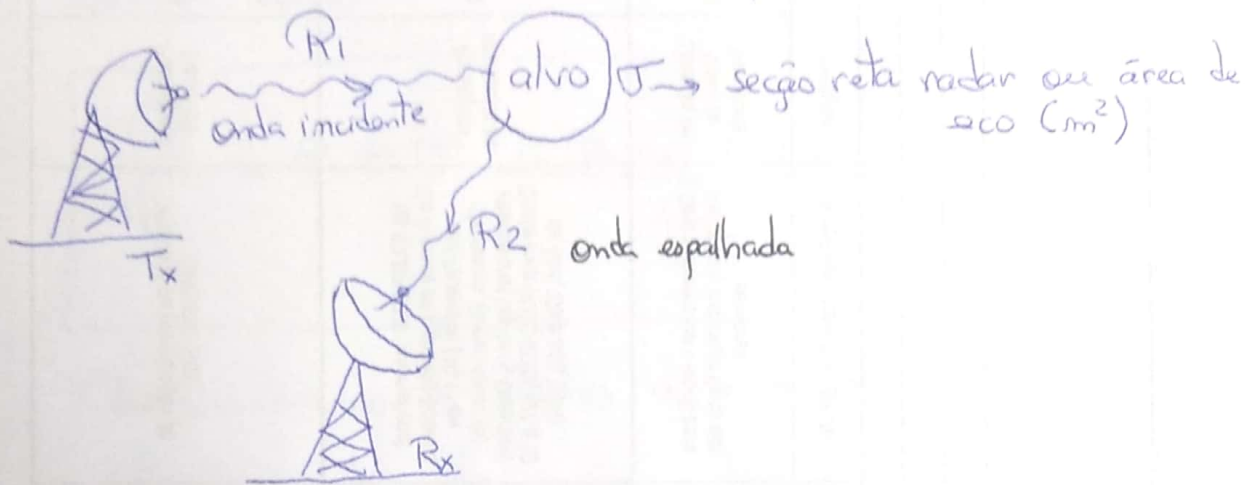


Equação de Alcance Radar



$$P_{\text{captada}} = \sigma \cdot S_{\text{TOTAL}} = \sigma \cdot \frac{P_{\text{rad TOTAL}} \cdot G_t(\theta_t, \phi_t)}{4\pi R_1^2}$$

A potência capturada pelo alvo é irradiada isotropicamente, e a densidade espalhada pode ser escrita como:

$$S_{\text{espalhada}} = \frac{P_c}{4\pi R_2^2} = e \cdot \sigma \frac{P_t D_t(\theta_t, \phi_t)}{(4\pi R_1 R_2)^2}$$

logo: a Potência que chega ao receptor (R_x) é:

$$P_r = \underbrace{A_{\text{eff}}}_{\text{receptor}} \cdot S_{\text{espalhada}}$$

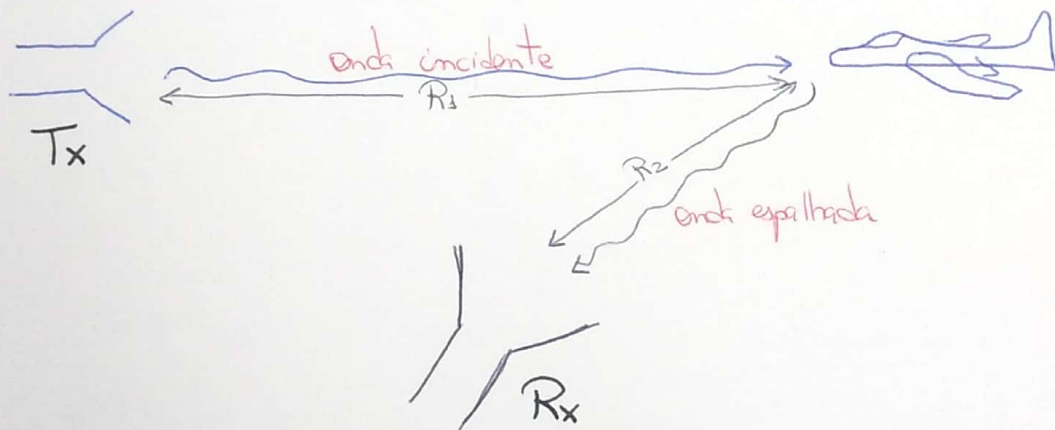
$$P_r = e_r D_r(\theta_r, \phi_r) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \cdot \frac{P_t D_t(\theta_t, \phi_t)}{(4\pi R_1 R_2)^2}$$

Aula 10

Equação de Alcance Radar e

Temperatura de Antenas

Suponhamos que um avião seja o alvo de um radar.



