

MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DE CABOS ISOLADOS

“ENFOCANDO MATERIAIS DIELÉTRICOS POLIMÉRICOS”



Cabos'09 - Maceió, 2 - 3 de outubro 2009.

**DEGRADAÇÃO É A
PERDA IRREVERSÍVEL
DE UMA PROPRIEDADE
DO MATERIAL**

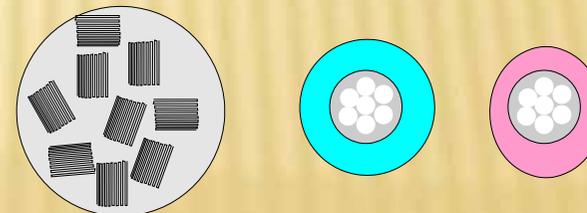
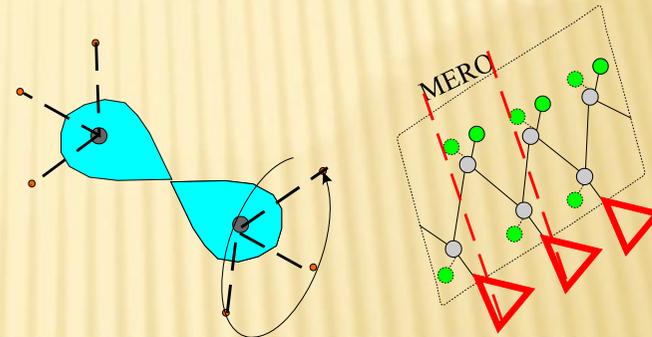


- × O QUE É O MATERIAL POLIMÉRICO?
- × ESTRUTURA ELETRÔNICA DO MATERIAL
- × ESTRUTURA MOLECULAR DO MATERIAL
- × POLARIZAÇÃO E RELAXAÇÃO
- × SOLICITAÇÕES ELÉTRICAS
- × RIGIDEZ DIELETRICA
- × CAUSAS DE DEGRADAÇÃO
- × O MODO DO MEIO CONTÍNUO
- × CONCLUSÕES

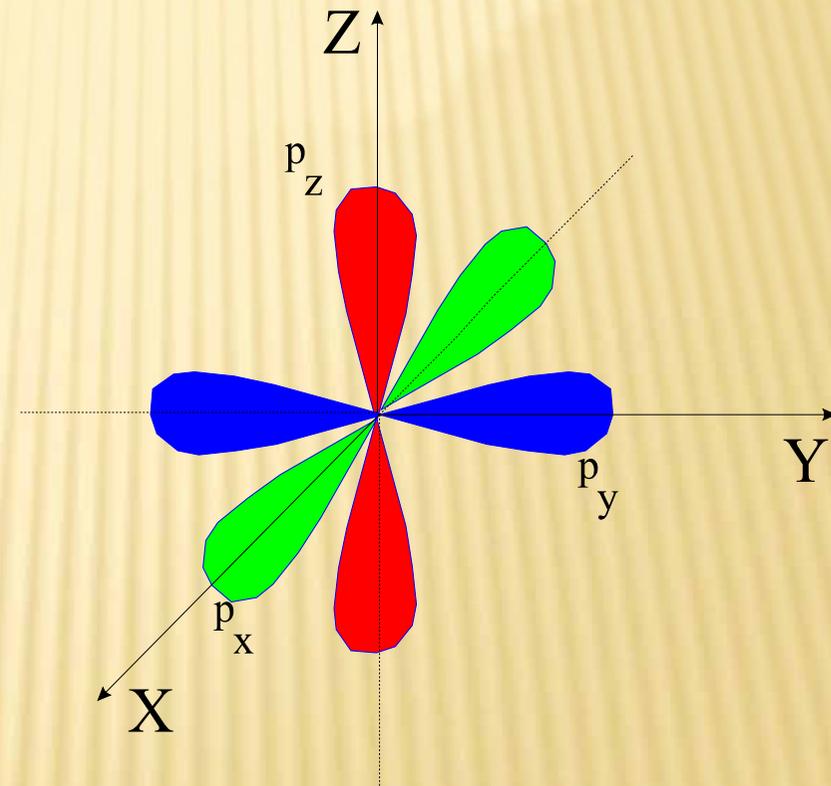


O QUE É O MATERIAL POLIMÉRICO?

- ✘ 1- É uma macromolécula sintetizada
- ✘ 2- Pode ser um plástico ou um elastômero
- ✘ 3- possui apenas ligações covalentes simples ao longo da cadeia principal
- ✘ 4- Pode apresentar-se nas formas amorfas ou semi cristalina
- ✘ 5- Pode apresentar-se nas formas termoplástica ou termofixas
- ✘ 6- Pode ser reticulado quimicamente ou por canhão de elétrons
- ✘ 7- Deve ser necessariamente moldável sobre um material condutor
- ✘ 8- Deve possuir rigidez dielétrica durante um tempo especificado



✘ A LIGAÇÃO COVALENTE



REPRESENTAÇÃO DE ORBITAIS p



× A LIGAÇÃO COVALENTE

× PROPRIEDADES

PROPRIEDADES DE ALGUMAS LIGAÇÕES COVALENTES

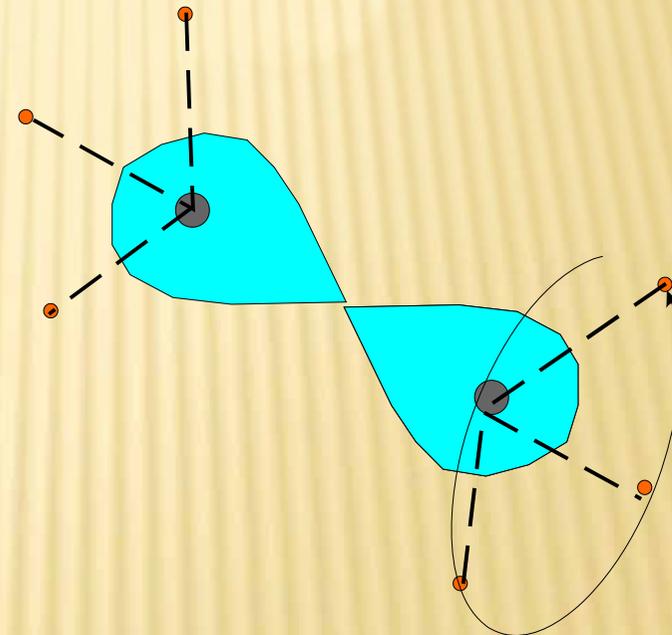
| | C-C | C-H |
|--------------------------|----------|---------|
| ÂNGULO | ~109,5 | ~109,5 |
| COMPRIMENTO | 1,54 A | 0,96 A |
| ENERGIA (*) KCal/Mol | 82,6 (*) | 93,4(*) |



