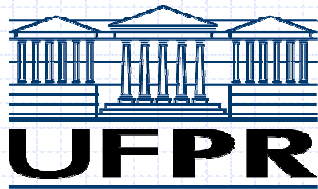


## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Rádio-Propagação

Ewaldo Luiz de Mattos Mehl  
Universidade Federal do Paraná  
Departamento de Engenharia Elétrica  
mehl@eletrica.ufpr.br



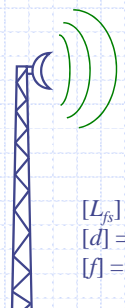
## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Rádio-Propagação

- Perda no Espaço Livre
- Refração na atmosfera e Fator K
- Círculos de Fresnel e Zona de Fresnel
- Desobstrução da 1ª Zona de Fresnel
- Influência das alturas das antenas
- Cálculo simplificado de perdas

## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Perda no Espaço Livre

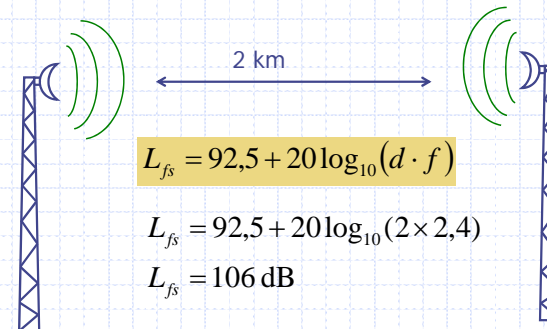

$$L_{fs} = 20 \log_{10} \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) \quad \left\{ \begin{array}{l} [L_{fs}] = \text{dB} \\ [d] = \text{m} \\ [\lambda] = \text{m} \end{array} \right.$$

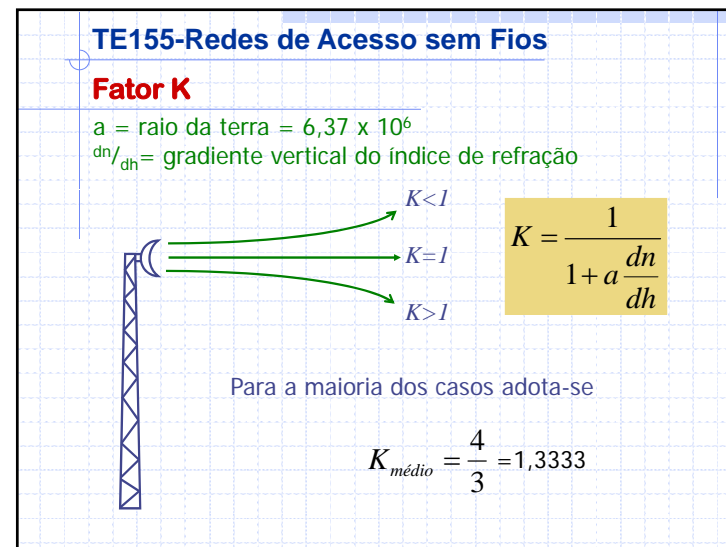
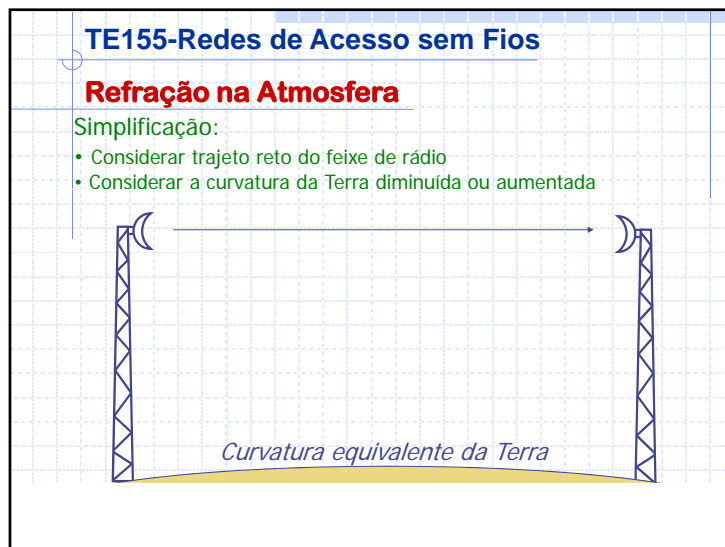
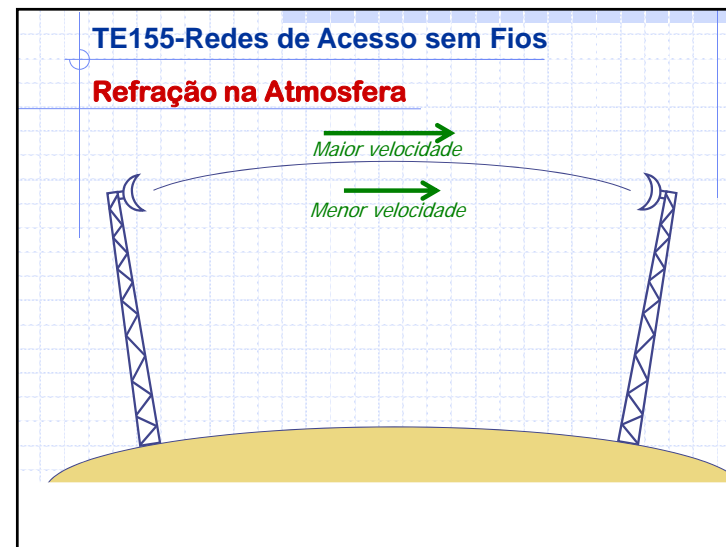
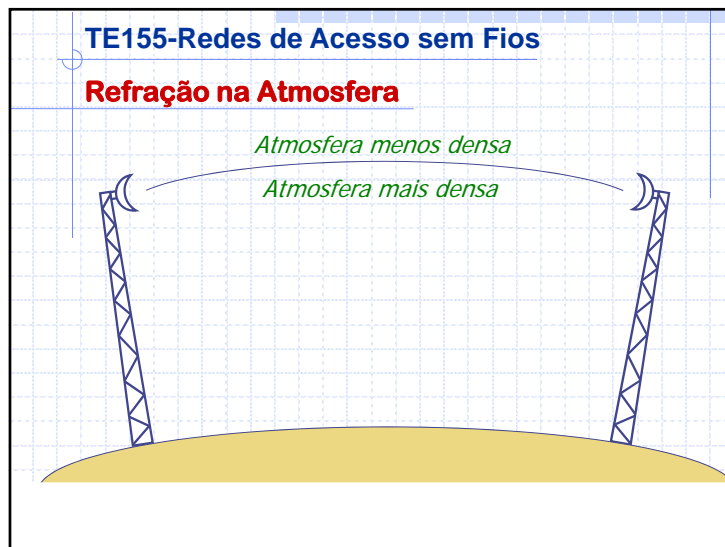
Expressão prática:

$$\left\{ \begin{array}{l} [L_{fs}] = \text{dB} \\ [d] = \text{km} \\ [f] = \text{GHz} \end{array} \right. \quad L_{fs} = 92,5 + 20 \log_{10} (d \cdot f)$$

## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Perda no Espaço Livre


$$L_{fs} = 92,5 + 20 \log_{10} (d \cdot f)$$
$$L_{fs} = 92,5 + 20 \log_{10} (2 \times 2,4)$$
$$L_{fs} = 106 \text{ dB}$$



## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Fator $K_{\text{mínimo}}$

- Sub-refração: em algumas condições atmosféricas ocorre um gradiente de refração MENOR QUE 1.
- Cálculo para a pior condição:  $K_{\text{mínimo}}$



O valor de  $K_{\text{mínimo}}$  depende das condições atmosféricas!

Recomendação P-530 do ITU-R  
(International Telecommunication Union – Radiocommunication Bureau)



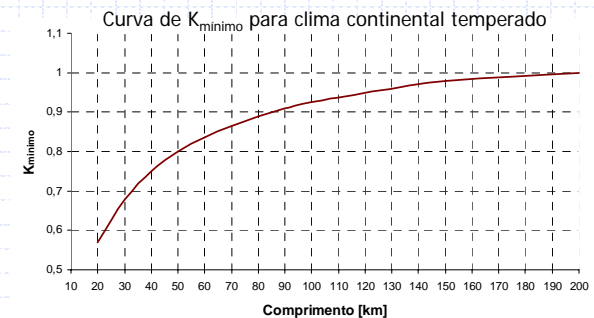
## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Fator $K_{\text{mínimo}}$



ITU-R – Documento ref. P530-11:

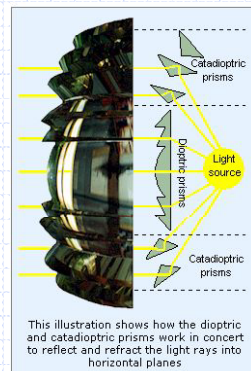
*Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems*



## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Augustin-Jean Fresnel

- 10 de maio de 1788 – 14 de julho de 1827

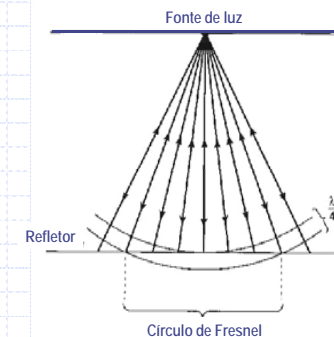
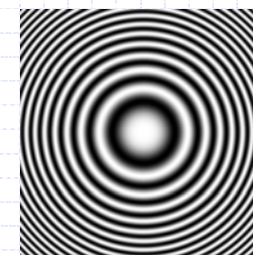


This illustration shows how the dioptric and catadioptric prisms work in concert to reflect and refract the light rays into horizontal planes

## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Círculos de Fresnel

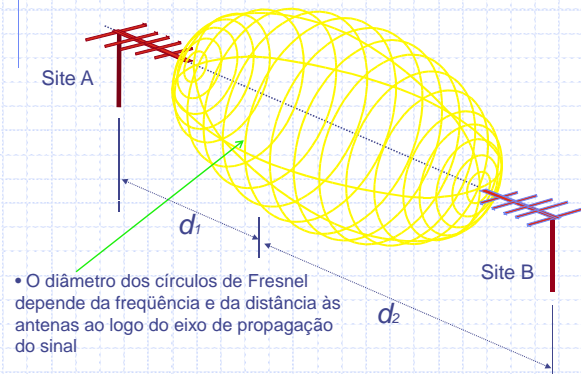
- Observando um feixe de luz que passava por um orifício, Fresnel notou a formação de círculos concêntricos claros/escuros que foram chamados **Círculos de Fresnel**.



### TE155-Redes de Acesso sem Fios

#### Círculos de Fresnel em Sinais de Rádio

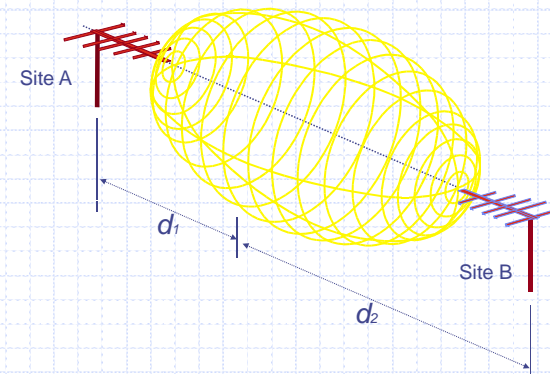
- A propagação da "frente de onda" forma círculos concêntricos chamados **Círculos de Fresnel**.



### TE155-Redes de Acesso sem Fios

#### Elipsóide de Fresnel

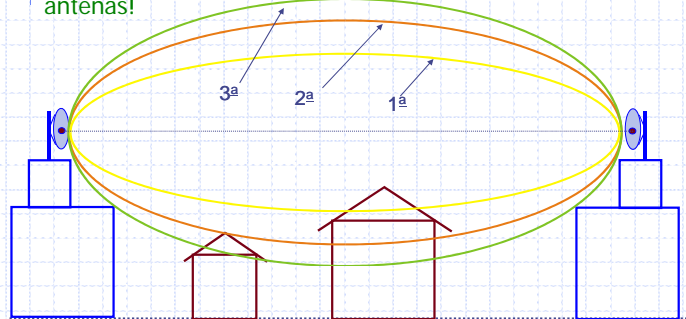
- O lugar geométrico dos diversos Círculos de Fresnel forma um **elipsóide de revolução**.



