



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Manual Técnico de Repetidores e Retransmissão Tática

Do Enquadramento Legal à Implementação
e Operação em Campo

1ª Edição, V1 – Agosto de 2026
Lisboa, Portugal



Autor: José Elias

Revisão Técnica: Paulo Pereira e Luís Lourenço

Design e Paginação: José Elias

Ilustrações: Geradas por Inteligência Artificial (Gemini)

Website: www.clubebear.pt

E-mail: geral@clubebear.pt

© 2026 Clube B.E.A.R. e José Elias.
Uso livre e gratuito para fins não comerciais.
Atribuição obrigatória. Proibida venda.

Aviso Legal (Simplificado): O manual é exclusivamente pedagógico. O Clube BEAR não assume responsabilidades. O leitor deve cumprir o quadro legal e regulamentar vigente (ANACOM).



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Título: Manual Técnico de Repetidores e Retransmissão Tática

Subtítulo: Do Enquadramento Legal à Implementação e Operação em Campo

Edição: 1ª Edição, V1 – Agosto de 2026

Local de Edição: Lisboa, Portugal

Autor: José Elias

Revisão Técnica e Ortográfica: Paulo Pereira e Luís Lourenço

Design e Paginação: José Elias

Ilustrações: Geradas por Inteligência Artificial (Gemini)

Contactos Website: www.clubebear.pt E-mail: geral@clubebear.pt

Direitos de Autor e Partilha (Licença de Uso): © 2026 Clube B.E.A.R. e José Elias. Esta obra destina-se a apoiar a comunidade. O seu uso é livre e gratuito. É permitida a partilha, reprodução e distribuição total ou parcial deste manual, em formato físico ou digital, exclusivamente para fins não comerciais, desde que seja garantida a atribuição e o devido crédito aos autores e ao Clube B.E.A.R. Proibida a venda ou uso lucrativo desta obra.

Aviso Legal e Isenção de Responsabilidade (Disclaimer): O presente manual técnico, publicado pela Academia BEAR / Clube BEAR, destina-se exclusivamente a fins pedagógicos, informativos e de estudo técnico no âmbito das comunicações por rádiofrequência. O Clube BEAR, os seus órgãos sociais, colaboradores e autores não assumem qualquer responsabilidade civil, contraordenacional ou criminal pelo uso indevido, operação não autorizada, danos materiais, lesões pessoais ou contraordenações regulamentares resultantes da aplicação, construção, testes ou operação dos sistemas, equipamentos e procedimentos descritos nesta obra. É da exclusiva e inteira responsabilidade do leitor e operador garantir o escrupuloso cumprimento do quadro legal e regulamentar vigente em Portugal, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 151-A/2000, o Decreto-Lei n.º 53/2009 e as determinações da Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM). A capacidade técnica de configurar, montar ou operar qualquer transceptor, repetidor ou antena não concede licença ou autorização legal para a sua emissão em radiodifusão sem o devido licenciamento na faixa de frequências correspondente.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Índice

Diretrizes e Notas Editoriais	8
Matriz de Competências e Níveis de Aprendizagem	9
Enquadramento do Conceito "Tático"	10
Caixas de Conhecimento Transversais	10
Introdução.....	11
Filosofia da Academia BEAR: Da Legalidade à Execução	12
Capítulo 1 – Enquadramento Legal e Regulamentar (Portugal)	13
1.1. O Papel da ANACOM e o Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF) ●	14
1.2. Enquadramento Técnico-Legal: Decreto-Lei n.º 151-A/2000 e Decreto-Lei n.º 53/2009 ●	17
1.2.1. O Decreto-Lei n.º 151-A/2000 (Redes Privativas e Licenciamento Geral).....	17
1.2.2. O Decreto-Lei n.º 53/2009 (Serviço de Amador e Amador por Satélite)	18
1.3. PMR446, CB e Serviço de Amador: Capacidades Técnicas, Condições de Utilização e Limitações Regulamentares ●	19
1.3.1. Análise Detalhada das Limitações Legais	20
1.4. Processos de Licenciamento, Limites de Potência Radiada (ERP/EIRP) e Regime Sancionatório/Fiscalização ●	21
1.4.1. O Processo de Licenciamento junto da ANACOM.....	21
1.4.2. Noção de Potência Radiada: ERP e EIRP	22
1.4.3. Regime Sancionatório e Fiscalização	23
Capítulo 2 – Fundamentos dos Repetidores	24
2.1. O que é um Repetidor de Rádio: Definição e Propósito Operacional ●	24
2.2. Distinção Operacional e Terminológica: Repetidor, <i>Cross-Band</i> , <i>Relay</i> , <i>Gateway</i> , RoIP e MMDVM ●	26
2.3. Princípio de Funcionamento Duplex, Frequências de Emissão/Receção e <i>Offset</i> ●	27
2.4. Fluxo de Sinal Passo a Passo: Receção, Descodificação, Filtragem e Reemissão Simultânea ●	29
Capítulo 3 – Tecnologias e Tipologias	31
3.1. Modulações Analógicas (FM) vs. Digitais (DMR, C4FM, D-STAR, TETRA) ●	31
3.1.1. Modulação Analógica em Frequência (FM)	31
3.1.2. Modulações Digitais	32
3.2. Formatos Físicos: Estações Fixas, Veiculares e Portáteis Táticos (<i>Manpack</i>) ●	33
3.2.1. Estações Fixas de Infraestrutura (Rack 19").....	33
3.2.2. Estações Veiculares / Retransmissores Móveis	34



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3.2.3. Repetidores Táticos Portáteis (<i>Manpack</i> e Malas Estanques)	34
3.3. Equipamentos Comerciais de Referência (Motorola, Hytera, Yaesu, Icom, Kenwood) ●	35
3.3.1. Plataformas Comerciais Profissionais	35
3.3.2. Plataformas do Serviço de Amador e Uso Misto	36
3.4. Análise Comparativa: Desempenho, Autonomia, Escalabilidade e Custos ●	38
Capítulo 4 – Propagação RF e Engenharia de Ligação	40
4.1. Comportamento das Bandas de VHF e UHF ●	40
4.1.1. Matriz Comparativa de Propagação: VHF vs. UHF	41
4.2. Linha de Visada (<i>Line of Sight</i> - LoS) e Zonas de Fresnel ●	42
4.3. Modelo de Ligação (<i>Link Budget</i>): Potência, Ganhos, Perdas e Margem de Ligação ●	46
4.4. Sombreamento Topográfico, Obstáculos e Seleção do Local ●	49
4.4.1. Fenómenos de Degradação de Sinal em Campo.....	49
4.4.2. Metodologia de Seleção do Local para Instalação de Repetidores (<i>Site Selection</i>)	50
Capítulo 5 – Arquitetura e Componentes	52
5.1. Módulos Recetores (RX) e Transmissores (TX) ●	53
5.1.1. O Módulo Recetor (RX)	53
5.1.2. Sensibilidade.....	53
5.1.3. Seletividade	54
5.1.4. Rejeição de intermodulação	54
5.1.5. O Módulo Transmissor (TX)	54
5.1.6. Amplificador de Potência (PA)	55
5.1.7. Emissões espúrias e harmónicas.....	56
5.2. O Duplexador: Filtros de Cavidade, Isolamento e Prevenção de Dessensibilização (<i>Desense</i>) ●	57
5.2.1. O fenómeno da dessensibilização (<i>Desense</i>)	58
5.2.2. Tipologias de filtragem	59
5.2.3. Isolamento TX/RX	60
5.3. Antenas e Linhas de Transmissão ●	61
5.3.1. Antenas omnidireccionais	61
5.3.2. Antenas direccionais	62
5.4. Linhas de Transmissão e Cabos Coaxiais ●	63
5.4.1. Atenuação do cabo	64
5.5. Conectores de RF e Instalação ●	65
5.6. Lógica de Controlo, Sinalização e Identificação ●	67



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.7. Identificação da Estação e Conformidade Regulamentar ●	69
5.8. Alimentação, Proteção e Gestão Térmica ●	70
5.9. Arquitetura Integrada do Repetidor ●	72
5.10. Síntese Técnica do Capítulo	73
Capítulo 6 – Energia e Autonomia	74
6.1. Perfil e Cálculo do Consumo Energético em <i>Standby</i> e Transmissão	75
6.2. Dimensionamento do Banco de Baterias	79
6.2.1. Capacidade Utilizável	80
6.2.2. Profundidade de Descarga	81
6.2.3. Equação Simplificada de Dimensionamento	81
6.3. Sistemas Fotovoltaicos e Dimensionamento da Produção Solar	83
6.3.1. Horas de Sol Pico – HSP	84
6.3.2. Controladores PWM e MPPT	85
6.4. Sistemas de <i>Backup</i> Ininterrupto	88
6.5. Gestão Térmica	89
6.6. Proteção Elétrica e Distribuição DC	90
6.7. Autonomia Real e Margem de Segurança	91
6.8. Síntese Operacional do Capítulo	92
Capítulo 7 – Site Survey e Infraestrutura	93
7.1. Análise Topográfica e Simulação de Cobertura de RF ●	94
7.1.1. Modelos Digitais de Elevação	94
7.1.2. Dados de Ocupação do Solo	95
7.1.3. Fluxo de Trabalho da Simulação de RF	96
7.1.4. Modelos Matemáticos de Propagação	97
7.1.5. Validação através de <i>Drive Test</i>	99
7.2. Ruído Radioelétrico, Interferência e Co-localização ●	100
7.2.1. Saturação do <i>Front-End</i>	101
7.2.2. Intermodulação	102
7.2.3. Intermodulação Passiva – PIM	103
7.2.4. Medição do <i>Noise Floor</i>	104
7.2.5. Co-localização de Antenas	105
7.2.6. Separação Vertical e Horizontal	106
7.3. Infraestrutura Física: Mastros, Torres e Estaiamento ●	107



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.3.1. Tipologias de Estruturas	108
7.4. Carga de Vento e Dimensionamento Mecânico ●	112
7.5. Acondicionamento Técnico e Proteção Ambiental ●	114
7.5.1. Grau de Proteção IP	114
7.5.2. Entrada de Cabos	115
7.5.3. Drip Loop	116
7.6. Gestão Térmica do Gabinete ●	117
7.7. Aterramento, Descargas Atmosféricas e Proteção da Infraestrutura ●	118
7.8. Conclusão do Capítulo	121
Capítulo 8 – Segurança RF e Segurança da Instalação	122
8.1. Exposição eletromagnética a RF: potência, ERP/EIRP, ganho, distância e limites de exposição ●	123
8.1.1. EIRP e densidade de potência	124
8.1.2. Limites de referência	126
8.2. Avaliação das distâncias de segurança e delimitação de zonas de exclusão RF ●	128
8.2.1. Campo próximo e campo distante	129
8.2.2. Delimitação física	131
8.3. Segurança em trabalhos em altura e montagem de infraestruturas ●	132
8.3.1. Princípio da continuidade da proteção	133
8.3.2. Inspeção	133
8.3.3. Zona de exclusão no solo	134
8.3.4. Condições meteorológicas	135
8.4. Proteção contra descargas atmosféricas, aterramento e equipotencialização ●	136
8.4.1. Captação da descarga	137
8.4.2. Condutores de descida	138
8.4.3. Descarregadores coaxiais	139
8.4.4. Equipotencialização	140
8.4.5. Ground Potential Rise – GPR	141
8.5. Segurança elétrica e de baterias ●	142
8.5.1. Proteção do cabo junto à bateria	143
8.5.2. Dimensionamento do fusível	144
8.5.3. Exemplo de dimensionamento	145
8.5.4. Cabos DC	146
8.5.5. Baterias de chumbo-ácido	147



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.5.6. Baterias LiFePO4.....	148
8.6. Checklist de segurança antes da entrada em serviço ●	150
Capítulo 9 – Construção e Integração DIY	152
9.1. Viabilidade Térmica, Mecânica e Eletrónica da Montagem Manual ●	155
9.1.1. Desafios de Viabilidade na Montagem DIY	156
9.2. Interligação de Transcetores Móveis — COR/COS, PTT e Áudio ●	158
9.3. Integração de Duplexadores Compactos e Ajuste de Frequência (<i>Tuning</i>) ●	162
9.4. Montagem, Teste em Carga Fictícia e Integração Portátil ●	164
Capítulo 10 – Operação e Continuidade das Comunicações.....	169
10.1. Retransmissão Tática Móvel e <i>Cross-Band Repeating</i> ●	170
10.2. Unidades <i>Manpack</i> e Desdobramento Rápido em Cenários Críticos ●	172
10.2.1. Procedimento de Desdobramento Rápido	175
10.3. Gateways RoIP (<i>Radio over IP</i>) e Interligação de Redes ●	176
10.3.1 Componentes de uma interface RoIP	177
10.3.2. Requisitos de rede	177
10.3.3. Redes de satélite	178
10.4. Protocolos Operacionais de Emergência perante a Falha de Redes Públicas ●	179
10.4.1 O Plano de Comunicações PACE	180
10.4.2. Estação Controladora de Rede (NCS).....	181
10.4.3. Prioridade de emergência	182
10.4.4. Formato METHANE para Relato de Incidente.....	183
10.5. Nota Final do Capítulo	185
Conclusão	186
O papel da Academia BEAR	189
Consideração final	190
Anexos Técnicos	191
Anexo A – Tabela de Conversão dBm / Watts ●	191
Anexo B – Fórmulas e Exemplo Prático de Cálculo de Autonomia Energética ●	193
Anexo C – Fórmulas e Exemplo Prático de Cálculo de <i>Link Budget</i> ●	196
Anexo D – Cálculo da 1.ª Zona de Fresnel e Linha de Visada ●	198
Anexo E – Atenuação de Cabos Coaxiais por Frequência e Comprimento ●	199
Anexo F – Guia Ilustrativo de Conectores RF ●	200



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Anexo G – Exemplo de Configuração MMDVM ●	201
Glossário Alfabético	203
Bibliografia	206

Diretrizes e Notas Editoriais



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Este manual técnico estabelece o enquadramento metodológico, regulamentar e concetual para a implementação, operação, dimensionamento e manutenção de sistemas de retransmissão e estações repetidoras de radiofrequência (RF). A sua redação responde à necessidade de unir a teoria eletrotécnica à aplicação prática em terreno.

O Axioma Regulamentar Fundamental A premissa basilar que rege a totalidade desta obra é a separação inequívoca entre a viabilidade técnica e a conformidade legal: **a capacidade técnica de um equipamento transmitir numa determinada frequência, potência ou modo não concede o direito nem a autorização legal para o fazer.** A verificação das licenças, a observância do Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF) e o escrupuloso cumprimento do quadro regulamentar da Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM) precedem obrigatoriamente qualquer emissão no espectro radioelétrico.



Matriz de Competências e Níveis de Aprendizagem

Para orientar o percurso de aprendizagem, as secções e anexos encontram-se delimitados segundo três patamares de complexidade:



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

- **Nível 1 — Operador:** Focado na utilização correta de rádios e repetidores, navegação em frequências, procedimentos de exploração, regras de tráfego e conformidade legal básica.
- **Nível 2 — Técnico:** Direcionado para a engenharia de RF, parâmetros de antenas e linhas de transmissão, sistemas de alimentação, configuração de lógicas e diagnóstico de falhas.
- **Nível 3 — Projetista/Construtor:** Destinado ao dimensionamento avançado de engenharia, integração *Do-It-Yourself* (DIY), testes em carga fictícia (*dummy load*), simulação topográfica e documentação técnica de projeto.

***Ressalva da Matriz de Competências:** A atribuição dos marcadores de nível (● , ● ou ●) identifica a profundidade técnica da matéria tratada. Esta classificação não constitui uma certificação profissional formal nem uma habilitação legal para execução ou colocação em funcionamento de equipamentos sem as devidas licenças estatais.*

Enquadramento do Conceito "Tático"

No âmbito da Academia BEAR, a designação "**Tático**" desvincula-se de qualquer conotação militar. Refere-se estritamente a sistemas de comunicação móveis, expeditos, modulares e de elevada resiliência, desenhados para desdobramento rápido em campo. O objetivo principal é assegurar a continuidade operacional em cenários degradados, eventos desportivos/Airsoft, apoio a missões de proteção civil ou em situações em que as infraestruturas públicas convencionais (redes móveis e internet) estejam indisponíveis ou colapsadas.

Caixas de Conhecimento Transversais

O manual integra quatro tipologias de caixas de destaque pedagógico:

- **[Caixa Legal]:** Citação e análise de artigos da legislação portuguesa e regulamentos da ANACOM.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

- **[Caixa Segurança]:** Alertadores de risco eletromagnético (RF), segurança elétrica, gestão de baterias e proteção em trabalhos em altura.
- **[Caixa Técnica]:** Aprofundamento teórico, formulações matemáticas de RF e detalhamento de arquitetura eletrónica.
- **[Caso Prático BEAR]:** Aplicações reais, cenários de terreno, exercícios de preparação e exploração de redes em eventos.

EXPLICAÇÃO DAS TIPOLOGIAS DE CAIXAS DE CONHECIMENTO DO MANUAL TÁTICO

[CAIXA LEGAL]

Citação e análise de artigos da legislação portuguesa e regulamentos da ANACOM.

EXEMPLO:
Artigo X do Decreto-Lei Y/202X, a potência máxima autorizada... autorizada...

Citação: Cita opões e maxeamente da ra constado autorizada no equizera e o oemarro- ciameitina, potências das nomories partão que antentos análises precidicaopeas, compwstais do artigos de anariracas teodibrais, a sonovella máxima autorizadar...

analysis

[CAIXA SEGURANÇA]

Alertadores de risco eletromagnético (RF), segurança elétrica, gestão de baterias e proteção em trabalhos em altura.

AVISO DE SEGURANÇA:
Antes de subir à torre, verifique todos os arreios, os dispersinos analis...

Dispersão diagram

[CAIXA TÉCNICA]

Aprofundamento teórico, formulações matemáticas de RF e detalhamento de arquitetura eletrónica.

$P_{out} = P_{in} + G$

[CASO PRÁTICO BEAR]

Aplicações reais, cenários de terreno, exercícios de preparação e exploração de redes em eventos.

Introdução



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

As comunicações por **radiofrequência (RF)** constituem a espinha dorsal de qualquer operação que exija coordenação, resiliência e autonomia. Em cenários de campo, eventos desportivos de grande escala, exercícios de treino ou em situações críticas onde as infraestruturas públicas de telecomunicações — como a rede móvel e a Internet — falham ou se encontram indisponíveis, a capacidade de estabelecer uma ligação ponto a ponto eficiente torna-se determinante.

No entanto, a propagação de ondas eletromagnéticas nas bandas de VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*) encontra-se **fortemente condicionada pela linha de visada (Line of Sight - LoS)**. Relevos topográficos, edifícios, densidade florestal e a própria curvatura terrestre criam zonas de sombra onde transdutores portáteis (*handhelds* ou PMR) podem deixar de conseguir comunicar diretamente entre si.

A implementação de uma **Estação Repetidora** surge como uma solução técnica para este obstáculo: posicionada estrategicamente num ponto elevado, a estação recebe o sinal de uma rádio emissora, **filtra e processa o sinal recebido e gera uma nova transmissão**, normalmente noutra frequência, permitindo ampliar a área de cobertura para além daquela que seria alcançável em modo direto (*simplex*).

A Academia BEAR concebeu este manual técnico com a missão de dotar a comunidade de conhecimentos rigorosos, práticos e fundamentados sobre a engenharia, montagem, legalidade e operação de repetidores e sistemas de retransmissão tática.

[Caixa Técnica] O que é a Linha de Visada (LoS)?

Nas frequências de VHF e UHF, as ondas de rádio propagam-se predominantemente em linha reta, pelo que a existência de uma linha de visada favorável é um fator importante para a qualidade da ligação. Se existir um obstáculo físico denso (como uma montanha ou um edifício de betão) entre o emissor e o receptor, o sinal pode sofrer **atenuação significativa**. O repetidor pode mitigar esta limitação ao ser colocado num ponto elevado e tecnicamente adequado, com condições de propagação favoráveis para as estações que pretende servir.

Filosofia da Academia BEAR: Da Legalidade à Execução

A elaboração deste documento assenta no rigor normativo e na segurança absoluta. A facilidade de acesso a equipamentos de rádio programáveis no mercado atual cria frequentemente a ilusão de que a transmissão de RF é uma atividade livre de regras. Este manual reitera, de forma sistemática, que a



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

capacidade técnica de transmitir não equivale a autorização legal para o fazer. O conhecimento deve servir para capacitar os utilizadores dentro do enquadramento legislativo português fixado pela Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM).

[Caixa Legal] Conformidade Regulamentar em Portugal

A utilização do espectro radioelétrico em Portugal está sujeita ao Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF) e ao conjunto da legislação e regulamentação aplicável, incluindo o Decreto-Lei n.º 151-A/2000, na sua redação em vigor. **A operação de um repetidor ou de qualquer outra estação radioelétrica está sujeita às condições aplicáveis ao respetivo serviço, frequência e tipo de utilização, podendo estar dependente de licença, autorização ou de um regime específico de utilização. O incumprimento das disposições aplicáveis pode constituir uma infração e dar origem às sanções e demais medidas previstas na legislação em vigor.**



Capítulo 1 – Enquadramento Legal e Regulamentar (Portugal)

A utilização do **espectro radioelétrico** em território português é rigorosamente condicionada pela lei. O espaço pelo qual se propagam as ondas eletromagnéticas pertence ao domínio público do Estado,



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

cabendo à entidade reguladora nacional, nos termos da legislação aplicável, a gestão do espectro radioelétrico, incluindo a sua planificação, atribuição, consignação, supervisão e fiscalização. O desconhecimento da lei não isenta qualquer cidadão ou entidade de responsabilidade perante eventuais infrações decorrentes de emissões não autorizadas.