× A LIGAÇÃO COVALENTE

× PROPRIEDADES

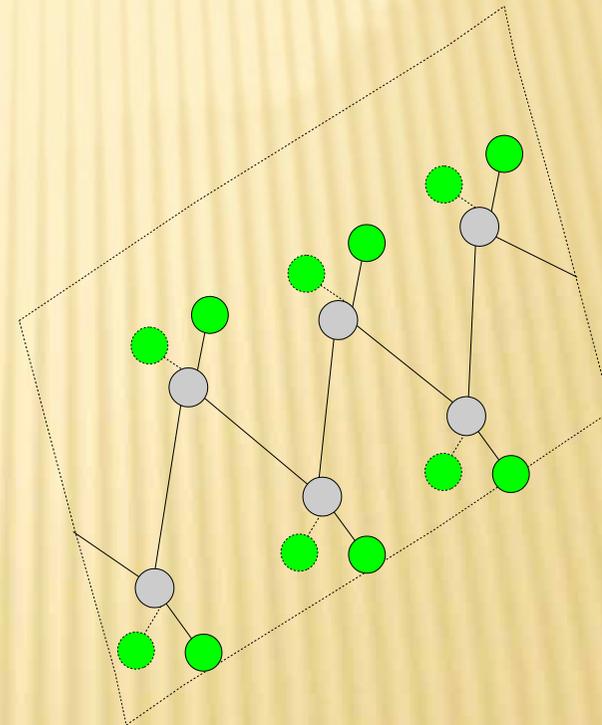
× A ROTAÇÃO C-C



ROTAÇÃO CARBONO - CARBONO

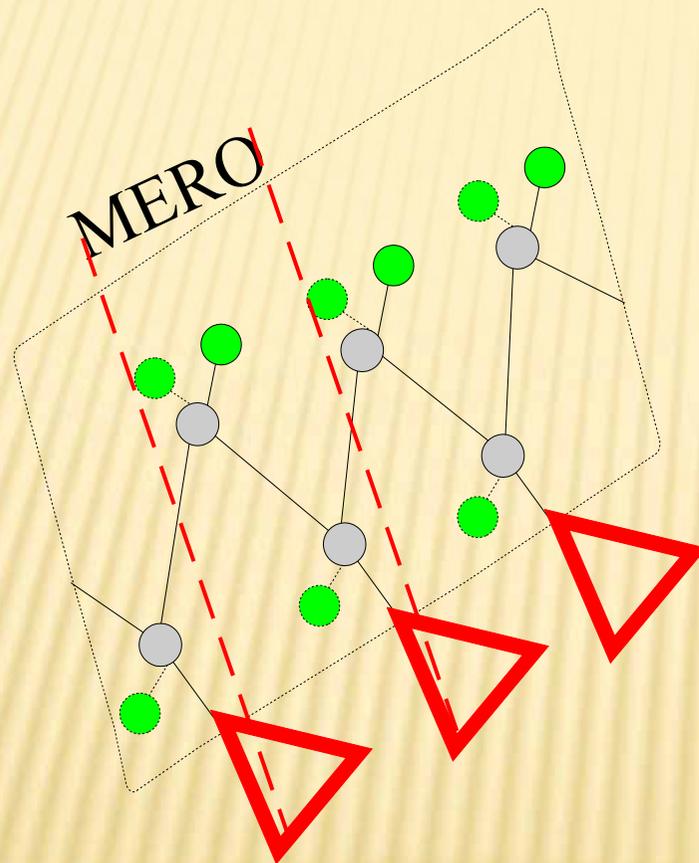


- ✘ A LIGAÇÃO COVALENTE
- ✘ PROPRIEDADES
- ✘ A ROTAÇÃO C-C
- ✘ A CADEIA POLIMÉRICA



A ESTRUTURA MOLECULAR



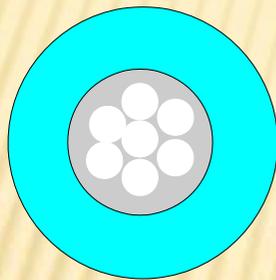


- × GRUPO FUNCIONAL
- × TERMOPLÁSTICO
- × TERMOFIXO
- × AMORFO
- × CRISTALINO

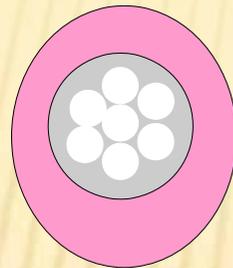
O GRUPO FUNCIONAL



EFEITO DA TEMPERATURA



TERMOFIXO



TERMOPLÁSTICO

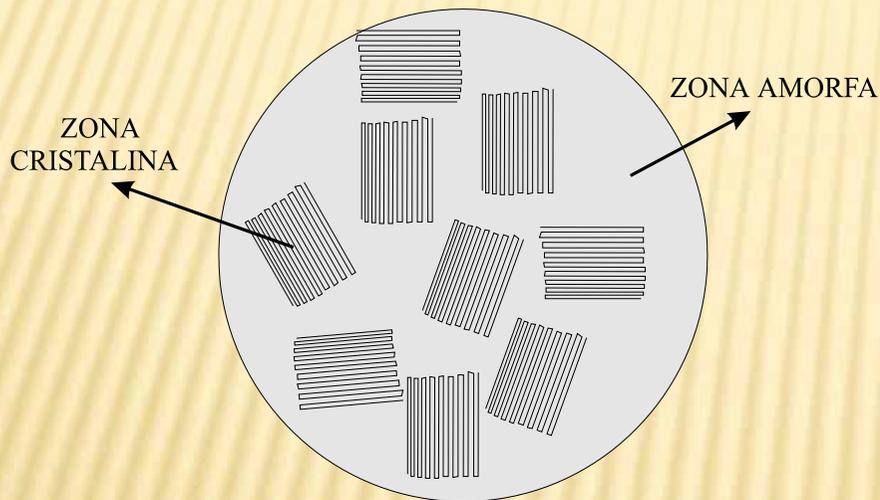
× GRUPO FUNCIONAL

× TERMOPLÁSTICO

× TERMOFIXO



ESTRUTURA MOLECULAR DO MATERIAL



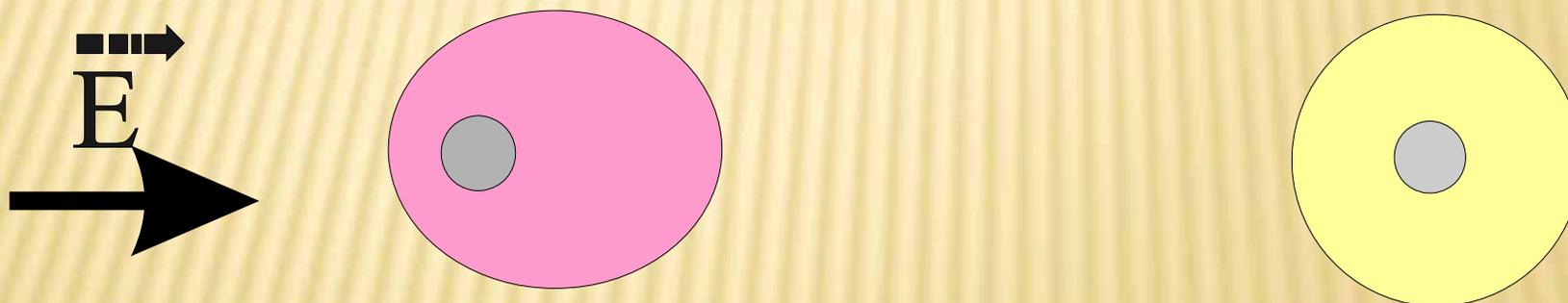
- × GRUPO FUNCIONAL
- × TERMOPLÁSTICO
- × TERMOFIXO
- × AMORFO
- × CRISTALINO



POLARIZAÇÃO E RELAXAÇÃO

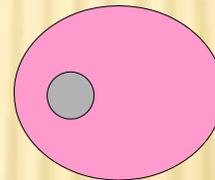
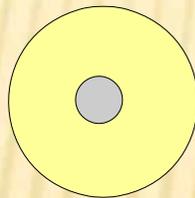
A Polarização é um fenômeno que acontece na estrutura do material dielétrico quando submetido a um campo elétrico, através de movimentos orientados desde a micro estrutura, até as partículas disseminadas na massa do material

A Relaxação é o fenômeno de acomodação da micro estrutura e partículas na massa do dielétrico quando o campo elétrico varia ou deixa o material na condição de repouso



