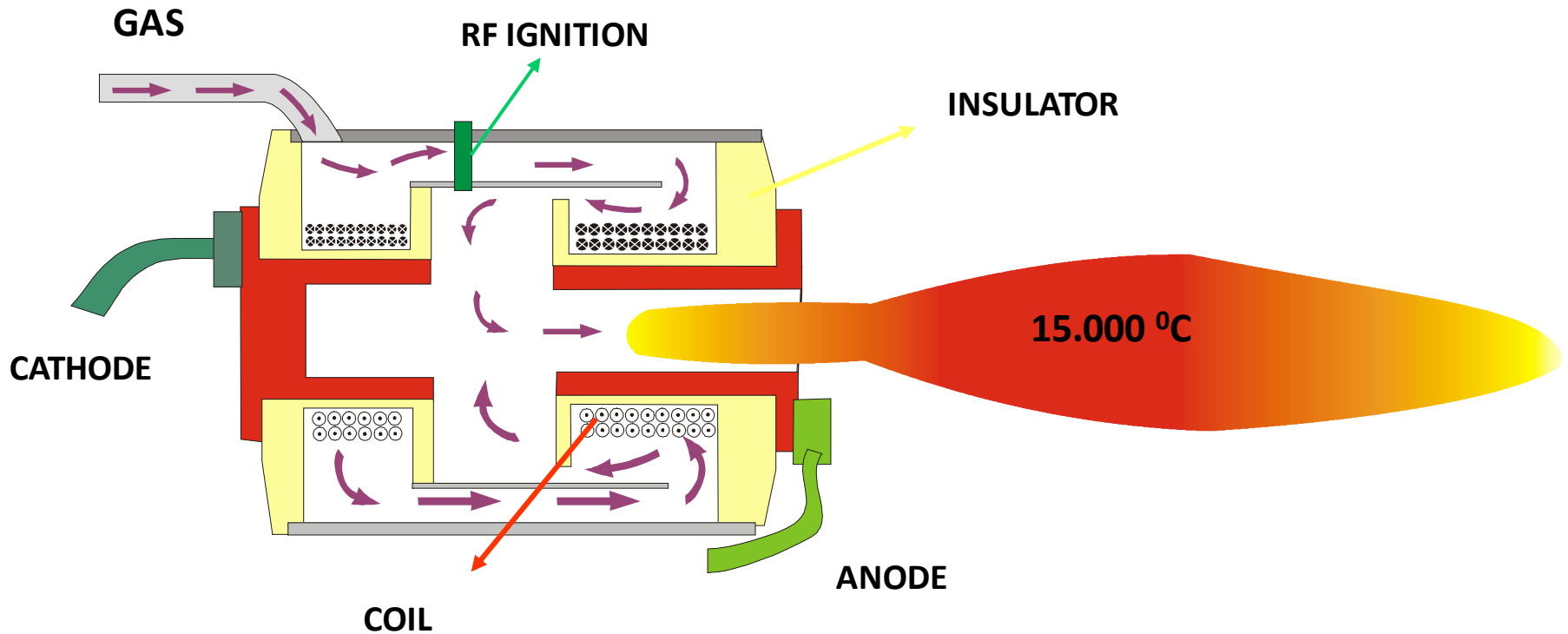
Nanotubos



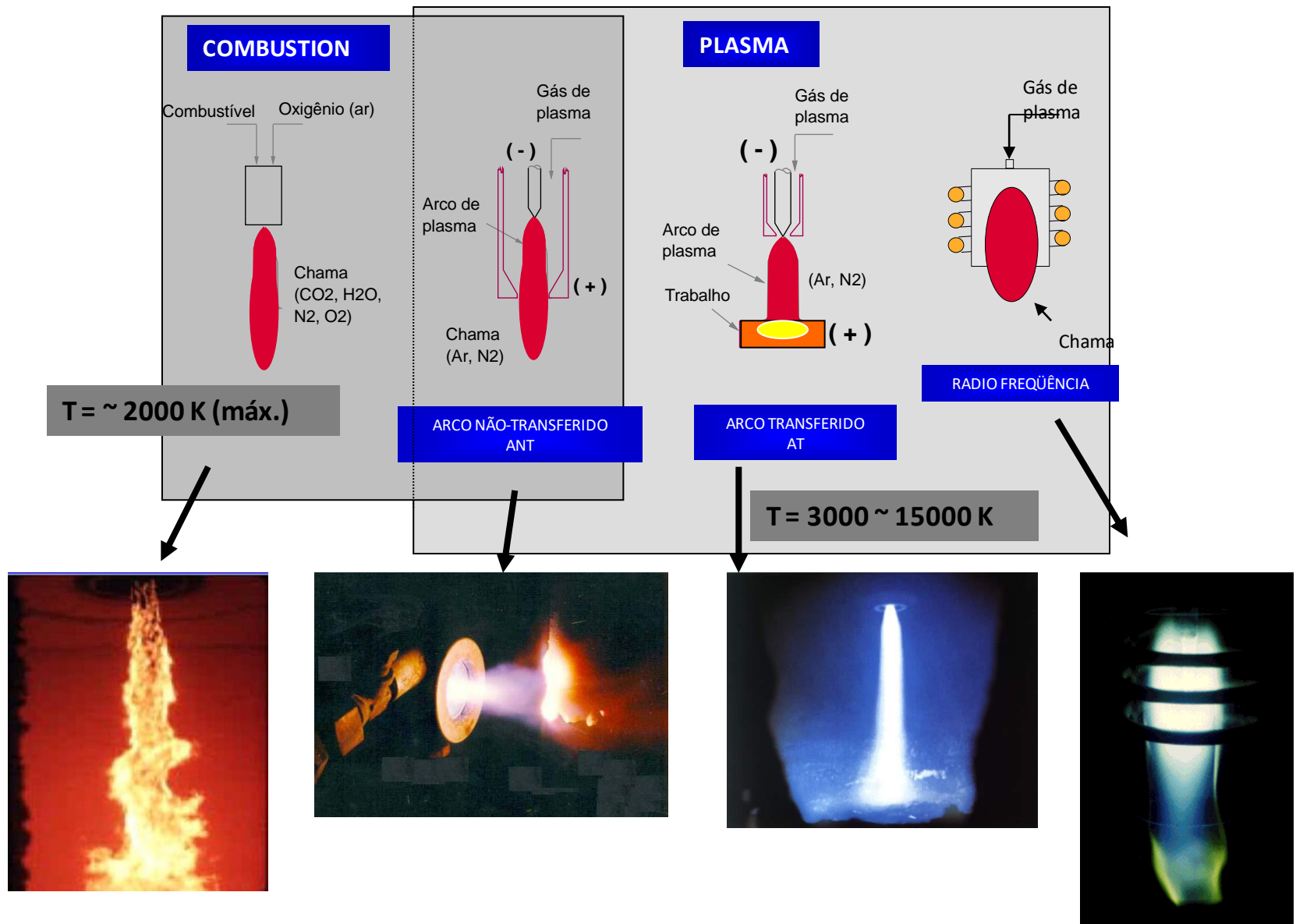
PLASMAS TÉRMICOS

Plasmas térmicos: tochas de plasma

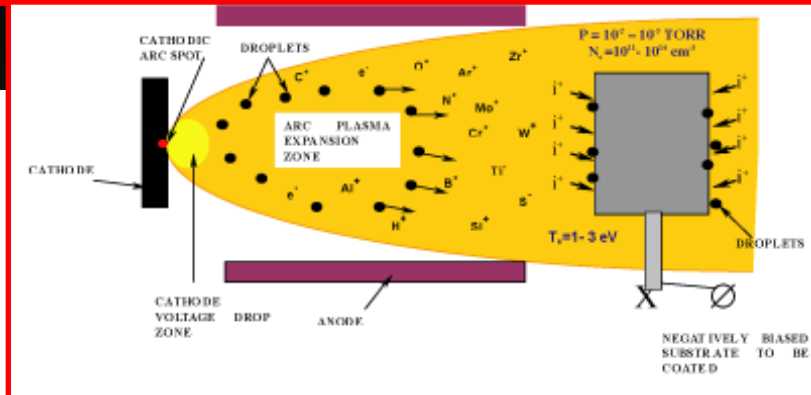
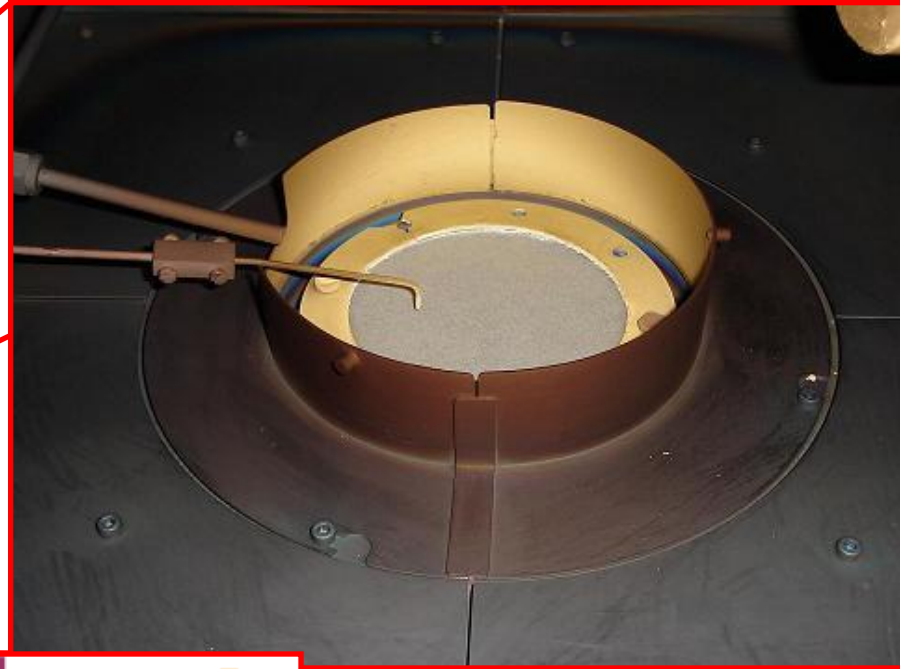
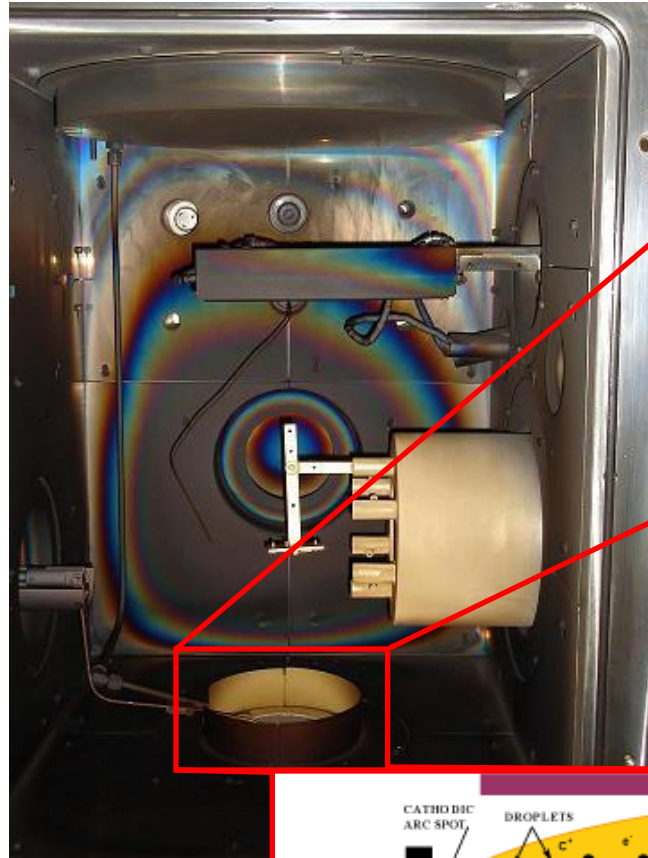
- Plasmas em equilíbrio termodinâmico local



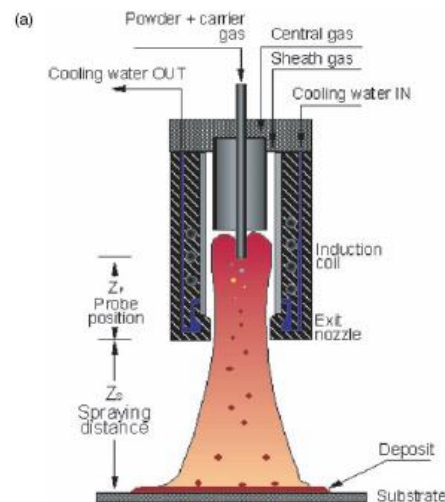
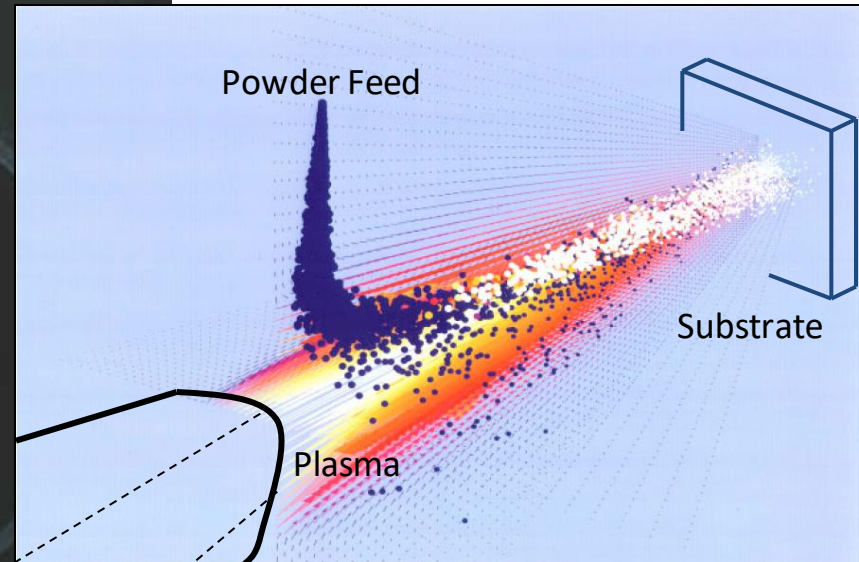
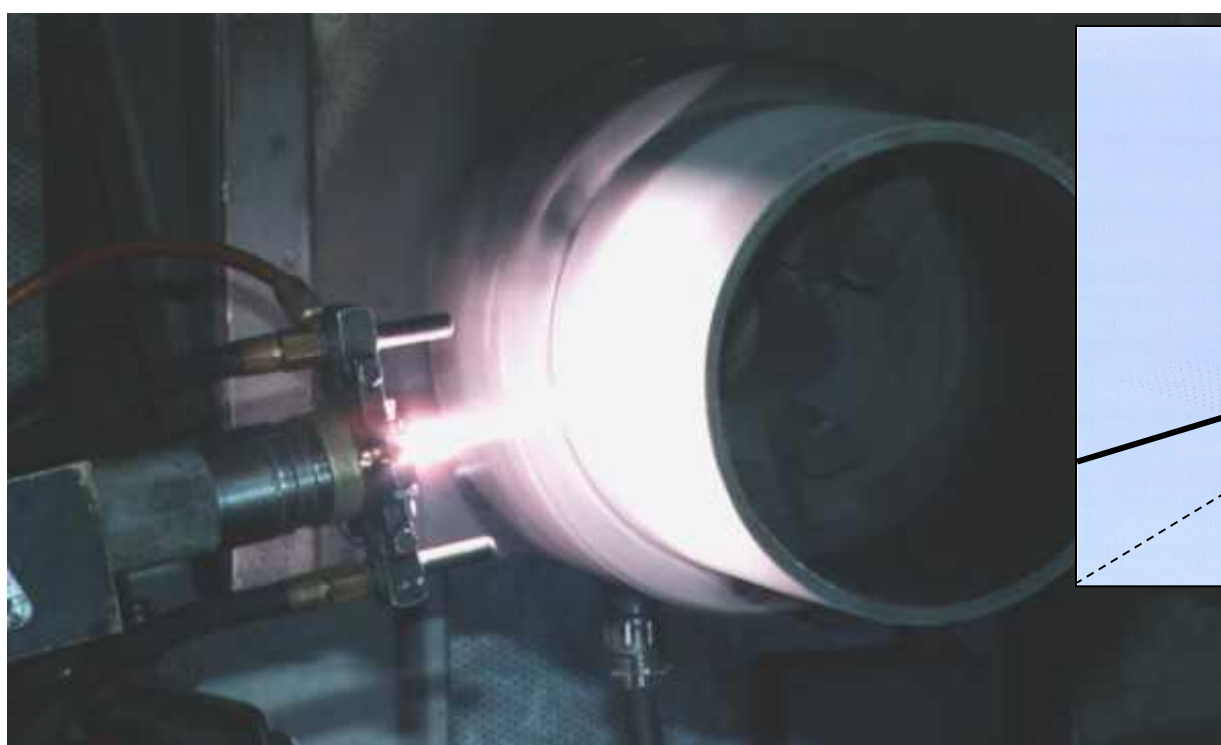
Tochas de plasma



