

**PSI3483**  
**ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM**  
**MEIOS GUIADOS**  
**Conteúdo**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fatima Salete Correra**

**Prof. Dr. José Kleber da Cunha Pinto**

# Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

## Professores

Profa. Dra. Fatima Salete Correra

Colaboração: Prof. Antônio Sandro Verri

## Aulas síncronas por vídeo conferência

2ª feira – 15h50min às 17h30min

5ª feira – 14h00min às 15h40min

## Estrutura do curso

Aulas teóricas

Aulas práticas de simulação em CAD

# Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

## Ondas eletromagnéticas

- Ondas que transportam a energia eletromagnética
- Energia eletromagnética
  - Gerada por cargas elétricas em movimento
  - Amplo espectro de frequências
    - ondas de rádio, micro-ondas
    - infravermelho, luz visível
- Usadas em comunicações
  - Portadora modulada pela informação
  - Modulação AM, FM ou PM

# Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

## Meios de propagação de ondas EM

### Meios não-guiados

- Meios ilimitados
- Exemplos

Espaço livre

Atmosfera

### Meios guiados

- Meios com fronteiras
- Exemplos

Linhas bifilares

Par trançado

Cabos coaxiais

Guias de ondas

Linhas planares

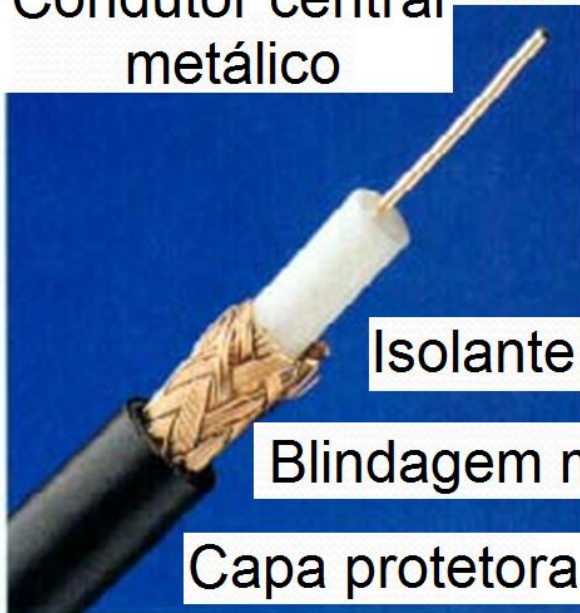
Fibras ópticas

**Micro-ondas, ondas milimétricas e luz**

# Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

## Meios guiados de propagação

Condutor central  
metálico



Cabos coaxiais

# Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

## Meios guiados de propagação

Condutores ocos  
Preenchidos com dielétrico  
Secção transversal regular

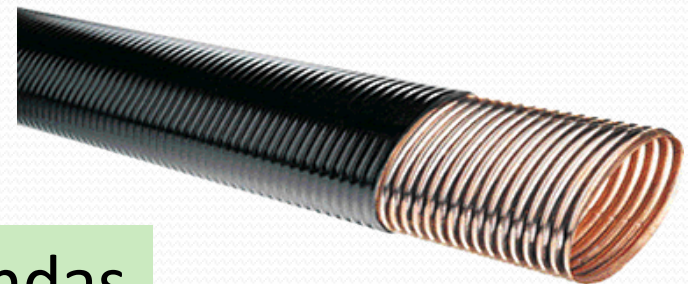


Guias de ondas  
retangular

Guias de  
ondas  
flexíveis



Guia de ondas  
elíptico

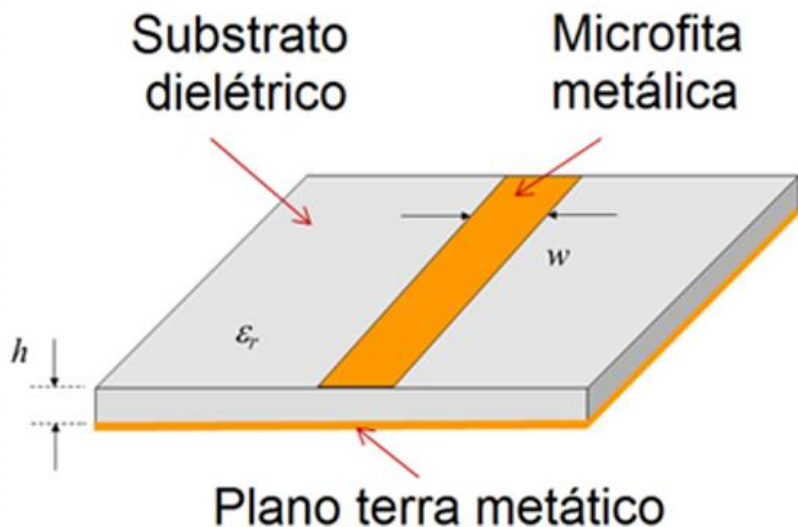


Guias de ondas

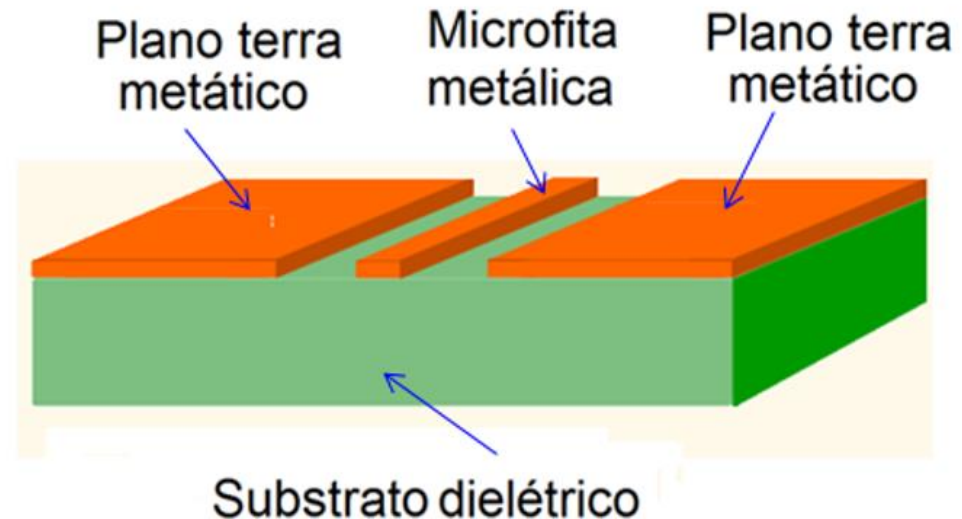
# Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