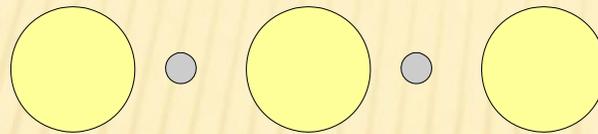

 $\vec{E} = 0$


 $\vec{E} \neq 0$

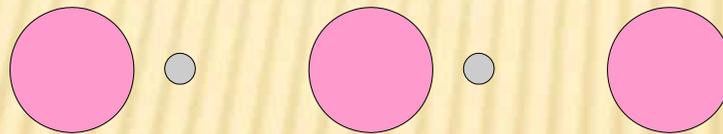


POLARIZAÇÃO ELETRÔNICA





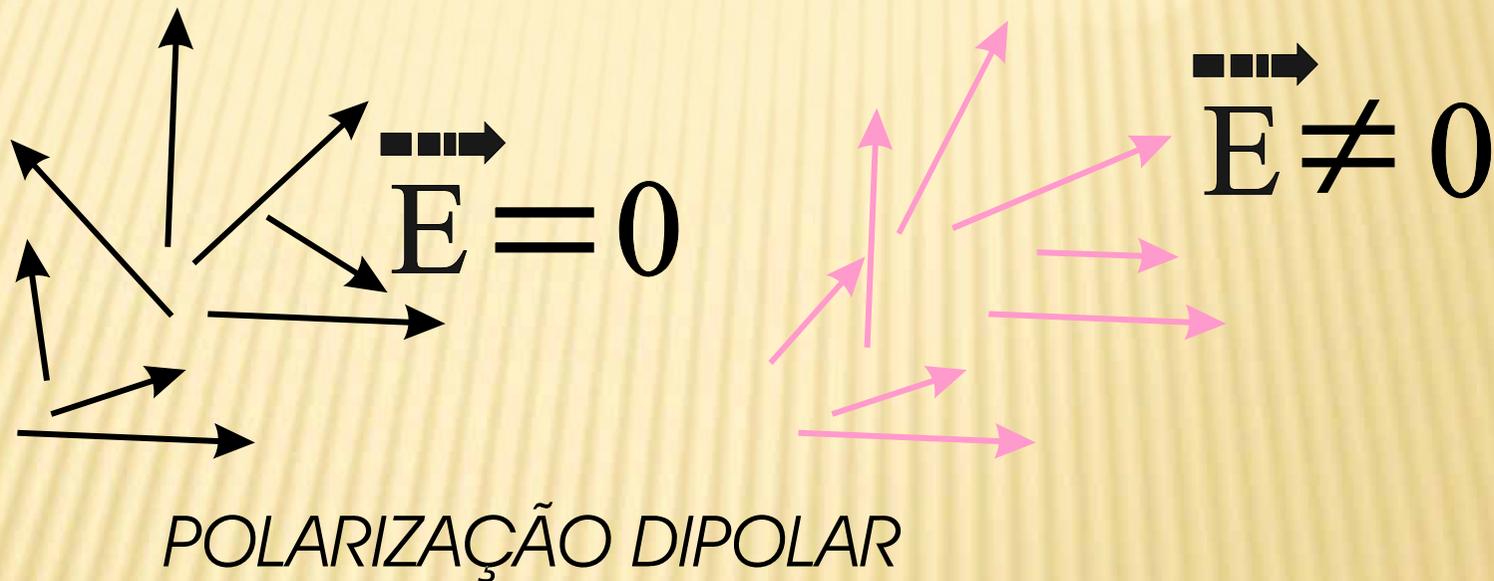
$$\vec{E} = 0$$

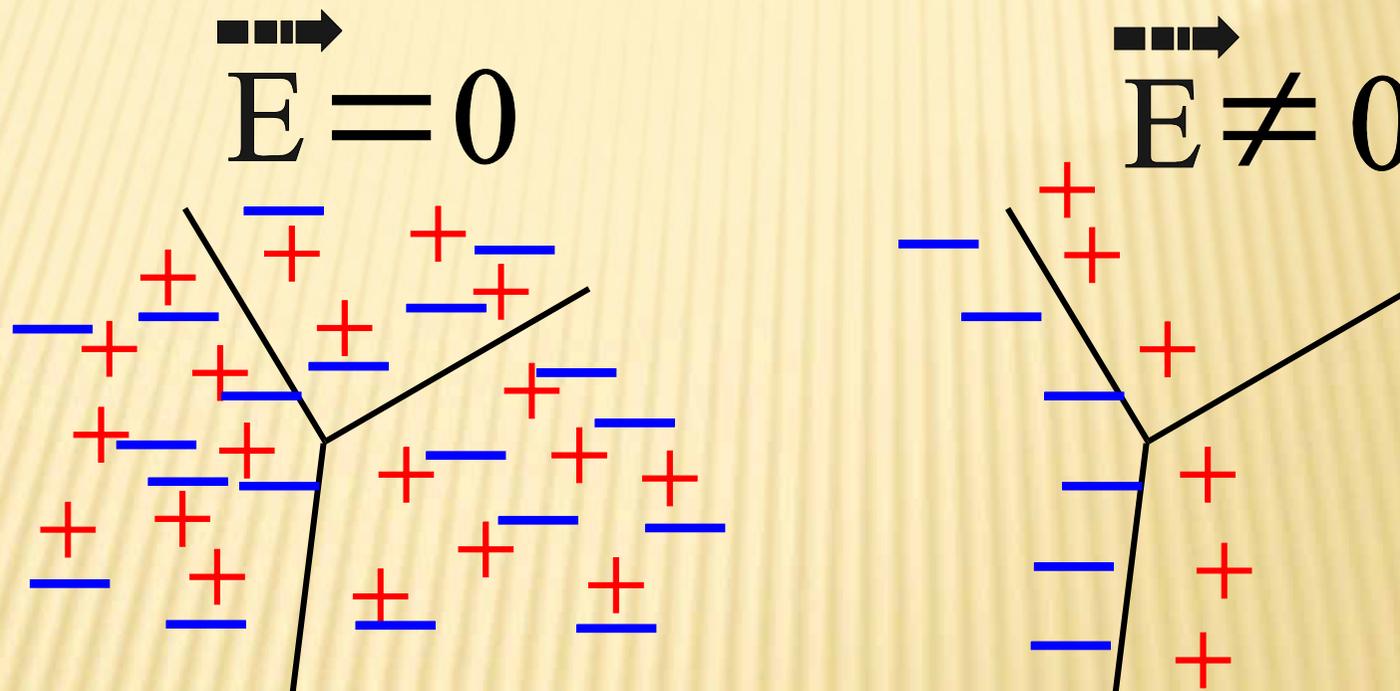


$$\vec{E} \neq 0$$

POLARIZAÇÃO ATÔMICA



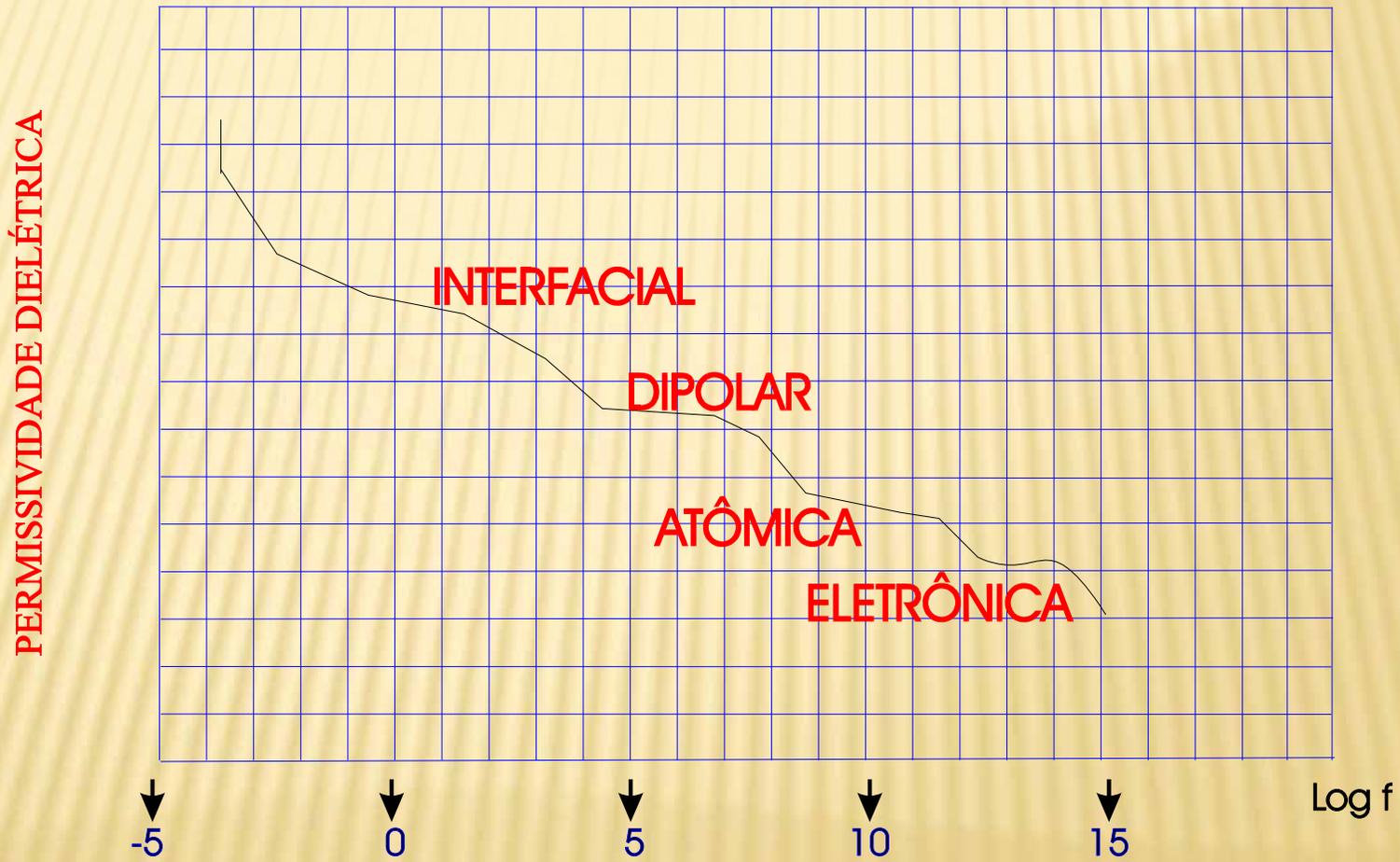




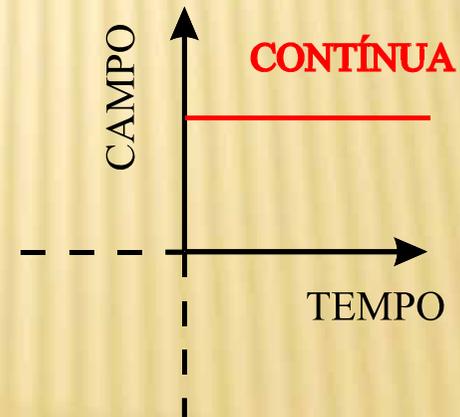