Deposição por arco em vácuo



Thermal Plasma Spray



1. O pó é fundido no plasma
2. Gotas derretidas são jogadas contra a superfície
3. As gotas solidificam no substrato
4. Uma camada é formada

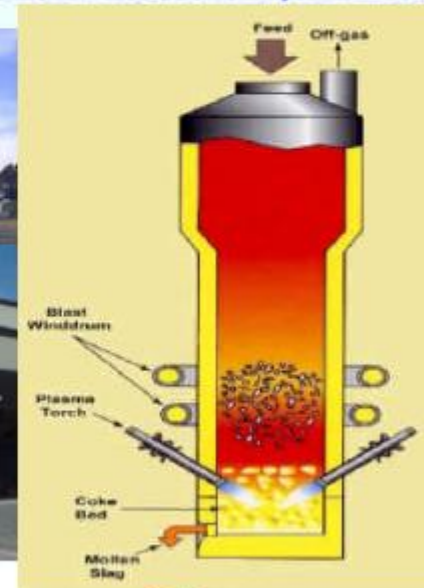
Gasificação assistida por plasma

Plasma Conversion

- Hitachi Metals Ltd.
- Pilot to full scale development
- Yoshii, Japan
- Commissioned 1999
- Pilot 24 tons/day
- Full scale 2002
- 170 tpd MSW & ASR
- 1.8 MW / 8 MW



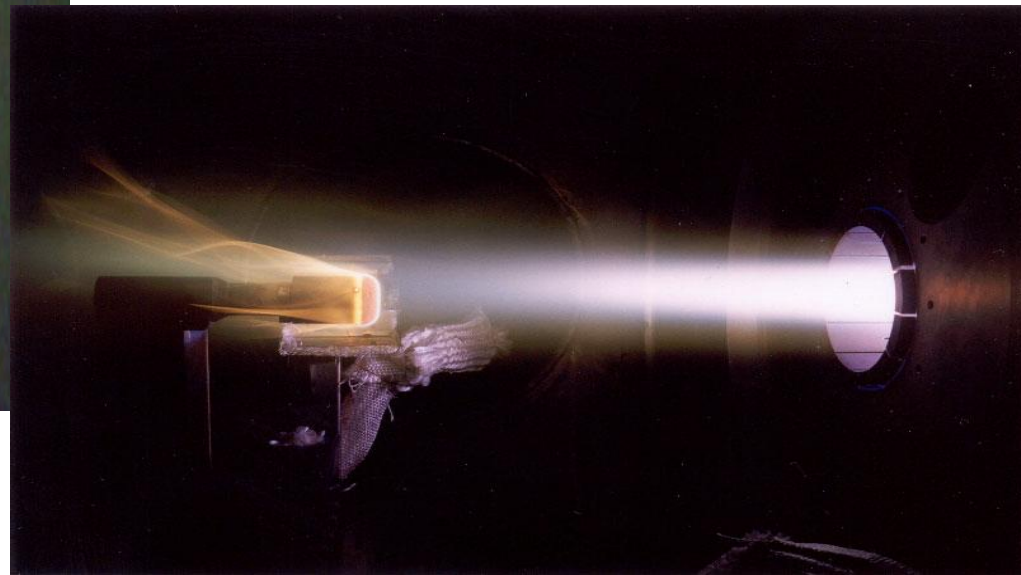
Westinghouse Plasma Corporation



EERC

Energy & Environmental Research Center

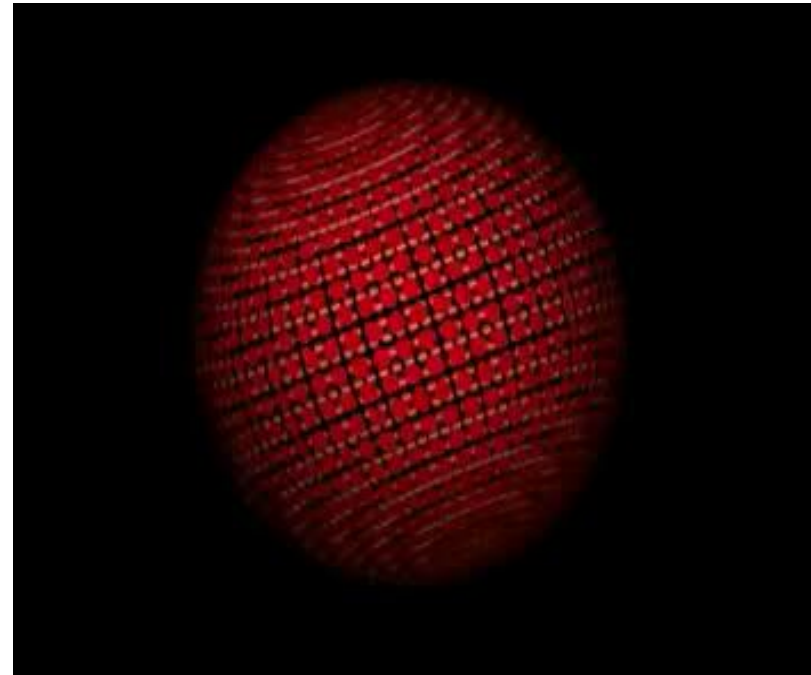
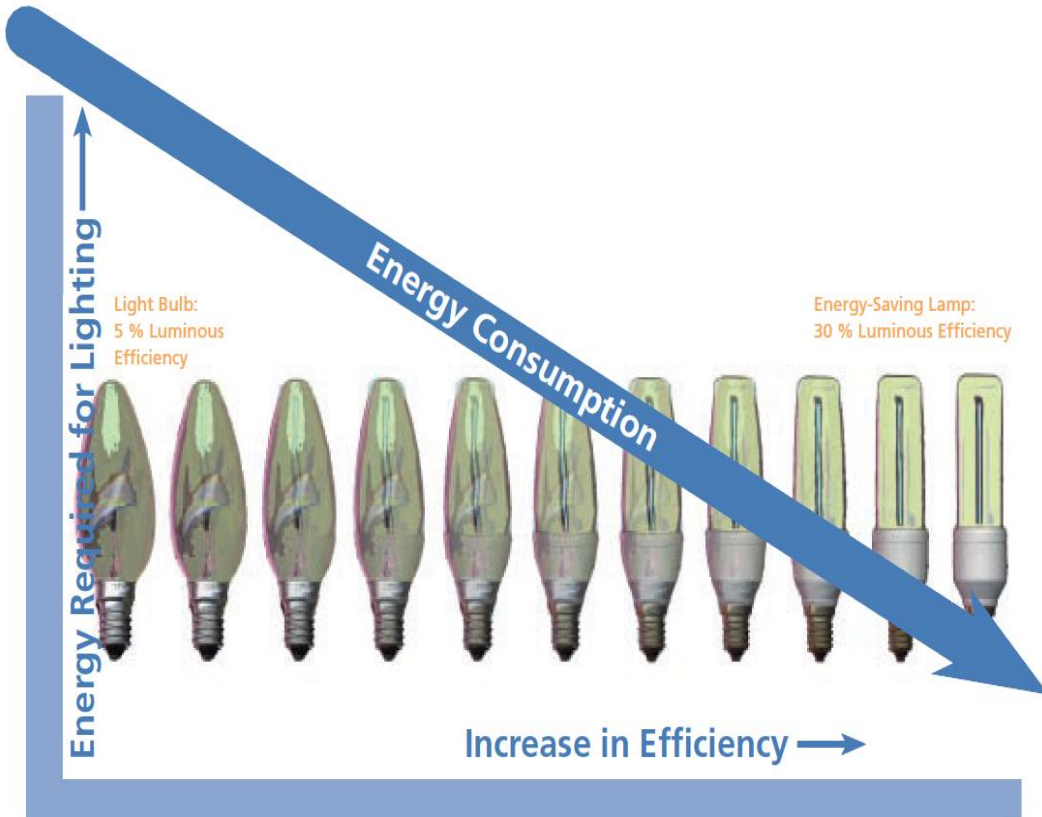
Simulação de reentrada com tochas de plasma



PLASMAS NÃO- TÉRMICOS

Iluminação

Lâmpadas de plasma recém-desenvolvidas são 10 vezes mais claras que as comuns, consomem quase metade de energia e duram até 20.000 horas.



Aplicações de plasmas não-térmicos

Recobrimentos ou Filmes finos

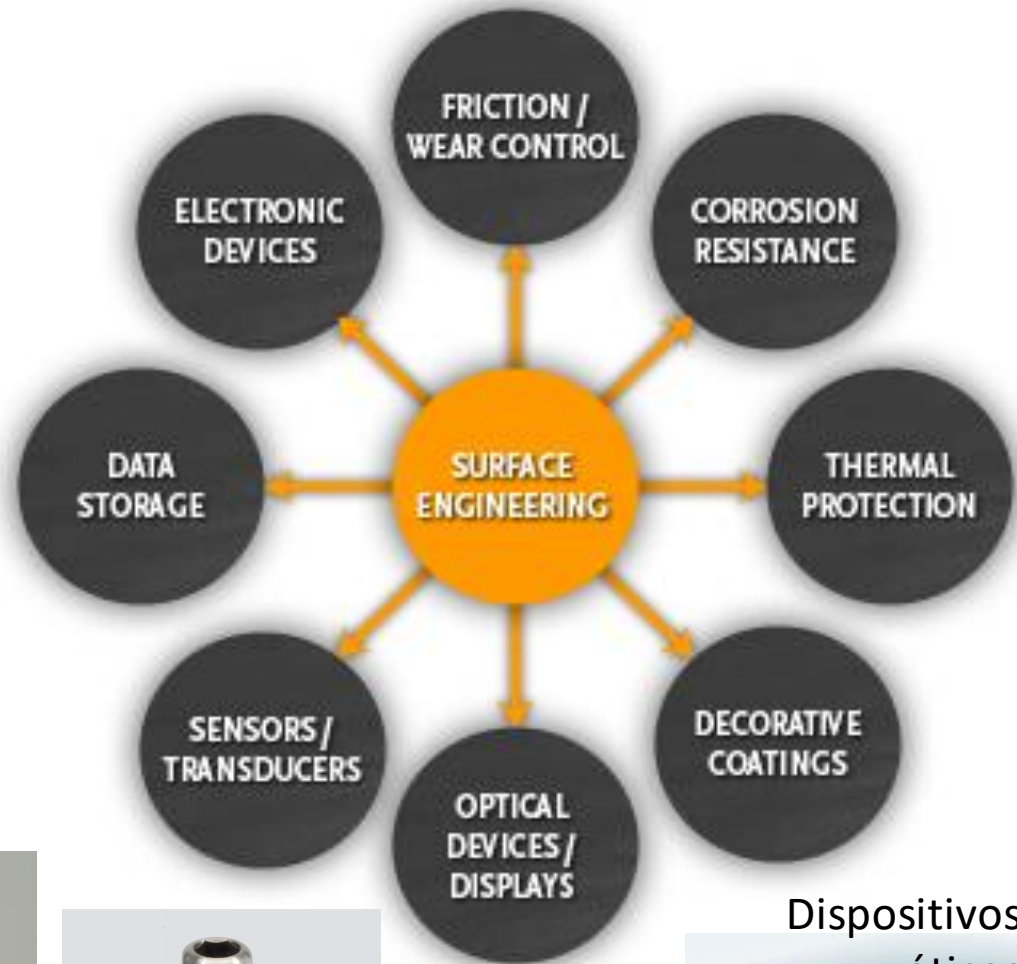
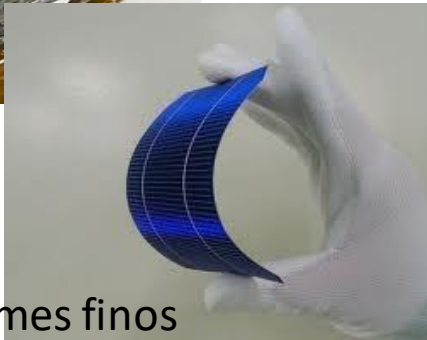
Definição: Filme fino é uma fina camada de material que varia de frações de um nanômetro (nm, monocamada atômica) para vários micrômetros (μm) de espessura.

Aplicações:



Displays flexíveis
(OLED)

Painéis solares de filmes finos



Controle de
desgaste

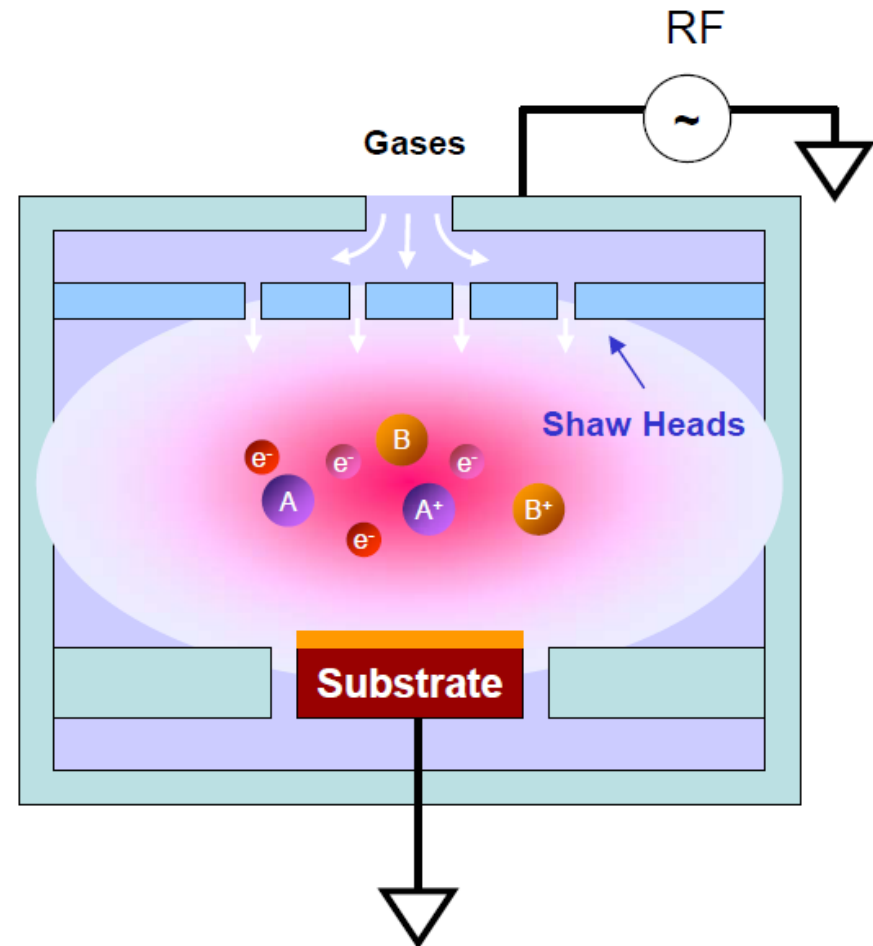


Dispositivos
ópticos

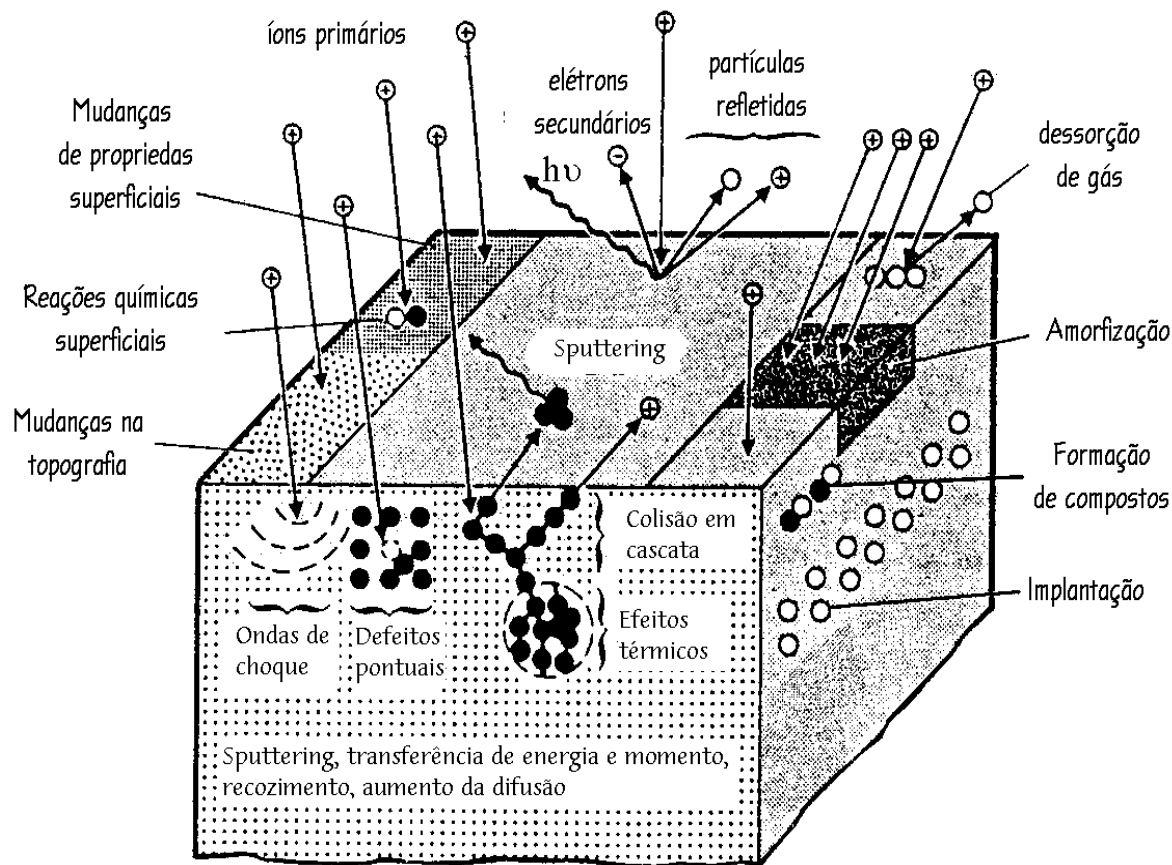
Deposição de filmes

Plasma-Enhanced CVD (PECVD)

- Filme formado por reações químicas no volume da descarga e na superfície do substrato.
- Permite obter materiais em temperaturas menores que as usadas em processos convencionais.
- Dependente do fluxo de gases.
- Uniformidade.
- Recomendado para deposição em geometria complexas.