## Meios guiados de propagação

### Linha de microfita



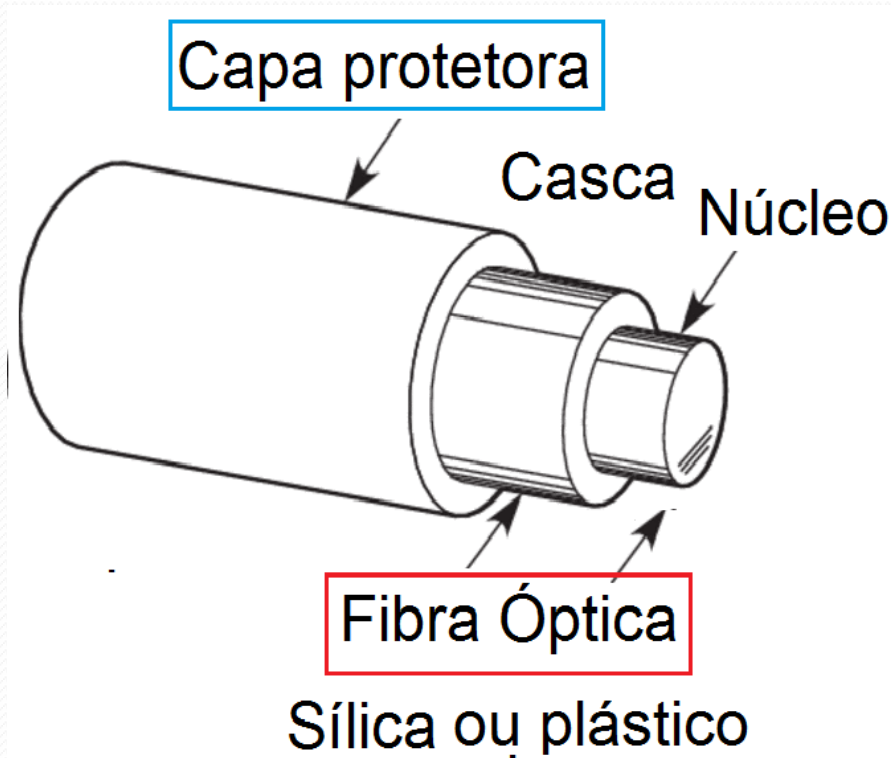
### Guia de ondas coplanar



Linhas planares

# Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

## Meios guiados de propagação

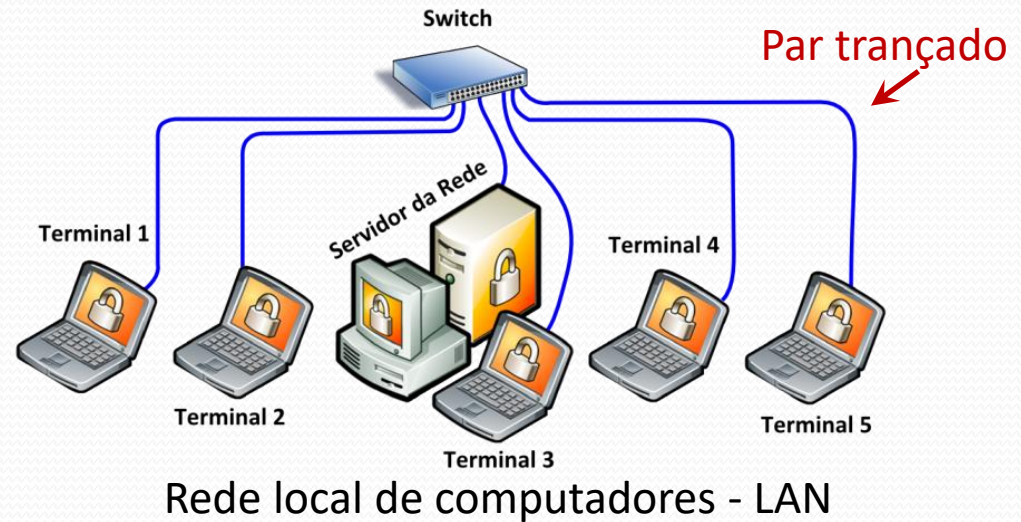


Fibras ópticas

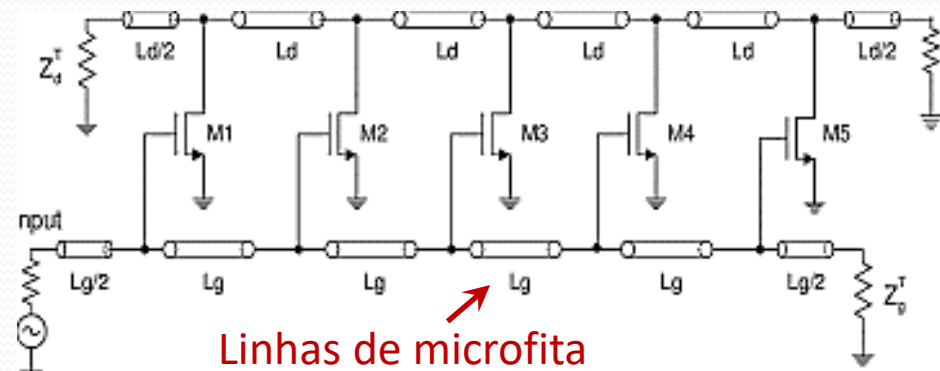


# Aplicações de meios guiados de propagação

- Conexão física entre dois ou mais pontos



- Circuitos de alta frequência



Amplificador distribuído usando linhas de transmissão

# Aplicações de meios guiados de propagação

## Conexão física entre dois ou mais pontos

### Exemplos

- Enlace físico de micro-ondas entre duas cidades, como Rio de Janeiro – São Paulo (500 km) – **cabo coaxial**
- Interligação de computadores em rede em um edifício - **par trançado** ou **cabo coaxial**
- Distribuição de sinais de Internet e TV por assinatura – **cabos coaxiais** e **fibras ópticas multimodo**