Existe uma quantidade chamada: *seção reta radar* ou *área de eco de um alvo*, também conhecido no Brasil como *assinatura radar*. (σ)

σ é a área que intercepta uma quantidade de potência que, qdo espalhada isotropicamente, produz no receptor uma densidade de potência (S) igual àquela espalhada pelo alvo.

$p / R \gg \lambda$, $\sigma = \frac{4\pi R^2 |E^s|^2}{|E^i|^2}$

(m^2) \rightarrow campo E (ou \mathcal{H}) espalhado (V/m)

\rightarrow campo E (ou \mathcal{H}) incidente (V/m)

A razão entre Pot. recebida e Pot. de entrada, pode ser escrita como:

$$\frac{P_r}{P_t} = \epsilon_t \epsilon_r \sigma \frac{D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r)}{4\pi} \left(\frac{\lambda}{4\pi R_1 R_2} \right)^2 \quad (a)$$

Desconsiderando os efeitos de perdas por reflexão e eficiência de polarização, temos:

$$\frac{P_r}{P_t} = \sigma \frac{G_t G_r}{4\pi} \left[\frac{\lambda}{4\pi R^2} \right]^2 \quad (b)$$

onde: $R_1 = R_2$

Caso haja perdas por atenuação, reflexão, efeitos atmosféricos, então considerar o fator de perdas (L_0) → maiores detalhes (Balanis, eq. 2-125).

$$\frac{P_r}{P_t} = \sigma \frac{G_t G_r}{4\pi} \left[\frac{\lambda}{4\pi R^2} \right]^2 \cdot \frac{1}{L_0} \quad (c)$$

↳ alcance

Equação de Alcance Radar ou Equação do Radar

▣ Técnica stealth (alvos radar de difícil detecção), a σ é minimizada. [material da aeronave aprisiona a energia incidente e dissipa uma parte como calor e em \neq direções].

▣ A SRR ($\sigma = f(\text{polarização, } \theta_{\text{incidência}}, \theta_{\text{observação}}, \text{geometria do alvo, propriedades técnicas do alvo e freq. de operação})$).

▣ Unidade no S.I.: σ (m^2) ou decibel/ m^2 (dBsm) ou SRR/λ^2 em dB.

Valores típicos

Object	RCS (m^2)	RCS (dBsm)
Pickup truck	200	23
Automobile	100	20
Jumbo jet airliner	100	20
Large bomber or commercial jet	40	16
Cabin cruiser boat	10	10
Large fighter aircraft	6	7.78
Small fighter aircraft or four-passenger jet	2	3
Adult male	1	0
Conventional winged missile	0.5	-3
Bird	0.01	-20
Insect	0.00001	-50
Advanced tactical fighter	0.000001	-60

▣ Regra de Ouro pl diminuir a SRR: "arredondar quinas, evitar superfícies planas e côncavas e pontos angulosos".

Temperatura de Antenas

▣ todo objeto acima de $0K = -273,15^{\circ}C$ radia energia

▣ Quantidade de Energia radiada é representada por uma $T_{equivalente}$.

$$T_{eq}(\theta, \phi) = \underbrace{\epsilon(\theta, \phi)}_{\text{Emissividade}} \cdot T_{molecular} = (1 - |r|^2) T_{molecular} \quad [K]$$

Emissividade

$$0 \leq \epsilon \leq 1$$

coef. de reflexão da superfície p/ a polarização da onda.

$\epsilon = f(\text{freq. de operação, polarização da energia emitida, estrutura molecular})$

A T_{eq} emitida por \neq fontes é interceptada pelas antenas e aparece em seus terminais como uma temperatura de antena (T_A)

$$T_A = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} T_{eq}(\theta, \phi) G(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} G(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi}$$

↪ ganho (potência) da antena

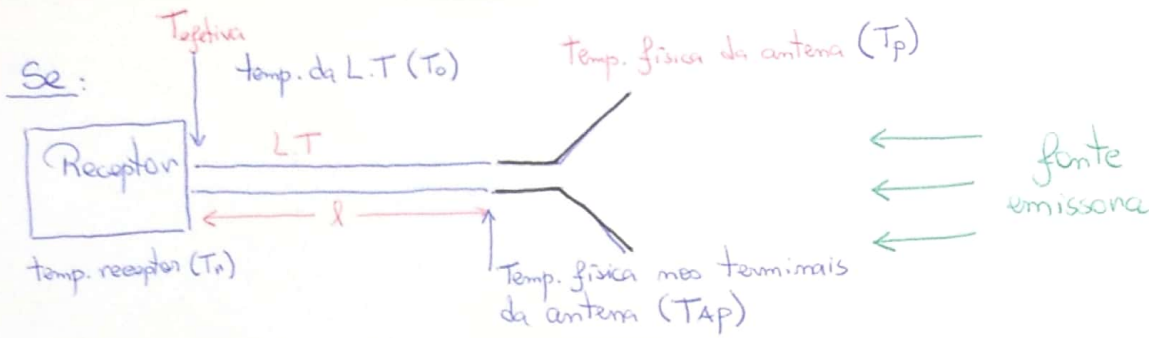
Se Antena_{TX} → não há perdas → receptor