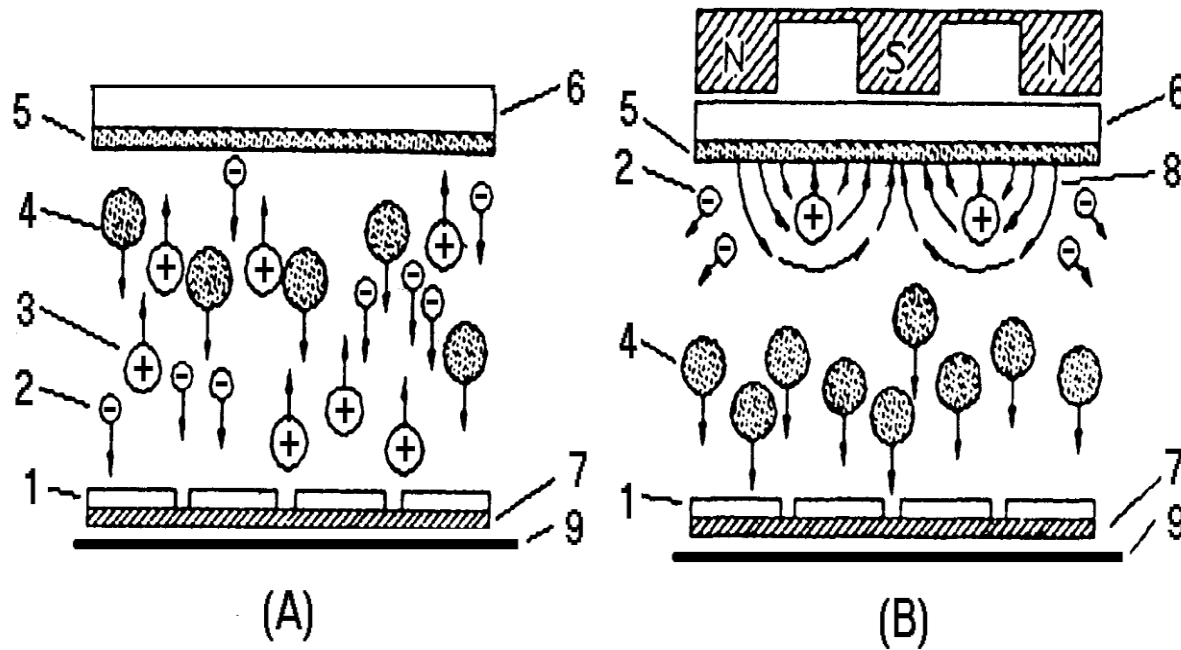


Sputtering (pulverização catódica)



Uma das vantagens obtidas com plasma e a possibilidade de controlar o movimento das partículas pela aplicação de campos elétricos e/ou magnéticos.

Deposição de filmes por *sputtering*



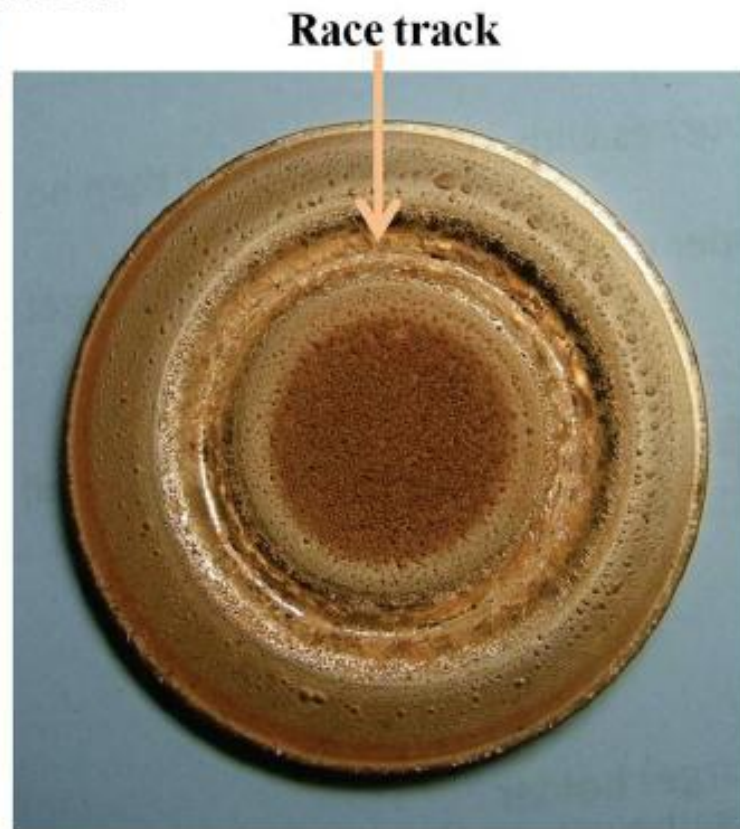
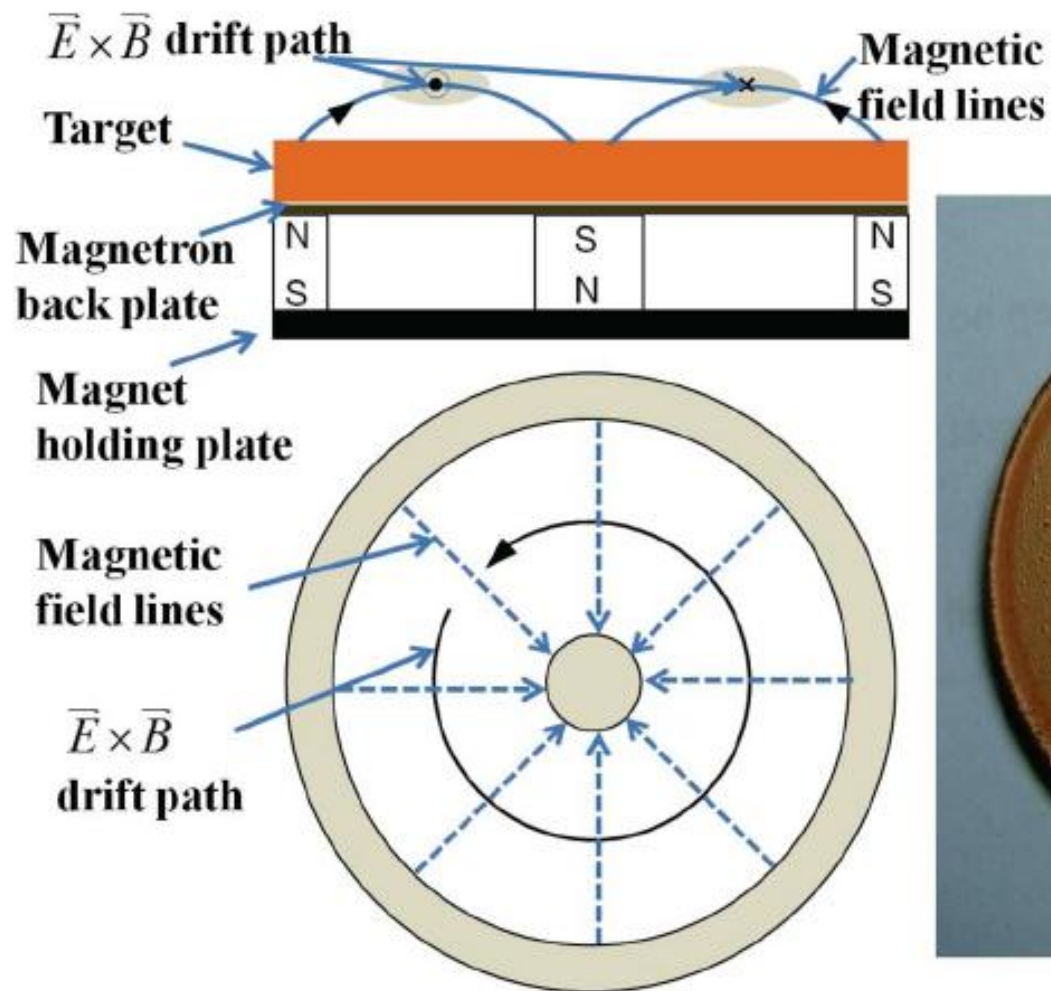
1-Substratos
2-Elétrons
3-Iões de Argônio
4-Átomos ejetados do alvo
5-Alvo

6-Catodo
7-Porta-substratos
8-Linhas de campo magnético
9-Anodo

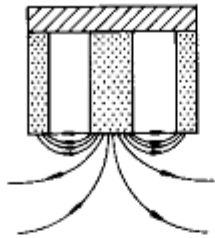
Magnetron sputtering



Zona de erosão

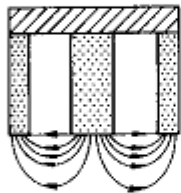


Campo magnético



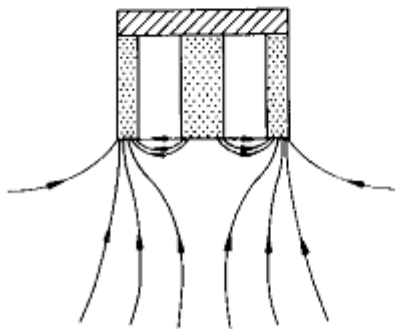
TYPE I

$$K < 1$$



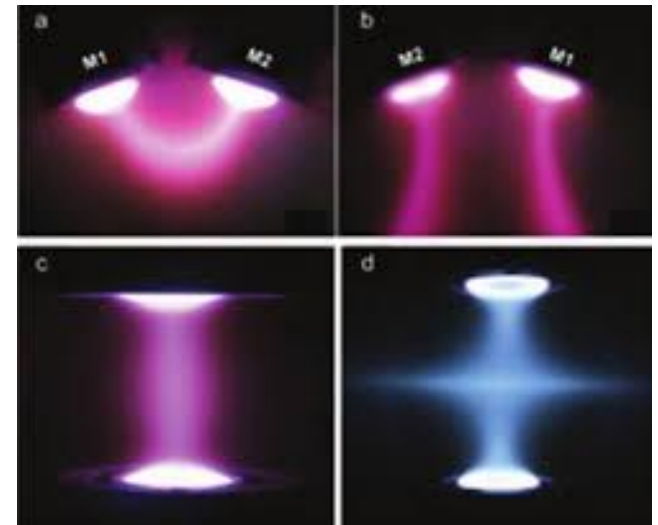
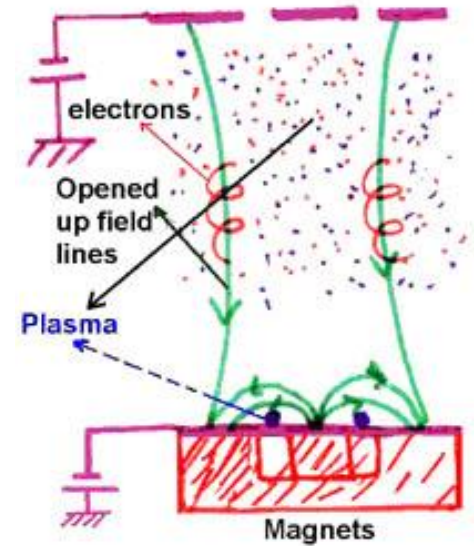
INTERMEDIATE

$$K \approx 1$$



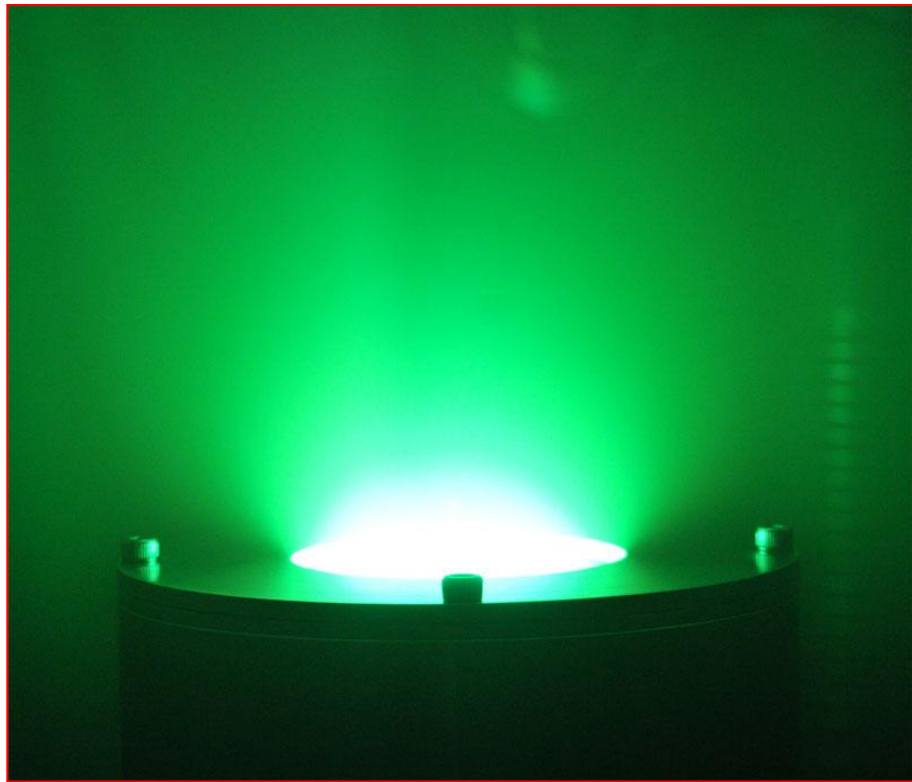
TYPE II

$$K > 1$$

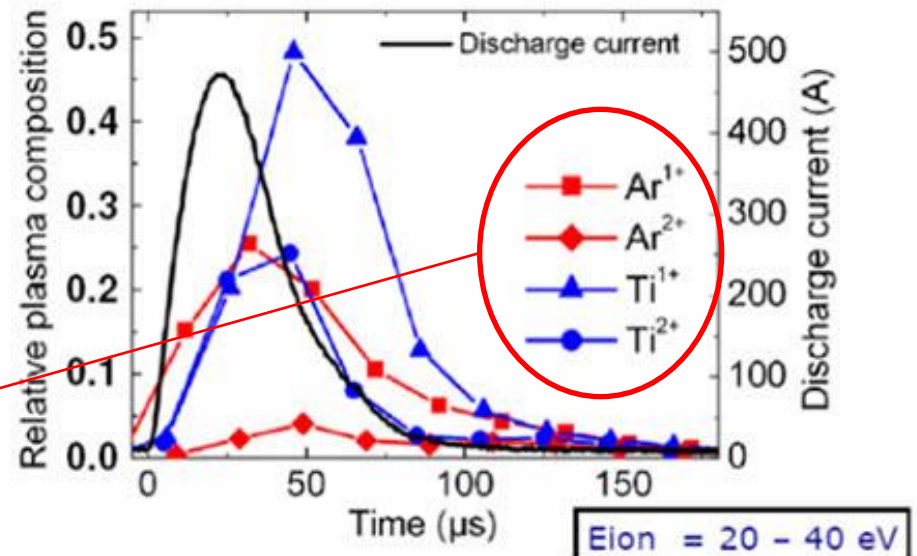


High Power Impulse Magnetron Sputtering (HiPIMS)