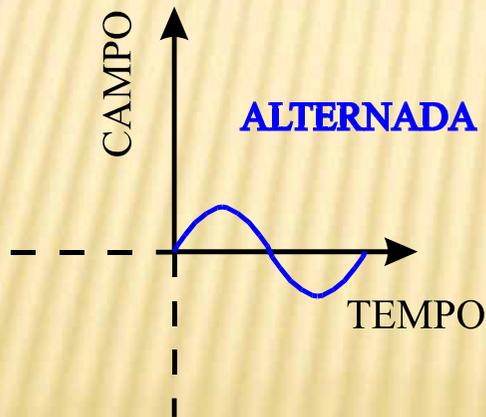
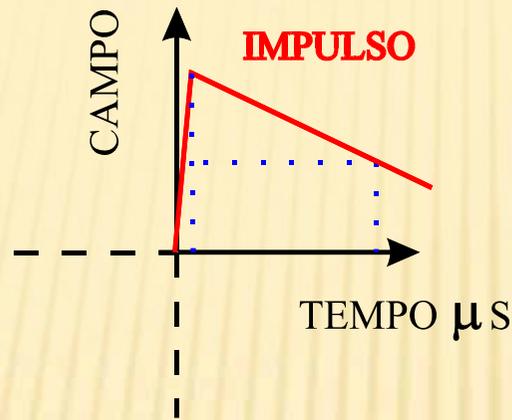
POLARIZAÇÃO INTERFACIAL



FREQUENCIA DE RELAXAÇÃO



SOLICITAÇÕES ELÉTRICAS



ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO EXPOENTE DE VIDA NO ENVELHECIMENTO ELÉTRICO

ILUSTRADO PARA "N=10"



CAUSAS DE DEGRADAÇÃO

× GENÉTICAS

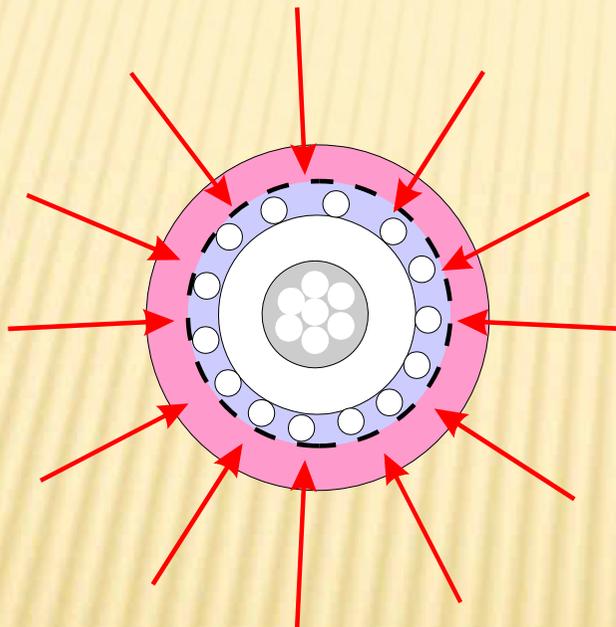
A CONSTRUÇÃO DO CABO
DEFEITOS ESTRUTURAIS
MICRO VAZIOS