- Conexões de micro-ondas de curta distância entre equipamentos profissionais de telecomunicações – **guias de onda**
- Conexões de longa distância via cabos submarinos intercontinentais – **fibras ópticas monomodo**

# Aplicações de meios guiados de propagação

Conexão física entre dois ou mais pontos

Que meio guiado usar?

Parâmetros do sistema a serem considerados

- Faixa de frequência de operação do sistema
- Banda de dados que pode ser transmitida
- Distância da conexão

Parâmetros do meio guiado a serem analisados

- Perda do meio guiado
- Necessidade de repetidores ao longo do enlace
- Efeitos de distorção do sinal transmitido
- Custo do sistema usando o meio guiado

# Aplicações de meios guiados de propagação

## Circuitos de alta frequência – micro-ondas

- Circuitos passivos

- Filtros
- Divisores de potência
- Combinadores de potência
- Acopladores
- Atenuadores, etc.

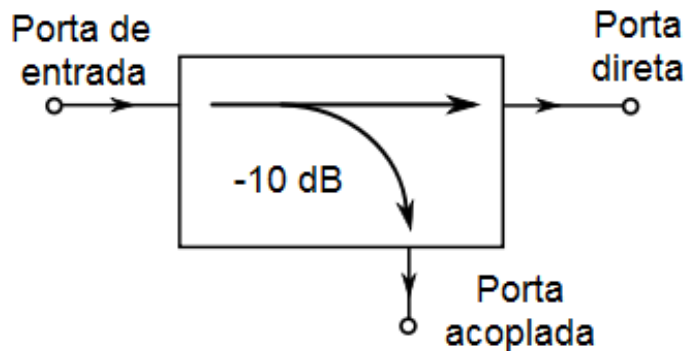
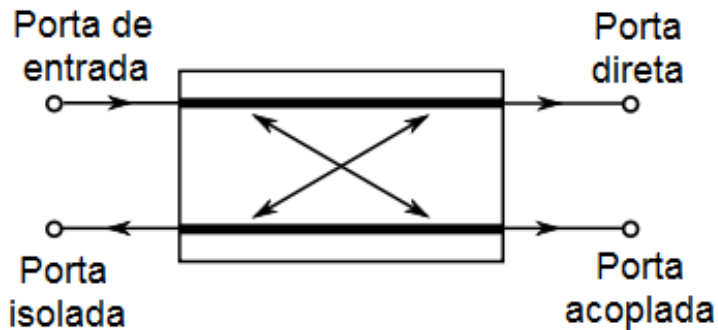