1.1. O Papel da ANACOM e o Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF)



A **Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM)** é a entidade reguladora do setor das comunicações em Portugal, desempenhando as funções de autoridade nacional de regulação e gestão do espectro radioelétrico. Compete à ANACOM, nos termos da legislação aplicável, assegurar a gestão eficiente do espectro, proceder à sua planificação e atribuição, autorizar a consignação de frequências, licenciar estações e redes de radiocomunicações quando aplicável e assegurar a fiscalização da utilização do espectro.

Para organizar o espectro de forma eficiente e evitar interferências prejudiciais entre diferentes utilizadores e serviços — como a aviação, forças de segurança, redes móveis, navegação marítima, radiodifusão e serviços de amador — a ANACOM publica e mantém atualizado o **Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF)**. O QNAF disponibiliza informação sobre as atribuições e utilizações nacionais do espectro radioelétrico, faixas reservadas, utilizações futuras, utilizações isentas de licenciamento e interfaces rádio.

O QNAF não deve, contudo, ser interpretado como uma simples tabela de frequências "livres". É um instrumento de planeamento e gestão do espectro que estabelece as utilizações e condições aplicáveis às diferentes faixas e serviços, incluindo os casos em que são exigíveis direitos de utilização ou em que existem regimes de isenção de licenciamento.

De forma simplificada, para efeitos pedagógicos, podemos distinguir três situações principais:

- **Utilizações isentas de licenciamento:** faixas e aplicações sujeitas a condições técnicas específicas, como determinadas utilizações PMR446 e equipamentos de pequena potência e



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

curto alcance (*Short Range Devices* — SRD). A isenção de licença não elimina a obrigação de cumprir as condições técnicas aplicáveis.

- **Regimes de autorização ou habilitação específica:** serviços em que a utilização depende do cumprimento de requisitos próprios, como sucede no Serviço de Amador. **O regime aplicável a este serviço foi alterado pela Lei n.º 22/2026, de 27 de maio, que entrou em vigor em 25 de agosto de 2026 e alterou o Decreto-Lei n.º 53/2009.**
- **Licenciamento, direitos de utilização e consignação de frequências:** situações em que a utilização do espectro ou de determinada frequência está sujeita às condições e procedimentos previstos no regime aplicável, podendo envolver a atribuição de direitos de utilização, a consignação de uma frequência ou canal e o licenciamento da estação ou rede.

[Caixa Legal] Base Regulamentar da ANACOM

Os Estatutos da ANACOM encontram-se aprovados pelo **Decreto-Lei n.º 39/2015, de 16 de março**. No quadro legal atualmente aplicável, compete à ANACOM assegurar a gestão eficiente do espectro radioelétrico, incluindo a sua planificação, atribuição, consignação, supervisão e fiscalização.

O **QNAF** é um instrumento público de planeamento e gestão do espectro, disponibilizado pela ANACOM e complementado pelo **eQNAF**, plataforma eletrónica que permite consultar informação sobre as atribuições e utilizações nacionais do espectro radioelétrico, faixas reservadas, utilizações futuras, utilizações isentas de licenciamento e interfaces rádio.

[Caixa Técnica] Atribuição vs. Consignação de Frequências

Em direito radioelétrico e engenharia de RF, é crítico distinguir dois conceitos:

Atribuição: designa uma faixa de frequências para utilização por um ou vários serviços de radiocomunicações, em condições especificadas. Por exemplo, uma determinada faixa pode estar atribuída ao Serviço de Amador.

Consignação: corresponde à autorização concedida por uma administração a uma estação radioelétrica para utilizar uma determinada frequência ou canal, segundo condições especificadas.

Assim, **uma faixa estar atribuída a determinado serviço não significa que qualquer utilizador possa escolher livremente uma frequência dessa faixa e iniciar uma transmissão**. A utilização concreta depende sempre das condições regulamentares aplicáveis ao serviço e à estação.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

[Caso Prático BEAR] Consulta Prévia do QNAF Antes do Planeamento

Antes de conceber qualquer arquitetura de comunicações para um exercício ou evento em campo, a equipa técnica da Academia BEAR deve verificar obrigatoriamente o **QNAF** e o **eQNAF**, bem como as restantes condições regulamentares aplicáveis à utilização pretendida.

Tentar emitir ou configurar um equipamento numa frequência reservada a serviços de emergência, canais marítimos, navegação aérea ou outros serviços protegidos — mesmo por mero desconhecimento — pode provocar **interferências prejudiciais e representar um risco sério para a segurança das comunicações**.

A utilização de uma frequência sem o cumprimento das condições legalmente aplicáveis pode constituir uma infração e dar origem às consequências previstas na legislação em vigor.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1.2. Enquadramento Técnico-Legal: Decreto-Lei n.º 151-A/2000 e Decreto-Lei n.º 53/2009 ●

O funcionamento de instalações radioelétricas em Portugal encontra sustentação em diplomas legislativos fundamentais, aprovados em Diário da República, que delimitam quem pode emitir, em que condições e com que tipo de equipamentos.

1.2.1. O Decreto-Lei n.º 151-A/2000 (Redes Privativas e Licenciamento Geral)

O Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de julho, **na sua redação em vigor**, estabelece o regime aplicável às redes e estações de radiocomunicações, incluindo as condições de utilização do espectro e o respetivo regime de licenciamento, sem prejuízo dos regimes específicos e das situações de isenção previstos na legislação aplicável.

Este diploma determina, como princípio geral, que a utilização de redes e estações de radiocomunicações está sujeita ao regime de licenciamento aplicável, **salvo quando exista uma situação de isenção ou outro regime específico previsto na legislação ou no QNAF**. A própria ANACOM confirma que a utilização de redes e estações de radiocomunicações está, em regra, sujeita à atribuição de uma licença radioelétrica.

O decreto aborda especificamente:

- **Licenciamento de Estação e de Rede:** Exigência de parâmetros fixados, quando aplicável, incluindo frequência consignada, local de instalação e parâmetros técnicos de emissão.
- **Redes Privativas:** Regulamentação das redes utilizadas por entidades privadas e outras organizações, nos termos e condições definidos pelo respetivo regime de utilização do espectro.
- **Fiscalização e Medidas:** Poderes atribuídos à ANACOM no âmbito da fiscalização, da utilização, do espectro e das redes e estações de radiocomunicações, incluindo a adoção das medidas previstas na legislação aplicável.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1.2.2. O Decreto-Lei n.º 53/2009 (Serviço de Amador e Amador por Satélite)

O Decreto-Lei n.º 53/2009, de 2 de março, **com as alterações introduzidas pela Lei n.º 22/2026, de 27 de maio**, regula o Serviço de Amador e o Serviço de Amador por Satélite. A Lei n.º 22/2026 entrou em vigor em **25 de agosto de 2026**, alterando, entre outros aspetos, o regime aplicável aos certificados e autorizações e ao licenciamento das estações de uso comum.

No âmbito deste regime:

- As estações repetidoras do Serviço de Amador estão sujeitas às condições regulamentares aplicáveis e ao regime de autorização/licenciamento previsto para as estações de uso comum.
- A instalação e utilização de uma estação repetidora de amador não decorre simplesmente da capacidade técnica do equipamento ou da titularidade de um certificado de amador, devendo ser observadas as condições estabelecidas pela ANACOM, pelo QNAF e pela legislação aplicável.
- As estações automáticas e repetidoras devem cumprir os requisitos técnicos e operacionais aplicáveis, incluindo os relativos à identificação e às condições de utilização das frequências consignadas.

[Caixa Legal] Síntese dos Diplomas em Diário da República

Decreto-Lei n.º 151-A/2000: Estabelece o regime aplicável às redes e estações de radiocomunicações, incluindo o respetivo enquadramento de licenciamento e fiscalização, sem prejuízo dos regimes específicos e das situações de isenção previstos na legislação aplicável.

Decreto-Lei n.º 53/2009: Estabelece o regime jurídico do Serviço de Amador e do Serviço de Amador por Satélite, atualmente com as alterações introduzidas pela **Lei n.º 22/2026**, incluindo o regime aplicável às estações de uso comum.

[Caixa Técnica] Diferença entre Estação Fixa e Estação Repetidora Automática

Uma **estação fixa** corresponde a uma estação instalada num local determinado, podendo a sua operação depender da intervenção de um operador, consoante o serviço e o regime aplicável.

Uma **estação repetidora automática** retransmite sinais recebidos sem que seja necessária a intervenção humana direta no momento de cada retransmissão.

Por essa razão, as estações repetidoras estão sujeitas a requisitos técnicos e operacionais específicos, que podem incluir identificação automática, temporização da transmissão (Time-Out Timer) e mecanismos de controlo ou desativação, de acordo com o serviço e as condições de autorização aplicáveis.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt

Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1.3. PMR446, CB e Serviço de Amador: Capacidades Técnicas, Condições de Utilização e Limitações Regulamentares ●

Existe no mercado uma vasta gama de transceptores económicos e programáveis. No entanto, a viabilidade técnica de introduzir frequências, *offsets* e subtons num equipamento não anula as limitações impostas pela regulamentação do serviço.

Matriz Comparativa de Serviços e Limitações Legais

Serviço / Faixa	Frequências do Serviço	Potência Máxima Permitida	Tipo de Antena	Utilização de Repetidores	Licenciamento Individual
PMR446	446,000–446,200 MHz	0,5 W ERP, nas condições aplicáveis	De acordo com os requisitos técnicos aplicáveis	Não permitido nas condições de utilização do PMR446	Isento, nas condições regulamentares
Banda do Cidadão (CB)	26,960–27,410 MHz	Conforme modo e requisitos técnicos aplicáveis	Conforme os requisitos técnicos aplicáveis	Não utilizar como repetidor sem enquadramento/autorização específica	Regime de isenção aplicável
Serviço de Amador	Faixas atribuídas ao serviço, conforme QNAF	Variável conforme banda, classe e condições aplicáveis	Conforme as condições do serviço	Permitida nas condições regulamentares aplicáveis	Sujeito ao regime de autorização/licenciamento aplicável
Redes Privativas (PMR Profissional)	Frequência(s) consignada(s)	Fixada nas condições de utilização/autorização	Conforme projeto e condições técnicas	Permitida quando prevista/autorizada	Sujeito ao regime de licenciamento aplicável

A ANACOM mantém o **eQNAF** como plataforma para consulta das atribuições nacionais, utilizações, interfaces rádio e regimes de isenção de licença. Por isso, **os valores apresentados numa tabela deste manual devem ser sempre confirmados contra a versão do QNAF/eQNAF vigente à data da publicação.**



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1.3.1. Análise Detalhada das Limitações Legais

- **PMR446 (Personal Mobile Radio):** Concebido para comunicações de curto alcance em condições técnicas específicas. A utilização está associada a requisitos definidos para o serviço, incluindo limites de potência e características do equipamento. **A utilização de repetidores, bem como a modificação do equipamento para ultrapassar as condições regulamentares, não é permitida no regime PMR446.** A faixa harmonizada é 446,0–446,2 MHz.
- **Banda do Cidadão (CB):** Está sujeita ao regime de utilização definido pela ANACOM. A faixa atualmente indicada pela ANACOM é 26,96–27,41 MHz. Os requisitos técnicos foram objeto de alteração em 2023, incluindo a possibilidade de determinados modos de transmissão de dados e imagem em canais específicos.
- **Serviço de Amador:** Permite utilizações técnicas mais amplas, incluindo estações automáticas e repetidoras, **quando estas se encontrem devidamente enquadradas no regime do Serviço de Amador, no QNAF e nas autorizações aplicáveis.** As frequências e condições concretas devem ser verificadas no documento QNAF aplicável ao Serviço de Amador e na regulamentação vigente.

[Caixa Legal] O Axioma Regulamentar Fundamental

Capacidade técnica não equivale a autorização legal.

Adquirir um transceptor portátil capaz de transmitir entre 136–174 MHz e 400–520 MHz com 5 W ou 8 W de potência não concede o direito de transmitir nessas frequências. Configurar esse mesmo rádio para fazer *Cross-Band Repeat* ou ligá-lo a um controlador DIY não cria, por si só, qualquer autorização para operar a estação.

[Caso Prático BEAR] O Paradoxo do Transceptor Económico em Eventos

É comum em eventos ao ar livre ou em cenários de Airsoft a aquisição de rádios portáteis programáveis de baixo custo para utilizar nos canais PMR446. Quando uma equipa altera o equipamento para aumentar a potência ou tenta montar um "repetidor caseiro" para cobrir um vale, deixa de cumprir as condições técnicas aplicáveis ao PMR446.

A solução conforme passa pela utilização de sistemas que estejam **legalmente enquadrados no serviço de radiocomunicações utilizado**, como uma estação de repetição devidamente autorizada no Serviço de Amador ou uma rede privativa devidamente licenciada, quando aplicável.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1.4. Processos de Licenciamento, Limites de Potência Radiada (ERP/EIRP) e Regime Sancionatório/Fiscalização

1.4.1. O Processo de Licenciamento junto da ANACOM

Para colocar um repetidor em funcionamento legal em Portugal, **quando aplicável o regime de licenciamento radioelétrico**, a entidade interessada deve seguir o procedimento definido pela ANACOM para o serviço e tipo de rede ou estação em causa.

No caso de uma **Rede Privativa de Radiocomunicações**, o processo pode exigir elementos técnicos destinados a caracterizar a estação e a utilização pretendida, nomeadamente:

1. **Localização Geográfica:** Coordenadas da estação repetidora e informação relativa à altitude do terreno.
2. **Especificações do Equipamento:** Marca, modelo, características técnicas e conformidade aplicável.
3. **Sistema Radiante:** Tipo de antena, ganho, polarização, altura e restantes características relevantes.
4. **Cálculo da Potência Radiada:** Indicação da potência de emissão e dos ganhos e perdas do sistema radiante, incluindo a ERP ou EIRP quando aplicável.

Após a análise do pedido, a ANACOM estabelece as condições aplicáveis à utilização da frequência ou canal, à estação e aos parâmetros técnicos autorizados.



1.4.2. Noção de Potência Radiada: ERP e EIRP

A potência efetivamente radiada por um sistema não corresponde necessariamente à potência de saída do transmissor. Devem ser consideradas as perdas existentes entre o transmissor e a antena e o ganho da antena.

- **ERP (Effective Radiated Power):** Potência Radiada Efetiva, referenciada a um dipolo de meia onda.
- **EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power):** Potência Isotrópica Radiada Equivalente, referenciada a uma antena isotrópica ideal.

$$\text{EIRP (dBm)} = P_{\text{TX}}(\text{dBm}) - L_{\text{linha}}(\text{dB}) + G_{\text{antena}}(\text{dBi})$$

Onde:

- P_{TX} : Potência de saída do transmissor em dBm (10 W = +40 dBm).
- L_{linha} : Perdas acumuladas nos cabos coaxiais, conectores, duplexador e adaptadores entre o transmissor e a antena (dB).
- G_{antena} : Ganho da antena expresso em dBi.



Nota: Neste exemplo, 10 W correspondem aproximadamente a +40 dBm. Subtraindo 3 dB de perdas e adicionando 6 dBi de ganho, obtém-se aproximadamente **+43 dBm**, ou cerca de **20 W EIRP**, e não +39 dBm.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1.4.3. Regime Sancionatório e Fiscalização

A ANACOM dispõe de mecanismos de monitorização, controlo e fiscalização do espectro radioelétrico, incluindo sistemas destinados a identificar emissões e a investigar situações de utilização indevida do espectro. A própria ANACOM refere expressamente a sua competência para monitorização, controlo e fiscalização da utilização do espectro e para a instauração de processos de contraordenação.

A utilização de frequências não autorizadas pode constituir uma contraordenação punível nos termos da legislação aplicável. A ANACOM confirma que a utilização de frequências não autorizadas por uma estação pode causar interferências prejudiciais e constituir contraordenação.

As consequências concretas — incluindo coimas, sanções acessórias, perda de equipamentos ou outras medidas — **dependem da infração concretamente praticada e do regime jurídico aplicável**, pelo que não devem ser generalizadas sem indicação do artigo legal correspondente.

[Caixa Técnica] Por que motivo o Ganho da Antena Altera a Potência Legal?

*Se um emissor debitar 10 W de potência (aproximadamente **+40 dBm**) e for ligado a uma antena diretiva Yagi com 10 dBi de ganho, descontando 2 dB de perdas nos cabos, a EIRP resultante será:*

$$40 \text{ dBm} - 2 \text{ dB} + 10 \text{ dBi} = 48 \text{ dBm}$$

*+48 dBm corresponde aproximadamente a **63 W EIRP**.*

Se a licença ou condições de utilização da estação autorizarem apenas um determinado limite de potência radiada, esse limite deve ser respeitado independentemente da potência nominal de saída do transmissor.

[Caixa Segurança] Responsabilidade Operacional nas Comunicações

*A utilização de frequências sem autorização ou com parâmetros técnicos superiores aos permitidos pode provocar interferências prejudiciais e afetar outras estações radioelétricas. Em particular, emissões fortes ou sistemas tecnicamente deficientes podem contribuir para fenómenos como **desensibilização, sobrecarga de recetores ou intermodulação**.*

*Garanta sempre que todos os ensaios e montagens cumprem rigorosamente as condições de utilização aplicáveis e, quando necessário, são realizados em **carga fictícia (dummy load)**, evitando a emissão através da antena durante os testes.*



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





Capítulo 2 – Fundamentos dos Repetidores

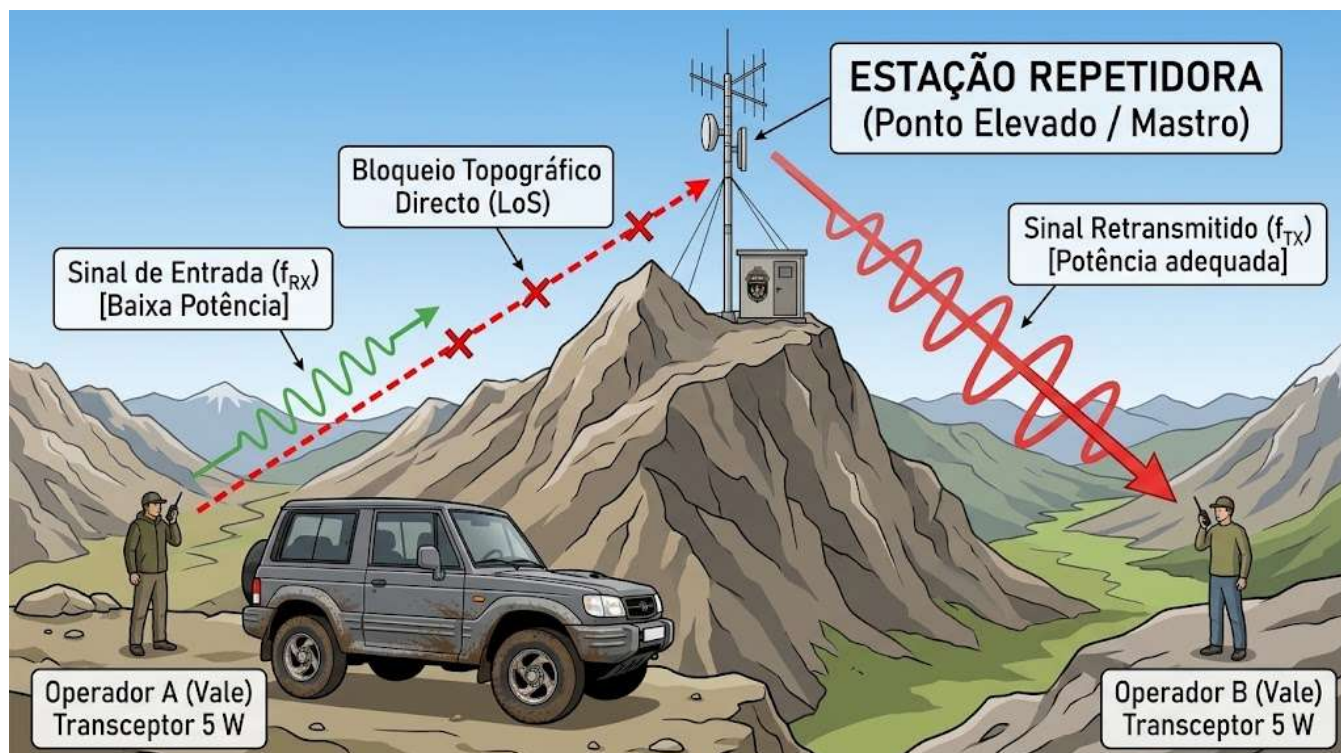
Compreender o funcionamento intrínseco de uma estação repetidora exige analisar a forma como os sinais de rádiofrequência (RF) são processados, convertidos e retransmitidos no espaço hertziano. Este capítulo estabelece as bases conceituais, terminológicas e operacionais que sustentam qualquer arquitetura de retransmissão táctica.

2.1. O que é um Repetidor de Rádio: Definição e Propósito Operacional ●

Um **repetidor de rádio** é uma estação de radiocomunicações autónoma constituída pela integração de um recetor (RX) de elevada sensibilidade, um transmissor (TX) e uma unidade lógica de controlo. O seu propósito fundamental é receber um sinal radioelétrico de fraca intensidade — emitido por uma estação móvel ou portátil —, processá-lo e retransmiti-lo numa frequência diferente e, normalmente, com uma potência adequada à cobertura pretendida, a partir de uma posição geograficamente privilegiada.