- Novas fontes de potência
- Alta densidade de plasma
- *Self-sputtering*

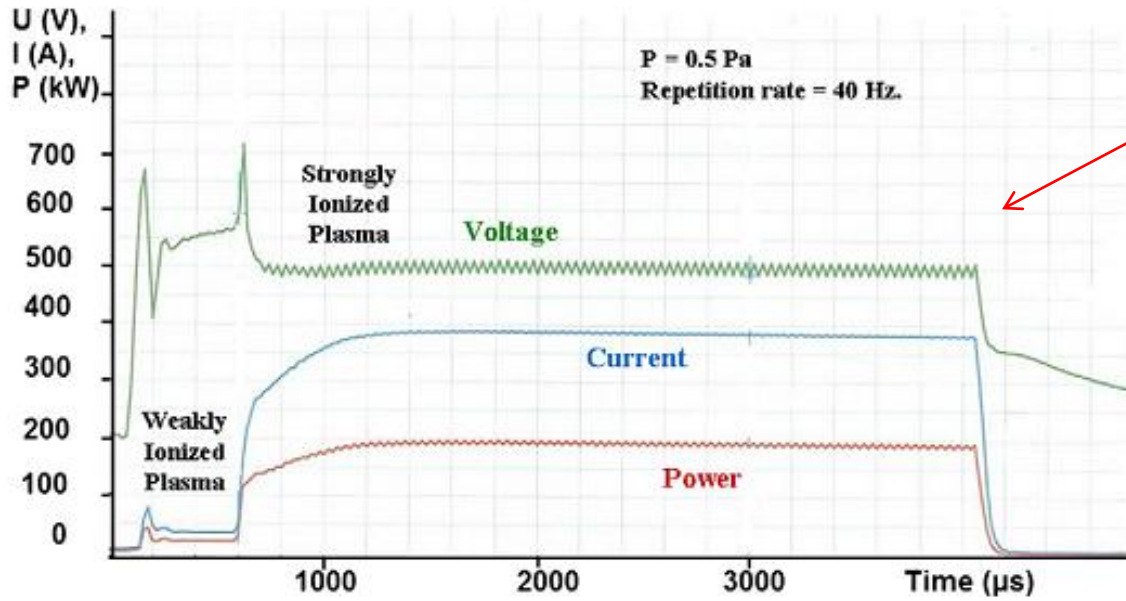


Alto grau de ionização



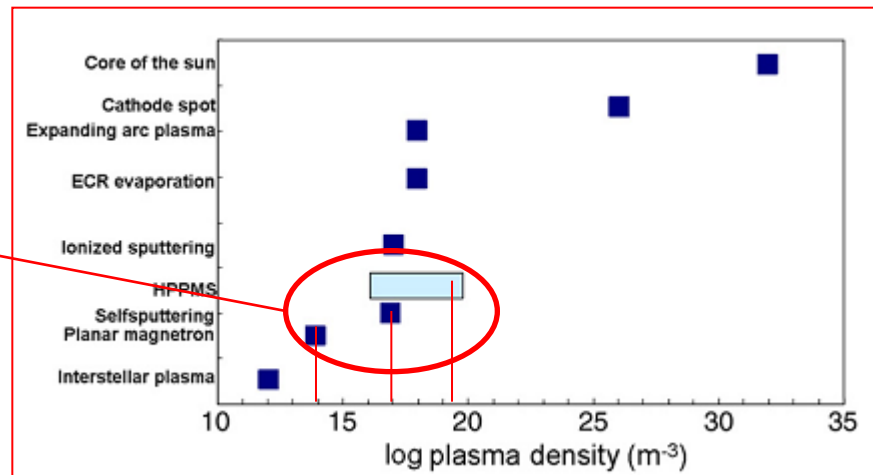
HiPIMS

MPP™ Cu Deposition – 4000 μ s Pulse



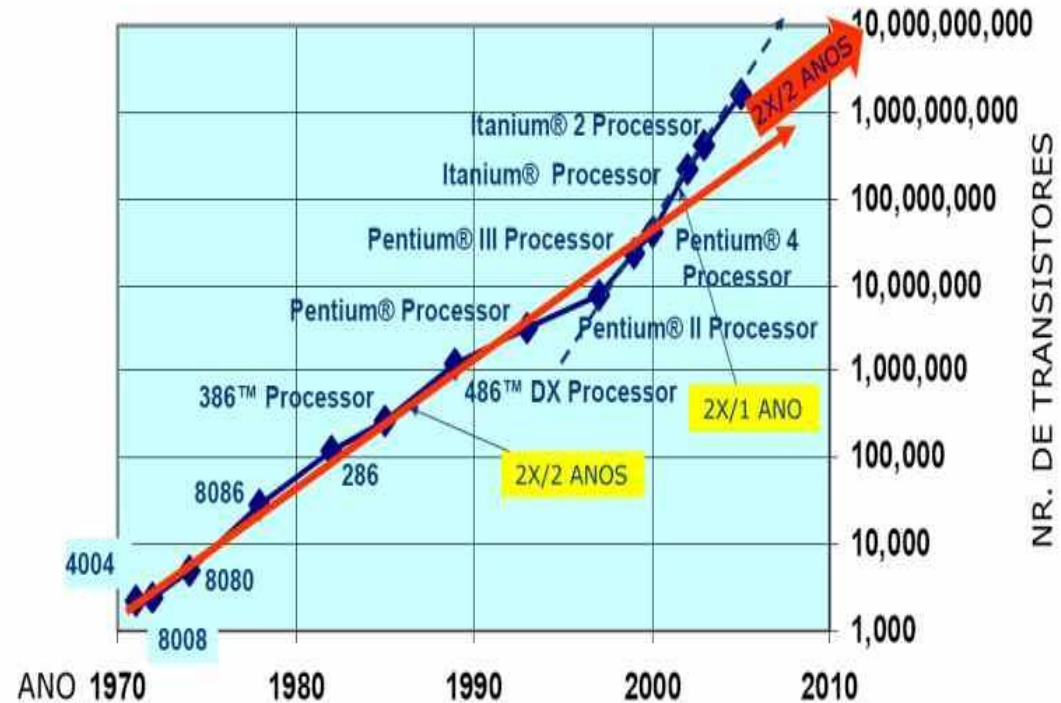
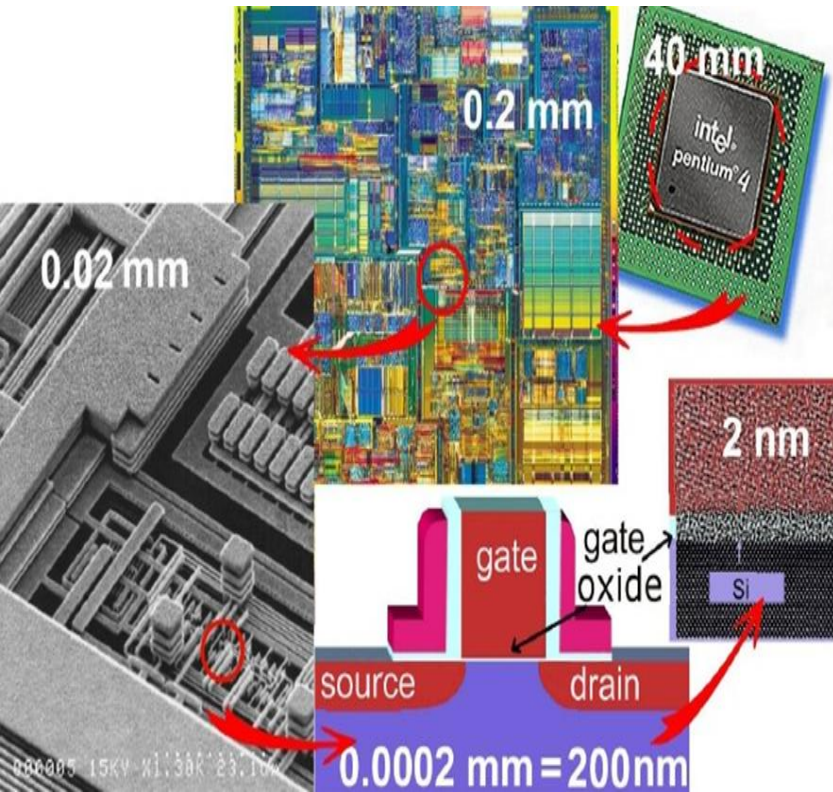
Evolução temporal

Aumento de quase 6 ordens de magnitude quando comparado ao magnetron convencional



Aplicações

Microeletrônica: Evolução dos microprocessadores



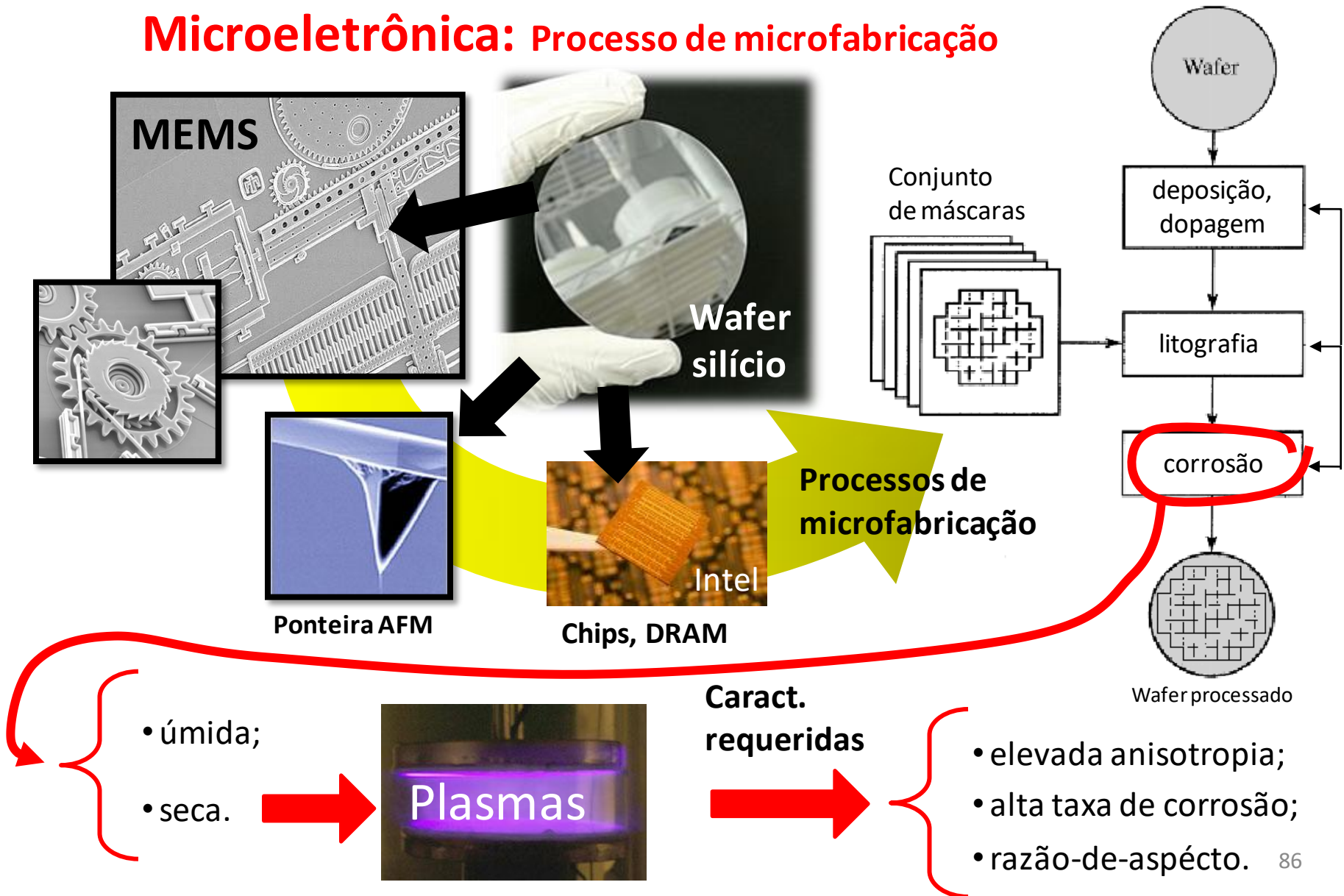
Lei de Moore:

“O número de transistores dos chips teria um aumento de 100%, pelo mesmo custo, a cada período de 18 meses.”



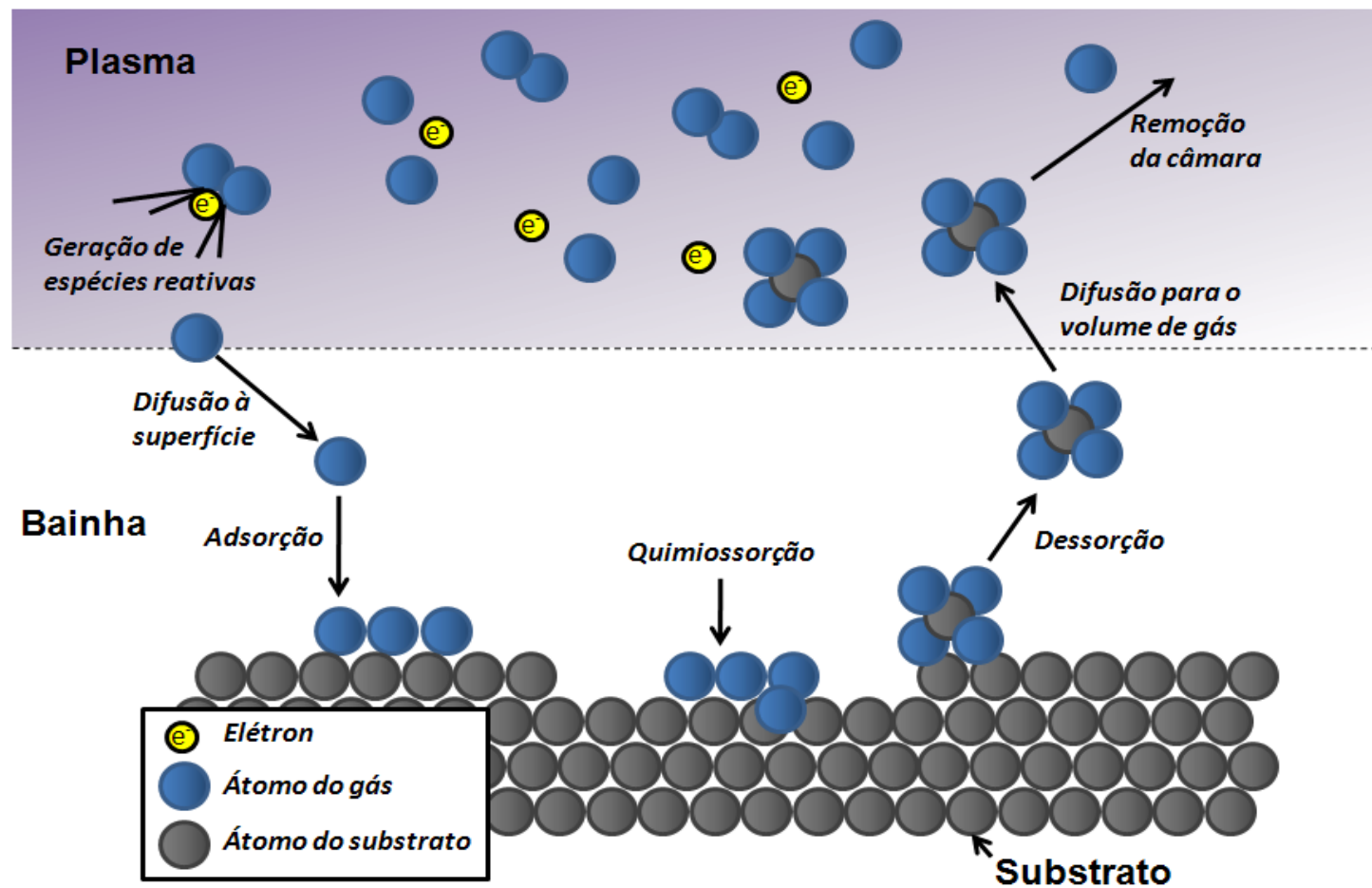
Aplicações

Microeletrônica: Processo de microfabricação



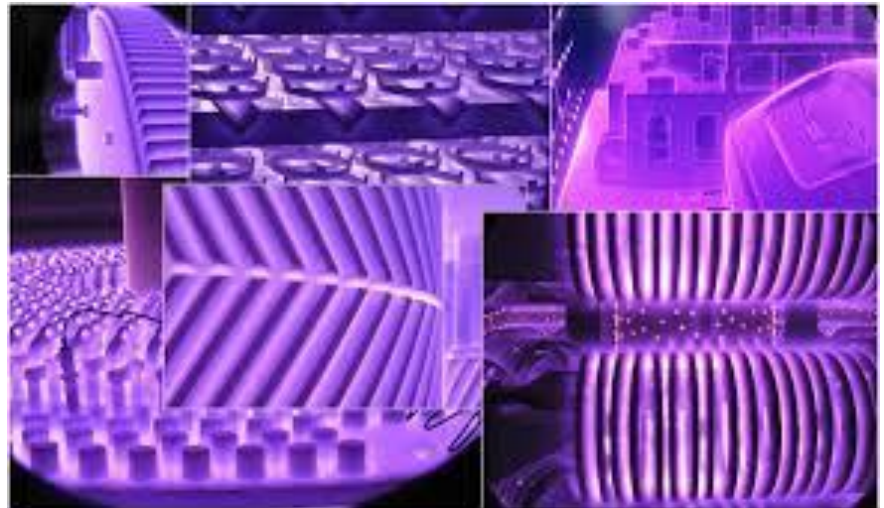
Corrosão a plasma

Mecanismos básicos do processo de corrosão a plasma

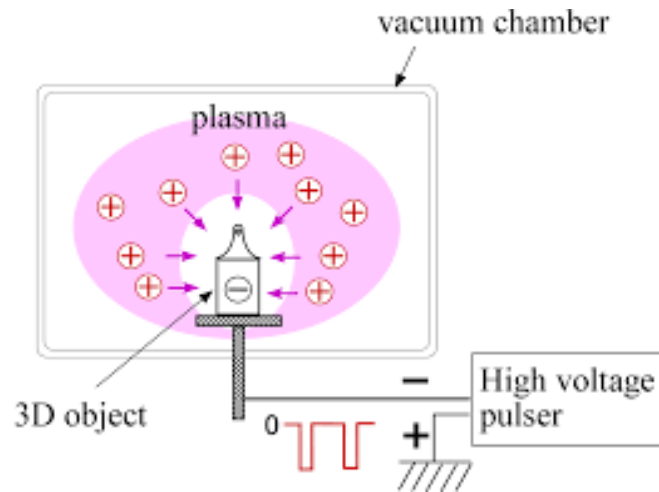


Nitretação a plasma

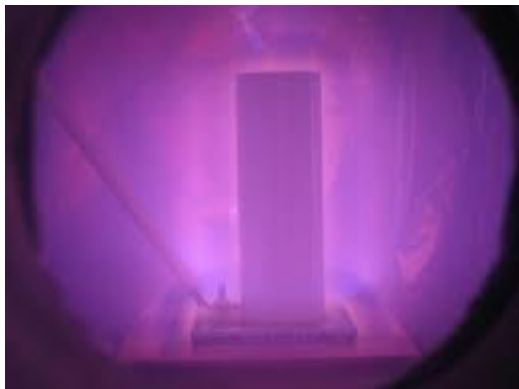
- Altera a superfície de peças metálicas, melhorando propriedades como dureza, resistência ao desgaste, resistência a corrosão, etc.
- Ocorre a difusão de nitrogênio no material devido às altas temperaturas.
- Opera em temperaturas menores do que a nitretação convencional.
- Menos agressivo ao meio ambiente.