- Tecnologias

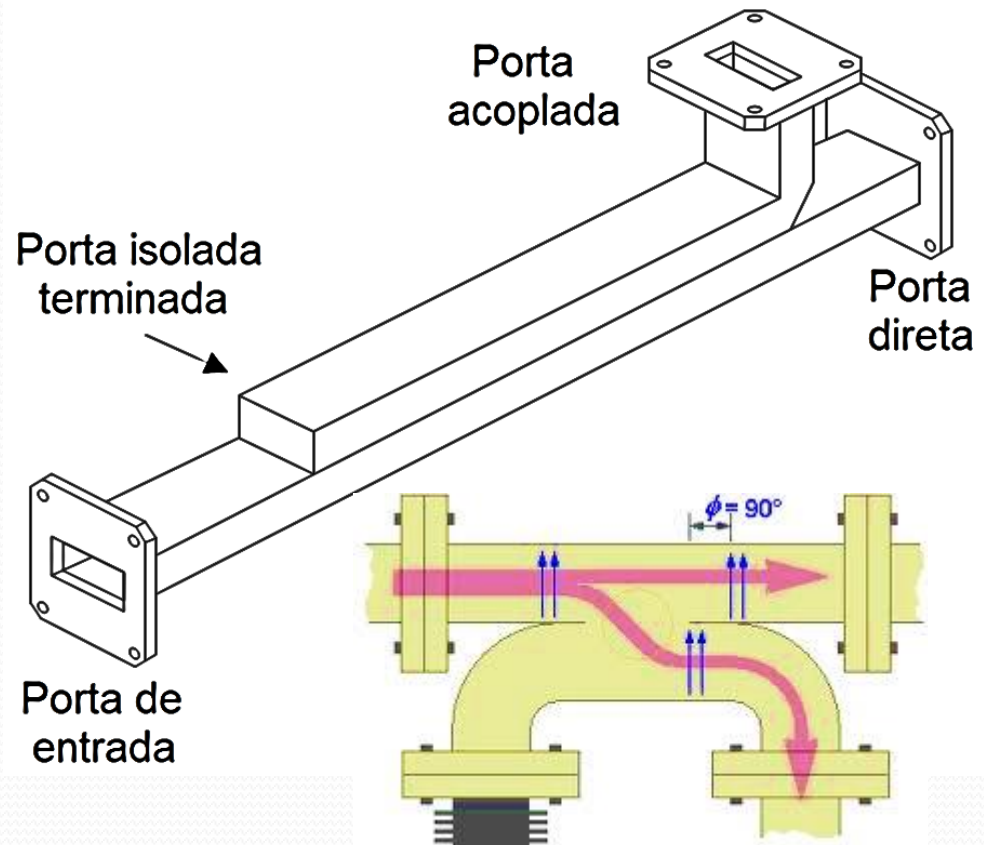
- Cabos coaxiais
- Linhas de transmissão planares
- Guias de ondas

# Aplicações de meios guiados de propagação

## Acoplador direcional de micro-ondas em guia de ondas

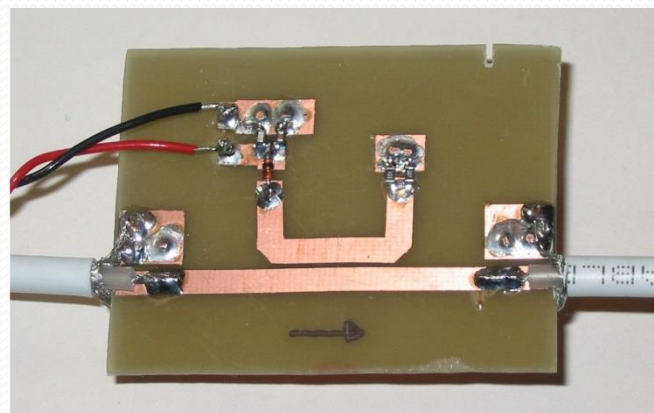
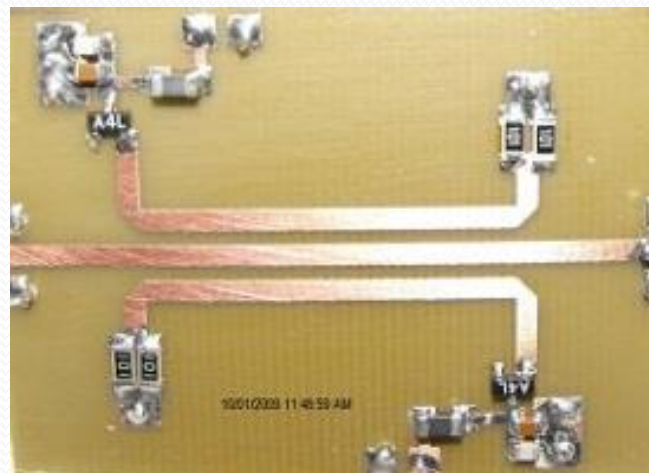
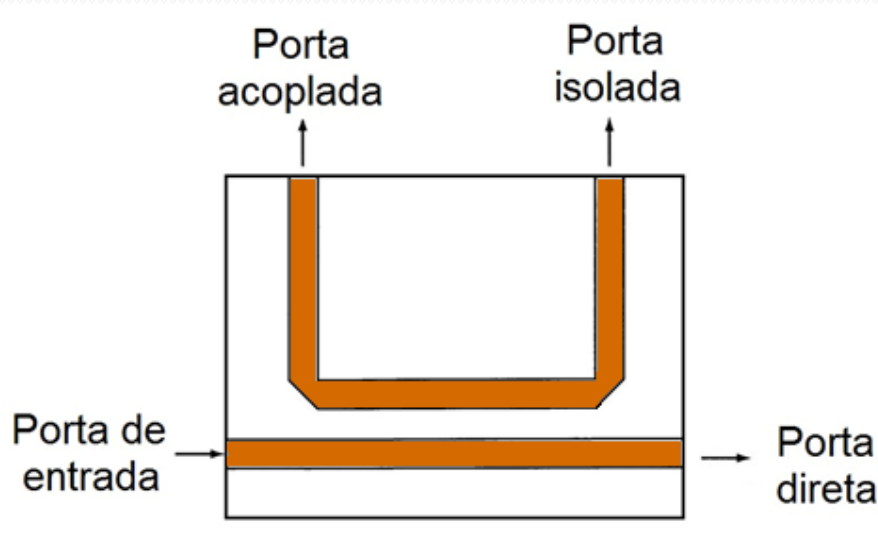