### TE155-Redes de Acesso sem Fios

#### Zonas de Fresnel

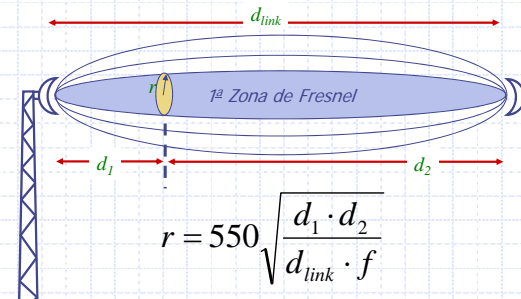
- Cada conjunto de círculos de Fresnel forma um elipsóide de revolução que, em corte, é semelhante a uma elipse.
- Experimentos demonstram que a **1ª Zona de Fresnel** concentra **50% da potência** transmitida entre as duas antenas!



### TE155-Redes de Acesso sem Fios

#### 1ª Zona de Fresnel

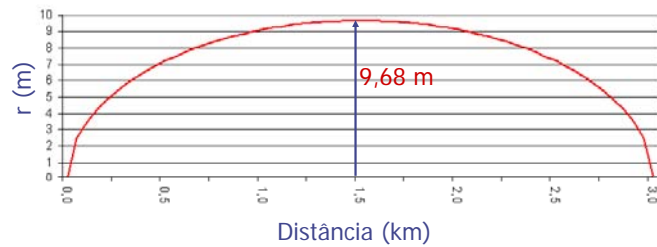
- $r$  = raio da 1ª Zona de Fresnel a uma certa distância da antena [m]
- $d_{link}$  = distância total do *link* de rádio (km)
- $d_1$  = distância da antena 1 até o obstáculo (km)
- $d_2$  = distância da antena 2 até o obstáculo (km)
- $f$  = frequência [MHz]



## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Elipsóide de Fresnel

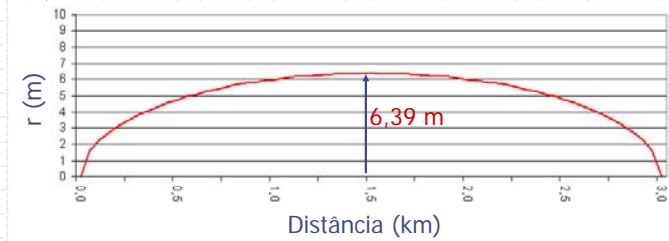
Exemplo: 1ª Zona de Fresnel em 2,4 GHz para  $d_{\text{link}} = 3\text{km}$



## TE155-Redes de Acesso sem Fios

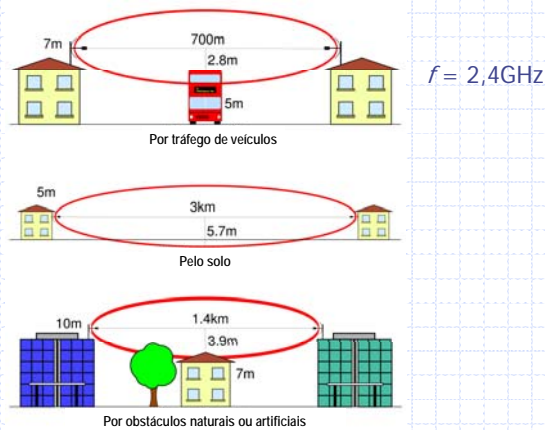
### Elipsóide de Fresnel

Exemplo: 1ª Zona de Fresnel em 5,5 GHz para  $d_{\text{link}} = 3\text{km}$



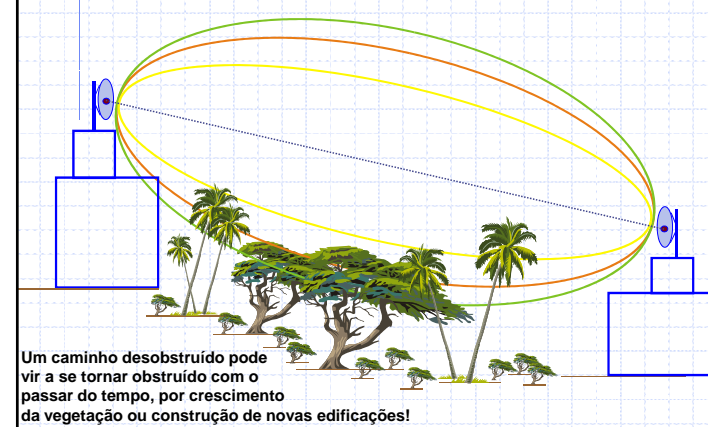
## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Obstrução da 1ª Zona de Fresnel



## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Obstrução da 1ª Zona de Fresnel