Nas frequências de VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*), a propagação das ondas eletromagnéticas é fortemente condicionada pela **Linha de Visada** (*Line of Sight - LoS*). Obstáculos físicos como formações rochosas, elevações topográficas, edifícios ou a própria curvatura da Terra podem atenuar ou bloquear o sinal entre transceptores diretos.

Ao ser instalado no cimo de uma cota de terreno elevada, num edifício de grande altura ou num mastro táctico, o repetidor atua como um nó intermédio de visibilidade direta para ambos os pontos da ligação. Esta elevação do sistema radiante expande geometricamente o horizonte radioelétrico, aumentando a área de cobertura e reduzindo zonas de sombra onde a comunicação direta em modo *simplex* seria inviável.



[Caixa Técnica] A Geometria do Alcance Radioelétrico

O horizonte rádio de uma antena instalada a determinada altura difere do horizonte visual devido, entre outros fatores, à refração atmosférica das ondas de VHF/UHF. O alcance geométrico aproximado em linha de visada entre duas antenas pode ser estimado pela fórmula:

$$D \approx 3,57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Onde D é a distância máxima aproximada em quilómetros e h_1 e h_2 são as alturas das respetivas antenas em metros.

Por exemplo, considerando uma antena do repetidor a **100 m** de altura e uma antena portátil a **1,7 m**, o horizonte geométrico combinado é de aproximadamente **39 km**. Este valor representa uma estimativa geométrica e **não constitui uma garantia de alcance rádio**, uma vez que o desempenho real depende da topografia, obstáculos, perdas, características das antenas, potência, sensibilidade dos recetores e condições de propagação.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

2.2. Distinção Operacional e Terminológica: Repetidor, Cross-Band, Relay, Gateway,

RoIP e MMDVM ●

No âmbito da engenharia de comunicações e das operações de campo, o recurso a termos genéricos gera frequentemente erros de dimensionamento e falhas de configuração. A tabela seguinte especifica a taxonomia técnica adotada neste manual:

Termo	Função Operacional Principal	Modo de Frequência	Aplicação Típica em Campo
Repetidor (Standard)	Recebe num canal e retransmite noutro na mesma banda de frequência (ex.: UHF para UHF).	Duplex no mesmo segmento (VHF/VHF ou UHF/UHF).	Extensão de cobertura regional para equipas com equipamento monobanda.
Cross-Band Repeater	Recebe numa banda (ex.: VHF) e retransmite noutra banda distinta (ex.: UHF) ou vice-versa.	Duplex interbandas (VHF ↔ UHF).	Interligação entre equipas operando em bandas diferentes ou ponto de retransmissão móvel/veicular.
Relay / Retransmissor	Termo genérico que designa qualquer nó intermédio que receba e retransmita mensagens.	Simplex diferido ou Duplex.	Conceito amplo de retransmissão em cadeia ou estações ponte em rede.
Gateway	Interface de conversão entre dois sistemas com protocolos, arquiteturas ou meios físicos distintos.	Híbrido (RF para IP, RF para telefonia, etc.).	Interligação de redes analógicas com redes digitais ou outros sistemas de comunicação.
RoIP Gateway	Converte sinais de áudio e controlo (PTT/COR) do rádio em pacotes de dados IP (<i>Radio over IP</i>).	RF para IP (LAN/WAN/VPN).	Interligação de sistemas rádio através de redes IP.
MMDVM	<i>Multi-Mode Digital Voice Modem</i> : plataforma/modem que permite o processamento de diferentes modos digitais de voz e dados.	Vários protocolos digitais, conforme a implementação.	Implementação de sistemas digitais multimodo e integração com plataformas de rádio.

[Caso Prático BEAR] Clarificação de Termos no Planeamento Operacional

Durante o planeamento de um exercício em terreno acidentado, a equipa técnica solicitou um "Repetidor Tático". Na verificação de material, constatou-se que a equipa de apoio tinha preparado um *Gateway RoIP*. Como a zona de operações não dispunha de ligação à Internet ou cobertura móvel 4G/5G, o *Gateway* ficou inoperacional. A correta definição do equipamento — um **Repetidor Cross-Band VHF/UHF autónomo** — teria evitado a falha de comunicação na fase inicial do exercício.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



2.3. Princípio de Funcionamento Duplex, Frequências de Emissão/Receção e *Offset* ●

Os rádios portáteis e móveis convencionais operam normalmente em modo Simplex: utilizam a mesma frequência para emitir e receber, não permitindo a transmissão e receção simultâneas no mesmo canal.

Um repetidor opera em modo Duplex, utilizando frequências diferentes para receção ($f_{RX \text{ repetidor}}$) e transmissão ($f_{TX \text{ repetidor}}$). Para haver comunicação, as frequências do equipamento utilizador são o inverso das do repetidor:

$$f_{TX \text{ utilizador}} = f_{RX \text{ repetidor}}$$

O Conceito de Offset (Desvio de Frequência)

Para reduzir a possibilidade de o transmissor do repetidor interferir com o seu próprio recetor — fenómeno designado por desensibilização (*desense*) —, as frequências de receção e emissão são separadas no espectro por um intervalo definido. A esta diferença dá-se o nome de *offset* ou desvio (Δf), calculado como:

$$\Delta f = f_{TX \text{ repetidor}} - f_{RX \text{ repetidor}}$$

Consequentemente, os rádios dos utilizadores no terreno têm de estar configurados de forma simétrica:

- **Frequência de receção do utilizador:** corresponde à frequência de emissão do repetidor ($f_{RX \text{ utilizador}} = f_{TX \text{ repetidor}}$).
- **Frequência de transmissão do utilizador:** corresponde à frequência de receção do repetidor ($f_{TX \text{ utilizador}} = f_{RX \text{ repetidor}}$).





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

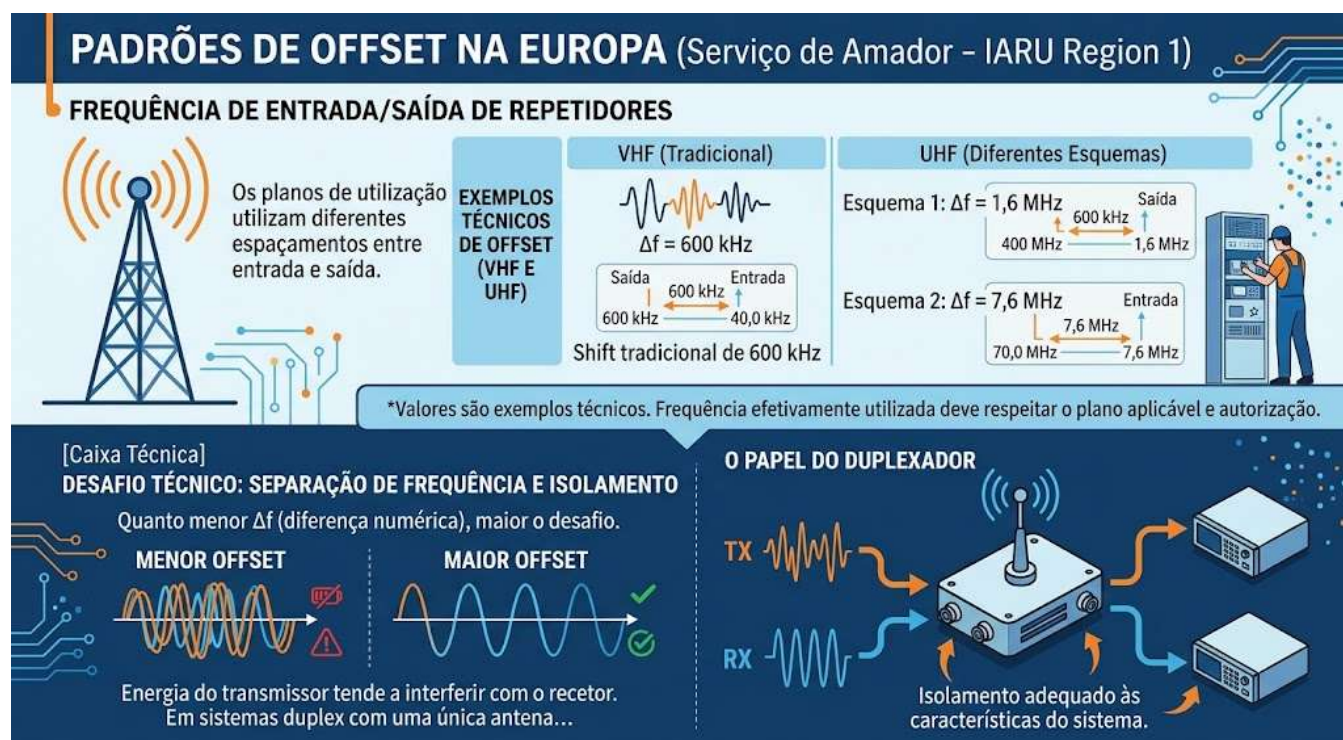
Padrões de Offset na Europa

Os planos de utilização de frequências do Serviço de Amador estabelecidos no âmbito da IARU Region 1 utilizam, conforme a banda e o plano nacional/sub-regional aplicável, diferentes espaçamentos entre entrada e saída de repetidores. Por exemplo, o *VHF Handbook* da IARU Region 1 apresenta **600 kHz** como o *shift* tradicional de repetidores em VHF e contempla, em UHF, diferentes esquemas de *shift*, incluindo **1,6 MHz** e **7,6 MHz**, dependendo do segmento e plano aplicável.

Assim, neste manual, os valores de *offset* devem ser entendidos como **exemplos técnicos e não como autorização para selecionar ou utilizar autonomamente qualquer frequência**. A frequência efetivamente utilizada por uma estação repetidora deve respeitar o plano aplicável e, quando exigido, a correspondente consignação/autorização.

[Caixa Técnica] Separação de Frequência e Isolamento

Quanto menor for a diferença numérica do offset (Δf), maior tende a ser o desafio técnico para evitar que a energia emitida pelo transmissor interfira com o recetor. Em sistemas duplex com uma única antena, o dupplexador desempenha um papel fundamental na separação dos sinais de transmissão e receção, sendo necessário obter um isolamento adequado às características do sistema.



2.4. Fluxo de Sinal Passo a Passo: Receção, Descodificação, Filtragem e Reemissão

Simultânea ●

O ciclo de funcionamento interno de uma estação repetidora ocorre rapidamente desde o instante em que o operador pressiona o PTT (*Push-To-Talk*) no seu rádio portátil.



Etapas do Fluxo de Processamento de Sinal:

- Captação e Separação no Duplexador:** A onda eletromagnética incide na antena comum do repetidor e desce pelo cabo coaxial até ao duplexador. O filtro associado ao percurso de receção (RX) deixa passar a frequência de receção ($f_{RX \text{ repetidor}}$) e rejeita a energia da frequência de transmissão ($f_{TX \text{ repetidor}}$).
- Desmodulação e Deteção de Operadora:** O módulo recetor deteta a presença de sinal no canal. A linha de sinal **COR/COS** (*Carrier Operated Relay / Carrier Operated Squelch*) altera o seu estado elétrico para indicar à lógica que existe um sinal válido na entrada.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3. **Validação por Sub-tom (CTCSS/DCS):** Se o repetidor estiver configurado com sinalização de acesso, o decodificador analisa o sinal recebido. No caso do CTCSS (*Continuous Tone-Coded Squelch System*) ou DCS (*Digital-Coded Squelch*), a lógica verifica a presença do código ou tom configurado antes de permitir o acesso à retransmissão.
4. **Ativação Lógica e Acionamento de PTT:** A placa de controlo (*Repeater Controller*) recebe o sinal COR válido, processa o áudio e comuta a linha de **PTT** do transmissor, colocando o módulo de TX em emissão.
5. **Transmissão e Mistura de Sinalização:** O transmissor gera a portadora na frequência f_{TX} repetidor, injeta o áudio proveniente do recetor e, se programado, adiciona a sinalização correspondente (como tons sub-audíveis CTCSS/DCS) e os identificadores automáticos da estação, tais como identificação em Código Morse/CW ou dados digitais.
6. **Injeção na Antena:** O sinal passa pelas etapas de filtragem associadas ao percurso de transmissão do duplexador, que ajudam a rejeitar componentes indesejados e harmónicas, e é posteriormente encaminhado para a antena e irradiado para o espaço livre.

[Caixa Segurança] Proteção por Temporizador de Segurança (Time-Out Timer - TOT)

*Um repetidor deve dispor de mecanismos que impeçam uma transmissão excessivamente prolongada. Uma solução comum é o temporizador de segurança (Time-Out Timer - TOT), configurado na lógica de controlo. O valor pode variar consoante o sistema e a sua finalidade, sendo comuns configurações na ordem dos **60 a 180 segundos**.*

Se um rádio de um utilizador ficar com o PTT inadvertidamente preso em transmissão, o repetidor interrompe automaticamente a retransmissão quando o tempo limite é atingido. Esta função ajuda a evitar o bloqueio permanente do canal e reduz o risco de sobrecarga térmica do equipamento.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





Capítulo 3 – Tecnologias e Tipologias

A seleção da arquitetura tecnológica e do formato físico de um repetidor condiciona a cobertura, a autonomia energética, a imunidade ao ruído e a interoperabilidade da rede. Este capítulo analisa as principais tecnologias de modulação analógica e digital, os formatos de implementação e os equipamentos comerciais de referência.

3.1. Modulações Analógicas (FM) vs. Digitais (DMR, C4FM, D-STAR, TETRA) ●

A escolha do modo de modulação define a eficiência no uso do espectro, a qualidade perceptível do áudio e as funcionalidades suplementares de dados disponíveis para os operadores.

3.1.1. Modulação Analógica em Frequência (FM)

A modulação em frequência (FM) permanece amplamente utilizada nas radiocomunicações profissionais, de amador e de campo, devido à sua simplicidade, robustez e baixo custo de implementação.

- **FM Estreita (*Narrow FM* – 12,5 kHz):** Utilizada em numerosas aplicações de radiocomunicações, com um desvio máximo típico de frequência de $\pm 2,5$ kHz.
- **FM Larga (*Wide FM* – 25 kHz):** Utiliza um desvio máximo típico de $\pm 5,0$ kHz e proporciona maior largura de banda para o sinal de áudio, embora a sua utilização esteja condicionada pela regulamentação aplicável à faixa de frequências em questão.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3.1.2. Modulações Digitais

As tecnologias digitais convertem o sinal de voz em dados digitais através de um codificador vocal (*vocoder*), podendo aplicar técnicas de correção de erros (*Forward Error Correction – FEC*) antes da transmissão.

- **DMR (*Digital Mobile Radio*)**: Padrão estabelecido pelo ETSI. Utiliza **TDMA** (*Time Division Multiple Access*) com 2 *slots* numa largura de banda de 12,5 kHz. Permite dois canais lógicos de comunicação na mesma frequência física, através da divisão temporal.
- **C4FM (*Continuous 4-level Frequency Modulation / Yaesu System Fusion*)**: Tecnologia digital baseada em C4FM e utilizada pelo sistema System Fusion da Yaesu. Permite operação digital e analógica e dispõe de **AMS (*Automatic Mode Select*)**, que permite ao equipamento identificar automaticamente o modo recebido e selecionar o modo de operação correspondente.
- **D-STAR (*Digital Smart Technologies for Amateur Radio*)**: Sistema digital desenvolvido especificamente para o Serviço de Amador, associado à JARL e inicialmente desenvolvido com participação da Icom. Utiliza modulação digital e permite a transmissão simultânea de voz e dados de baixa velocidade, incluindo informação de posicionamento e mensagens.
- **TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*)**: Padrão digital profissional baseado em TDMA de 4 *slots* em canais de 25 kHz. Foi concebido para redes profissionais de grande escala, incluindo aplicações de segurança pública, transporte e emergência. Suporta funcionalidades como priorização de chamadas, grupos de comunicação e mecanismos de segurança e autenticação.

[Caixa Técnica] O Efeito Falésia (Cliff Effect) no Áudio Digital vs. Analógico

Em modulação analógica (FM), à medida que a estação móvel se afasta do repetidor, o sinal enfraquece gradualmente e o ruído de fundo aumenta. O utilizador consegue, frequentemente, continuar a compreender parcialmente a comunicação mesmo quando a qualidade do sinal já é reduzida.

*Em modulação digital, os mecanismos de correção de erros permitem manter uma qualidade de áudio relativamente estável enquanto o sinal permanece dentro dos limites de funcionamento do sistema. Quando esses limites são ultrapassados, a qualidade pode degradar-se rapidamente, podendo ocorrer perda ou interrupção da informação. A este comportamento dá-se frequentemente o nome de **Efeito Falésia**.*



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3.2.2. Estações Veiculares / Retransmissores Móveis

Montadas em veículos de apoio, Unidades Móveis de Comando (UMC) ou outras plataformas móveis.

- Utilizam dois transceptores móveis interligados ou transceptores com função de *Cross-Band Repeat* integrada.
- Alimentadas diretamente pelo sistema elétrico do veículo (12 V – 24 V DC), exigindo, quando necessário, filtragem e proteção adequadas contra ruído elétrico, sobretensão, subtensão e perturbações provocadas pelo sistema de carregamento do veículo.

3.2.3. Repetidores Táticos Portáteis (*Manpack* e Malas Estanques)

Sistemas autónomos concebidos para transporte individual ou desdobramento rápido em zonas sem infraestruturas permanentes.

- Podem ser acondicionados em caixas de resina de alto impacto, como *Peli Cases*, com grau de proteção adequado às condições ambientais previstas.
- Podem integrar num único volume compacto: transceptores de baixo consumo, duplexador compacto, bateria interna de elevada densidade energética e controlador lógico.

[Caso Prático BEAR] Desdobramento de Repetidor Tático em Mala Estanque

Numa operação de apoio logístico a uma prova de BTT em serra, a equipa da Academia BEAR transportou um repetidor tático portátil numa mala estanque até ao alto de um mastro geodésico. Alimentado por uma bateria interna LiFePO4 de 12 V / 20 Ah e ligado a uma antena vertical de fibra de vidro montada num mastro telescópico de 6 metros, o sistema garantiu 14 horas de cobertura em UHF DMR para toda a organização, resistindo às condições meteorológicas previstas sem falhas mecânicas ou térmicas.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3.3. Equipamentos Comerciais de Referência (Motorola, Hytera, Yaesu, Icom, Kenwood) ●

No mercado profissional e do Serviço de Amador, existem plataformas consolidadas que servem de referência para projetos de estações repetidoras.

3.3.1. Plataformas Comerciais Profissionais

- **Motorola Solutions (Série MOTOTRBO):**

- *Modelos de Referência:* **SLR 5500** e **SLR 8000**.
- *Características:* Plataformas profissionais destinadas a redes DMR, com elevada capacidade de integração em redes IP e funcionalidades avançadas de gestão e configuração.



- **Hytera Communications:**

- *Modelos de Referência:* **RD985** e **HR1065**.
- *Características:* Repetidores DMR e analógicos destinados a aplicações profissionais, com diferentes configurações de potência, capacidade de integração em rede e soluções de alimentação e *backup*.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



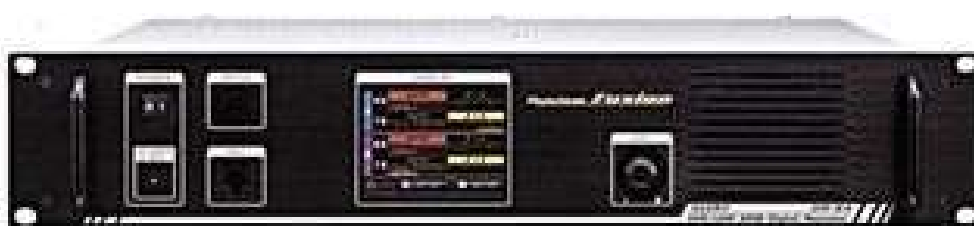
Fundado a 23 de março de 2016

- **Kenwood (Linha NEXEDGE / Digital):**
 - *Modelos de Referência:* **NXR-1700 / NXR-1800.**
 - *Características:* Plataformas destinadas a sistemas profissionais, suportando diferentes tecnologias digitais e analógicas conforme o modelo e a configuração.



3.3.2. Plataformas do Serviço de Amador e Uso Misto

- **Yaesu:**
 - *Modelo de Referência:* **DR-2X System Fusion.**
 - *Características:* Repetidor de dupla banda e duplo modo, com suporte para C4FM Digital e FM Analógico. A funcionalidade AMS permite a seleção automática do modo correspondente. A integração com sistemas WiRES-X depende da arquitetura e dos equipamentos complementares utilizados.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

- Icom:

- Modelos de Referência: **ID-RP3000V / ID-RP4000V** (D-STAR).
- Características: Plataformas destinadas à implementação de sistemas D-STAR, permitindo a construção de redes de repetidores e respetiva interligação através de infraestruturas complementares.



[Caixa Legal] Certificação de Equipamentos e Diretiva RED

Os equipamentos de rádio colocados no mercado da União Europeia estão sujeitos ao regime aplicável aos equipamentos de rádio, incluindo a **Diretiva 2014/53/UE (RED – Radio Equipment Directive)** e os respetivos requisitos de conformidade.