Ainda assim, \exists uma potência de ruído ($P_{ruído}$) transferido para o Receptor.

$$P_{ruído} = k T_A \cdot \Delta f$$

↪ constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

Potência de ruído da antena (W).



$$T_{\text{efetiva}} \Big|_{\text{terminais/receptor}} = T_A e^{-2\alpha l} + T_{Ap} e^{-2\alpha l} + T_0 (1 - e^{-2\alpha l})$$

onde: $T_{Ap} = \left(\frac{1}{e_A} - 1 \right) T_p$ → eficiência térmica

$\alpha = \text{coef. de atenuação (Np/m)}$

Prescrevemos a Potência de Ruído ($P_{\text{ruído}}$): $P_{\text{ruído}} = k T_{\text{efetiva}} \Delta f$

terminais/receptor

Se o receptor tiver temp. de ruído (T_r) devido ao ruído térmico em componentes do receptor.

→ A potência de ruído ($P_{\text{ruído}}$) nos terminais do receptor será:

$$P_{\text{ruído}} \Big|_{\text{terminais/receptor}} = k (T_{\text{efetiva}} + T_r) \Delta f = \dots$$

“

Faça um Sumário de todas as Expressões e Parâmetros e Fórmulas pertinentes ao (Capítulo 1 + 2 do Balanis) conteúdo visto até agora em sala de aula.

↓

Entregue com um Minute Paper → na próxima aula.

$$\frac{P_n}{P_t} = \sigma \frac{G_{t_{\max}} G_{r_{\max}}}{4\pi} \left[\frac{\lambda}{4\pi R_1 R_2} \right]^2$$

Equação do Radar

Caso as antenas Tx e Rx sejam as mesmas, como é mais comum: $G_{t_{\max}} \cdot G_{r_{\max}} = G^2$

Seção Reta Radar de Antenas (SRR) — σ

ou o equivalente em inglês: RCS - Radar Cross Section

- ✘ É um parâmetro de campo distante.
- ✘ Caracteriza propriedades de espalhamento de um alvo radar.
- ✘ Quando Tx e Rx → têm mesma localização o Alcance do Radar e a SRR é monoestático
- ✘ Quando Tx e Rx → não têm mesma localização — SRR é bistática.

▣ técnica stealth (alvos radar de difícil detecção), a σ é minimizado. [material da aeronave aproxima a energia incidente e dissipa uma parte como calor e em \neq direções].

▣ A SRR ($\sigma = f(\text{polarização, } \theta_{\text{incidência}}, \theta_{\text{observação}}, \text{geometria do alvo, propriedades elétricas do alvo e freq. de operação})$).

▣ Unidade no S.I.: σ (m^2) ou decibel/ m^2 (dBsm) ou SRR/λ^2 em dB.

valores típicos

Object	RCS (m^2)	RCS (dBsm)
Pickup truck	200	23
Automobile	100	20
Jumbo jet airliner	100	20
Large bomber or commercial jet	40	16
Cabin cruiser boat	10	10
Large fighter aircraft	6	7.78
Small fighter aircraft or four-passenger jet	2	3
Adult male	1	0
Conventional winged missile	0.5	-3
Bird	0.01	-20
Insect	0.00001	-50
Advanced tactical fighter	0.000001	-60

▣ Regra de Ouro p/ diminuir a SRR: "arredondar quinas, evitar superfícies planas e côncavas e pontos angulosas".

Temperatura de Antenas

- ▣ todo objeto acima de $0K = -273,15^{\circ}C$ radia energia
- ▣ Quantidade de Energia radiada é representada por uma $T_{equivalente}$.

$$T_{eq}(\theta, \phi) = \underbrace{\varepsilon(\theta, \phi)}_{\text{Emissividade}} \cdot T_{molecular} = (1 - |T|^2) T_{molecular} \quad [K]$$

Emissividade
 $0 \leq \varepsilon \leq 1$

coef. de reflexão da superfície p/ a polarização da onda.