× PROVOCADAS

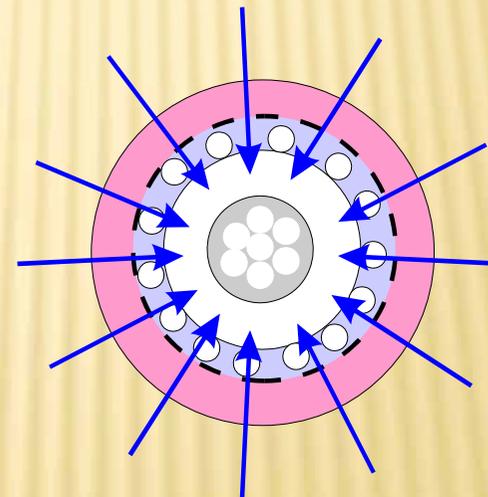
STRESS E TEMPERATURA
ÁGUA
CONTAMINAÇÃO



CONSTRUÇÃO DOS CABOS



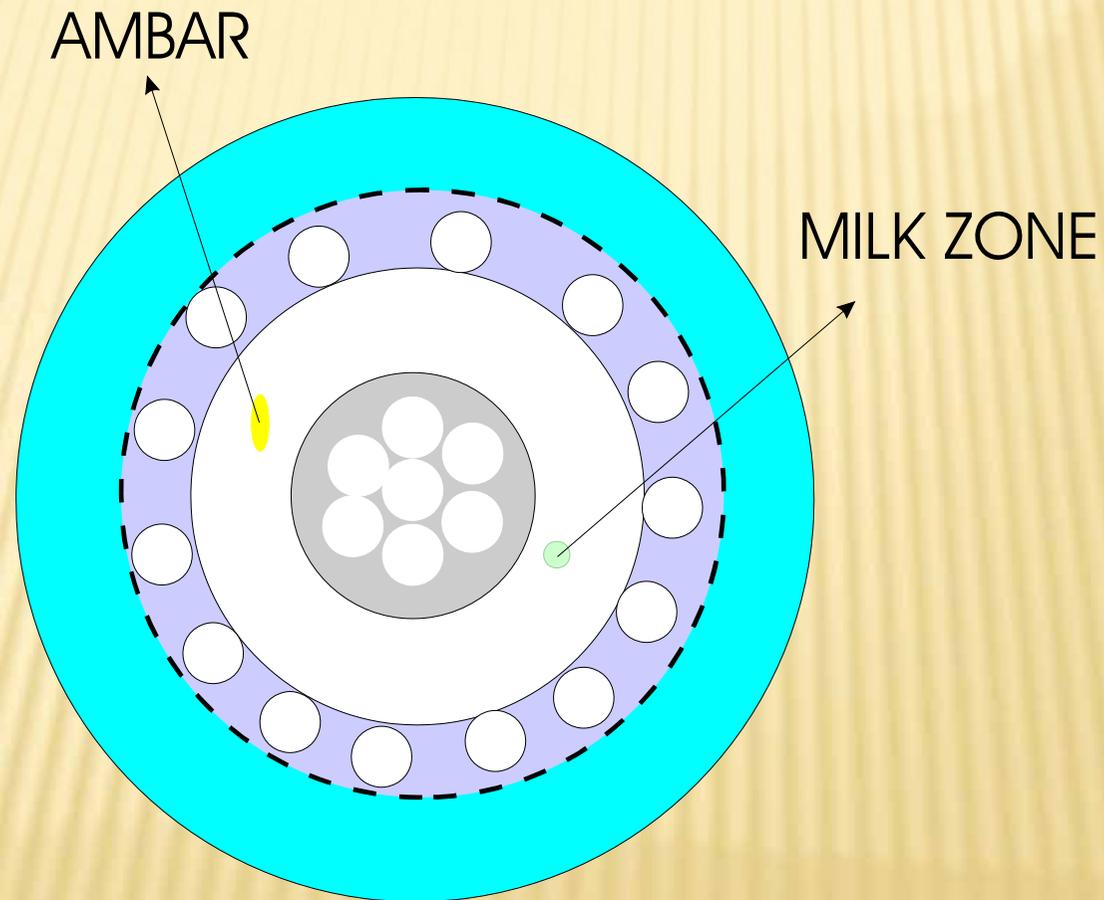
IMPERMEÁVEL A FLUÍDOS
DO AMBIENTE



PERMEÁVEL A FLUÍDOS
DO AMBIENTE

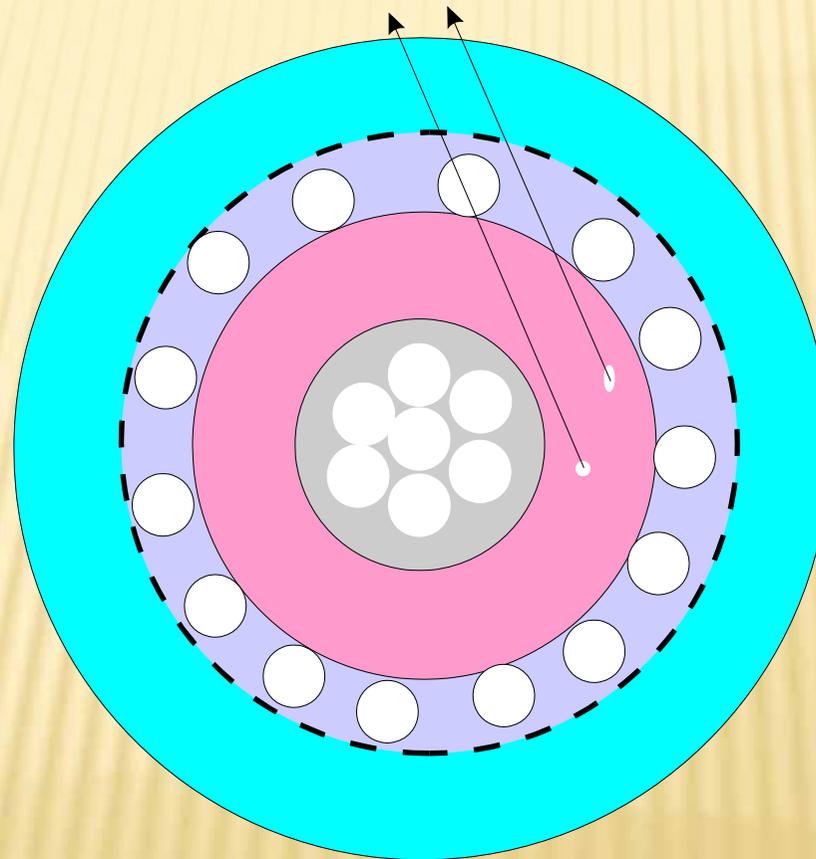


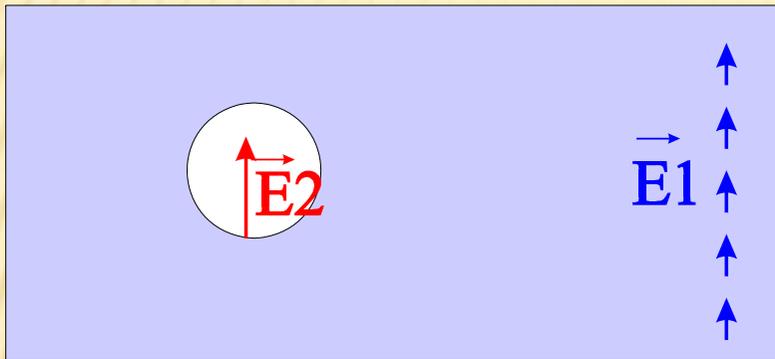
DEFEITOS ESTRUTURAIS



MICRO VAZIOS

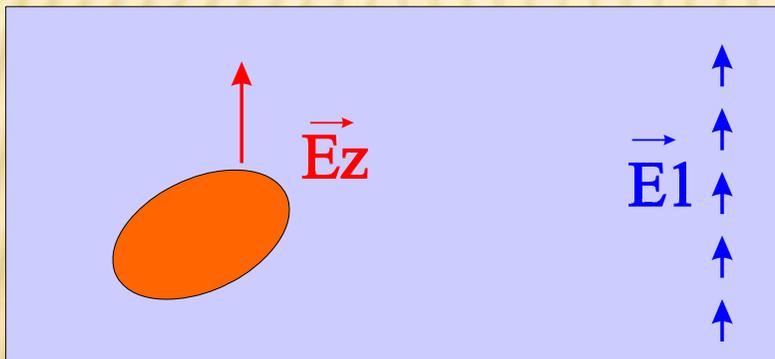
MICRO VOIDS





× MICRO VAZIOS

$$\epsilon_1 \vec{E}_1 = \epsilon_2 \vec{E}_2$$