A porta acoplada fornece uma amostra do sinal de entrada



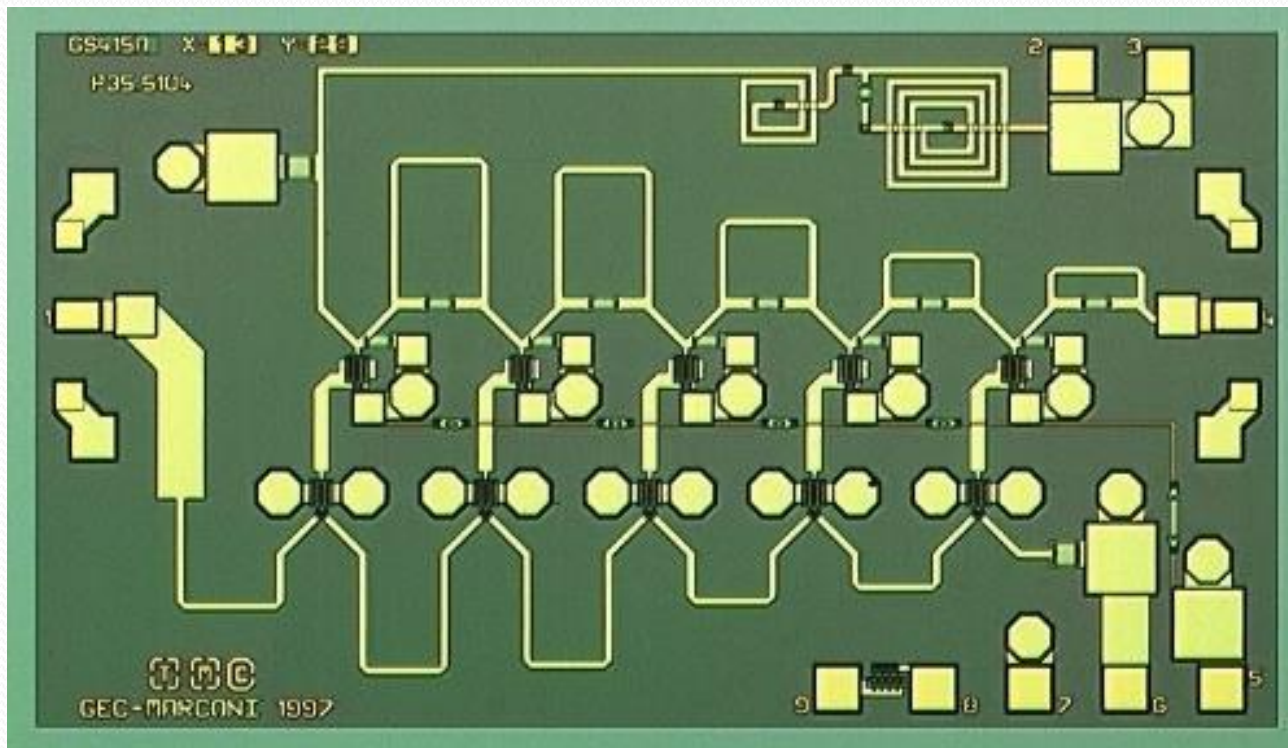
# Aplicações de meios guiados de propagação