A modificação de um equipamento pode afetar a sua conformidade com os requisitos aplicáveis e, dependendo da natureza da alteração e do regime de utilização, impedir a sua utilização legal nas condições originalmente previstas pelo fabricante.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3.4. Análise Comparativa: Desempenho, Autonomia, Escalabilidade e Custos ●

A tabela seguinte estabelece uma matriz de avaliação para fundamentar a escolha do sistema em função dos requisitos da missão ou do projeto:

Parâmetro de Análise	Repetidor Analógico FM (Custom/DIY)	Repetidor Digital DMR Comercial	Repetidor Digital C4FM	Repetidor Profissional TETRA
Tecnologia Base	Analógica (FM)	Digital (DMR – TDMA)	Digital (C4FM)	Digital (TETRA – TDMA)
Ciclo de Trabalho (<i>Duty Cycle</i>)	50% – 100%, conforme projeto	Conforme fabricante	Conforme fabricante	Conforme fabricante
Eficiência Espectral	1 canal / 12,5 kHz*	2 slots / 12,5 kHz	1 canal / 12,5 kHz	4 slots / 25 kHz
Consumo em <i>Standby</i>	Variável	Variável	Variável	Variável
Consumo em TX	Dependente da potência e equipamento	Dependente da potência e equipamento	Dependente da potência e equipamento	Dependente da potência e equipamento
Resiliência em Campo	Depende do acondicionamento	Elevada, dependendo da implementação	Média/Elevada, dependendo da implementação	Elevada
Complexidade de Configuração	Baixa/Média	Média/Elevada	Baixa/Média	Elevada
Custo Relativo do Hardware	Baixo (€ – €€)	Médio/Elevado (€€€)	Médio (€€)	Muito Elevado (€€€€€)

* A eficiência espectral efetiva depende da canalização, modulação, largura de banda ocupada e regulamentação aplicável. No caso do DMR, os dois slots TDMA não devem ser interpretados simplesmente como dois canais RF independentes.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

[Caixa Segurança] Critério do Ciclo de Trabalho (Duty Cycle) na Escolha do Equipamento

Nunca utilize transceptores móveis convencionais não preparados para o ciclo de trabalho exigido por um repetidor de utilização intensa sem verificar previamente as especificações do fabricante e garantir uma adequada dissipação térmica.

A transmissão prolongada a potência elevada pode provocar o sobreaquecimento do andar final de potência (PA), degradação dos componentes e, em condições extremas, danos permanentes no equipamento ou risco térmico.

O dimensionamento deve, por isso, considerar a potência efetiva de transmissão, o ciclo de trabalho previsto, a ventilação, a temperatura ambiente e a capacidade real de dissipação do sistema.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





Capítulo 4 – Propagação RF e Engenharia de Ligação

A eficiência operacional de uma estação repetidora depende diretamente do comportamento físico das ondas eletromagnéticas no meio de propagação. O planeamento de uma rede de radiocomunicações exige analisar a interligação entre a frequência de trabalho, a topografia do terreno, os obstáculos circundantes e o balanço energético do enlace (*Link Budget*).

4.1. Comportamento das Bandas de VHF e UHF

As bandas de frequência atribuídas aos serviços de radiocomunicações móveis terrestres e de amador apresentam características de propagação distintas, condicionadas pelo respetivo comprimento de onda (λ).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

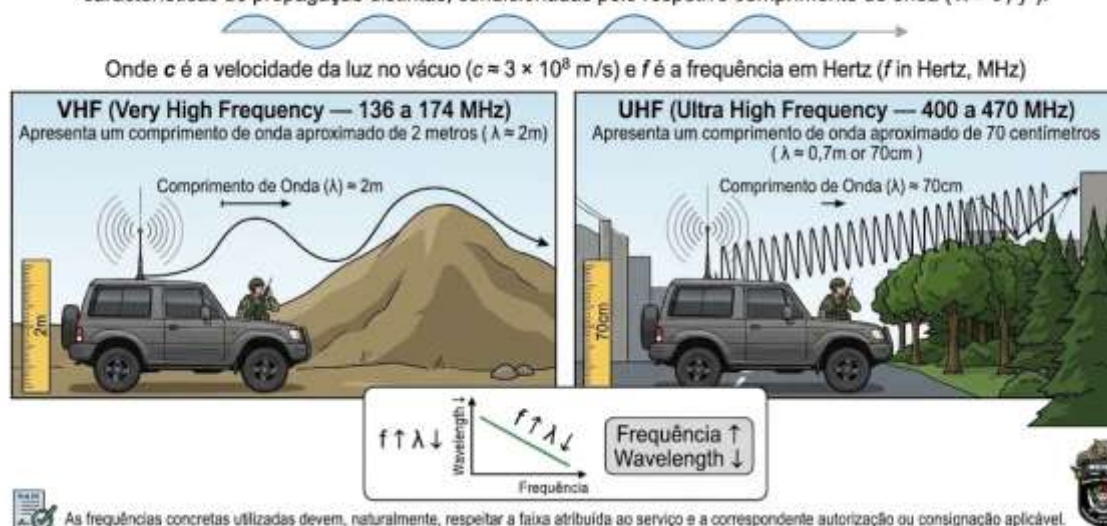
Onde c é a velocidade da luz no vácuo ($c \approx 3 \times 10^8$ m/s) e f é a frequência em Hertz (Hz).

- **VHF (Very High Frequency — 136 a 174 MHz):** Apresenta um comprimento de onda aproximado de 2 metros ($\lambda \approx 2$ m).
- **UHF (Ultra High Frequency — 400 a 470 MHz):** Apresenta um comprimento de onda aproximado de 70 centímetros ($\lambda \approx 0,7$ m).

As frequências concretas utilizadas devem, naturalmente, respeitar a faixa atribuída ao serviço e a correspondente autorização ou consignação aplicável.

4.1. COMPORTAMENTO DAS BANDAS DE VHF E UHF

As bandas de frequência atribuídas aos serviços de radiocomunicações móveis terrestres e de amador apresentam características de propagação distintas, condicionadas pelo respetivo comprimento de onda ($\lambda = c / f$).





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

4.1.1. Matriz Comparativa de Propagação: VHF vs. UHF

Parâmetro de Propagação	Banda de VHF (2 Metros)	Banda de UHF (70 Centímetros)
Comprimento de Onda (λ)	Longo 2,0 m	Curto (approx 0,7m)
Difração sobre Obstáculos	Geralmente superior	Geralmente inferior
Propagação em Estruturas/Edifícios	Pode apresentar vantagens em determinados ambientes	Pode apresentar vantagens em determinados ambientes, dependendo da estrutura
Atenuação por Vegetação	Geralmente menor	Geralmente maior, sobretudo com vegetação densa e húmida
Ruído Radioelétrico	Pode ser mais afetado por determinadas fontes de ruído elétrico	Pode apresentar menor ruído de origem elétrica em determinados ambientes
Dimensão Física das Antenas	Maior (dipolo approx 1 metro)	Mais compacta (dipolo approx 33 cm)
Desvanecimento Rápido (<i>Fast Fading</i>)	Geralmente menos pronunciado	Pode ser mais significativo, sobretudo em ambientes urbanos e em movimento

[Caixa Técnica] Difração e Comprimento de Onda

A capacidade de uma onda eletromagnética contornar um obstáculo por difração está relacionada com o seu comprimento de onda (λ) e com as dimensões e geometria do obstáculo.

Como uma onda de VHF ($\lambda \approx 2$ m) possui um comprimento de onda superior ao de uma onda de UHF ($\lambda \approx 0,7$ m), o VHF tende a apresentar maior capacidade de difração e, em determinadas condições, menor atenuação provocada pelo sombreamento topográfico.

Esta característica pode tornar o VHF vantajoso em determinados ambientes rurais, florestais ou de relevo acidentado. Contudo, não significa que o VHF proporcione sempre maior alcance: a cobertura real depende igualmente da frequência concreta, potência, altura e tipo das antenas, topografia, polarização e condições de propagação.

[Caso Prático BEAR] Seleção da Banda em Função do Terreno

Num exercício de treino da Academia BEAR realizado em ambiente florestal denso e relevo acidentado, a utilização de transceptores em UHF resultou numa perda sistemática de sinal assim que os operadores se deslocaram para trás de cristas secundárias. A transição da rede para a banda de VHF, utilizando condições de potência e antenas comparáveis, restabeleceu as comunicações devido à maior capacidade de difração do sinal de maior comprimento de onda sobre as irregularidades do terreno e à menor atenuação provocada pela vegetação.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



4.2. Linha de Visada (*Line of Sight* - LoS) e Zonas de Fresnel

Nas bandas de VHF e UHF, a propagação ocorre predominantemente por **onda espacial direta**. Para que ocorra uma ligação fiável entre duas estações, não basta existir uma linha de visada geométrica entre as antenas: é também necessário considerar a **zona de Fresnel**, cuja obstrução pode introduzir perdas adicionais significativas.

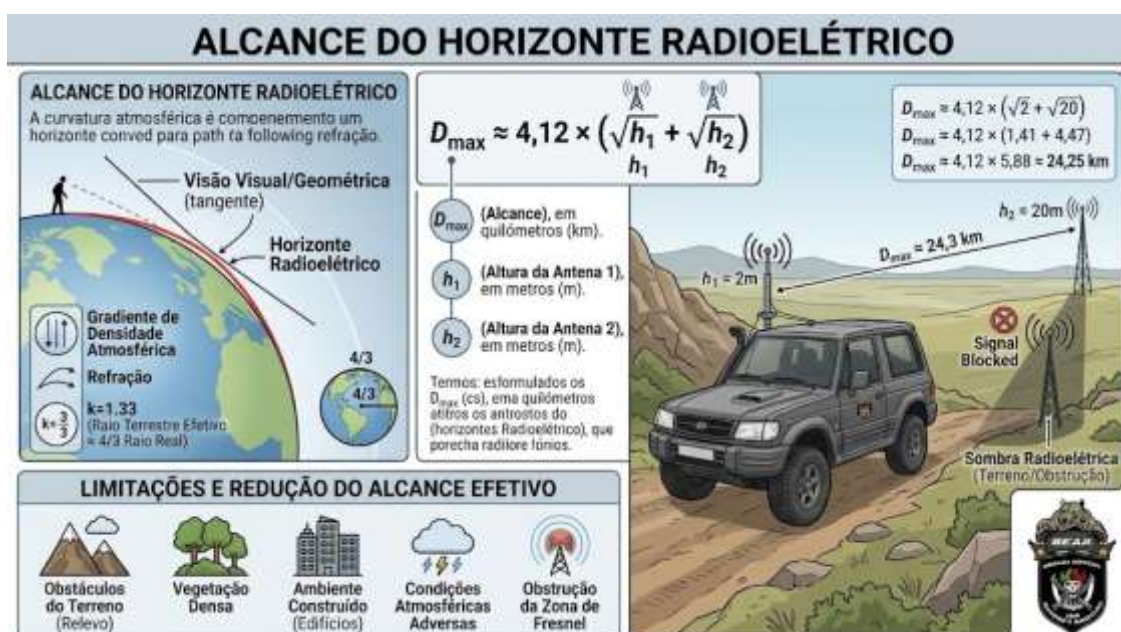
Alcance do Horizonte Radioelétrico

Devido à refração provocada pelo gradiente de densidade da atmosfera terrestre, as ondas de rádio podem sofrer uma ligeira curvatura durante a propagação. Em condições atmosféricas consideradas normais, este efeito é frequentemente aproximado através de um raio terrestre efetivo correspondente a cerca de 4/3 do raio real ($k \approx 1,33$).

O alcance aproximado do horizonte radioelétrico ($D_{\max}$), em quilómetros, entre duas antenas situadas a alturas h_1 e h_2 (em metros), pode ser estimado por:

$$D_{\max} \approx 4,12 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Esta fórmula representa uma aproximação teórica e não deve ser interpretada como garantia de cobertura. O relevo, a obstrução da zona de Fresnel, a vegetação, o ambiente construído e as condições atmosféricas podem reduzir significativamente o alcance efetivo.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



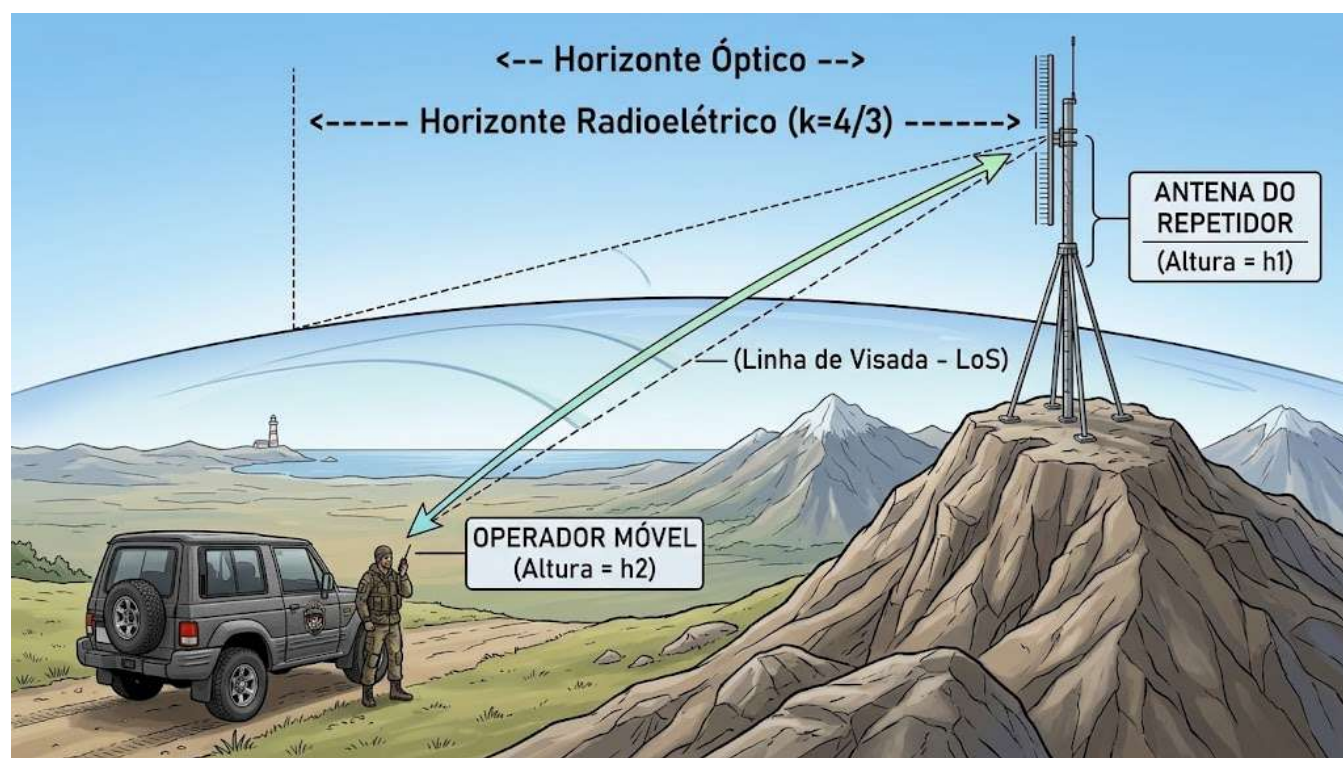
Fundado a 23 de março de 2016

A 1.ª Zona de Fresnel

A energia radioelétrica não se desloca exclusivamente ao longo de uma linha reta infinitesimal; a propagação ocorre num volume aproximadamente elipsoidal entre a antena transmissora e a antena recetora. Este volume é dividido em zonas elipsoidais designadas por **Zonas de Fresnel**.

O raio da 1.ª Zona de Fresnel (r_1), em metros, num determinado ponto P ao longo do percurso, pode ser calculado através de:

$$r_1 = 17,32 \times \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f_{\text{GHz}} \cdot D}}$$





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



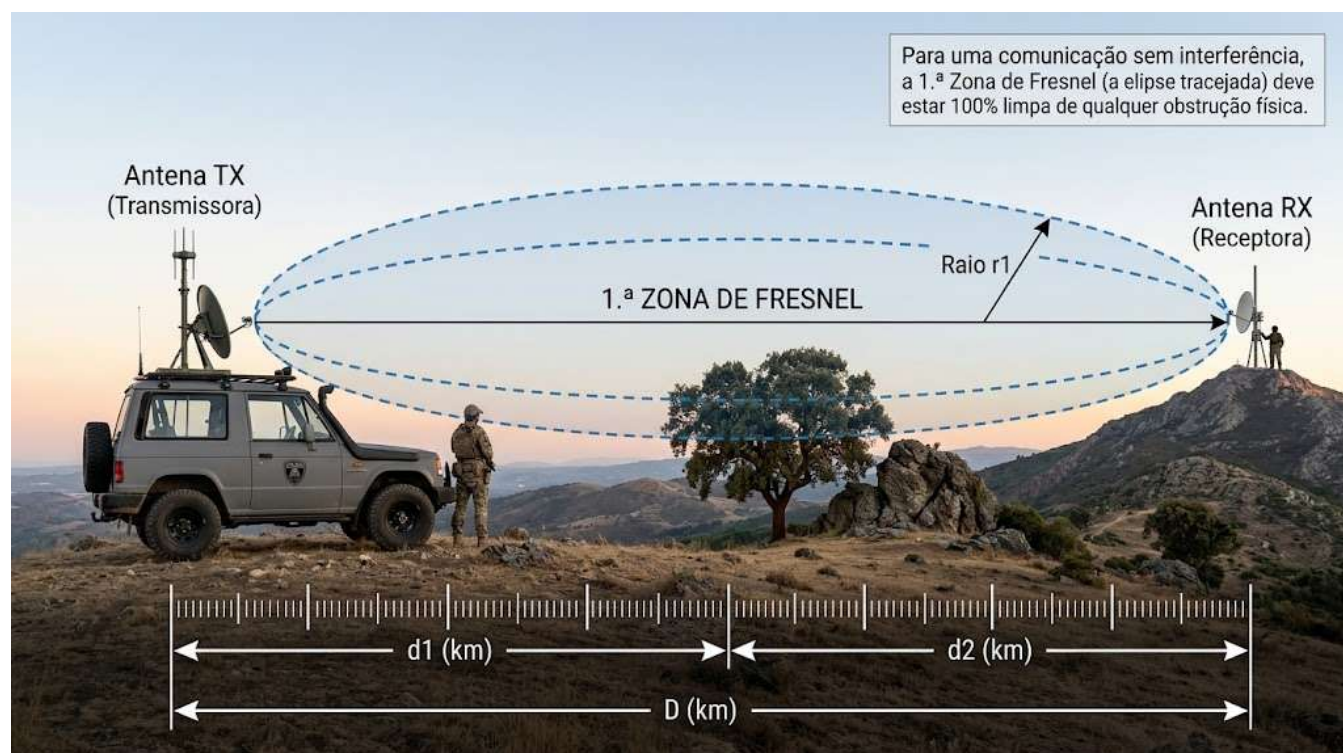
Fundado a 23 de março de 2016

Onde:

- d_1 : distância do ponto P ao transmissor (km);
- d_2 : distância do ponto P ao recetor (km);
- D : distância total da ligação, com $D = d_1 + d_2$ (km);
- f_{GHz} : frequência operacional em Gigahertz (GHz).

Para frequências expressas em Megahertz (f_{MHz}), a fórmula equivale a:

$$r_1 = 547,7 \times \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f_{\text{MHz}} \cdot D}}$$





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Critério de Obstrução da Zona de Fresnel

Para uma ligação de elevada fiabilidade, é desejável manter uma parte significativa da 1.ª Zona de Fresnel livre de obstáculos. Como regra prática, procura-se frequentemente garantir **pelo menos 60% do raio da 1.ª Zona de Fresnel desimpedido** ao longo do percurso.

O valor de 60% constitui uma regra de engenharia prática e não um requisito universal. O grau de desobstrução necessário depende da frequência, distância, geometria do percurso e margem de ligação pretendida.

[Caixa Técnica] Exemplo de Cálculo da Zona de Fresnel

Considere-se uma ligação de 20 km ($D = 20$ km) em UHF (435 MHz) entre um repetidor e uma estação de base. No ponto médio do percurso ($d_1 = 10$ km e $d_2 = 10$ km), o raio da primeira Zona de Fresnel (R_1) calcula-se da seguinte forma:

$$r_1 = 547,7 \times \sqrt{\frac{10 \times 10}{435 \times 20}}$$

$$r_1 = 547,7 \times \sqrt{\frac{100}{8700}}$$

$$r_1 \approx 58,7 \text{ metros}$$

O raio da 1.ª Zona de Fresnel no centro da ligação é, portanto, aproximadamente **58,7 metros**.