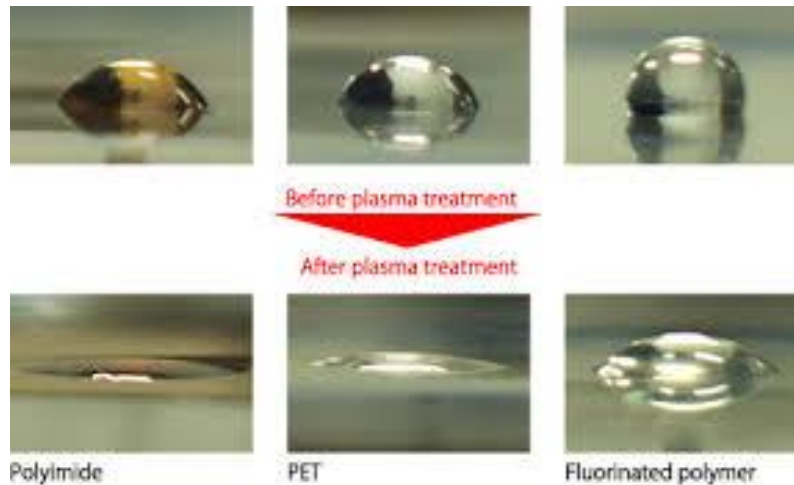
Implantação iônica por plasma



- Pulsos de alta tensão são aplicados à peça sendo tratada.
- Os íons gerados no plasma são implantados no material.
- Esta técnica pode ser usada para dopagem.



Modificação superficial por plasma



- Pode ser realizada em baixa pressão ou em pressão atmosférica

- Altera a molhabilidade de superfícies.

- Aplicável a polímeros, metais e cerâmicas.

- Ativa quimicamente a superfície.



Combustão assistida por plasma

Efeitos térmicos

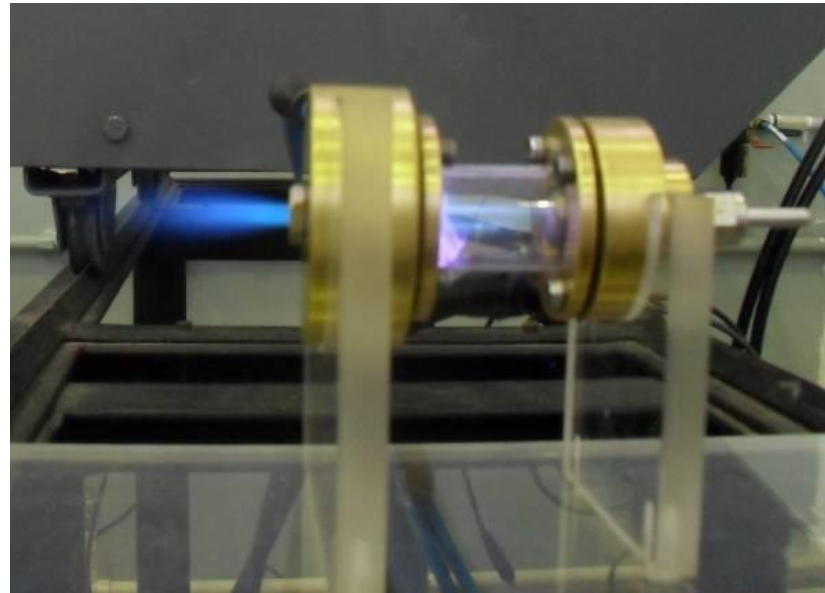
- *Aumento da reatividade*

Efeitos de transporte

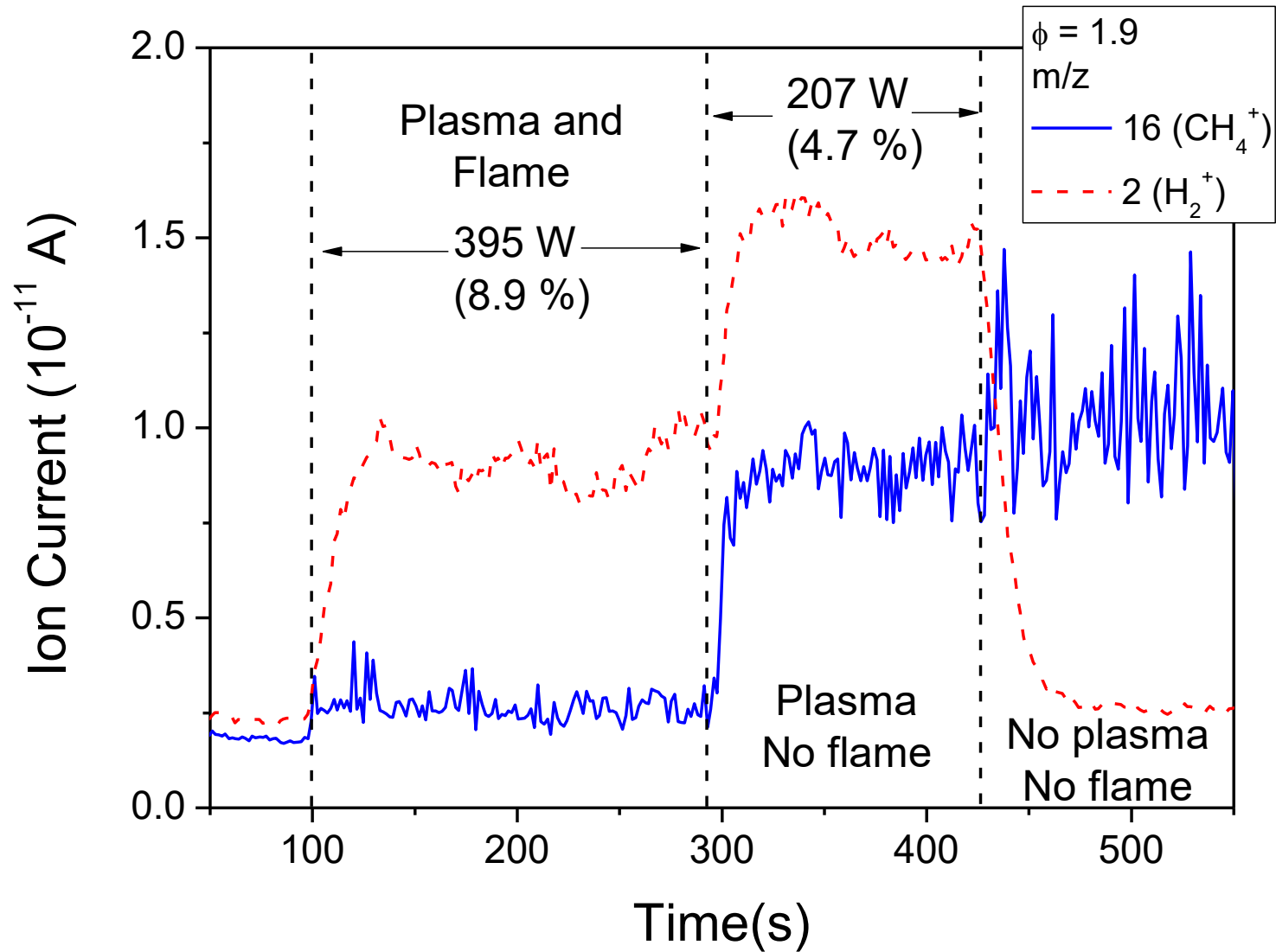
- *Vento iônico*

Efeitos cinéticos

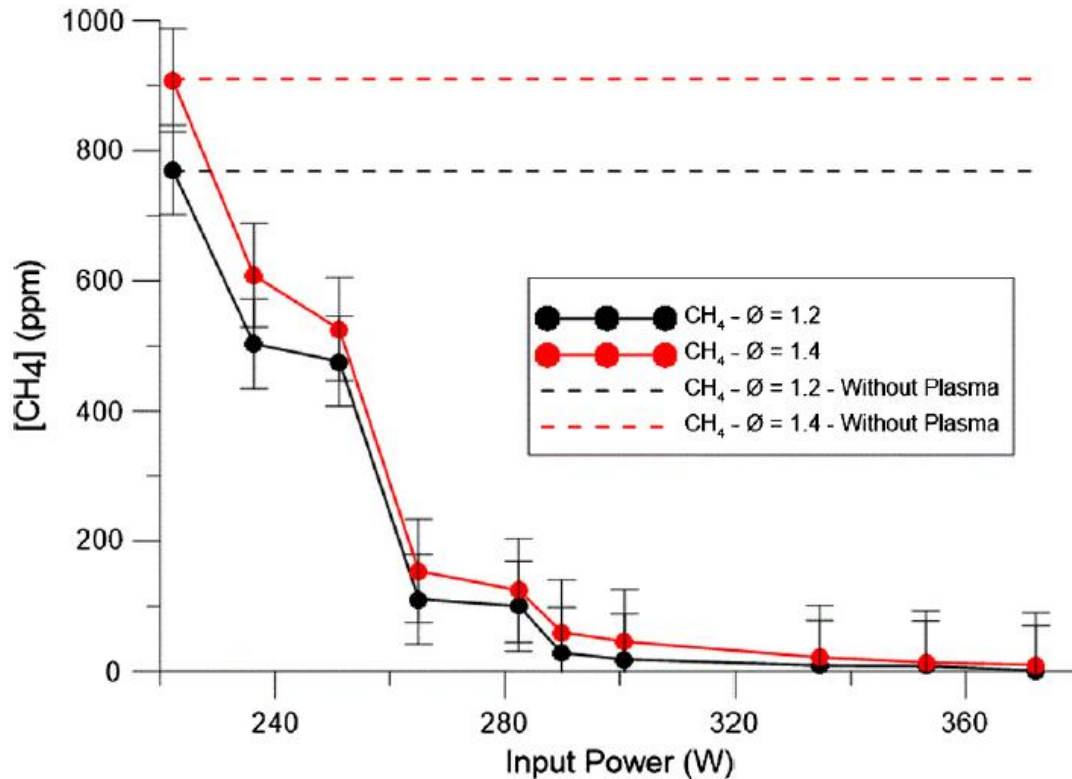
- *Geração de radicais*



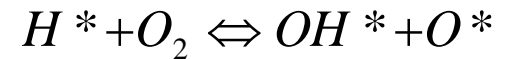
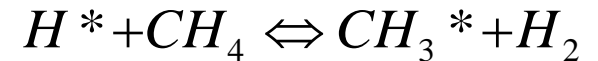
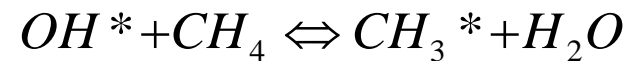
Espectrometria de massas



Emissões de hidrocarbonetos

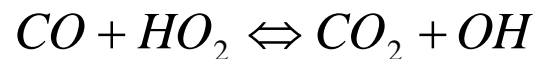
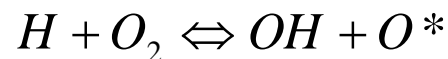
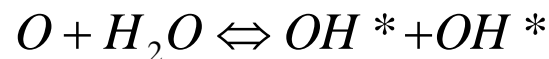
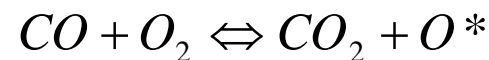
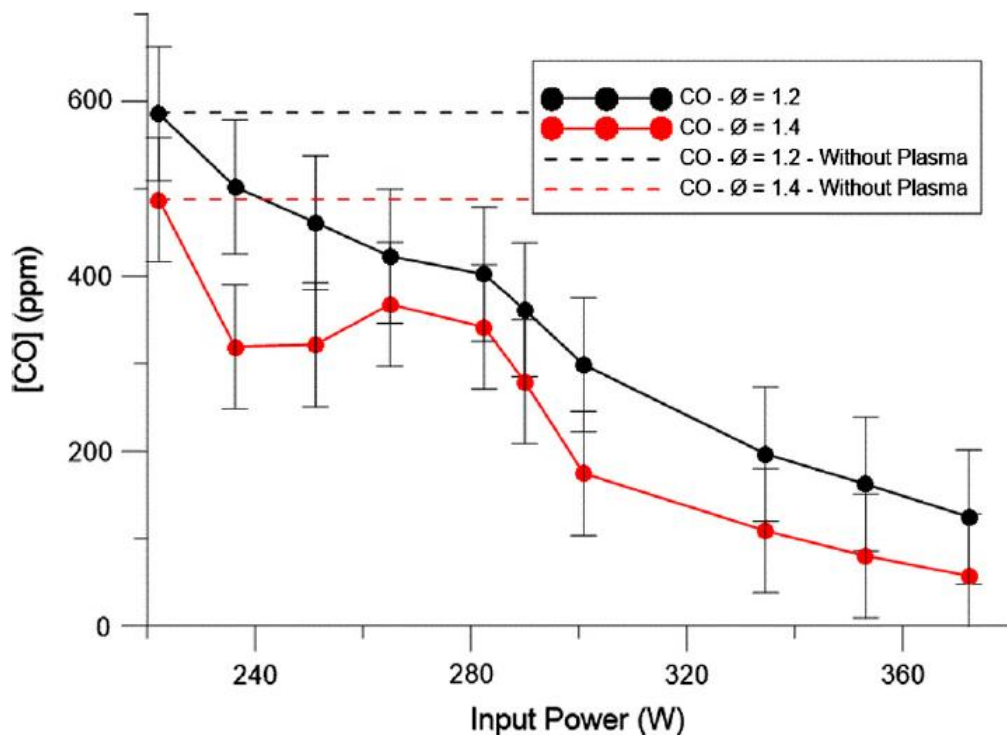
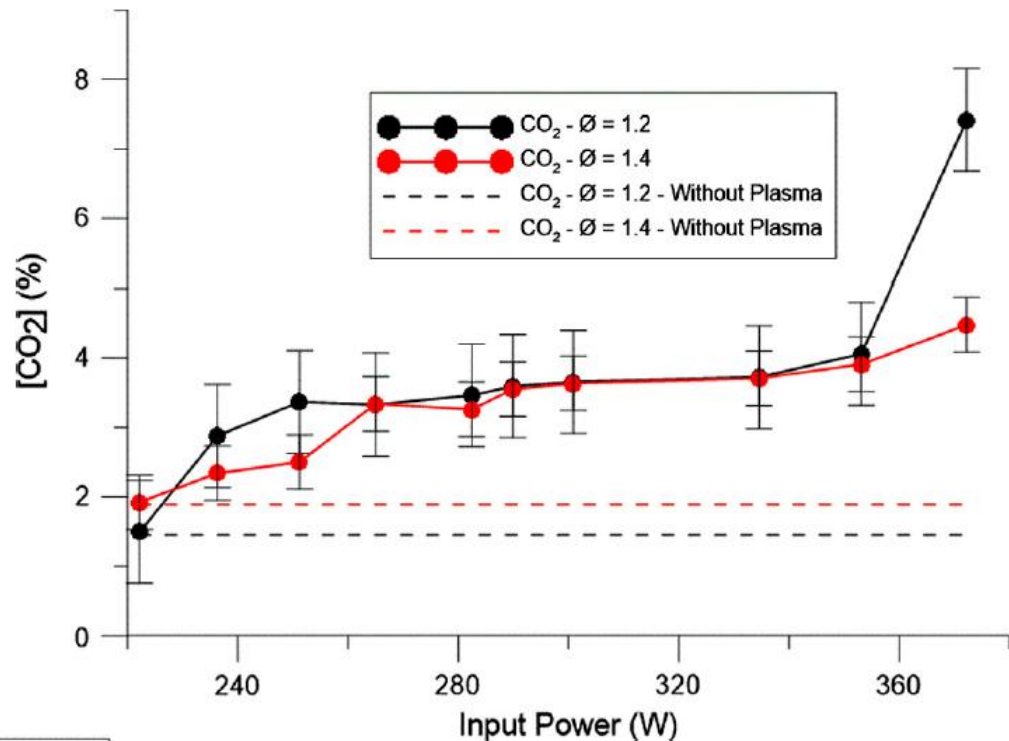
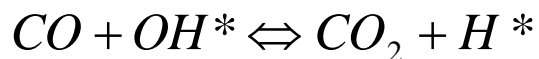