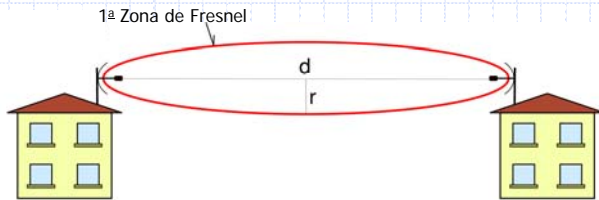




## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Desobstrução da 1ª Zona de Fresnel

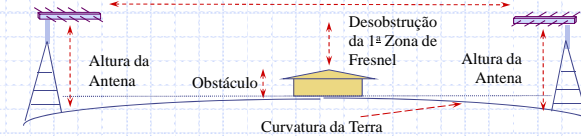
- Se 100% da 1ª Zona de Fresnel estiver desobstruída, considera-se que a propagação será semelhante à do espaço livre.
- Como regra prática recomenda-se que **no mínimo 60%** do raio da 1ª Zona de Fresnel esteja desobstruído, na faixa de 1 GHz a 3 GHz e 100% acima de 3 GHz.



<http://www.terabeam.com/support/calculations/fresnel-zone.php>

## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Influência das Alturas das Antenas



As antenas devem ter alturas tais que:

- Permitam a desobstrução de pelo menos 60% [1 GHz a 3 GHz] ou 100% [>3GHz] da 1ª Zona de Fresnel, considerando os obstáculos existentes na linha de visada das antenas.
- Permitam compensar a curvatura terrestre.

## TE155-Redes de Acesso sem Fios

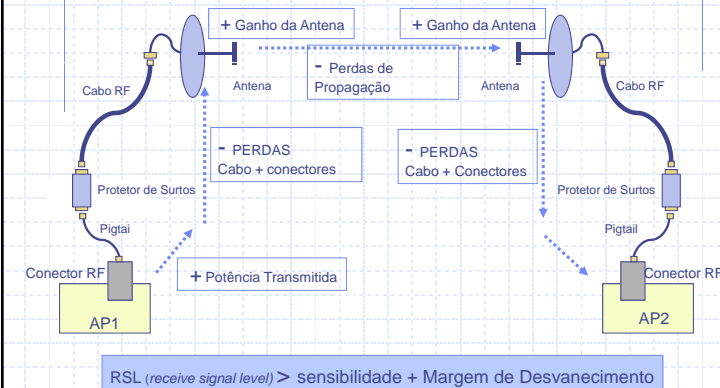
### Influência das Alturas das Antenas

$f = 2,4\text{GHz}$

Distância (km)	1ª Zona Fresnel (m)	60% 1ª Zona Fresnel (m)	Curvatura Terrestre (m)	Total (m)
1	5,61	3,37	0,0	3,37
2	7,94	4,76	0,2	4,96
3	9,72	5,83	0,4	6,23
4	11,23	6,74	0,7	7,44
5	12,55	7,53	1,0	8,53
6	13,75	8,25	1,5	9,75
7	14,85	8,91	2,0	10,91
8	15,88	9,53	2,7	12,23
9	16,84	10,10	3,4	13,50
10	17,75	10,65	4,2	14,85
11	18,62	11,17	5,0	16,17
12	19,45	11,67	6,0	17,67
13	20,24	12,14	7,0	19,14
14	21,00	12,60	8,2	20,80
15	21,74	13,04	9,4	22,44
16	22,45	13,47	10,7	24,17
17	23,14	13,89	12,0	25,89
18	23,82	14,29	13,5	27,79
19	24,47	14,68	15,0	29,68
20	25,10	15,06	16,7	31,76

## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Cálculo simplificado de perdas



## TE155-Redes de Acesso sem Fios

### Cálculo simplificado de perdas

Para que a ligação seja confiável deve-se ter:

- **RSL > Sensibilidade do Rádio + Margem de Desvanecimento**
- IEEE 802.11b: A sensibilidade dos rádios geralmente é de **-82dBm** para uma taxa de transmissão de 11 Mbits/s
- Margem de Desvanecimento (FADE MARGIN): valor de segurança para garantir um bom funcionamento

Mínima Margem de Desvanecimento = 10 dB

*Links* sujeitos a interferências (ambiente urbano) = 15dB

*Links* com condições climáticas adversas = 20dB

Portanto Calcula-se:

$$\text{RSL} > -82 + 10 = -72\text{dBm}$$