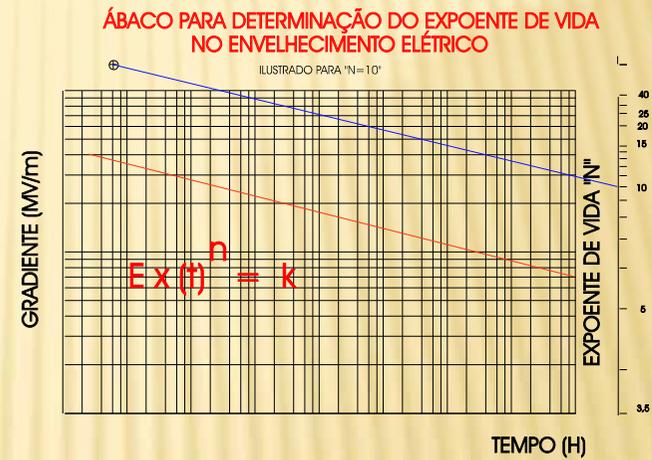


× INCLUSÕES

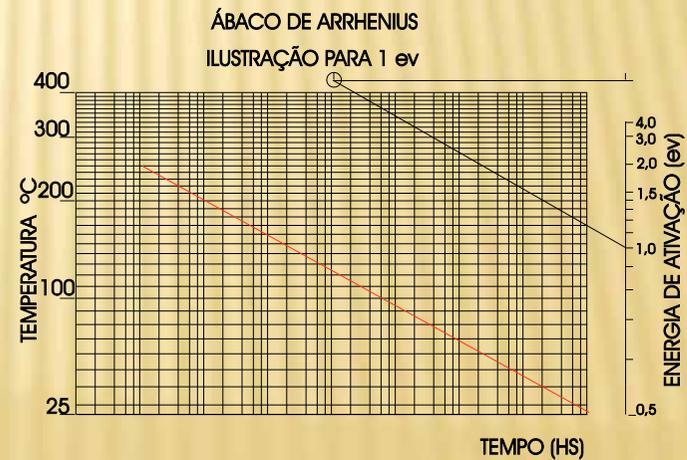
$$\vec{E}_z > \vec{E}_1$$

CAUSAS DE DEGRADAÇÃO PROVOCADAS

× STRESS



× TEMPERATURA



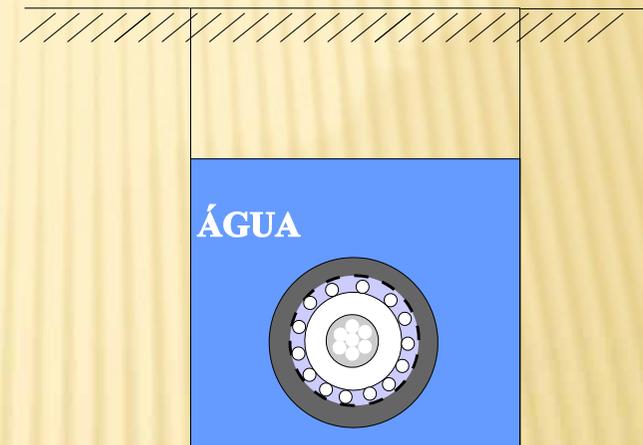
Cabos'09



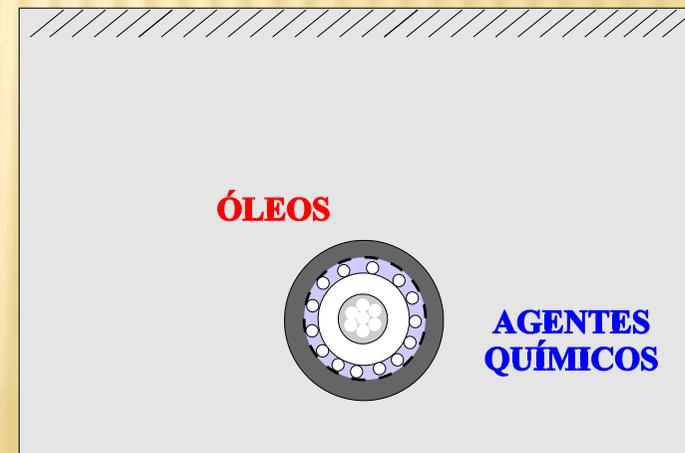
Maceió

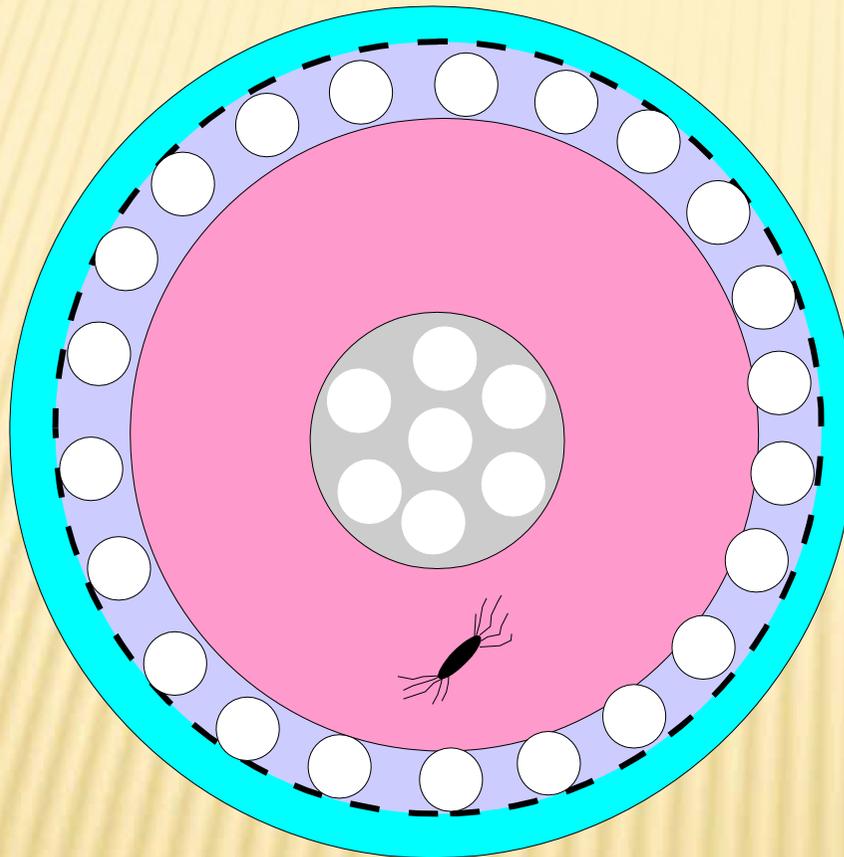
CAUSAS DE DEGRADAÇÃO PROVOCADAS

× ÁGUA



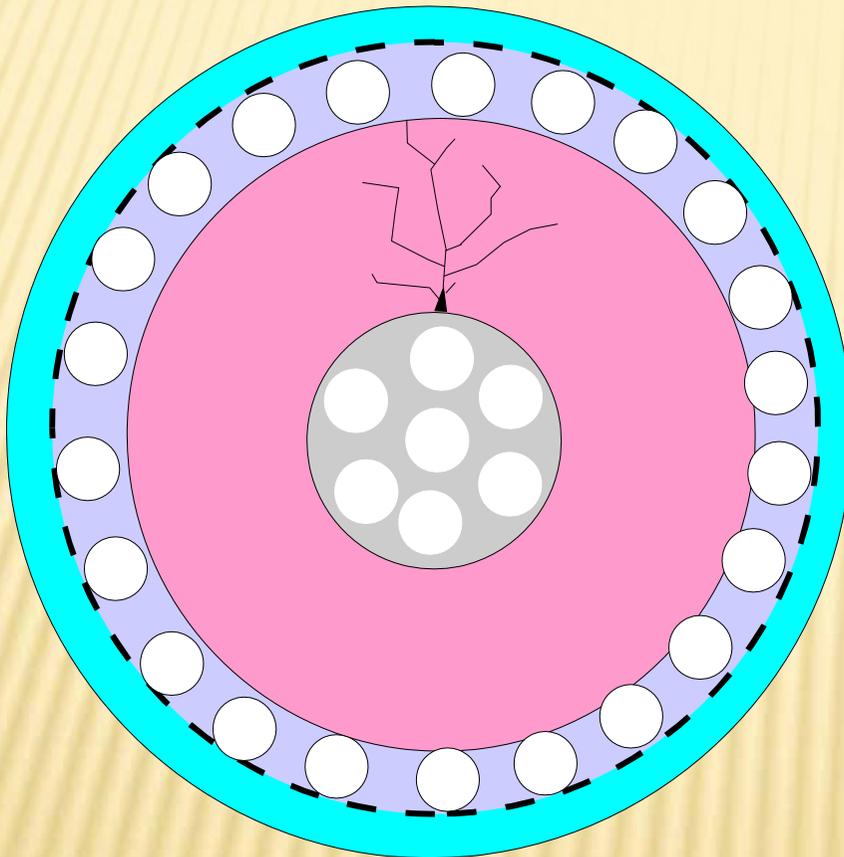
× CONTAMINAÇÃO





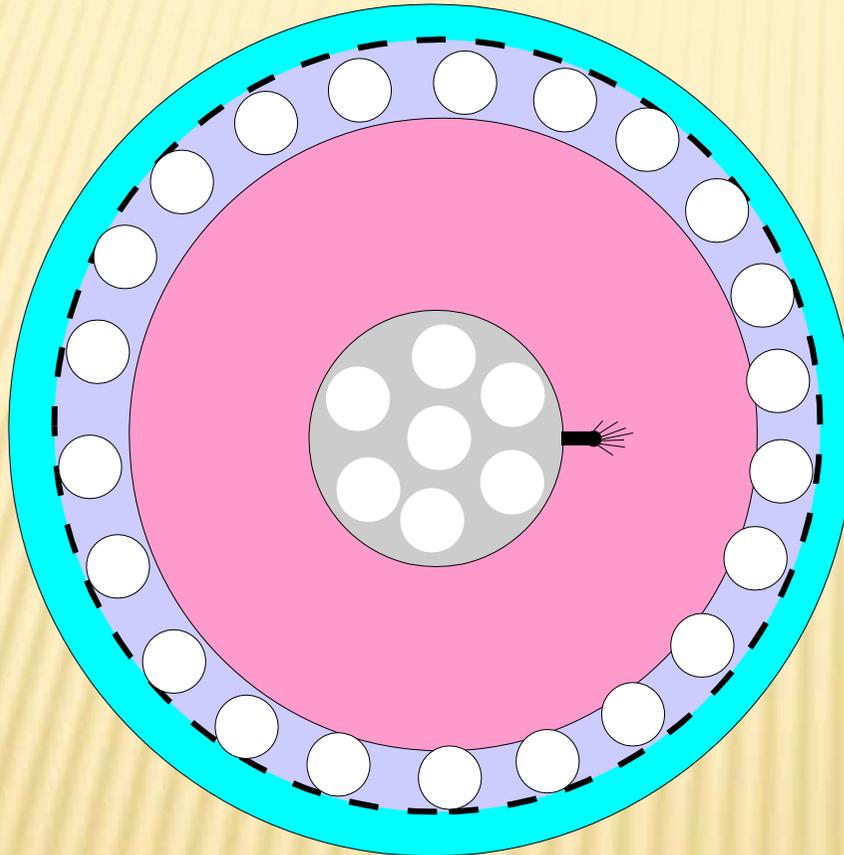
WATER TREE