CH₄ consumption



H and H₂ addition reduces CH₄ concentration

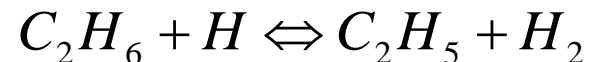
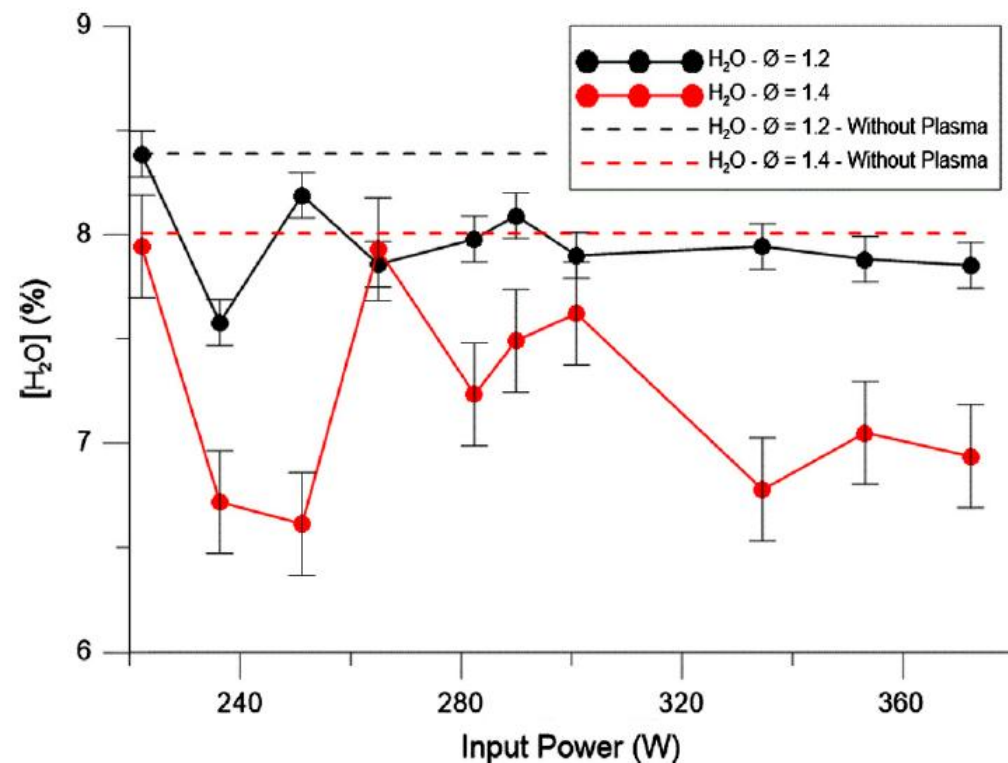
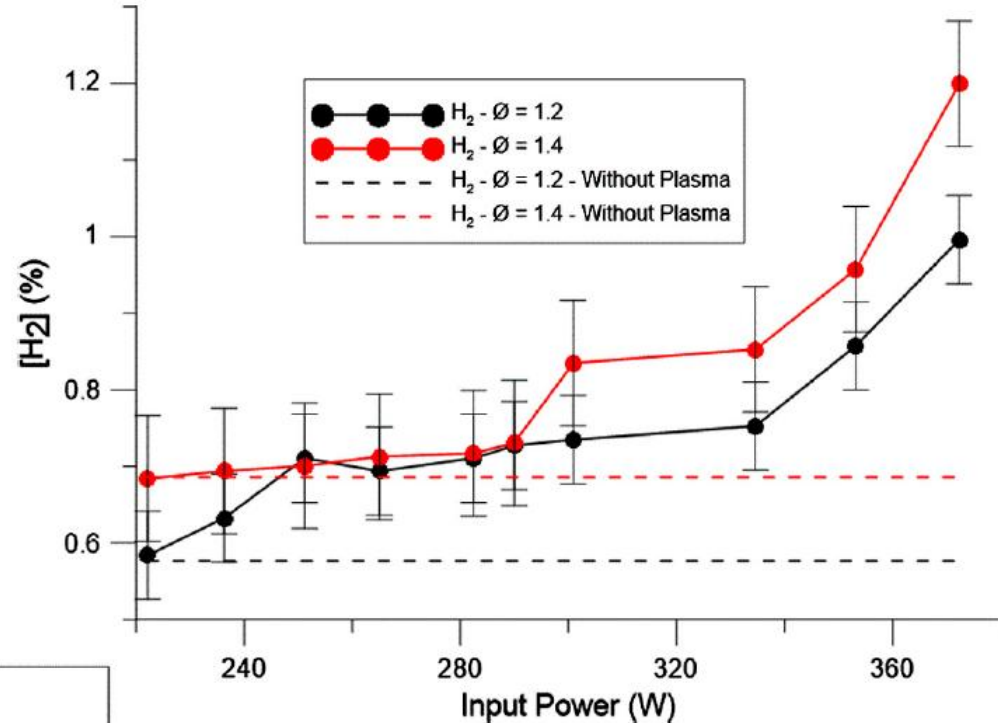
Emissões de CO e CO₂



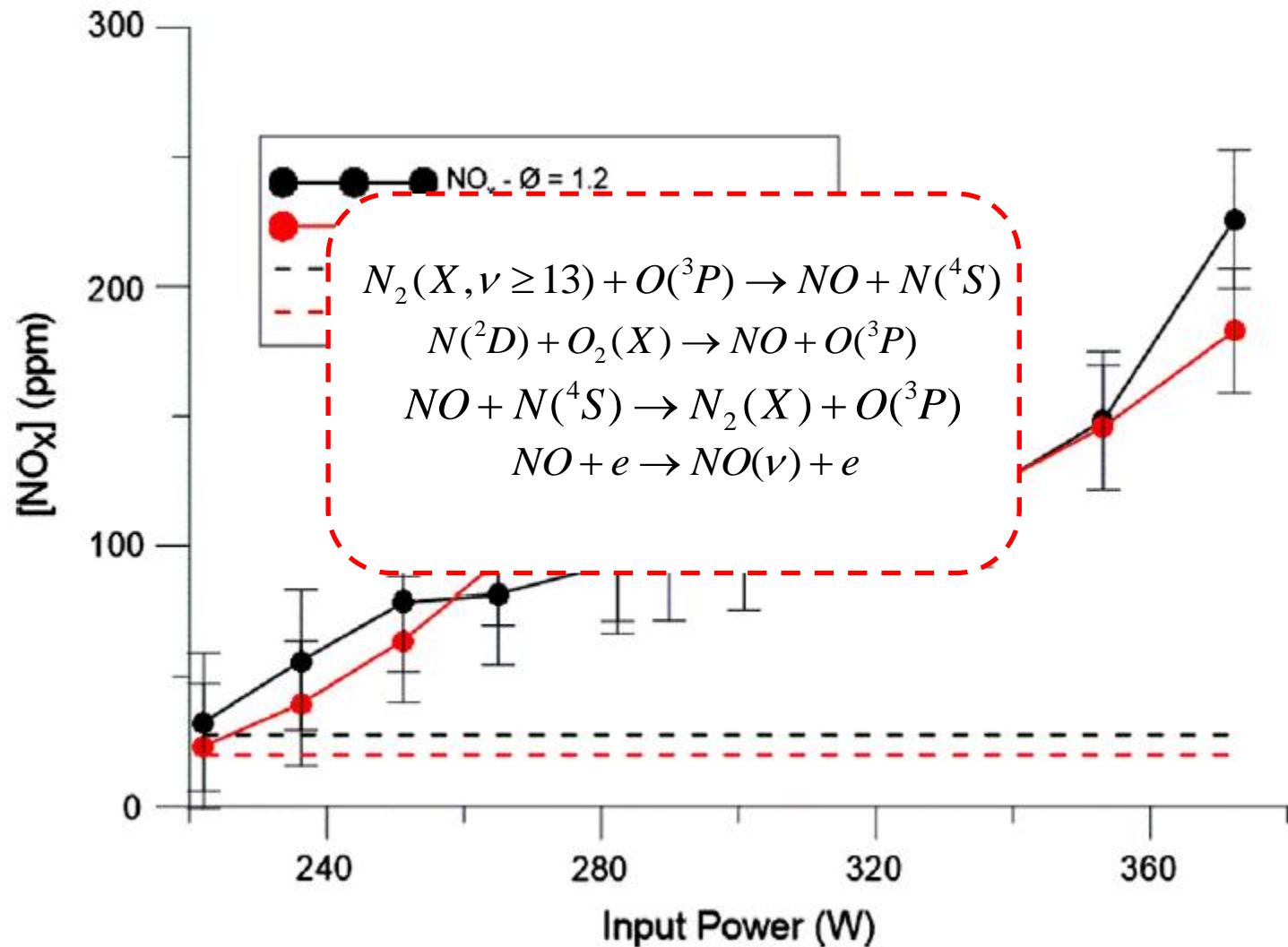
With H₂

Produção de H₂

- Dissociação de hidrocarbonetos
- Dissociação de H₂O?

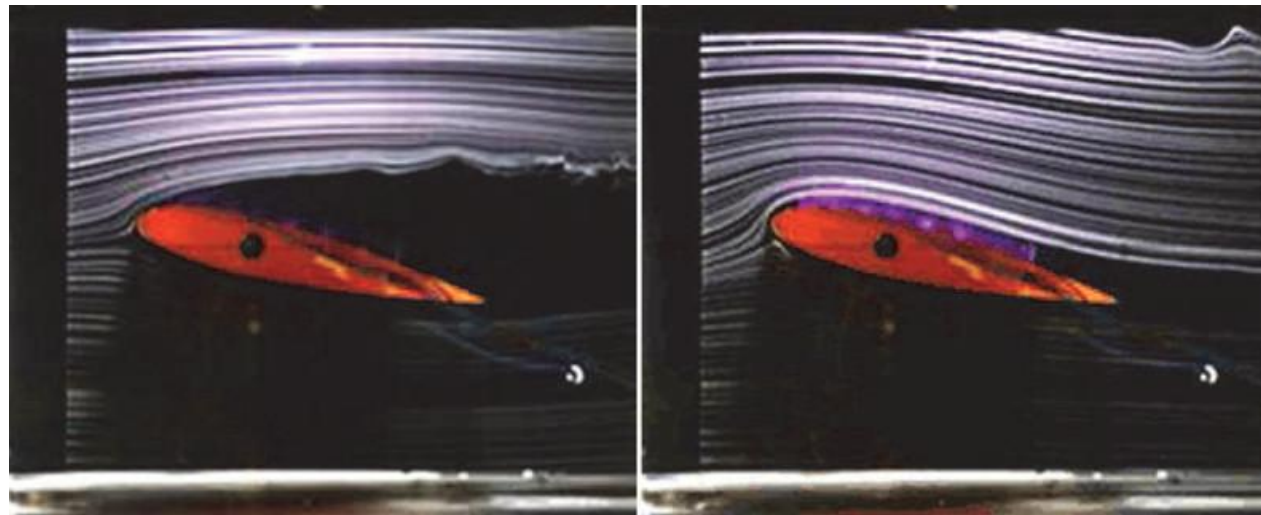
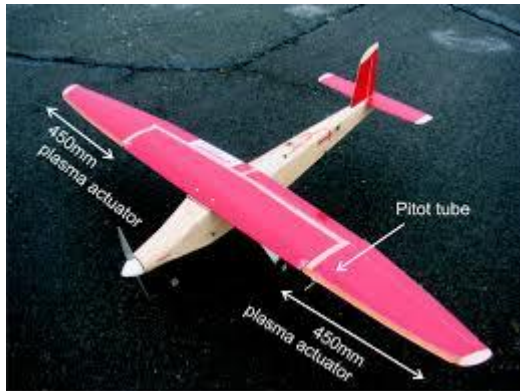
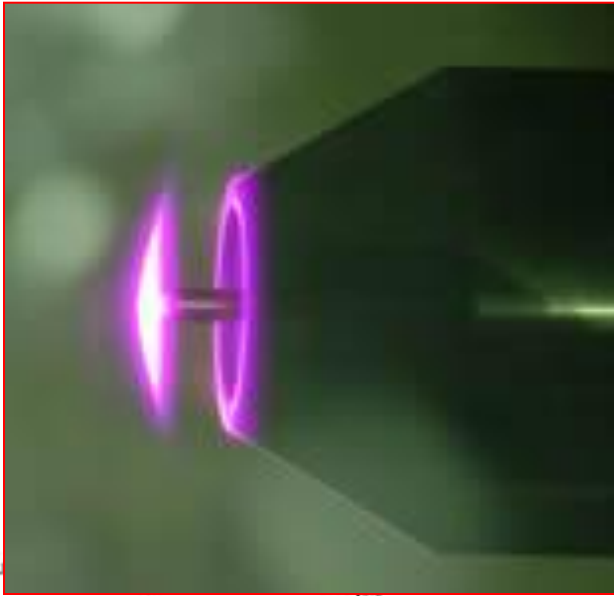


Emissões de NO_x



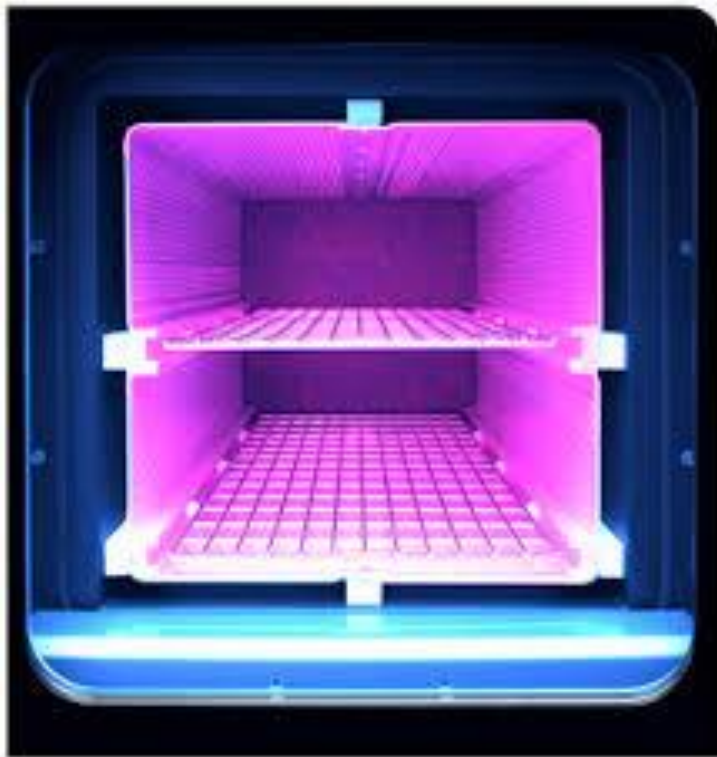
Controle aerodinâmico

- Descargas podem alterar o fluxo de gases, devido a efeitos como vento iônico e mudanças na densidade do gás.
- Descargas “superficiais” são usadas para controle aerodinâmico, como DBD e “arco” deslizante.