## Acoplador direcional de micro-ondas em linha de microfita



# Aplicações de meios guiados de propagação

## Circuitos de alta frequência – micro-ondas



Amplificador distribuído monolítico usando linhas de microfita

Projetado por Bookham - <https://www.microwaves101.com>

# Aplicações de meios guiados de propagação

## Circuitos de alta frequência – micro-ondas

- Aplicações de potência – kW's
  - Radar pulsado para detecção de alvos
    - Civis
    - Militares
  - Fornos de micro-ondas
    - Industriais
    - Domésticos



- Tecnologia
  - Guia de ondas



# Aplicações de meios guiados de propagação



## Aplicações de potência em micro-ondas

- Radar para detecção de aviões

Antena corneta em guia de ondas

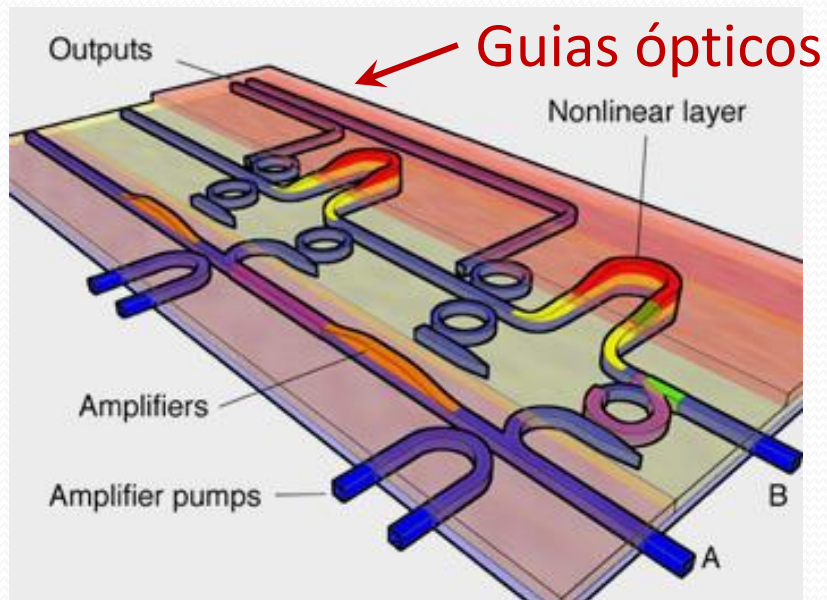
Guia de ondas retangular

<https://stringfixer.com/pt/Radar>

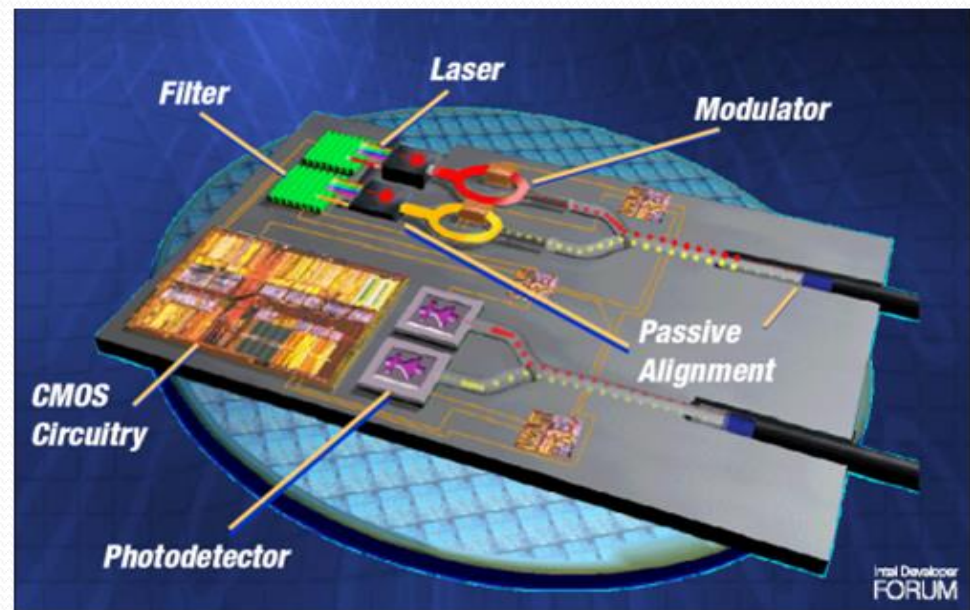
# Aplicações de meios guiados de propagação

## Circuitos fotônicos - frequência ópticas

- Circuitos integrados fotônicos – PICs
- Integram duas ou mais funções ópticas em um *chip*



<http://www.cudos.org.au/>



<http://www.creol.ucf.edu>

# Conteúdo do curso

- Introdução
- Parâmetros de espalhamento
- Cabos coaxiais
- Linhas de transmissão planares
- Ressonadores eletromagnéticos
- Guias de ondas retangulares
- Guias de ondas cilíndricos
- Cavidades ressonantes
- Fibras ópticas

# Bibliografia

Pozar, D. M. **Microwave Engineering**. 4th ed., 2012 John Wiley & Sons, Inc.

Collin, R. E. **Foundations for Microwave Engineering**. Wiley-IEEE Press, 2001