BOW TIE TYPE





WATER TREE
WITH ELECTRICAL
BREAKDOWN





WATER TREE
LIKE BURST

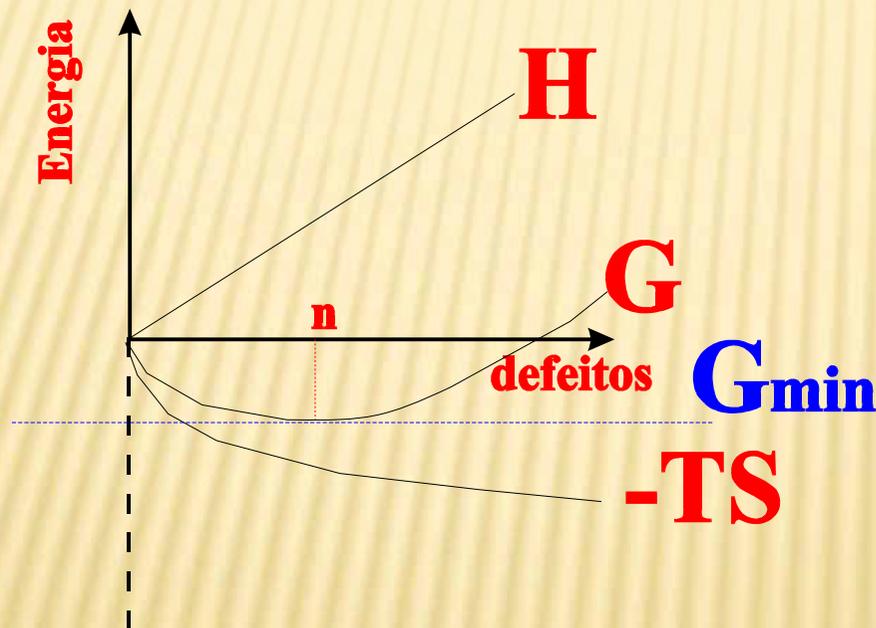


$$G = H - TS \frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$$

$$\frac{dC}{dt} = k C^{(n+1)} \quad \ln \ln \frac{1}{1-F} = k \ln E$$



O BALANÇO DE DEFEITOS (Energia Livre de GIBBS)

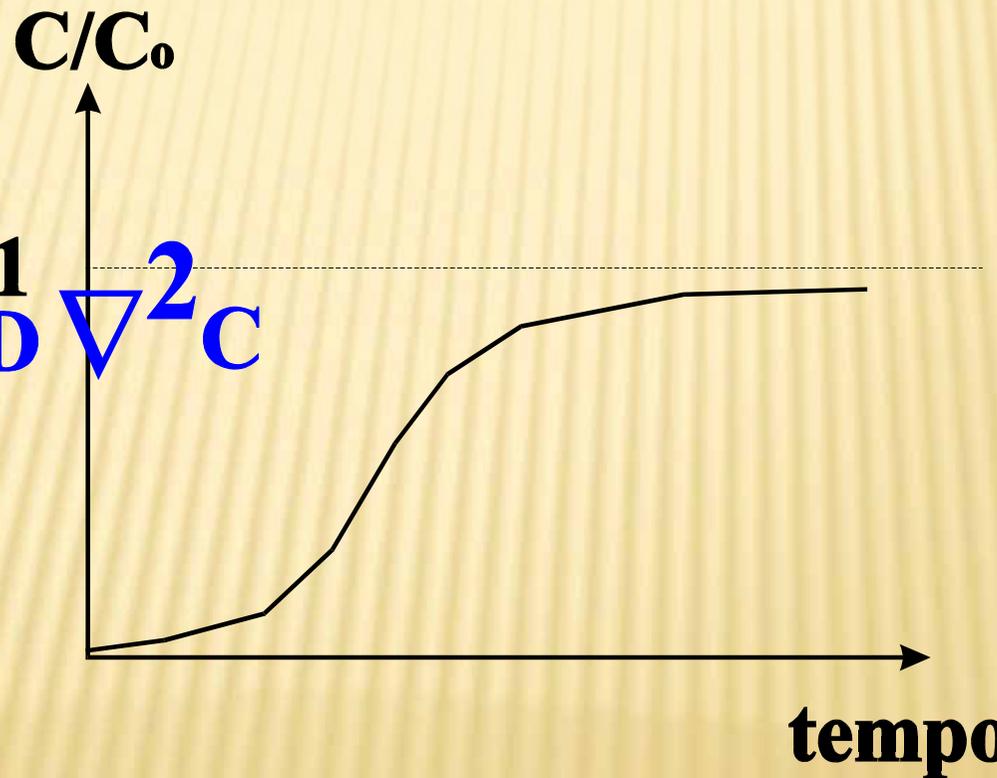


$$G = H - TS$$



O BALANÇO DE CONCENTRAÇÃO (*Difusão de Massa*)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$$