$\varepsilon = f(\text{freq. de operação, polarização da energia emitida, estrutura molecular})$

A T_{eq} emitida por \neq fontes é interceptada pelas antenas e aparece em seus terminais como uma temperatura de antena (T_A)

$$T_A = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} T_{eq}(\theta, \phi) G(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} G(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi}$$

↳ ganho (potência) da antena

Se Antena_{TX} → não há perdas → receptor

Ainda assim, \exists uma potência de ruído ($P_{ruído}$) transferido para o Receptor.

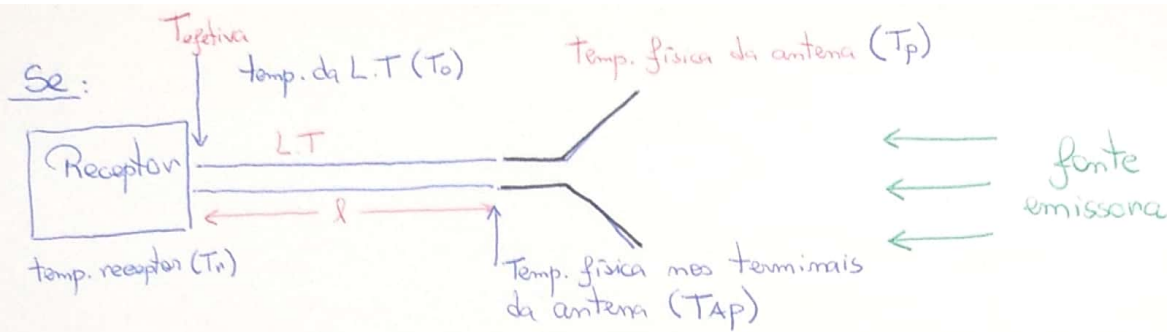
$$P_{ruído} = k T_A \cdot \Delta f$$

↳ largura de Banda (Hz)

↳ temperatura da antena (K)

↳ constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

Potência de ruído da antena (W).



$$T_{efetiva} \Big|_{\text{terminais/receptor}} = T_A e^{-2\alpha l} + T_{Ap} e^{-2\alpha l} + T_o (1 - e^{-2\alpha l})$$

onde: $T_{Ap} = \left(\frac{1}{e_A} - 1 \right) T_p$ → eficiência térmica

$\alpha = \text{coef. de atenuação (Np/m)}$

Reescrevemos a Potência de Ruído ($P_{ruído}$): $P_{ruído} = k T_{efetiva} \Delta f$
terminais/receptor

Se o receptor tiver temp. de ruído (T_r) devido ao ruído térmico em componentes do receptor.

↳ A potência de ruído ($P_{ruído}$) nos terminais do receptor será:

$$P_{ruído} \Big|_{\text{terminais/receptor}} = k (T_{efetiva} + T_r) \Delta f$$

“
 Faça um Sumário de todas as Expressões e Parâmetros e Fórmulas pertinentes ao (Capítulo 1+2 do Balanis) conteúdo visto até agora em sala de aula.



Entregue com um Minute Paper → na próxima aula.

Vamos mais longe agora (facultativo)

Imagine que queremos encontrar o alcance como função de um indutor, que atua como uma antena, calibrada p/ operar no modo ressonância, numa determinada frequência.

Solução:

$$f_{\text{ressonância}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{c}{\lambda}$$

↳ daqui: $\lambda = 2\pi c \sqrt{LC}$ ←

○ ganho pode ser:

$$G(\theta, \phi) = e \cdot D(\theta, \phi) \xrightarrow{\text{teórm}} \frac{4\pi A_{\text{geométrica}}}{\lambda^2}$$

usando: $G(\theta, \phi) = \frac{4\pi A_{\text{geom.}}}{\lambda^2}$

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi A_{\text{geom.}}}{4\pi^2 c^2 \sqrt{LC}} = \frac{A_{\text{geom.}}}{\pi c^2 LC}$$

Substituindo na equação (c), onde

$$\frac{P_r}{P_t} = \sigma \frac{G^2 \lambda^2}{L_0 (4\pi)^3 R^4}$$

teremos:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{\sigma}{L_0} \cdot \frac{\overbrace{A_{geom}^2}^{G^2}}{\pi^2 c^4 (LC)^2} \cdot \overbrace{(4\pi^2 c^2 LC)}^{\lambda^2} \cdot \frac{1}{(4\pi)^3 R^4}$$

Resolvendo:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{\sigma}{L_0} \frac{A_{geom}^2}{c^2 LC \cdot 16\pi^3 R^4}$$

isolando Range:

$$\text{Range} = \sqrt[4]{\frac{\sigma}{L_0} \frac{A_{geom}^2 P_t}{P_r 16\pi^3 c^2 L \cdot C}}$$

Alcance p/ antenas receptoras em função do indutor e Capacitor