Considerando o critério prático de 60%, deverá procurar-se manter livre uma região correspondente a aproximadamente:

$$0,6 \times 58,7 \approx 35,2 \text{ metros}$$

a partir do eixo central da ligação.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752

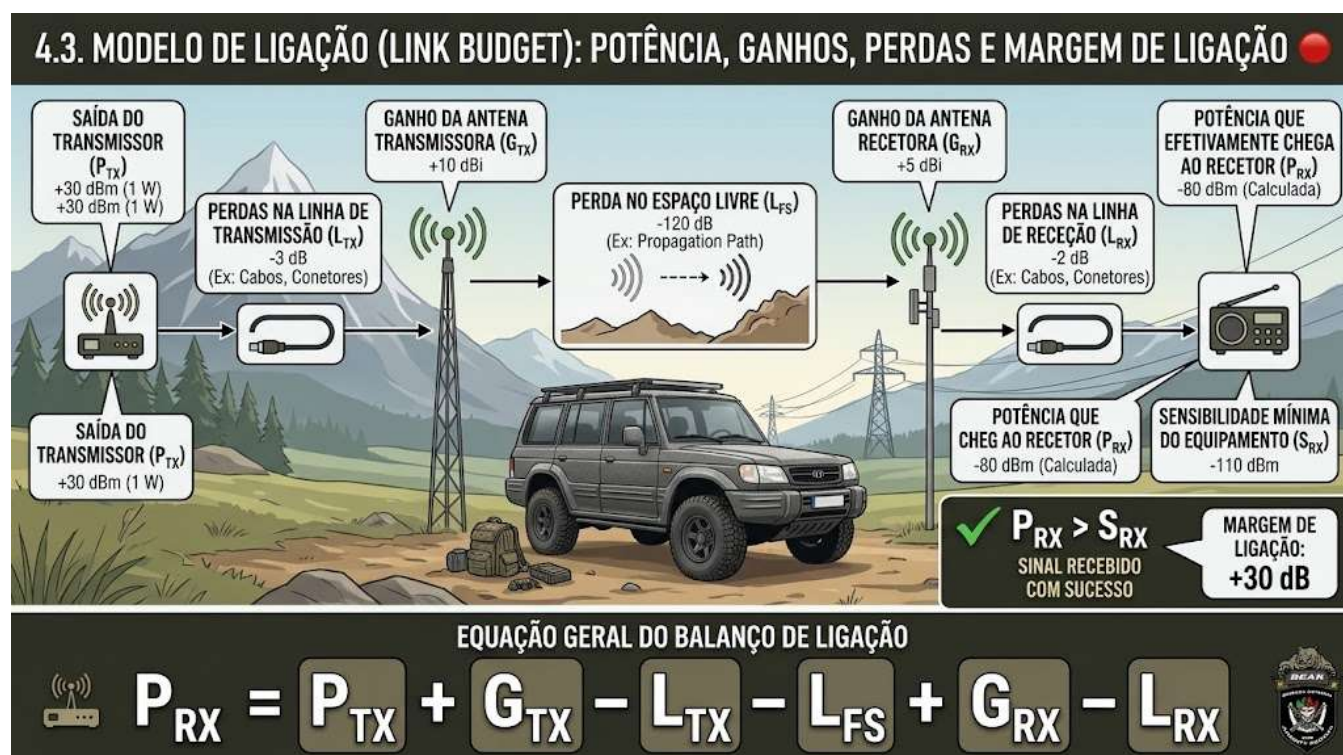


4.3. Modelo de Ligação (Link Budget): Potência, Ganhos, Perdas e Margem de Ligação

O Balanço de Ligação (Link Budget) é a equação de engenharia que contabiliza todos os ganhos e todas as perdas de potência desde a saída do transmissor até à entrada do recetor. O objetivo é determinar a potência que efetivamente chega ao recetor (P_{RX}) e verificar se esta permanece acima da sensibilidade mínima do equipamento (S_{RX}):

Equação Geral do Balanço de Ligação

$$P_{RX}(\text{dBm}) = P_{TX}(\text{dBm}) + G_{TX}(\text{dBi}) - L_{TX}(\text{dB}) - L_{FS}(\text{dB}) + G_{RX}(\text{dBi}) - L_{RX}(\text{dB})$$





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

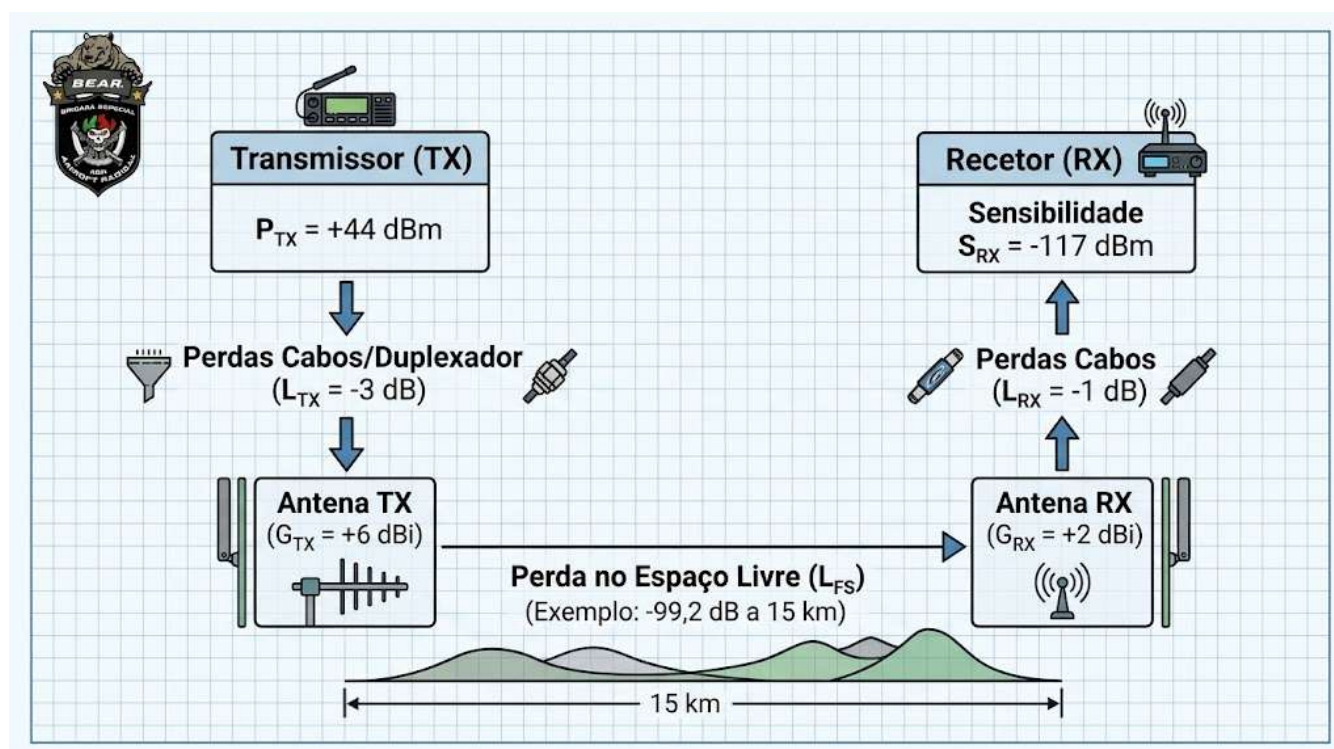
Onde:

- P_{RX} : potência de sinal recebida no recetor em dBm;
- P_{TX} : potência de saída do transmissor em dBm (5 W $\approx$ +37 dBm; 25 W $\approx$ +44 dBm; 50 W $\approx$ +47 dBm);
- G_{TX} : ganho da antena transmissora (dBi);
- L_{TX} : perdas na linha de transmissão do transmissor, incluindo cabos, conectores e duplexador (dB);
- L_{FS} : perda no espaço livre (*Free Space Path Loss* — FSPL) (dB);
- G_{RX} : ganho da antena recetora (dBi);
- L_{RX} : perdas na linha de transmissão do recetor (dB).

Atenuação em Espaço Livre (*Free Space Path Loss* - FSPL)

A perda de propagação em espaço livre (L_{FS}) aumenta com a distância e com a frequência, sendo calculada por:

$$L_{FS}(\text{dB}) = 32,44 + 20\log_{10}(d_{\text{km}}) + 20\log_{10}(f_{\text{MHz}})$$





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

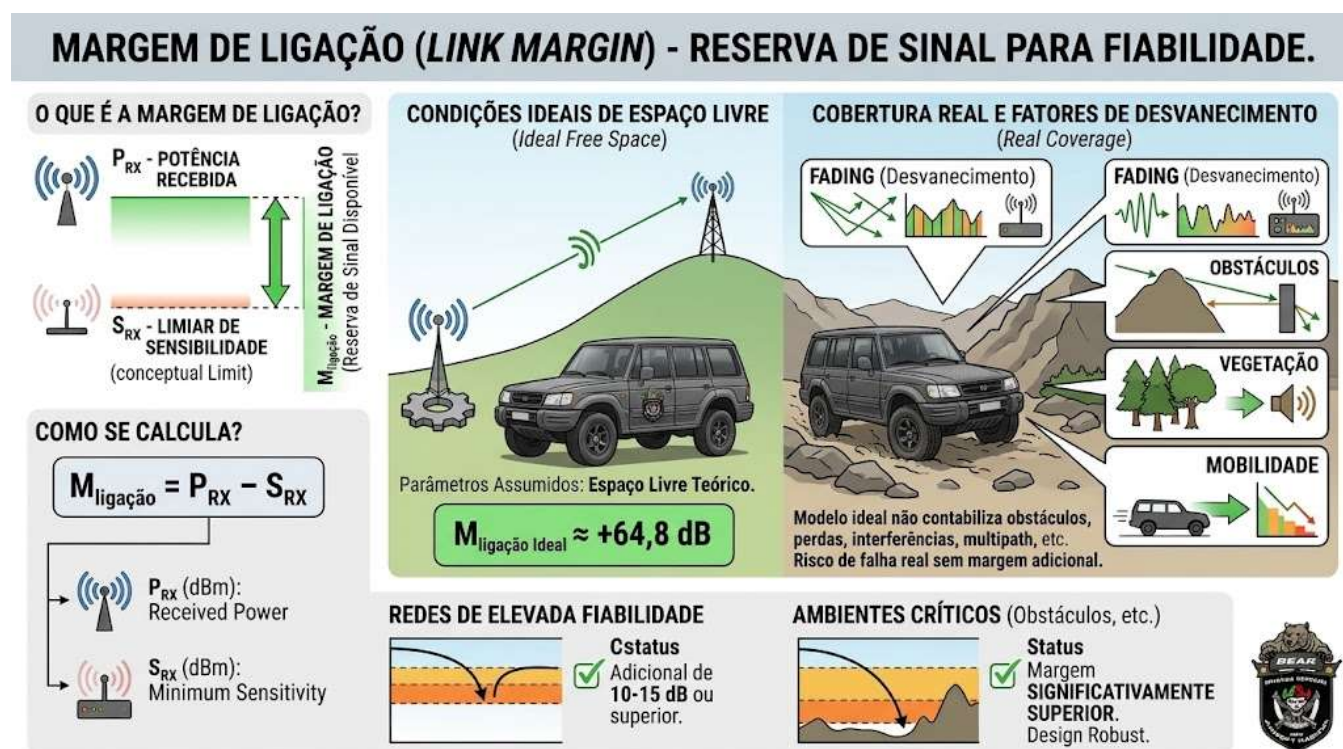
Margem de Ligação (Link Margin)

A Margem de Ligação ($M_{\text{ligação}}$) representa a reserva de sinal disponível acima do limiar de sensibilidade do recetor, sendo calculada por:

$$M_{\text{ligação}} \text{ (dB)} = P_{\text{RX}} \text{ (dBm)} - S_{\text{RX}} \text{ (dBm)}$$

Para redes de elevada fiabilidade, uma margem adicional de **10 a 15 dB ou superior** pode ser utilizada como objetivo de engenharia. Em ambientes sujeitos a desvanecimento, obstáculos, vegetação ou mobilidade, poderá ser necessária uma margem significativamente superior.

Conclusão: Em condições ideais de espaço livre e utilizando os parâmetros assumidos, o enlace apresenta uma margem teórica de aproximadamente **64,8 dB**. Este resultado não deve, contudo, ser interpretado como garantia de cobertura real, uma vez que o modelo de espaço livre não contabiliza obstáculos, desvanecimento, perdas de polarização, interferências, multipath ou outras perdas de propagação.

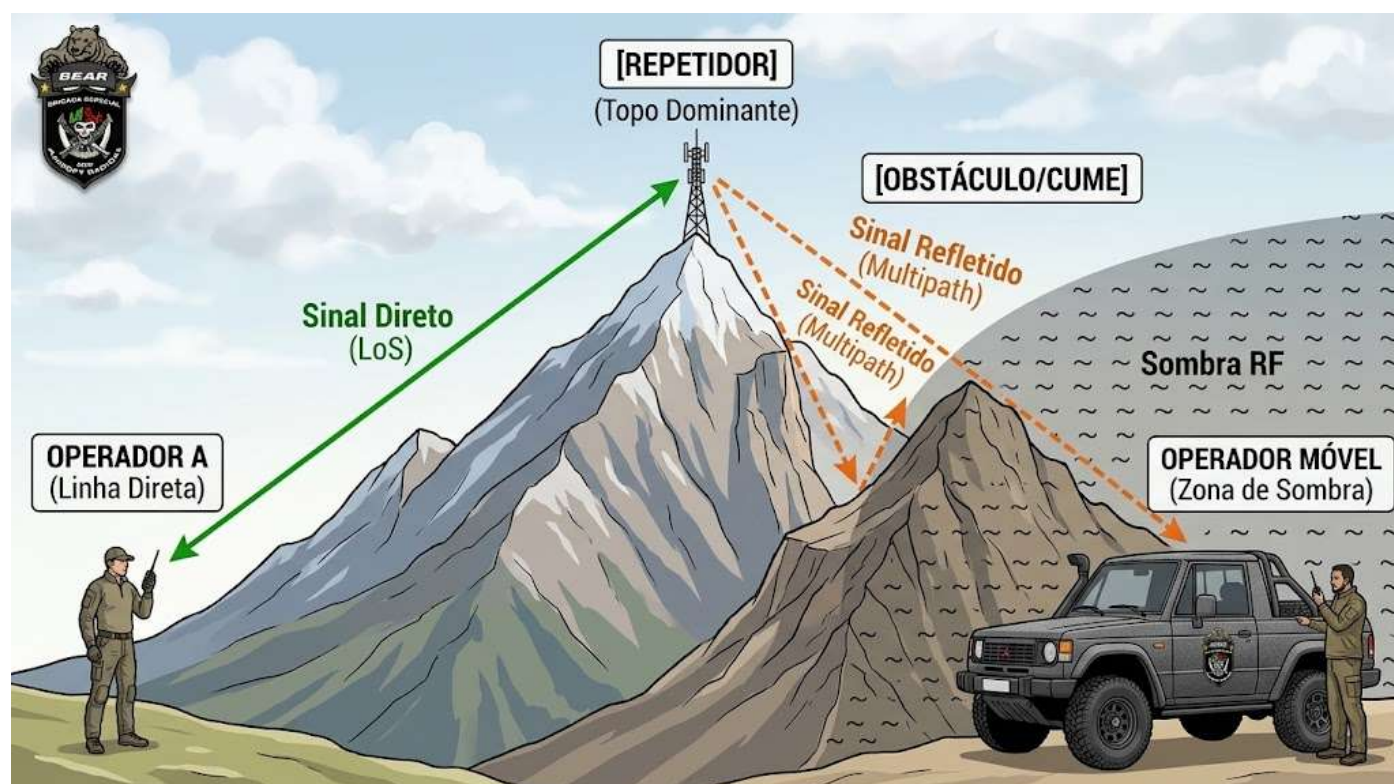


4.4. Sombreamento Topográfico, Obstáculos e Seleção do Local

Em terrenos acidentados, a presunção de espaço livre é invalidada pela presença de acidentes orográficos que se intermeiam no percurso radioelétrico, originando zonas de sombra por difração de bordo de faca (*Knife-Edge Diffraction*) ou perdas adicionais provocadas pelo relevo.

4.4.1. Fenómenos de Degradação de Sinal em Campo

- **Sombreamento Topográfico:** Ocorre quando uma elevação do terreno bloqueia a linha de visada e/ou uma parte significativa da 1.ª Zona de Fresnel, criando uma zona de atenuação que pode ser muito significativa. A perda adicional não possui um valor fixo e depende da geometria do obstáculo e do percurso.
- **Propagação Multicaminho (*Multipath*):** Ocorre quando o sinal refletido em encostas, edifícios, estruturas ou superfícies de água atinge a antena recetora com diferentes fases e atrasos relativamente ao sinal direto. Em FM analógico pode produzir distorção e variações rápidas do nível do sinal (*picket fencing*) durante o movimento. Em sistemas digitais pode aumentar o BER (*Bit Error Rate*) e, quando ultrapassada a capacidade de correção do sistema, provocar degradação ou perda do áudio.
- **Ruído de Fundo do Local (*Noise Floor*):** A presença de linhas de alta tensão, transformadores, equipamentos industriais, emissores próximos ou outras fontes de RF pode aumentar o nível de ruído no local, reduzindo a relação sinal/ruído e a sensibilidade efetiva do recetor do repetidor.



4.4.2. Metodologia de Seleção do Local para Instalação de Repetidores (Site Selection)



- Análise Topográfica Computacional:** Utilização de ferramentas de simulação de cobertura RF baseadas em Modelos Digitais de Elevação (DEM) e modelos de propagação adequados ao cenário, como Longley-Rice/ITM ou outros modelos apropriados, para estimar a cobertura prevista antes do desdobramento físico.
- Cota Dominante Relativa:** Selecionar locais que apresentem elevada altitude em relação à área operacional, e não apenas a maior altitude absoluta da região. Um ponto ligeiramente mais baixo pode proporcionar melhor cobertura se apresentar melhores linhas de visada para a área pretendida.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3. **Afastamento de Fontes de Interferência:** Manter distância adequada de linhas de alta tensão, emissores de radiodifusão, estações base de redes móveis e outras fontes de RF. **Não existe, contudo, uma distância universal de 50 a 100 metros aplicável a todas as situações;** a separação necessária depende da potência, frequência, características das antenas, seletividade do recetor e ambiente eletromagnético. Sempre que possível, deve realizar-se uma avaliação do ruído e dos sinais presentes no local.
4. **Acessibilidade e Segurança Física:** Garantir condições mecânicas adequadas para a instalação e ancoragem dos mastros, exposição solar suficiente quando existam sistemas fotovoltaicos e proteção física contra intempéries, queda de objetos, vandalismo ou acesso não autorizado.

[Caixa Segurança] Avaliação de Riscos Geográficos no Site Survey

Ao seleccionar a localização para um repetidor tático, a avaliação técnica não se pode limitar ao alcance radioelétrico. Locais expostos em cristas desnudadas apresentam maior exposição a descargas atmosféricas, ventos fortes e outras condições meteorológicas adversas.

Sempre que tecnicamente possível, pode ser vantajoso seleccionar um local ligeiramente abaixo da crista geométrica máxima (off-ridge), aproveitando alguma proteção natural contra o vento, desde que a linha de visada e a Zona de Fresnel para a área operacional permaneçam adequadamente desimpedidas.

*A instalação deve ainda contemplar **ligação à terra, proteção contra descargas atmosféricas e proteção contra sobretensões**, de acordo com a natureza da instalação e os requisitos aplicáveis.*

[Caso Prático BEAR] Erro de Posição por Cume Mascarado

Durante o planeamento de uma rede de retransmissão para apoio a uma prova de orientação, a equipa técnica instalou o repetidor no ponto de maior altitude absoluta indicado na carta. Contudo, o local encontrava-se numa depressão rodeada por dois cumes rochosos ligeiramente mais elevados a Norte e a Oeste.

A área operacional a Norte ficou sem cobertura devido ao sombreamento topográfico. A análise posterior demonstrou que um esporão secundário, aproximadamente 80 m mais baixo, apresentava melhores condições de linha de visada sobre o vale principal.

A deslocalização do repetidor para esse ponto permitiu melhorar significativamente a cobertura da área operacional, demonstrando que a melhor localização de um repetidor não é necessariamente o ponto de maior altitude absoluta, mas o ponto que proporciona a melhor relação entre altitude, linha de visada, desobstrução da Zona de Fresnel, acessibilidade e segurança da instalação.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





Capítulo 5 – Arquitetura e Componentes

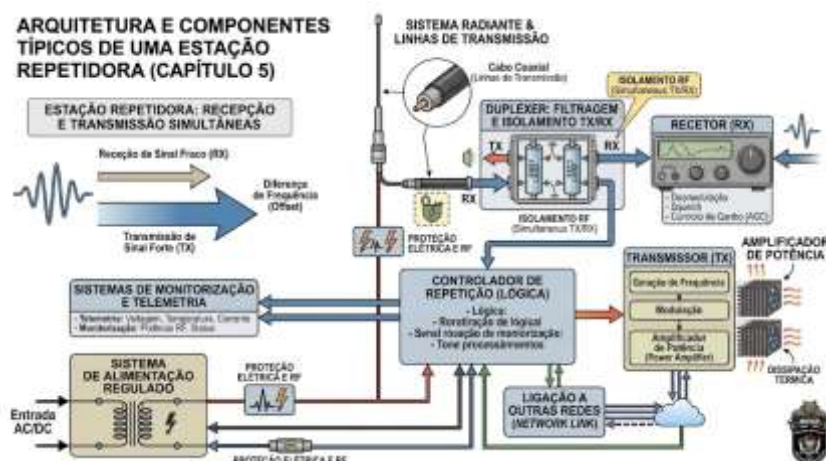
A eficiência, fiabilidade e imunidade à interferência de uma estação repetidora dependem da correta seleção, dimensionamento e integração dos seus componentes.

Ao contrário de uma utilização convencional de um transceptor portátil ou móvel, um repetidor pode ter de receber e transmitir de forma praticamente simultânea. Esta condição impõe requisitos específicos ao sistema de radiofrequência (RF), particularmente no que respeita à seletividade, isolamento entre transmissão e receção, estabilidade de frequência, dissipação térmica, alimentação e qualidade do sistema radiante.

Uma arquitetura repetidora típica integra:

- recetor (RX);
- transmissor (TX);
- controlador ou lógica de repetição;
- sistema de filtragem/duplexação, quando aplicável;
- antena;
- linhas de transmissão;
- sistema de alimentação;
- proteção elétrica e RF;
- sistema de dissipação térmica;
- eventualmente, sistemas de monitorização, telemetria e ligação a outras redes.

A configuração concreta depende da tecnologia utilizada, da banda de frequência, do modo de operação, da potência, da separação entre TX e RX e do contexto regulamentar da estação.