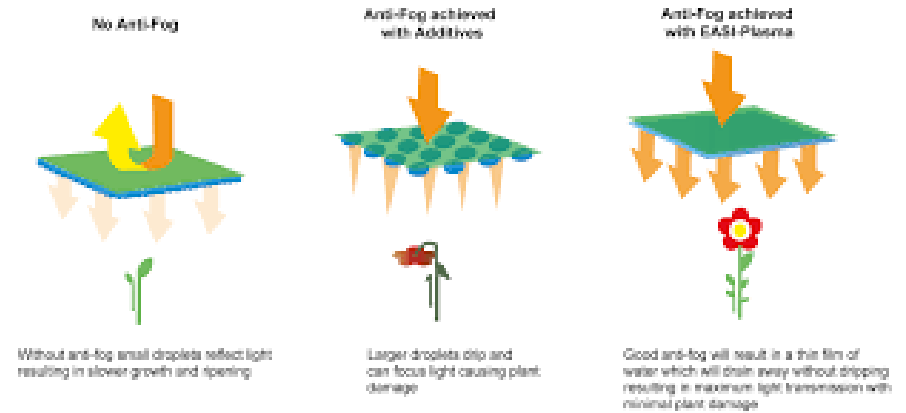


Esterilização a plasma

- Efeitos do plasma, como aquecimento, emissão de UV e de radicais podem ser usados para esterilização de materiais.



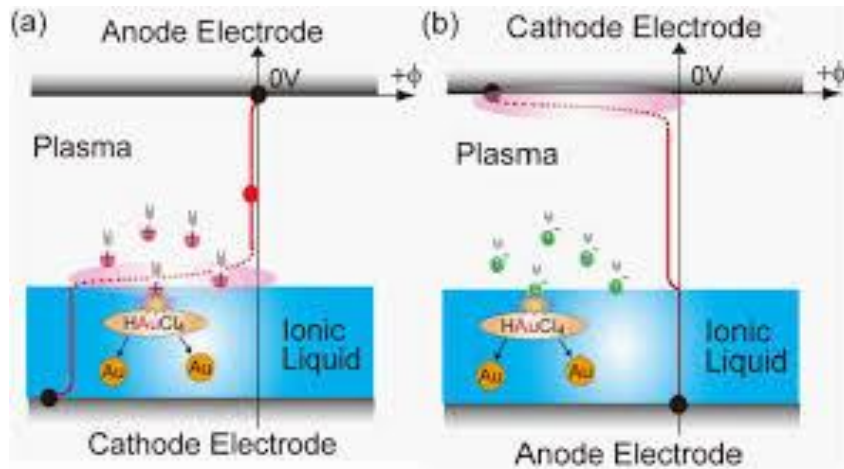
Agricultura a plasma



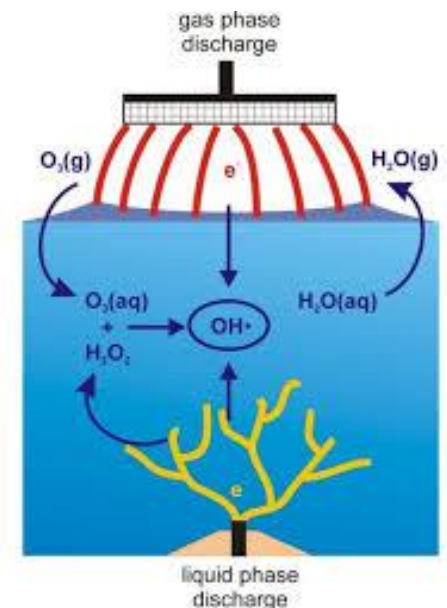
Medicina a plasma



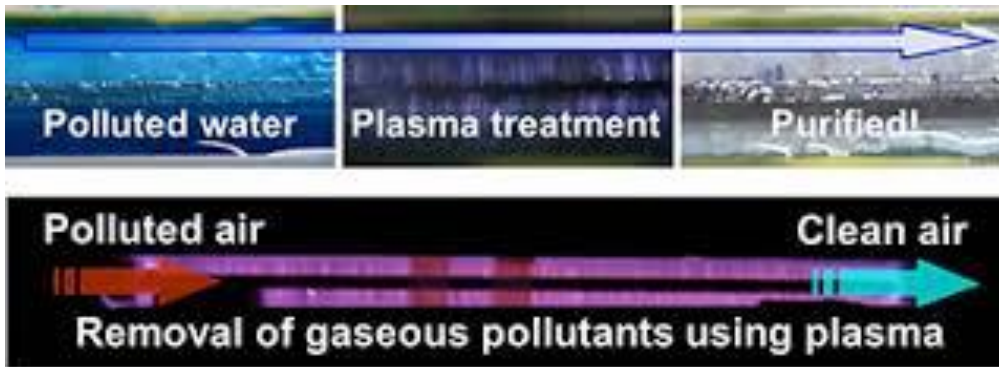
Plasmas em líquidos



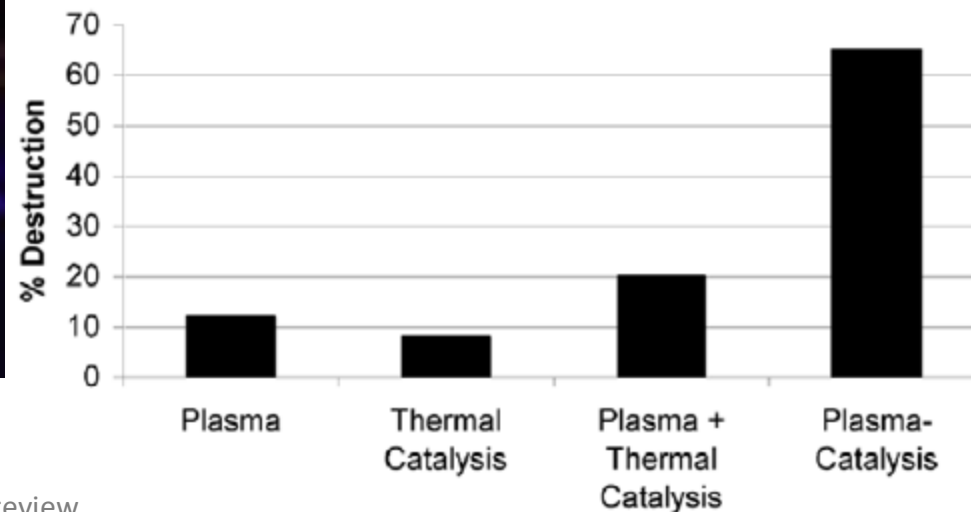
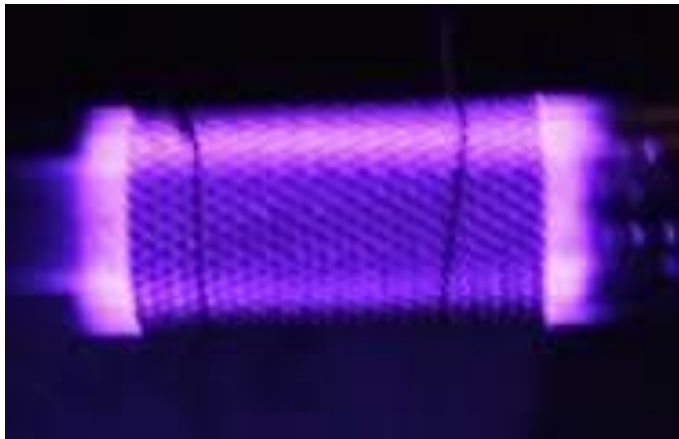
- Plasmas sobre líquidos e dentro de líquidos vêm sendo estudados para tratamento de poluentes e síntese de nanomateriais.



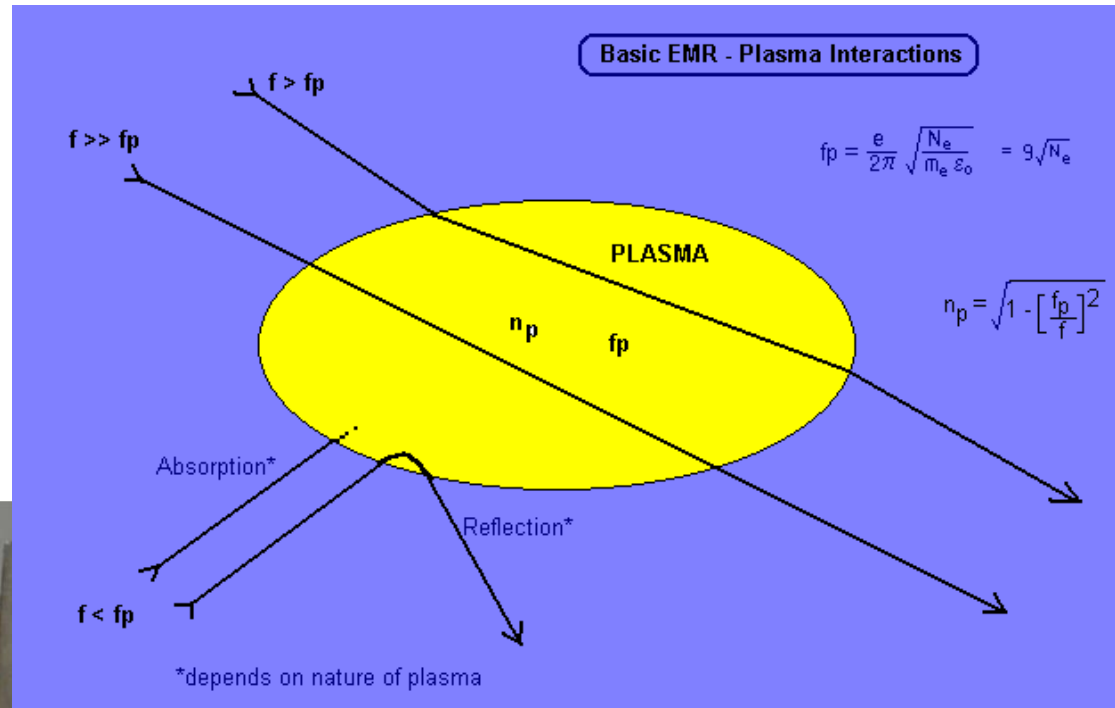
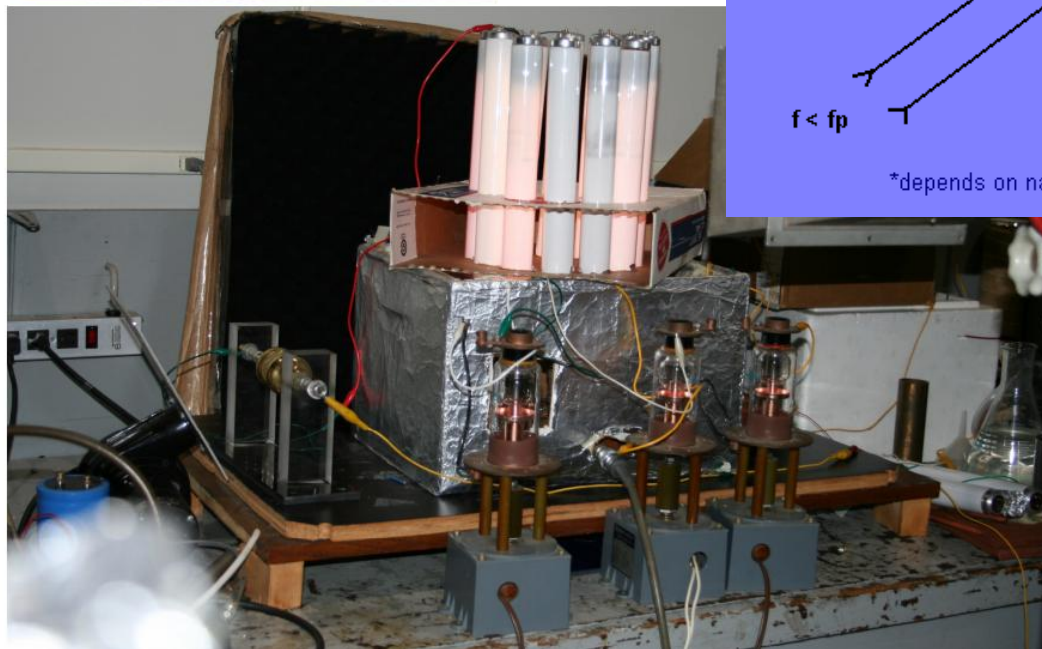
Catálise a plasma



- Unir os efeitos de catalisadores e plasmas.
- É possível catalisar reações químicas em temperaturas menores.
- Há sinergia entre o plasma e o catalisador.



Antenas a plasma



- Plasmas podem funcionar como refletores para frequências abaixo da frequência de plasma.
- A absorção ou reflexão depende da frequência de colisão.

Raios e relâmpagos

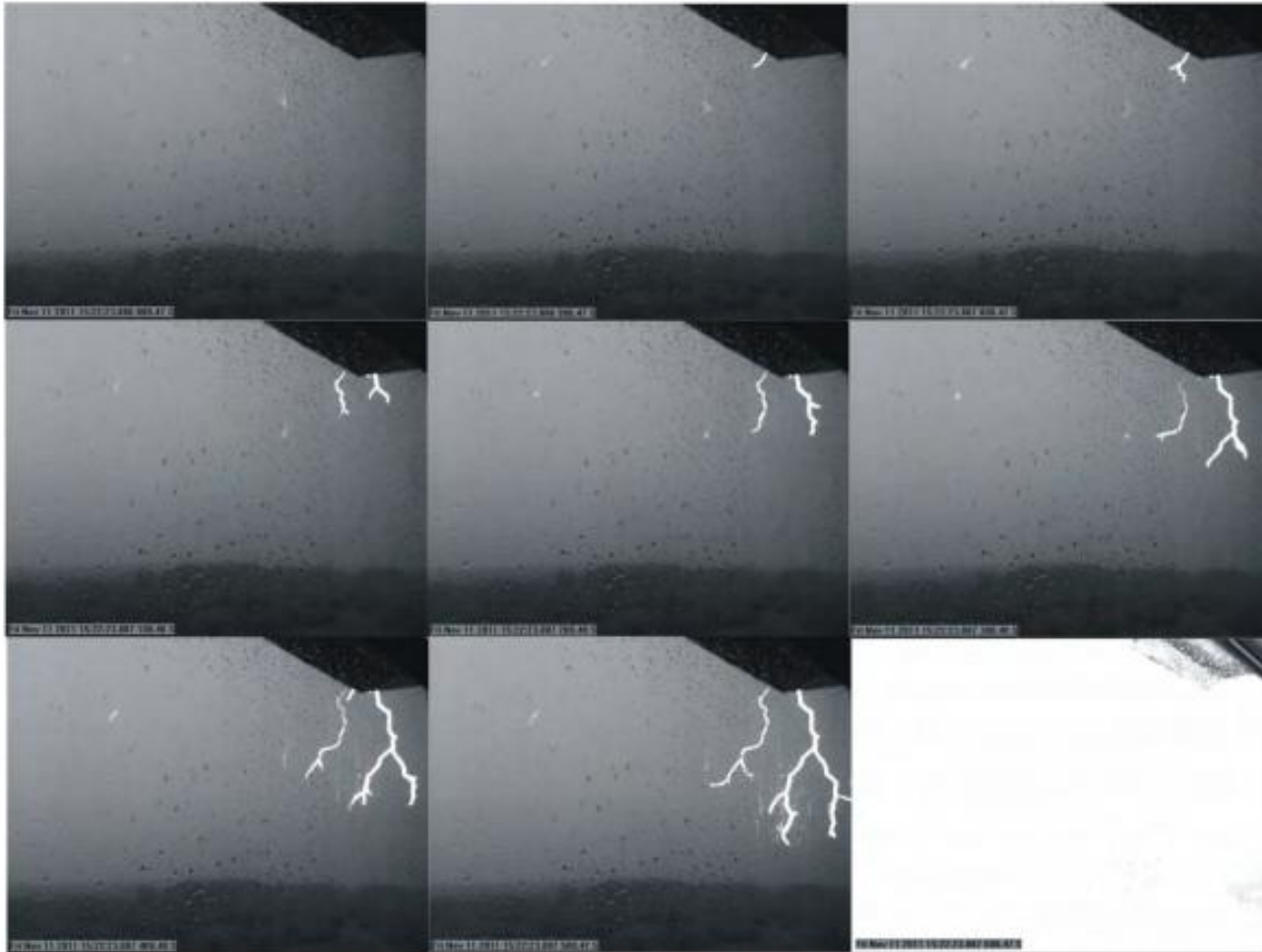
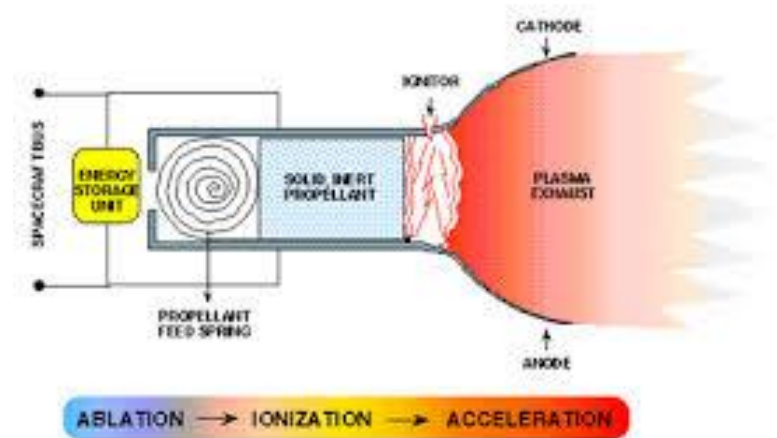
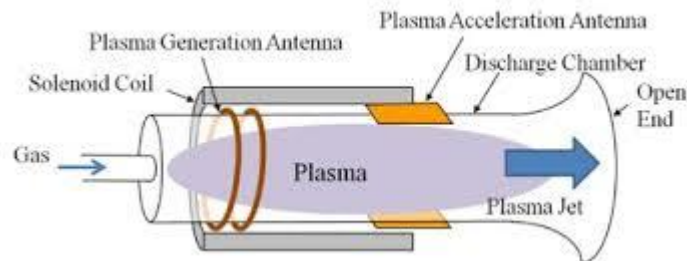
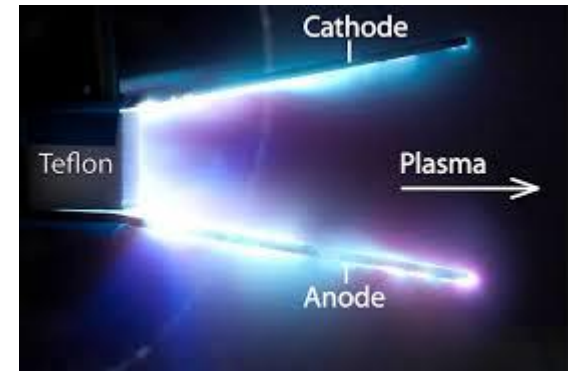
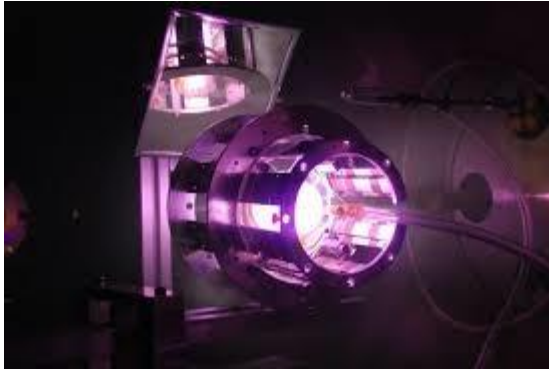