Amazonas, R. de A. A. **Projeto de Sistemas de Comunicações Ópticas**. Manole, 2005.

Keiser, G. **Comunicações por Fibras Ópticas**. 4ª. ed. MacGraw Hill Education – Bookman. 2014.

# Critérios de avaliação e provas

- Avaliação
- Duas provas presenciais (a confirmar):

**P1 – 03/10/2022, início 15:00 horas**

**P2 – 08/12/2022, início 13:10 horas**

Critério de aprovação:

$$M = (P1 + P2)/2 \geq 5,0$$

- Prova de recuperação - PREC
  - Alunos com  $3,0 \leq M < 5,0$

- Critério de aprovação:  $M_{REC} = \frac{M+PREC}{2} \geq 5,0$

# Moodle do Curso

<https://edisciplinas.usp.br>

## PSI3483 – Ondas Eletromagnéticas em Meios Guiados

- Slides
- Listas de exercícios
- Notas das provas
- Leituras recomendadas
- Animações
- Sites de interesse
- Fotos
- Vídeos

# Aplicativo computacional

## ADS – Advanced design System / Keysight

- Pacote profissional de simuladores de micro-ondas
  - Circuitos, sistemas e antenas de micro-ondas
- Instalado nos computadores da sala GD04-B
  - Usuário: PSI3483 Senha: gradPSI3483
- Cada aluno com e-mail USP pode obter licença para usar o ADS em seu computador pessoal
  - Instruções disponíveis no Moodle

# Atividade prática

## Moodle de PSI 3483

- No computador da sala GD04-B, acesse:
  - **Usuário: PSI3483 Senha: grad3483**
  - **Servidor de licença: 5288@license.lme.usp.br**
- Entre Moodle de PSI3483 (<https://edisciplinas.usp.br/>)
- Verifique os materiais disponibilizados aos alunos
- Em SITES DE INTERESSE acesse
  - Rastreo de satélites artificiais
  - Eyes on Earth - NASA