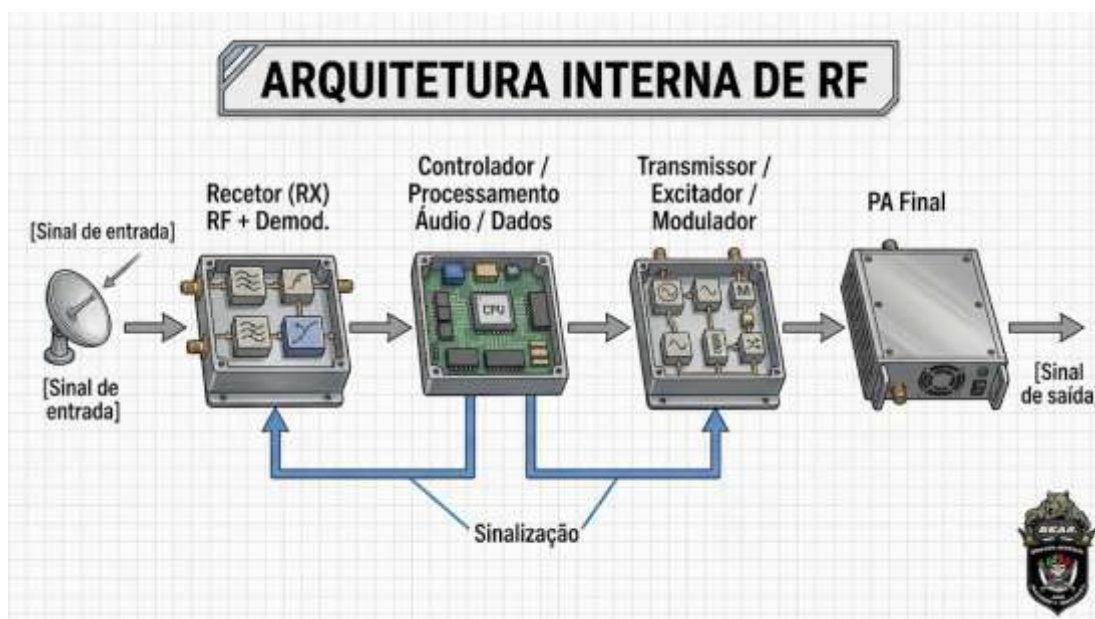


Fundado a 23 de março de 2016

5.1. Módulos Recetores (RX) e Transmissores (TX) ●

Os módulos de receção e transmissão constituem o núcleo ativo da estação repetidora.

Num sistema convencional, o recetor recebe o sinal proveniente das estações utilizadoras, enquanto o transmissor gera uma nova emissão na frequência de saída do repetidor.



5.1.1. O Módulo Recetor (RX)

O recetor determina, em grande medida, a capacidade da estação para detetar sinais fracos na presença de outros sinais radioelétricos.

Entre os principais parâmetros encontram-se:

5.1.2. Sensibilidade

A **sensibilidade** representa a capacidade do recetor para receber e processar adequadamente um sinal de baixa intensidade.

Em sistemas analógicos FM é frequentemente especificada através de uma determinada relação **SINAD**, enquanto em sistemas digitais pode ser indicada através de parâmetros como BER, taxa de pacotes ou condições mínimas de receção definidas pelo fabricante.

A sensibilidade não deve ser analisada isoladamente. Um recetor extremamente sensível pode apresentar desempenho inferior num ambiente com sinais fortes próximos se possuir baixa imunidade a interferências.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.1.3. Seletividade

A **seletividade** representa a capacidade do recetor para rejeitar sinais situados fora do canal pretendido.

É particularmente importante em locais onde coexistem:

- vários repetidores;
- estações de elevada potência;
- redes móveis;
- radiodifusão;
- sistemas PMR;
- outros transmissores instalados na proximidade.

Os valores de seletividade dependem da largura de canal, tecnologia, frequência de teste e especificação do fabricante, pelo que não deve ser utilizado um único valor universal como requisito para todos os repetidores.

5.1.4. Rejeição de intermodulação

A **rejeição de intermodulação** representa a capacidade do recetor para continuar a funcionar corretamente quando é exposto a sinais fortes que podem produzir produtos de intermodulação nos seus circuitos de entrada.

Este parâmetro assume especial importância em instalações com múltiplos emissores.

5.1.5. O Módulo Transmissor (TX)

O transmissor converte o sinal de áudio ou dados proveniente do sistema de processamento numa emissão radioelétrica na frequência de saída do repetidor.

Pode incluir:

1. sintetizador de frequência;
2. modulador;
3. excitador;
4. amplificador de potência;
5. filtros de saída;
6. circuitos de proteção e monitorização.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



Fundado a 23 de março de 2016

5.1.6. Amplificador de Potência (PA)

O Power Amplifier (PA) determina a potência efetivamente disponibilizada ao sistema radiante.

Um repetidor destinado a funcionamento intenso deve ser dimensionado para o ciclo de trabalho previsto. **100% de duty cycle não significa que qualquer equipamento possa transmitir continuamente à sua potência máxima.** Significa que o equipamento foi projetado pelo fabricante para suportar a condição de funcionamento especificada.

A capacidade térmica depende de fatores como:

- potência de saída;
- temperatura ambiente;
- ventilação;
- duração das transmissões;
- eficiência do PA;
- impedância e ROE da antena;
- desenho do dissipador;
- condições de instalação.

Por isso, a potência nominal do equipamento nunca deve ser considerada isoladamente.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.1.7. Emissões espúrias e harmónicas

O transmissor deve limitar as emissões fora do canal e as componentes harmónicas de acordo com os requisitos técnicos e regulamentares aplicáveis à estação.

Os limites exatos dependem do serviço, faixa de frequência, largura de canal, potência e requisitos de conformidade aplicáveis.

Assim, valores como **-60 dBc** ou **-70 dBc** devem ser tratados como exemplos de desempenho de determinados equipamentos e não como um limite legal universal.

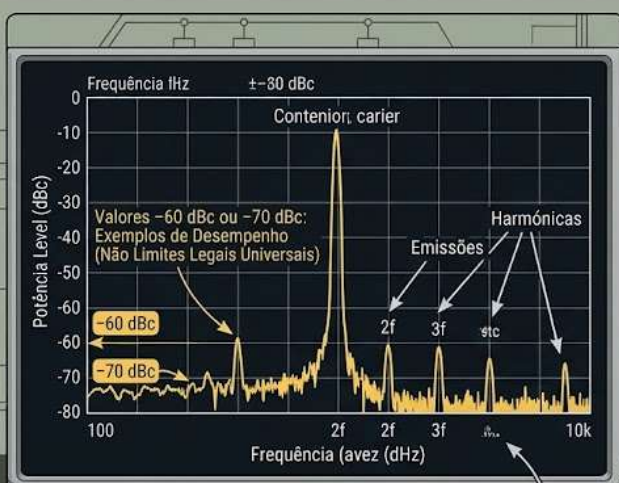
[Caixa Técnica] Entender a Relação SINAD

SINAD (Signal-to-Noise and Distortion) é uma medida da relação entre o sinal recebido e a combinação de ruído e distorção.

Em recetores analógicos FM, a sensibilidade é frequentemente especificada para um determinado valor de SINAD, sendo **12 dB SINAD** uma referência tradicional utilizada nas especificações de muitos equipamentos.

O valor efetivo de sensibilidade depende, contudo, da metodologia de ensaio e da especificação do fabricante.

5.1.7. Emissões espúrias e harmónicas



Limites dependem de:

- Serviço
- Faixa de Frequência
- Largura de Canal
- Potência
- Requisitos de Conformidade

Valores -60 dBc ou -70 dBc:
Exemplos de Desempenho
(Não Limites Legais Universais)

[Caixa Técnica] Entender a Relação SINAD

Sinal Recebido (Desejado de Sinal) de operação + Ruído e Distorção (Ruído com e Distorção) = Sinal Medido (Used in SINAD calculado)

Em recetores de analógicos FM, sensibilidade Metodologia de Ensaio Transmissor e Especificação pela Sociedade do Fôntecar



SINAD (Signal-to-Noise and Distortion)
Em recetores analógicos FM, a sensibilidade é frequentemente especificada, a faixa de nilamento.

O valor efetivo depende de:

- Metodologia de Ensaio
- Metodologia de Ensaio
- Especificação do Fabricante



5.2. O Duplexador: Filtros de Cavidade, Isolamento e Prevenção de Dessensibilização (Desense) ●

Num repetidor que utiliza uma única antena para transmissão e receção simultâneas, é necessário separar adequadamente os caminhos de TX e RX.

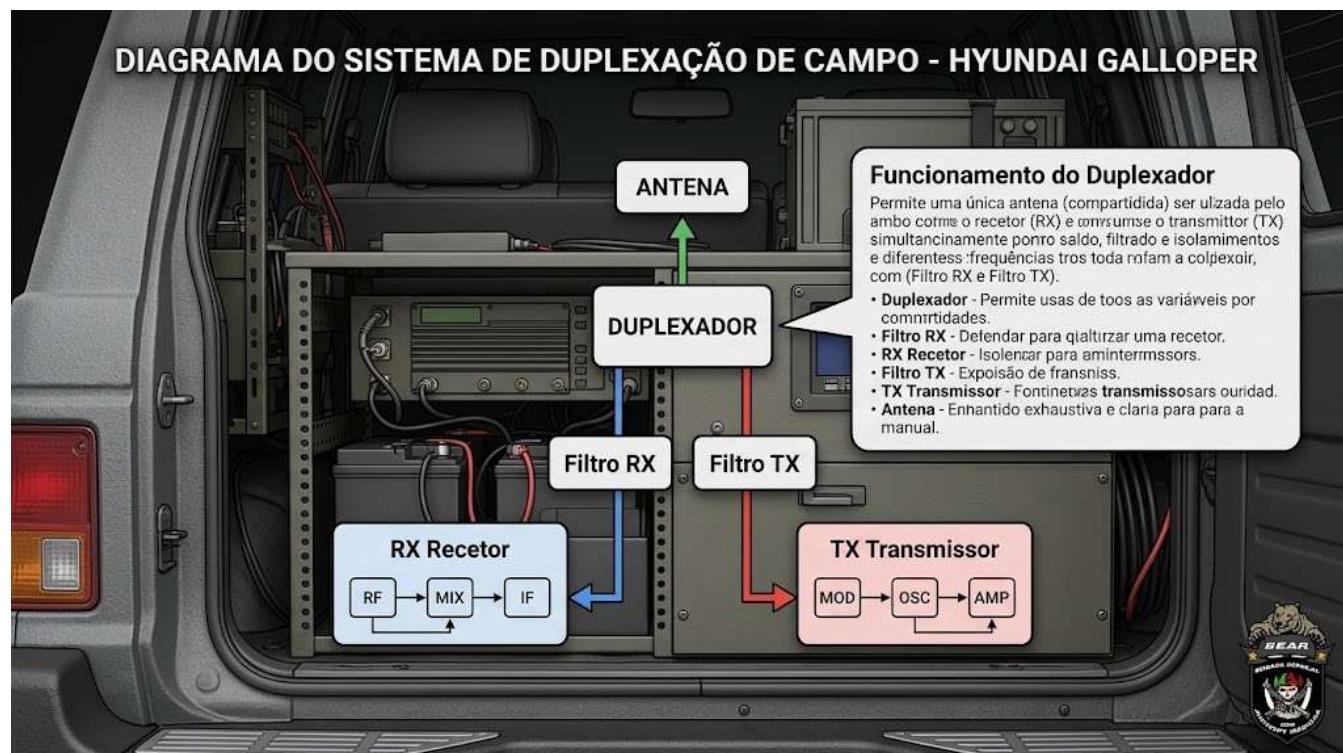
O problema resulta da enorme diferença entre:

- a potência produzida pelo transmissor; e
- os níveis extremamente reduzidos dos sinais que o recetor pretende detetar.

Por exemplo, um transmissor de 25 W produz aproximadamente **+44 dBm**, enquanto um sinal próximo da sensibilidade de um recetor pode encontrar-se abaixo de **-120 dBm**.

A diferença potencial ultrapassa, portanto, 160 dB.

O **duplexador** é um conjunto de filtros RF que permite utilizar uma antena comum, proporcionando isolamento entre os circuitos de transmissão e receção.





Fundado a 23 de março de 2016

5.2.1. O fenómeno da dessensibilização (*Desense*)

A **dessensibilização** ocorre quando a emissão do próprio repetidor, ou outras emissões fortes presentes no local, degradam a capacidade do recetor para detetar sinais fracos.

O recetor pode não sofrer qualquer dano físico. No entanto, a sua sensibilidade efetiva diminui.

Na prática, o resultado pode ser:

O repetidor transmite normalmente, mas deixa de conseguir ouvir estações distantes enquanto está a transmitir.

As causas podem incluir:

- isolamento TX/RX insuficiente;
- filtragem inadequada;
- espúrios do transmissor;
- ruído de banda larga;
- intermodulação;
- saturação do front-end;
- cabos ou conectores defeituosos;
- problemas de aterramento;
- proximidade excessiva de outros emissores.

5.2.1. O FENÓMENO DA DESSENSIBILIZAÇÃO (DESENSE)



Fundado a 23 de março de 2016

5.2.2. Tipologias de filtragem

1. Filtros passa-banda (*Band-Pass*)

Permitem a passagem de uma determinada faixa de frequências e atenuam as frequências exteriores.

São úteis quando é necessário controlar simultaneamente a largura da banda transmitida ou recebida.

2. Filtros rejeita-banda (*Notch / Band-Reject*)

Produzem uma forte atenuação numa determinada frequência ou região estreita do espectro.

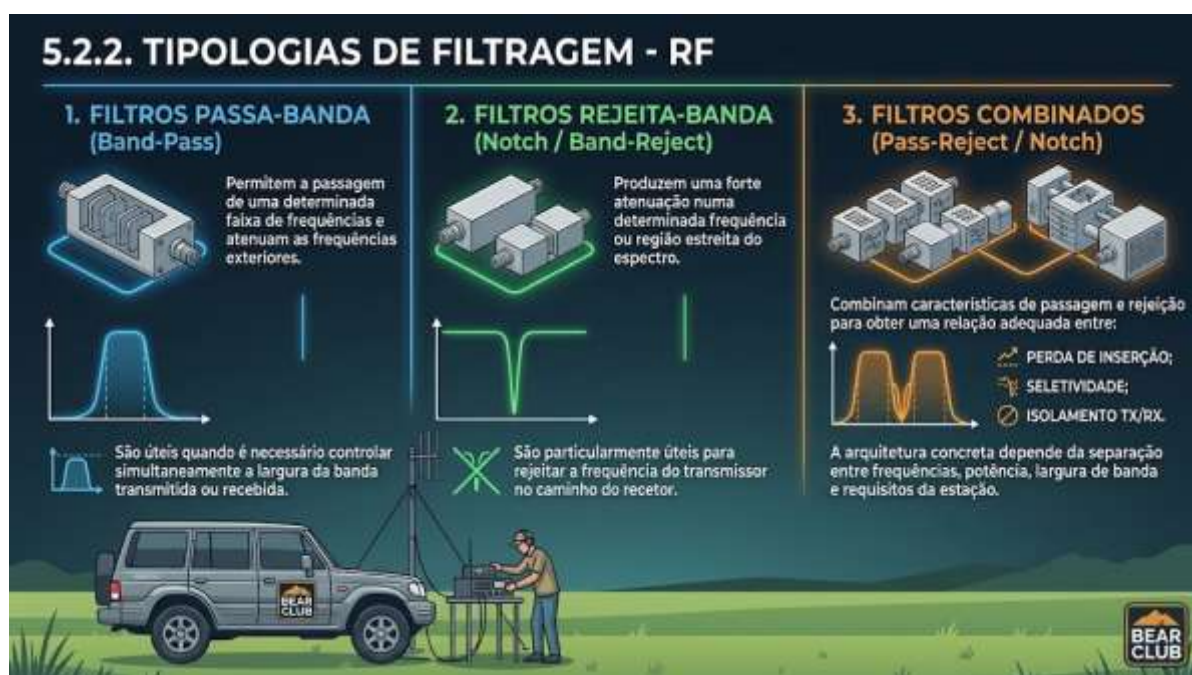
São particularmente úteis para rejeitar a frequência do transmissor no caminho do recetor.

3. Filtros combinados (*Pass-Reject / Notch*)

Combinam características de passagem e rejeição para obter uma relação adequada entre:

- perda de inserção;
- seletividade;
- isolamento TX/RX.

A arquitetura concreta depende da separação entre frequências, potência, largura de banda e requisitos da estação.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.2.3. Isolamento TX/RX

Uma aproximação inicial ao problema pode ser obtida comparando a potência transmitida com o nível máximo de sinal que se pretende permitir na entrada do recetor.

Contudo, **não é correto calcular o isolamento necessário simplesmente através da diferença entre a potência TX e a sensibilidade RX.**

Por exemplo: $+44 \text{ dBm} - (-120 \text{ dBm}) = 164 \text{ dB}$

Este valor não representa automaticamente o isolamento necessário do duplexador.

Na realidade, o nível admissível na entrada do recetor depende de vários fatores, incluindo:

- seletividade do recetor;
- rejeição do canal adjacente;
- ruído de fase do transmissor;
- emissões espúrias;
- características do duplexador;
- distância de frequência entre TX e RX;
- potência efetiva transmitida;
- perdas dos cabos e conectores;
- margem operacional desejada.

Assim, o isolamento necessário deve ser determinado através da **especificação do sistema completo e de medições RF**, e não apenas pela sensibilidade nominal.

[Caixa Técnica] Exemplo de Avaliação de Isolamento

Considere um repetidor com: TX = 25 W (+44 dBm); RX com sensibilidade nominal próxima de -120 dBm;
Duplexador especificado pelo fabricante para determinado isolamento TX/RX.

A diferença entre +44 dBm e -120 dBm é de 164 dB.

Isto não significa que o duplexador tenha de proporcionar 164 dB de isolamento.

O recetor não precisa necessariamente de estar protegido até ao nível da sua sensibilidade absoluta. O objetivo é garantir que o sinal residual do transmissor, juntamente com ruído de fase e restantes emissões, não degrade significativamente a sensibilidade ou o desempenho do recetor.

A validação deve ser feita através da especificação do fabricante e, numa instalação crítica, através de ensaios de isolamento e sensibilidade com o sistema TX/RX em funcionamento.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.3. Antenas e Linhas de Transmissão ●

O sistema radiante constitui uma das partes mais importantes da estação repetidora.

Uma diferença aparentemente pequena nas perdas do sistema de alimentação ou no ganho efetivo da antena pode representar uma alteração significativa na cobertura.

O sistema deve ser analisado como um conjunto:

TX → cabo → conectores → duplexador → cabo → antena → espaço livre

e, no sentido inverso:

antena → cabo → duplexador → RX

5.3.1. Antenas omnidirecionais

As antenas verticais omnidirecionais procuram proporcionar cobertura aproximadamente uniforme no plano horizontal.

São particularmente adequadas quando o objetivo é cobrir uma área em várias direções.

Entre as soluções utilizadas encontram-se:

- dipolos;
- dipolos empilhados;
- colineares;
- sistemas de dipolos múltiplos.

O ganho de uma antena omnidirecional não significa simplesmente "mais alcance em todas as direções".

Em muitos casos, o aumento do ganho horizontal é conseguido através da **compressão do diagrama de radiação vertical**.

Assim:

Quanto maior for a concentração de energia no plano horizontal, mais importante se torna avaliar a inclinação do feixe (*downtilt*) e a topografia da área a cobrir.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.3.2. Antenas direcionais

Antenas como:

- Yagi-Uda;
- log-periódicas;
- painéis;

podem concentrar energia numa determinada direção.

São particularmente úteis para:

- enlaces ponto-a-ponto;
- interligação entre repetidores;
- cobertura de um vale específico;
- instalações onde não seja necessária cobertura de 360°.



5.4. Linhas de Transmissão e Cabos Coaxiais

A maioria dos sistemas móveis terrestres de RF utiliza linhas de transmissão com impedância característica de **50 Ω** .

Todos os elementos devem ser adequadamente compatíveis:

- transmissor;
- duplexador;
- cabo;
- conectores;
- antena.

A existência de uma impedância incompatível pode provocar reflexões e aumentar a **Relação de Onda Estacionária (ROE/SWR)**.

Contudo, uma ROE elevada não é simplesmente "energia que desaparece": parte da potência é refletida de volta para o transmissor e pode provocar perda de eficiência ou, dependendo do equipamento, atuação dos circuitos de proteção.

5.4. LINHAS DE TRANSMISSÃO E CABOS COAXIAIS

Sistema Completo e Compatível

Todos os elementos devem ser compatíveis: 50 Ω Impedância Característica.

Todos os elementos devem ser compatíveis: 50 Ω Impedância Característica.

Impedância Incompatível e ROE/SWR

Tipo de incompatível (- Incompatível)

Cabo Incompatível

Cabo Coaxial incompatível

Sinal Incidente (Blue)

Sinal Refletido (Red)

Relação de Onda Estacionária (ROE/SWR)

ROE > 4:1

Impedância Incompatível → Reflexões → Aumento da ROE/SWR.

Consequências da ROE Elevada

Sistema Ideal

Sistema Problemático

Parte da potência refletida de volta para o transmissor. Perda de eficiência global do sistema.

Atuação dos Circuitos de Proteção do Transmissor.

Não é apenas "energia que desaparece": Energia vira calor e reflexão.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.4.1. Atenuação do cabo

Todo o cabo coaxial apresenta perdas.

Essas perdas aumentam geralmente com:

- frequência;
- comprimento;
- temperatura;
- qualidade/construção do cabo;
- qualidade dos conectores e terminações.

Por isso, a escolha do cabo é particularmente importante em instalações UHF e em mastros elevados.