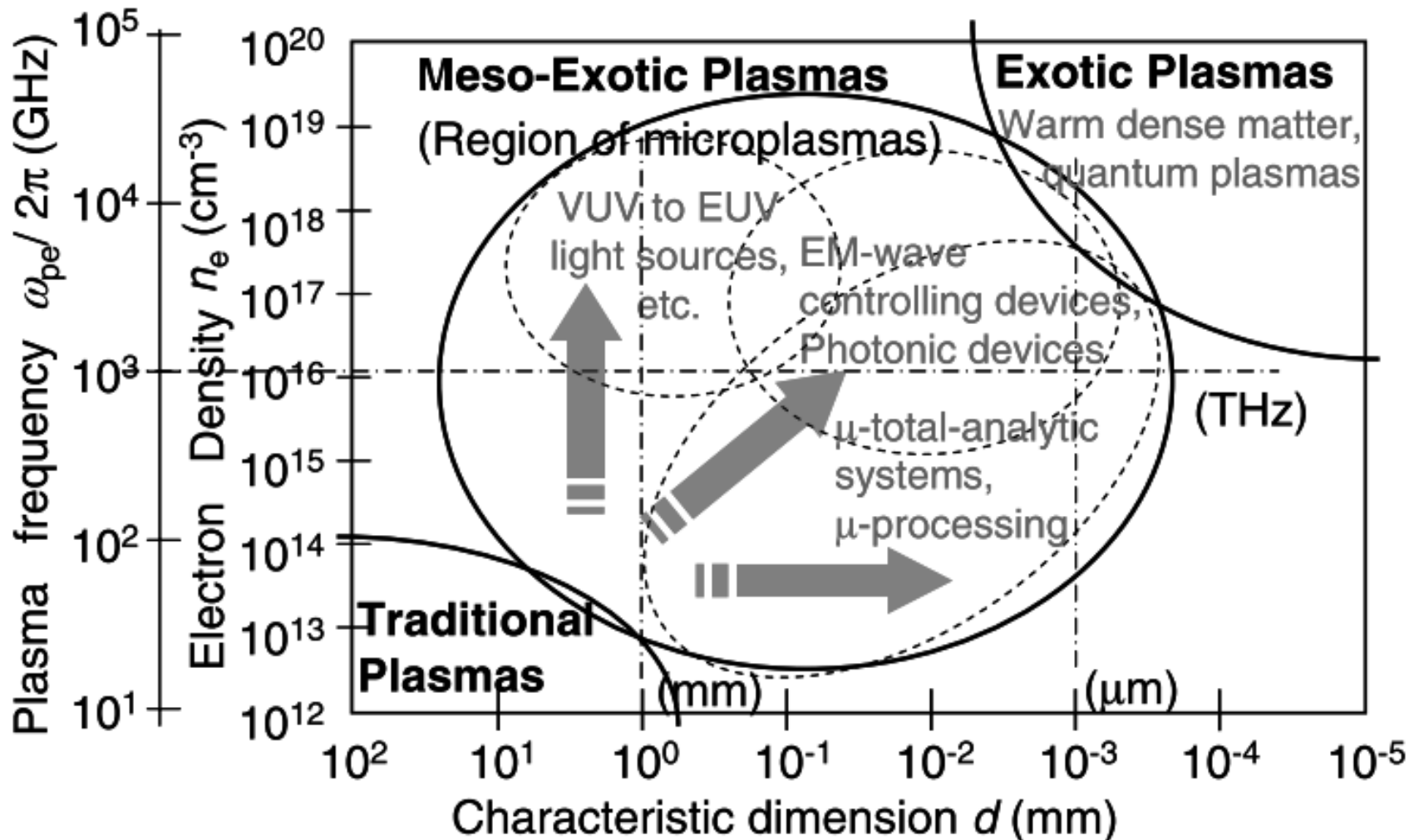
Figura 2.3 Sequência de imagens obtidas com a câmera Phantom V310

Propulsores a plasma

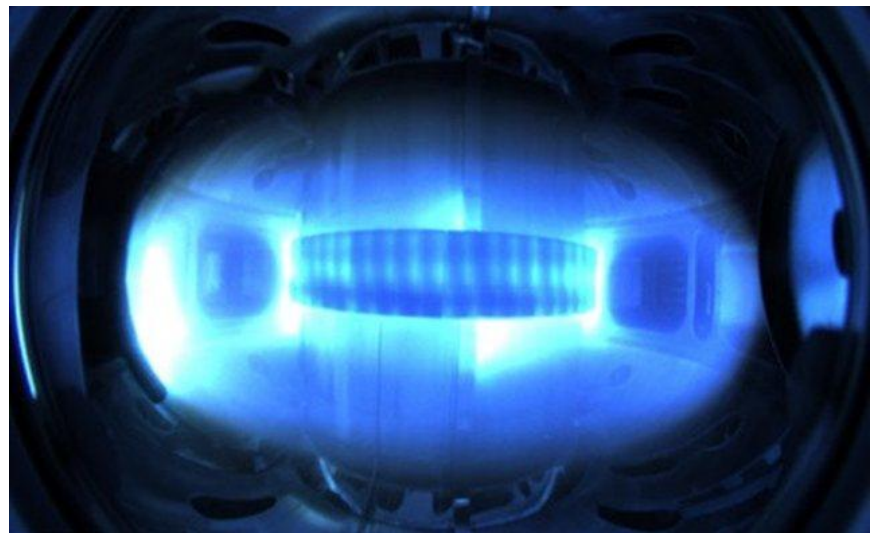
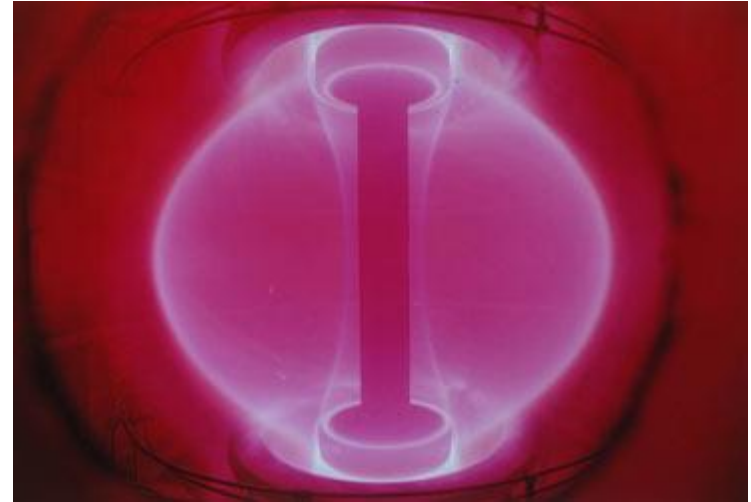
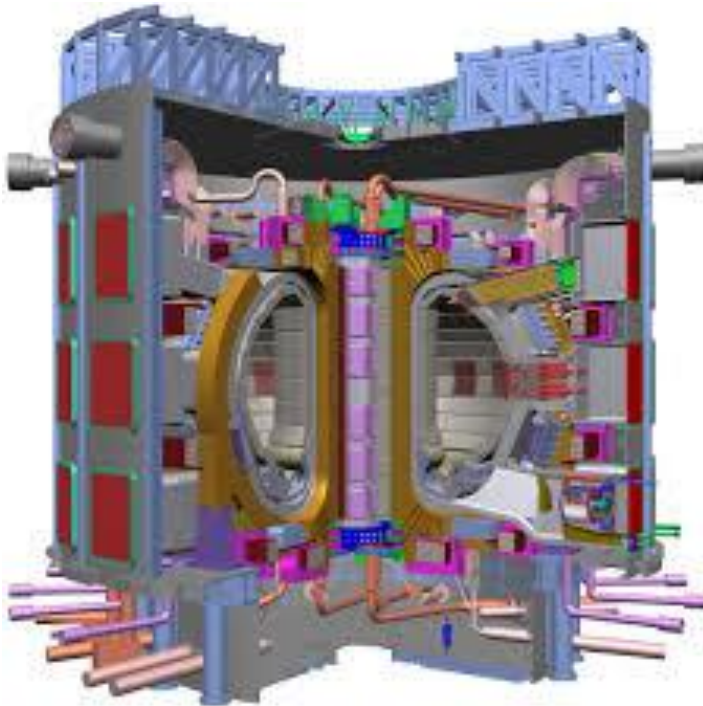


- Baixo empuxo
- Indicada para ambientes de vácuo

Microplasmas e plasmas quânticos



Fusão nuclear: plasmas quentes

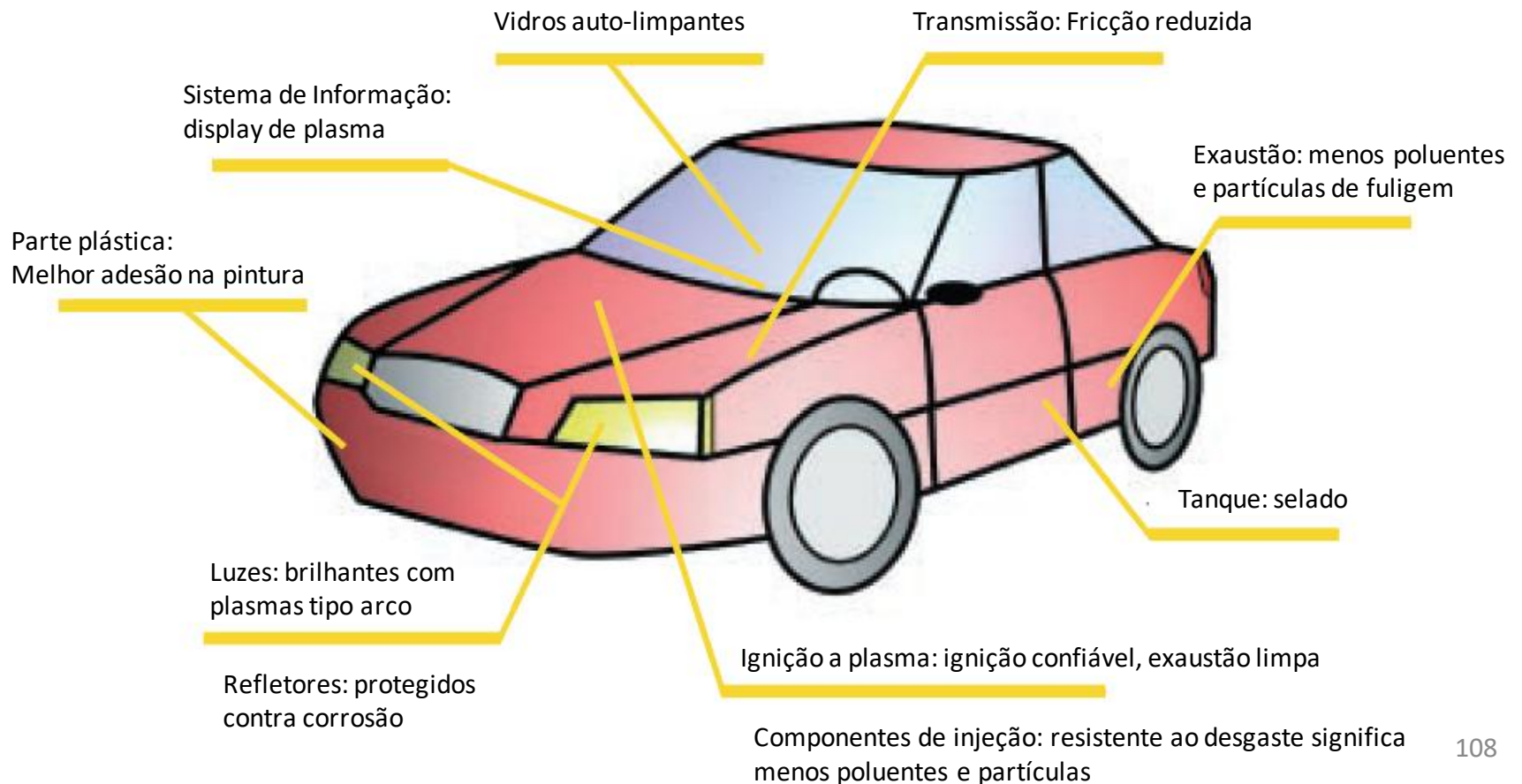


Aplicações

Automobilística:

Tecnologias de mobilidade ambientalmente aceitáveis

Os fabricantes de automóveis de hoje são obrigados a satisfazer simultaneamente as seguintes exigências:
A maior mobilidade deve ser conciliada com menor consumo de energia e baixas emissões de poluentes. A “Tecnologia de Plasmas” pode atender tal demanda, veja:



Pesquisa com plasmas frios no Brasil



Empresas envolvidas com tecnologia de plasmas no Brasil



Laboratório de Plasmas, Filmes e Superfícies



- Criado em 1998
- Líder do grupo: Luis César Fontana
- Vice-Líder do grupo: Jacimar Nahorny

Pesquisadores	Instituição	Departamento	Pós-Graduação
Luis César Fontana	CCT-UDESC	Física	PGCEM
Jacimar Nahorny	CCT-UDESC	Física	
Milton José Cinelli	CEART-UDESC	Física	
Abel André Cândido Recco	CCT-UDESC	Física	PGCEM
Julio César Sagás	CCT-UDESC	Física	PPGF
Daniela Becker	CCT-UDESC	Produção	PGCEM
Dianclen do Rosário Irala	Católica - SC		
Diego Alexandre Duarte	UFSC - Joinville		
Joel Stryhalski	IFSC		

Trabalhos em andamento

- Doutorado: 3
- Mestrado: 12
- Graduação: 4
- Ensino médio: 1

Trabalhos concluídos

- Doutorado: 2
- Mestrado: 13
- Iniciação científica > 50 (37 alunos)

Como chegar aqui: CCT > Laboratório de Plasmas, Filmes e Superfícies

LABORATÓRIO DE PLASMAS, FILMES E SUPERFÍCIES



Laboratório de Plasmas, Filmes e Superfícies (LPFS)

Ligado ao Departamento de Física do CCT-UDESC, o laboratório se caracteriza pelo seu caráter multidisciplinar, agregando profissionais não apenas da Física, mas também da Química e de diversas Engenharias. Dentre os principais objetivos do grupo está a formação de recursos humanos, o que evidencia-se pela grande número de alunos de iniciação científica que já passaram pelo laboratório.

Dentro desta filosofia, o laboratório tem produzido diversos trabalhos de mestrado e doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais do CCT-UDESC e, recentemente, passou a produzir trabalhos ligados ao Programa de Pós-Graduação em Física do CCT-UDESC.

Linhas de pesquisa

- Deposição de filmes finos por pulverização catódica (*magnetron sputtering*)
- Tratamento termoquímicos por plasma (nitretação, carbonitretação, etc)
- Polimerização por plasma
- Ativação e funcionalização de superfícies por plasma
- Diagnóstico de plasmas por espectroscopia ótica
- Modelamento e simulação de deposição de filmes finos

Técnicos

Julio Cesar de Oliveira Fermino

OBRIGADO

Contato: julio.sagas@udesc.br
www.cct.udesc.br/?id=1862