O MODO DO MEIO CONTÍNUO (CINÉTICA QUÍMICA DA DEGRADAÇÃO)

$$\frac{dC}{dt} = k C^{(n+1)}$$

ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO EXPOENTE DE VIDA
NO ENVELHECIMENTO ELÉTRICO



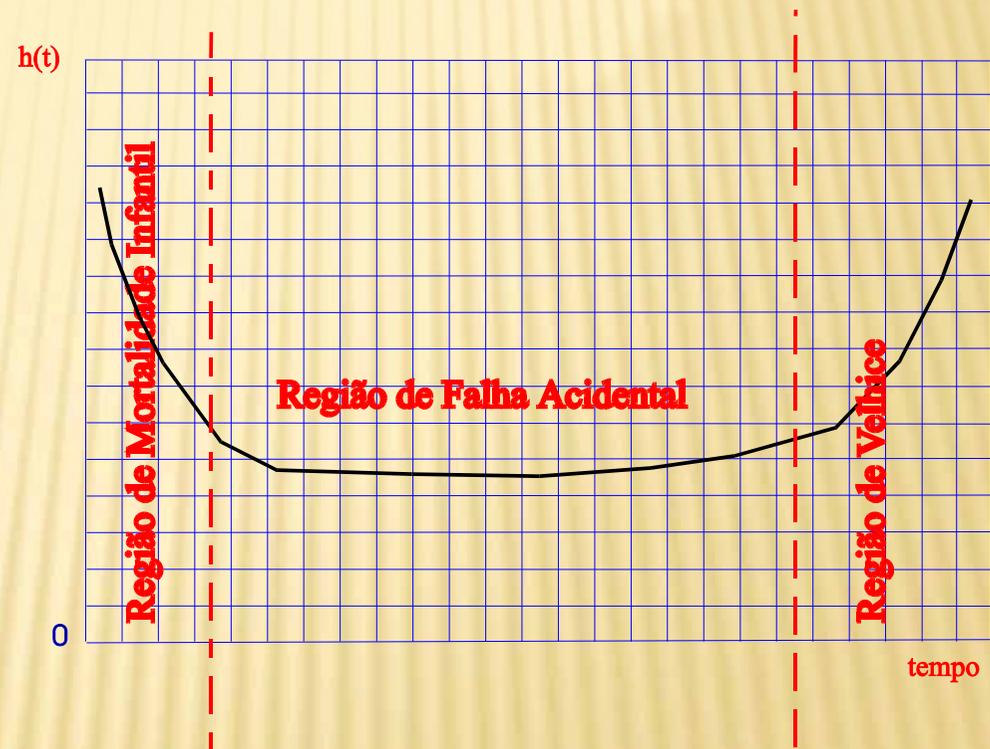
ANEXO - 3



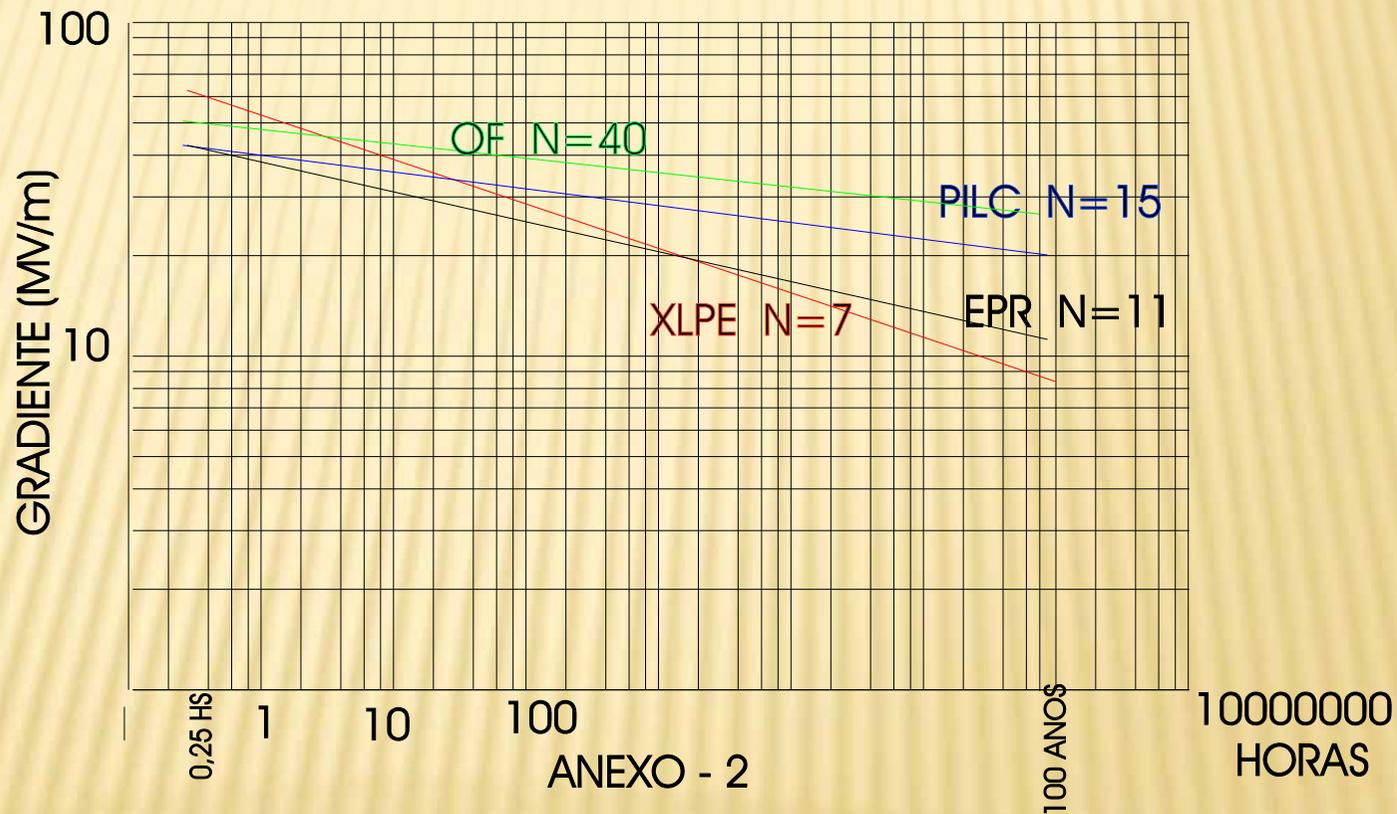
O MODO DO MEIO CONTÍNUO (ESTATÍSTICA DE VALOR EXTREMO)

$$\ln \ln \frac{1}{1-F} = k \ln E$$

FUNÇÃO DE RISCO DE FALHA NO MATERIAL



ENVELHECIMENTO ELÉTRICO



- ✘ O MODO TERMODINÂMICO DE ENVELHECIMENTO E DEGRADAÇÃO É BEM CONHECIDO E FUNCIONA BEM.
- ✘ AS CAUSAS DE DEGRADAÇÃO PROVOCADAS PODEM SER BEM CONTROLADAS COM UM PROJETO ADEQUADO DE CABO E SISTEMA
- ✘ AS PRINCIPAIS CAUSAS DE DEGRADAÇÃO DE ORÍGEN GENÉTICA SÃO CONHECIDAS, MAS AINDA SE CONSEGUE POUCO CONTROLE SOBRE ELAS.
- ✘ EXISTE UM BOM CAMPO PARA PESQUISA TECNOLÓGICA DE PRODUTOS E MATERIAIS.
- ✘ O CAMPO DA PESQUISA CIENTÍFICA CONTINUA AINDA TOTALMENTE ABERTO