Valores de referência aproximados

Cabo	Atenuação aproximada a 150 MHz	Atenuação aproximada a 450 MHz	Aplicação típica
RG-58	elevada	muito elevada	Chicotes muito curtos
RG-213	moderada	elevada	Instalações curtas/médias
LMR-400 / equivalentes	baixa	moderada	Alimentação de antenas em instalações móveis/táticas
1/2" Heliax / Cellflex	muito baixa	baixa	Instalações fixas e lances longos

Os valores exatos devem ser obtidos na ficha técnica do fabricante do cabo, uma vez que podem variar significativamente entre fabricantes e construções.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.5. Conectores de RF e Instalação ●

Os conectores constituem uma parte frequentemente subestimada do sistema RF.

Entre os conectores utilizados em instalações de radiocomunicações encontram-se:

- N-Type;
- TNC;
- BNC;
- SMA;
- PL-259/SO-239;
- conectores específicos para cabos de baixa perda.

O **N-Type** é frequentemente utilizado em instalações profissionais e exteriores devido à sua robustez mecânica e disponibilidade em versões adequadas para utilização exterior.

Contudo, **não é correto afirmar que o N-Type seja legalmente obrigatório em todos os repetidores.**

A escolha deve considerar:

- frequência;
- potência;
- ambiente;
- estanqueidade;
- impedância;
- qualidade da montagem;
- compatibilidade com o cabo e equipamento.

5.5. CONECTORES DE RF E INSTALAÇÃO ●

Conectores são subestimados que observam condizências comuns em situações baseadas usadas.

GALERIA DE CONECTORES

- N-Type**: Robusto, exterior
- TNC**: Common use
- BNC**: Common use
- SMA**: Pequeno, handido
- PL-259/SO-239**: UHF base a estações
- Exemplo de exemplo de cabo de baixa perda

N-TYPE: Instalações Profissionais e Exteriores

- ✓ Robustar
- ✓ Adequada com e Exteriores

MITO: O N-Type não é legalmente obrigatório em todos os repetidores (Falso).

ESCOLHA DEVE CONSIDERAR

- Frequência
- Potência
- Ambiente
- Impedância
- Qualidade da Montagem e cabos e equipamento
- Compatibilidade

INSTALAÇÕES EXTERIORES E CONSEQUÊNCIAS DE UMA MÁ TERMINAÇÃO

- Tapo
- Sela com a bolha

PROBLEMAS CAUSADOS

- Aumento da ROE
- Perdas Adicionais
- Entrada de Água e Corrosão
- Interferências
- PM - Intermodulação Passiva

Fundado a 23 de março de 2016

Em instalações exteriores, a proteção contra entrada de água e humidade é particularmente importante.

Uma má terminação pode provocar:

- aumento da ROE;
- perdas adicionais;
- entrada de água no cabo;
- corrosão;
- intermitências;
- problemas de intermodulação passiva (PIM).

[Caixa Segurança] Conectores e Humidade

Um conector exterior corretamente instalado deve ser protegido contra infiltração de água através de técnicas adequadas de vedação.

A água que penetra no sistema coaxial pode alterar significativamente as características elétricas do cabo e provocar perdas adicionais, aumento da ROE e degradação progressiva da instalação.

A inspeção periódica das terminações deve fazer parte da manutenção de qualquer estação repetidora instalada no exterior.

[Caixa Segurança] Conectores e Humidade

PROPER INSTALLATION & SEALING

- 1 N-Type Connector (Realistic rendering)
- 2 Fita Auto-amalgamante (Self-Amalgamating Tape)
- 3 Manga Termorrelátil adesiva (Adhesive-lined heat-shrink tubing)

Conector exterior corretamente instalado (Vedações Adequadas)

WATER PROBLEM & CONSEQUENCES

Infiltração de Água

A Perdas adicionais (High Loss Gauge, reduced signal wave)

B Aumento da ROE (ROE ↑, high VSWR spike on a graph)

C Deterioração do Dielétrico

Degradação progressiva (Corrosion illustration on the shield, time-progression before and after)

• Instalar conectores externos com vedações adequadas é vital.
• Água no sistema coaxial altera características, causa **perdas adicionais, aumento de ROE e degradação progressiva**.
• A manutenção inclui inspeções periódicas das terminações em todas as estações repetidoras instaladas no exterior.

PERIODIC INSPECTION & MAINTENANCE

Logótipo do Clube Bear (Exemplo para Manuais)

Inspeção periódica das terminações (Parte da manutenção)

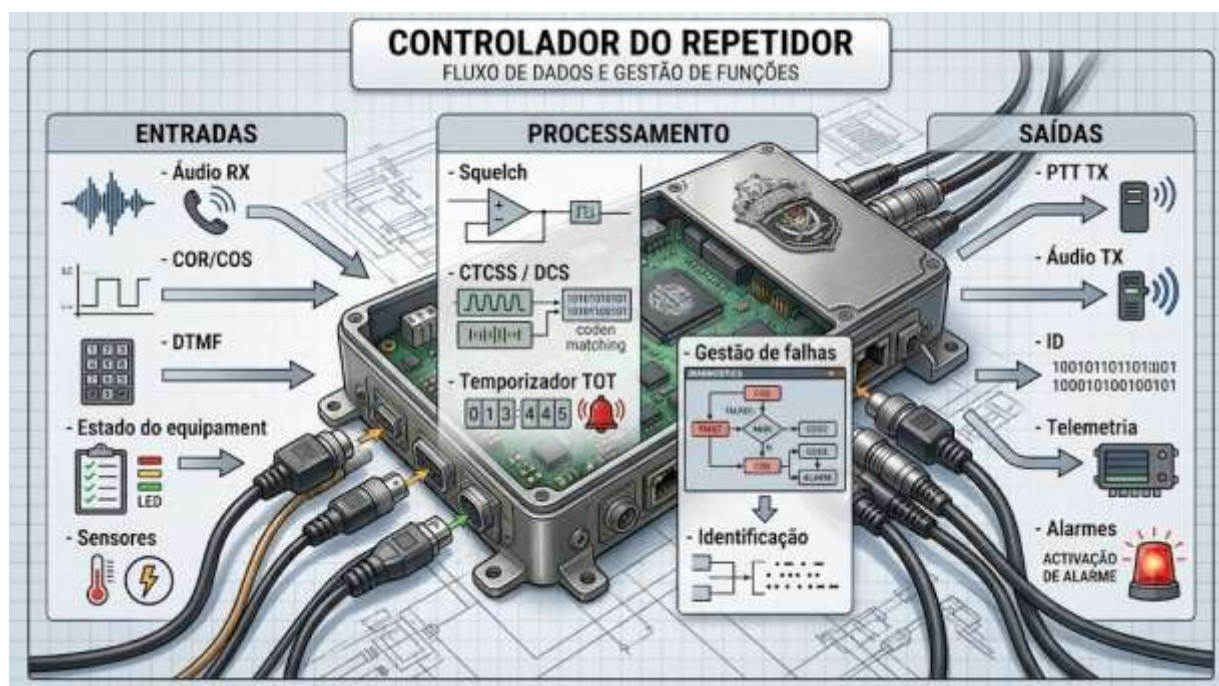
Cooler 23.0

Fundado a 23 de março de 2016

5.6. Lógica de Controlo, Sinalização e Identificação ●

A lógica de controlo (*Repeater Controller*) gere o comportamento funcional da estação.

Dependendo da arquitetura, pode ser um circuito integrado no próprio repetidor ou uma unidade externa.



Funções possíveis

Dependendo do equipamento e da configuração, o controlador pode executar:

1. deteção de atividade;
2. validação de CTCSS/DCS;
3. controlo do PTT;
4. temporização TOT;
5. hang time;
6. identificação da estação;
7. processamento DTMF;
8. telemetria;
9. monitorização térmica;
10. proteção contra condições anormais.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

- **CTCSS**

O **CTCSS** (*Continuous Tone-Coded Squelch System*) utiliza um tom subaudível associado à transmissão.

O repetidor pode ser configurado para apenas aceitar transmissões que contenham o tom correto. É importante compreender que:

CTCSS não é um sistema de segurança ou encriptação.

Qualquer utilizador que conheça a frequência do tom pode reproduzi-lo.

A sua principal função é controlar o acesso ao repetidor e reduzir ativações provocadas por sinais indesejados.

- **DCS**

O **DCS** (*Digital-Coded Squelch*) utiliza uma sequência digital de baixa velocidade para cumprir uma função semelhante.

Tal como o CTCSS, não proporciona confidencialidade.

- **TOT – Time-Out Timer**

O **Time-Out Timer** limita a duração máxima de uma transmissão.

É particularmente útil para prevenir situações como:

PTT acidentalmente preso;

transmissão contínua e ocupação prolongada do canal;

sobreaquecimento e consumo excessivo da bateria.

O valor adequado depende da finalidade da rede.

Não existe um valor universal obrigatório de 60, 120 ou 180 segundos.

Uma rede destinada a comunicações operacionais pode, por exemplo, utilizar um TOT diferente de uma rede de amador ou de um sistema utilizado em eventos.

- **Hang Time**

O *hang time* mantém o repetidor em transmissão durante um curto período depois de o utilizador libertar o PTT.

Pode facilitar a conversação entre utilizadores e reduzir comutações excessivas do transmissor.

Um *hang time* demasiado elevado, contudo, aumenta o tempo de ocupação do canal e o consumo energético.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.7. Identificação da Estação e Conformidade Regulamentar ●

A identificação da estação depende do **serviço de radiocomunicações em causa e do respetivo regime regulamentar**.

Não deve ser afirmado genericamente que todos os repetidores, independentemente do serviço, são obrigados a utilizar uma determinada forma de identificação.

No Serviço de Amador, existem regras específicas relativamente à identificação das estações e à utilização de indicativos.

Em sistemas profissionais ou de uso privativo, aplicam-se as condições associadas à respetiva autorização, licença, rede ou regime de utilização.

A identificação pode assumir diferentes formas, consoante o sistema:

- VOZ;
- código Morse;
- identificação digital;
- dados de estação;
- mecanismos específicos previstos pelo sistema.

A configuração deve, portanto, respeitar as condições regulamentares aplicáveis à estação concreta.

[Caixa Legal] Conformidade do Equipamento

A utilização de equipamento de rádio em Portugal está sujeita ao regime aplicável ao respetivo serviço, frequência e tipo de utilização.

*A marcação CE e a conformidade do equipamento com os requisitos aplicáveis são elementos importantes, mas **não significam, por si só, que qualquer equipamento possa ser utilizado em qualquer frequência ou serviço.***

A operação de uma estação repetidora deve ser compatível com o regime de utilização do espectro e com as condições aplicáveis à estação.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



5.8. Alimentação, Proteção e Gestão Térmica ●

Uma estação repetidora não deve ser dimensionada apenas pelo sistema RF.

A alimentação elétrica é igualmente crítica.

Uma arquitetura autónoma pode incluir:



O dimensionamento energético deve considerar:

1. consumo em standby;
2. consumo durante receção;
3. consumo durante transmissão;
4. potência efetiva de TX;
5. percentagem estimada de tempo em TX;
6. perdas dos conversores;
7. temperatura;
8. capacidade útil da bateria;
9. margem de segurança;
10. produção solar disponível.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Dissipação térmica

A energia elétrica que não é convertida em RF transforma-se essencialmente em calor.

Consequentemente, um repetidor de elevada potência necessita de uma solução térmica adequada.

Podem ser utilizados:

- dissipadores passivos;
- ventiladores;
- condutas de ar;
- sensores térmicos;
- redução automática de potência;
- proteção contra sobretensão.

Uma instalação dentro de uma mala estanque apresenta um desafio adicional: **a estanqueidade reduz a circulação de ar.**

Assim, uma caixa IP67 não deve ser automaticamente considerada adequada para um transmissor de elevada potência em funcionamento contínuo.

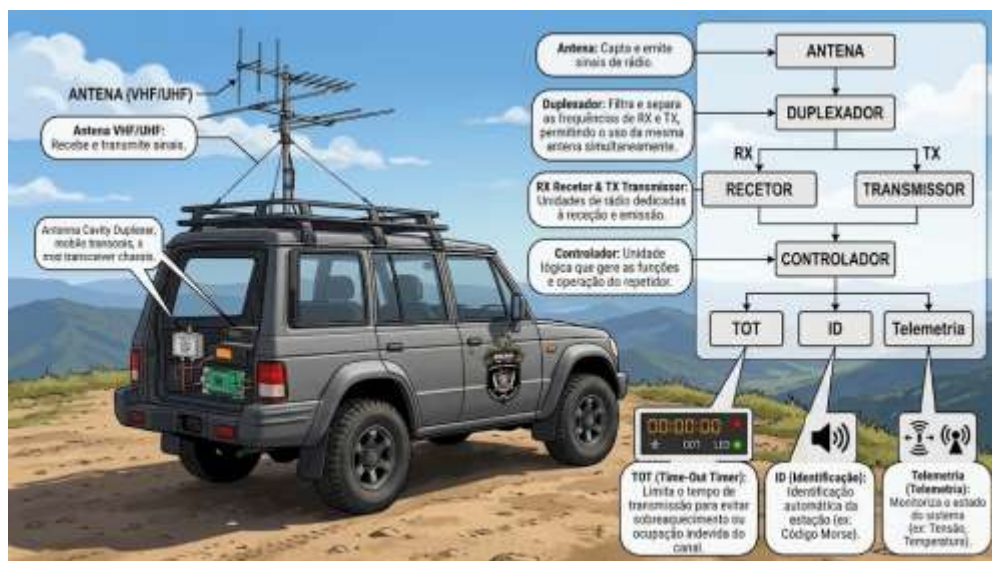
É necessário avaliar a dissipação térmica real do conjunto.



5.9. Arquitetura Integrada do Repetidor ●

Uma estação repetidora deve ser encarada como um **sistema integrado**, e não como uma simples combinação de rádio, antena e bateria.

Uma arquitetura típica pode ser representada da seguinte forma:



A este sistema devem ainda ser acrescentados:

- alimentação e Bateria
- proteção contra sobretensão e proteção contra descarga profunda;
- proteção contra ROE elevada e proteção contra sobretemperatura;
- sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas;
- estrutura mecânica e sistema de fixação da antena.

[Caixa Segurança] O elo mais fraco determina o desempenho

Uma estação equipada com um excelente repetidor pode apresentar cobertura deficiente se utilizar:

Uma antena inadequada; cabo com perdas elevadas; conectores mal instalados; duplexador mal afinado; alimentação instável; mastros insuficientemente dimensionados; localização radioelétrica desfavorável.

Da mesma forma, uma antena excelente não consegue compensar completamente um recetor deficiente ou uma filtragem inadequada.

O desempenho real resulta da **integração de todo o sistema**.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5.10. Síntese Técnica do Capítulo

Uma estação repetidora eficiente resulta da combinação de vários subsistemas:

Subsistema	Função principal
RX	Detetar sinais fracos e rejeitar interferências
TX	Gerar uma emissão estável e limpa
PA	Disponibilizar a potência necessária
Duplexador	Separar e isolar TX/RX quando existe antena comum
Controlador	Gerir PTT, sinalização, temporização e funções auxiliares
Antena	Converter energia RF em radiação e vice-versa
Cabo coaxial	Transportar energia entre rádio e antena
Conectores	Assegurar continuidade elétrica e RF
Alimentação	Fornecer energia estável ao sistema
Sistema térmico	Evitar sobretemperatura
Proteção RF/elétrica	Reduzir riscos de ROE, sobretensão e descargas
Estrutura mecânica	Garantir estabilidade e proteção física

Conclusão: o desempenho de um repetidor não é determinado pela potência de transmissão isoladamente. A cobertura real resulta da interação entre **localização, altura da antena, propagação, potência, sensibilidade, filtragem, perdas de RF, sistema radiante, alimentação e condições ambientais.**



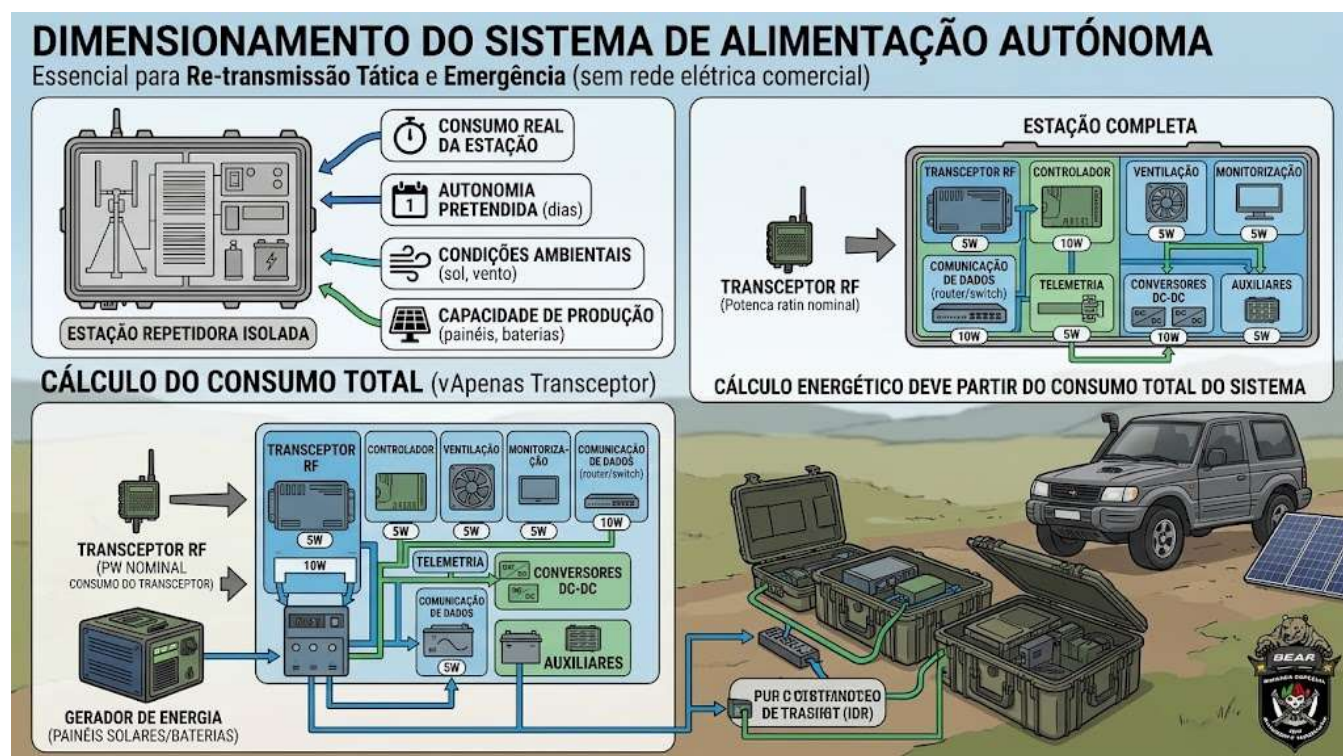
Fundado a 23 de março de 2016

Capítulo 6 – Energia e Autonomia

A subsistência operacional de uma estação repetidora isolada depende criticamente do seu sistema de alimentação elétrica. Em instalações remotas ou em cenários de retransmissão tática e de emergência, a ausência de acesso à rede elétrica comercial exige uma arquitetura energética autónoma, dimensionada de acordo com o consumo real da estação, a autonomia pretendida, as condições ambientais e a capacidade disponível de produção de energia.

O dimensionamento não deve considerar apenas o consumo do transceptor. Uma estação repetidora pode incluir, além do equipamento de RF, controlador, ventilação, sistemas de monitorização, equipamentos de comunicação de dados, dispositivos de telemetria, conversores DC-DC e outros consumidores auxiliares.

Por essa razão, o cálculo energético deve partir do **consumo total do sistema** e não apenas da potência RF nominal do transmissor.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

6.1. Perfil e Cálculo do Consumo Energético em *Standby* e Transmissão

O consumo elétrico de um repetidor varia de acordo com o estado operacional da estação. Em condições normais, o equipamento permanece grande parte do tempo em receção/espera (*standby*) e apenas durante uma fração do tempo ativa o transmissor.

Esta relação é normalmente expressa através do **ciclo de trabalho** (*Duty Cycle* – \$D\$), correspondente à fração de tempo durante a qual o transmissor permanece efetivamente em emissão.

É importante distinguir:

- **Duty Cycle de tráfego:** percentagem de tempo em que o transmissor está efetivamente a emitir;
- **Duty Cycle térmico:** capacidade do equipamento para suportar determinado regime de transmissão sem exceder os limites térmicos;
- **Potência RF de saída:** potência efetivamente entregue à antena;
- **Potência elétrica consumida:** potência retirada da fonte de alimentação.

Estas grandezas não são equivalentes.

Estados de Consumo

1. Receção / *Standby*

Durante o *standby*, o sistema mantém ativos, entre outros:

- recetor;
- *squelch*;
- controlador;
- circuitos de processamento;
- sistemas de supervisão;
- eventualmente ventilação e telemetria.

O consumo depende fortemente do equipamento utilizado. Valores na ordem de **0,1 a 0,5 A a 13,8 V DC** podem ser encontrados em determinados equipamentos, mas não devem ser considerados universais.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

2. Transmissão

Durante a transmissão, o consumo aumenta significativamente devido ao funcionamento do excitador e do amplificador de potência (*Power Amplifier – PA*).

A corrente necessária depende de:

- potência RF programada e eficiência do PA;
- tecnologia utilizada;
- tensão de alimentação
- perdas internas e temperatura;
- modulação e regime de emissão.

Assim, uma afirmação como "25 W = X A" deve ser entendida apenas como **valor indicativo para determinado equipamento**, devendo o dimensionamento definitivo utilizar os valores fornecidos pelo fabricante ou medidos no equipamento real.

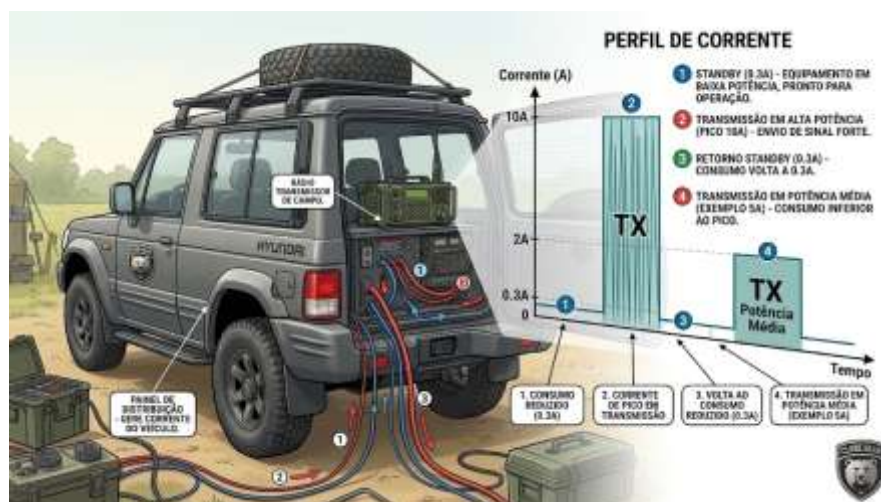
[Caixa Técnica] Potência RF ≠ Potência Elétrica

Um transmissor configurado para emitir **25 W RF** não significa que consuma apenas 25 W elétricos.

Se o PA apresentar, por exemplo, uma eficiência de 60%, a potência necessária apenas para produzir a potência RF poderá ser aproximadamente:

$$P_{DC} \approx \frac{25}{0,60} = 41,7 \text{ W}$$

A este valor devem ainda ser acrescentados os consumos do excitador, controlador, ventilação e restantes circuitos. Consequentemente, a corrente elétrica pode ser significativamente superior àquela que resultaria simplesmente de dividir a potência RF pela tensão.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Cálculo do Consumo Médio

Considerando apenas dois estados simplificados — receção e transmissão —, a corrente média ($I_{\text{médio}}$) pode ser estimada por:

$$I_{\text{médio}} = D \cdot I_{\text{TX}} + (1 - D) \cdot I_{\text{RX}}$$

Onde:

- $I_{\text{médio}}$: corrente média em Amperes (A);
- I_{TX} : corrente durante a transmissão (A);
- I_{RX} : corrente durante a receção/espera (A);
- D : fração do tempo em transmissão (*duty cycle*, $0 \leq D \leq 1$).

O consumo diário aproximado de capacidade ($C_{\text{diário}}$), em Amperes-hora (Ah), será:

$$C_{\text{diário}}(\text{Ah}) = I_{\text{médio}} \cdot 24 \text{ h}$$

E, considerando uma tensão nominal de referência (V_{nom}), a energia consumida diariamente em Watt-hora (Wh) obtém-se por:

$$E_{\text{diário}}(\text{Wh}) = C_{\text{diário}} \cdot V_{\text{nom}} = I_{\text{médio}} \cdot V_{\text{nom}} \cdot 24 \text{ h}$$

Contudo, para sistemas reais é preferível calcular diretamente a energia de cada estado (E_{total}):

$$E_{\text{total}}(\text{Wh}) = \sum_i P_i \cdot t_i = P_{\text{TX}} \cdot t_{\text{TX}} + P_{\text{RX}} \cdot t_{\text{RX}} + \sum P_{\text{auxiliar}} \cdot 24 \text{ h}$$

Onde cada P_i representa a potência consumida por determinado estado ou equipamento e t_i o respetivo tempo de operação diário em horas. Esta abordagem é particularmente útil quando existem cargas permanentes, como ventiladores, controladores, modems ou sistemas de telemetria.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Exemplo de Impacto do Duty Cycle

Considere-se um repetidor com os seguintes parâmetros nominais:

- $I_{RX} = 0,30$ A (corrente em receção/espera)
- $I_{TX} = 10,0$ A (corrente em transmissão)
- $V_{nom} = 13,8$ V (tensão de alimentação)

Com **5% de transmissão**:

$$I_{medio} = (0,05 \times 10) + (0,95 \times 0,30)$$
$$I_{medio} = 0,785$$

Consumo diário:

$$0,785 \times 24 = 18,84 \text{ Ah/dia}$$

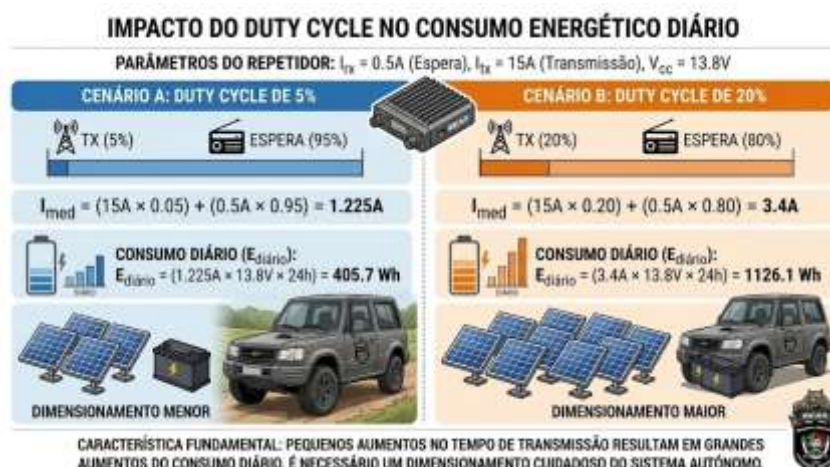
Com **20% de transmissão**:

$$I_{medio} = (0,20 \times 10) + (0,80 \times 0,30)$$
$$I_{medio} = 2,24$$

Consumo diário:

$$2,24 \times 24 = 53,76 \text{ Ah/dia}$$

O exemplo demonstra uma característica fundamental dos sistemas autónomos: **pequenos aumentos do tempo de transmissão podem produzir grandes aumentos do consumo energético diário.**





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

6.2. Dimensionamento do Banco de Baterias

O banco de baterias constitui a reserva energética da estação. A capacidade necessária depende de:

- consumo diário;
- autonomia pretendida;
- tecnologia da bateria;
- profundidade de descarga admissível (*Depth of Discharge* – DoD);
- eficiência de carga/descarga;
- temperatura;
- envelhecimento;
- margem de segurança.

Principais Tecnologias

Parâmetro	AGM	GEL	LiFePO4
Tecnologia	Chumbo-ácido	Chumbo-ácido	Fosfato de ferro-lítio
DoD habitual de projeto	~50%	~50–60%	~80–90%
Peso	Elevado	Elevado	Muito inferior
Ciclos	Dependente do fabricante e DoD	Dependente do fabricante e DoD	Normalmente muito superior
Eficiência	Tipicamente inferior	Tipicamente inferior	Elevada
BMS	Não obrigatório	Não obrigatório	Necessário
Carga abaixo de 0 °C	Geralmente possível, conforme fabricante	Geralmente possível, conforme fabricante	Não deve ser realizada sem sistema adequado de proteção/aquecimento
Manutenção	Baixa	Baixa	Muito baixa

Os valores apresentados são **referências de engenharia**, não especificações universais. A ficha técnica da bateria escolhida prevalece sempre.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752

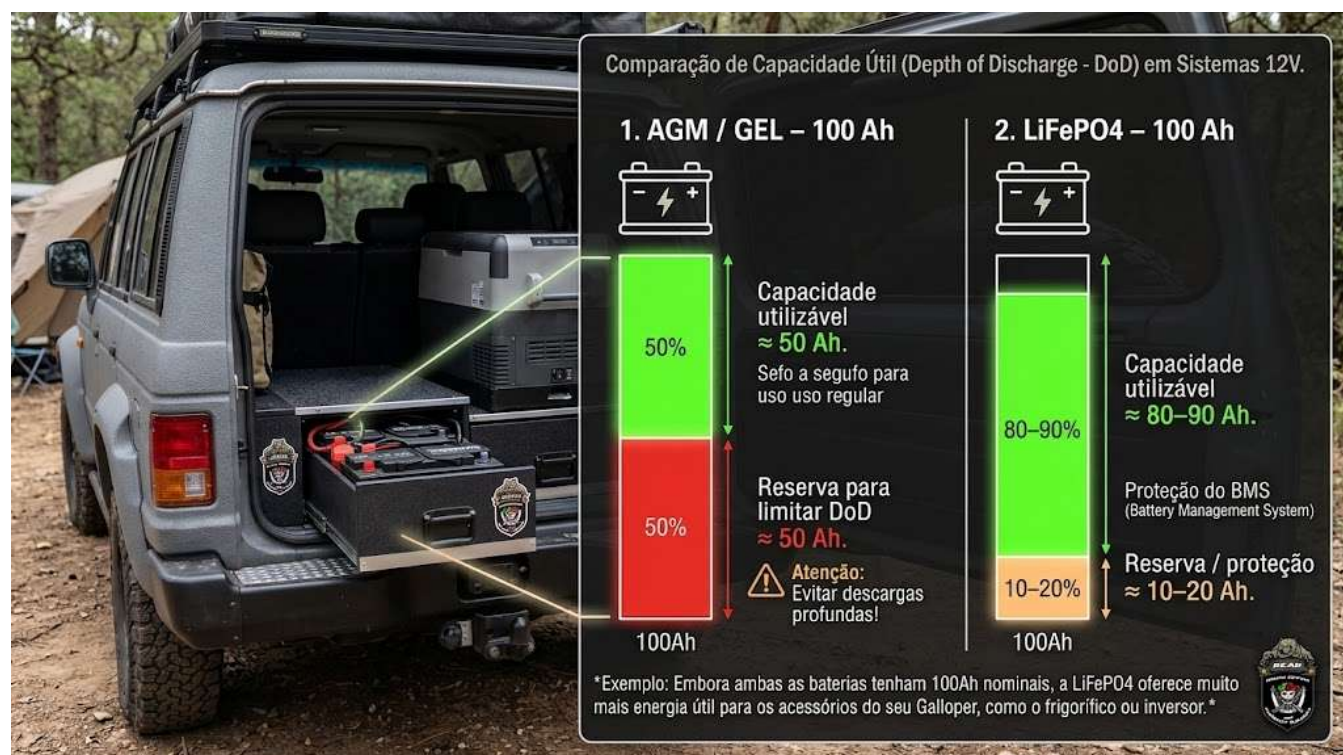


6.2.1. Capacidade Utilizável

Uma bateria de 100 Ah não significa necessariamente que existam 100 Ah disponíveis para utilização diária.

Por exemplo, considerando apenas uma aproximação:

AGM / GEL – 100 Ah



A capacidade efetivamente disponível depende, entre outros fatores, da corrente de descarga, temperatura, estado de saúde e sistema de gestão da bateria.



6.2.2. Profundidade de Descarga

A **Profundidade de Descarga (DoD)** representa a percentagem da capacidade nominal que foi utilizada.

Por exemplo:

- DoD de 50% → foram utilizados 50% da capacidade;
- DoD de 80% → foram utilizados 80%;
- DoD de 100% → descarga integral.

Em sistemas destinados a funcionar durante longos períodos, utilizar uma margem de reserva pode aumentar significativamente a vida útil da bateria.

6.2.3. Equação Simplificada de Dimensionamento

Uma aproximação inicial da capacidade nominal é:

$$C_{\text{bateria}} = \frac{E_{\text{diário}} \times N_{\text{dias}}}{V_{\text{nominal}} \times DoD \times \eta}$$

Quando o consumo já está expresso em Ah:

$$C_{\text{bateria}} = \frac{E_{\text{diário,Ah}} \times N_{\text{dias}}}{DoD \times \eta}$$

Onde:

- C_{bateria} : capacidade nominal necessária da bateria (Ah);
- $E_{\text{diário,Ah}}$: consumo diário estimado de corrente (Ah/dia);
- N_{dias} : autonomia pretendida em dias de operação sem recarga (dias);

- *DoD*: profundidade máxima de descarga admissível (*Depth of Discharge*, ex.: 0,5 para 50% em chumbo-ácido ou 0,8 para 80% em lítio);
- η : eficiência global de descarga e perdas do sistema (ex.: 0,85 a 0,95).

Na prática deve ainda ser introduzida uma **margem de projeto**, particularmente quando a estação estará sujeita a temperaturas baixas, envelhecimento ou períodos prolongados sem produção solar.

6.2.2. Profundidade de Descarga (DoD)

DoD de 50%



DoD de 80%

DoD de 100%
Descarga integral

► Utilizar margem de reserva pode aumentar significativamente a vida útil da bateria
► Utilizar margem de reserva pode aumentar significativamente a vida útil da bateria.

6.2.3. Equação Simplificada de Dimensionamento

$$C = \frac{C_D \times n \times (1 + m)}{DoD \times \eta}$$

C (Ah): Capacidade nominal necessária	m : Margem de projeto (ex.: 0.2)
C_D (Ah): Consumo diário estimado	DoD : Profundidade máxima de descarga admissível (ex.: 0.5 chumbo-ácido ou 0.8 lítio)
n (dias): Autonomia pretendida	η : Eficiência global e perdas (ex.: 0.85 a 0.95)
DoD : Profundidade de descarga	

Exemplo: $C_D=100Ah$, $n=3$ dias, $DoD=0.8$, $\eta=0.9$, $m=0.2$
 $C \approx 500Ah$



[Caixa Segurança] LiFePO4 e Temperaturas Negativas

As baterias LiFePO4 apresentam excelentes características para sistemas autónomos, mas necessitam de um **BMS adequado**.

É particularmente importante distinguir:

descarga abaixo de 0 °C: pode ser permitida por determinadas baterias, dentro das especificações do fabricante;

carga abaixo de 0 °C: normalmente não é permitida sem medidas específicas, devido ao risco de lithium plating.

Algumas baterias destinadas a aplicações exteriores incorporam aquecimento interno ou BMS capaz de impedir a carga quando a temperatura das células é demasiado baixa.

A ficha técnica da bateria deve prevalecer sempre sobre qualquer valor genérico.

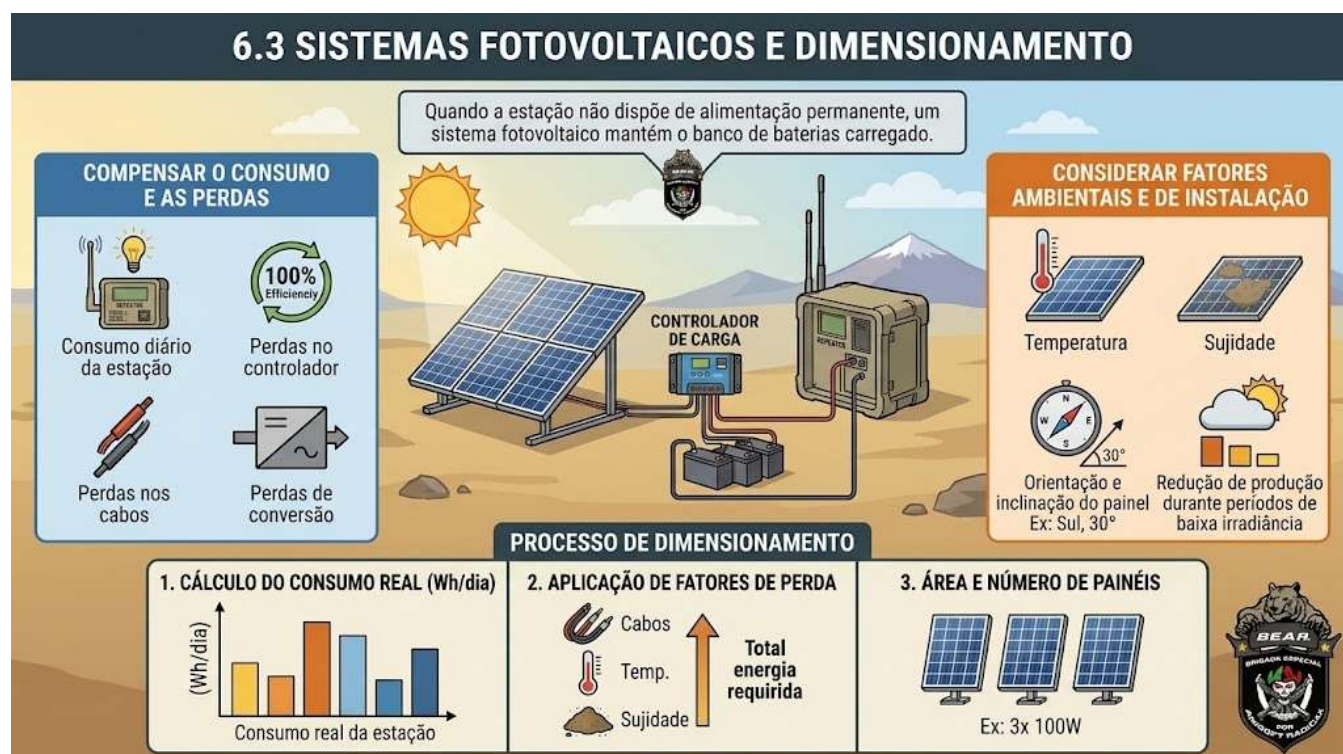
Fundado a 23 de março de 2016

6.3. Sistemas Fotovoltaicos e Dimensionamento da Produção Solar

Quando a estação não dispõe de alimentação elétrica permanente, um sistema fotovoltaico pode fornecer a energia necessária para manter o banco de baterias carregado.

O sistema deve ser dimensionado para compensar:

1. consumo diário da estação;
2. perdas no controlador;
3. perdas nos cabos;
4. perdas de conversão;
5. temperatura;
6. sujidade;
7. orientação e inclinação do painel;
8. redução de produção durante períodos de baixa irradiância.



Fundado a 23 de março de 2016

6.3.1. Horas de Sol Pico – HSP

As Horas de Sol Pico (HSP) representam o número equivalente de horas por dia em que a irradiância solar média seria constante e igual a 1000 W/m^2 (condição padrão de teste — STC).

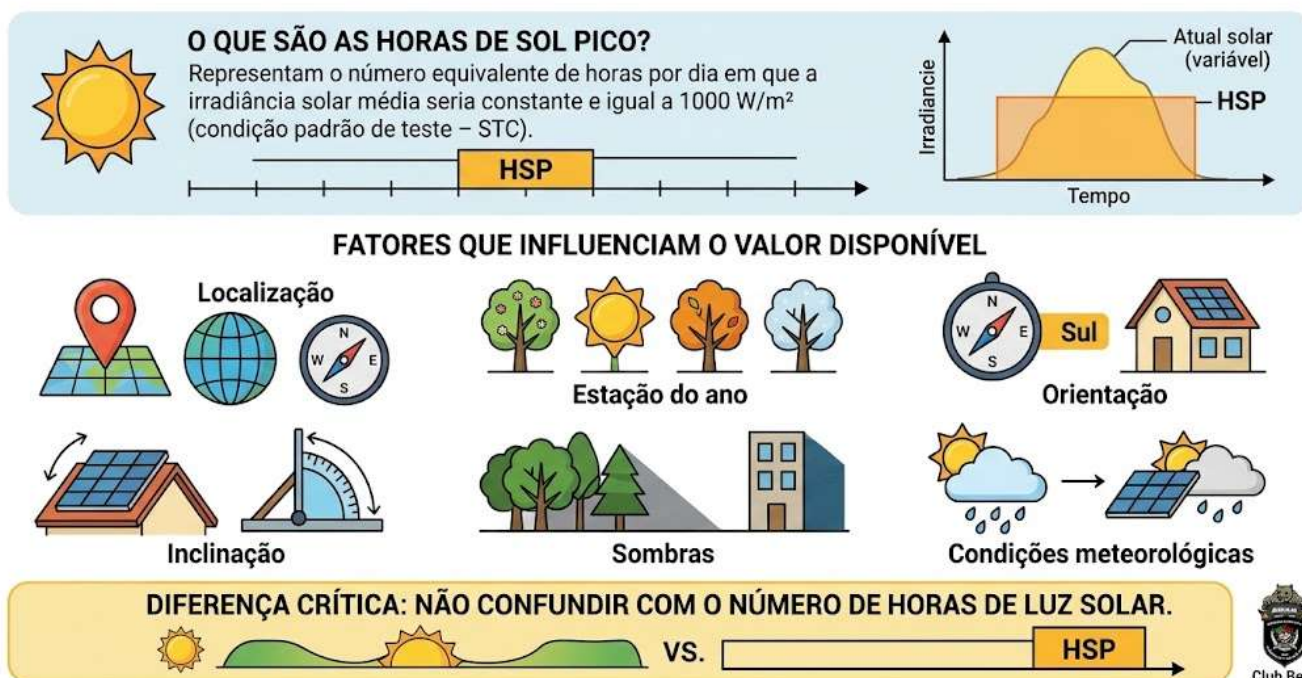
Não devem ser confundidas com o número de horas de luz solar.

O valor disponível varia significativamente de acordo com:

- localização;
- estação do ano;
- orientação;
- inclinação;
- sombras;
- condições meteorológicas.

Por isso, para uma instalação crítica, deve utilizar-se um valor de projeto baseado nos **dados solares do local e do pior período relevante**, e não simplesmente uma média anual nacional.

6.3.1. HORAS DE SOL PICO – HSP



6.3.2. Controladores PWM e MPPT

- **PWM – Pulse Width Modulation**

Um controlador PWM liga eletronicamente o painel à bateria e, na prática, faz com que o painel opere próximo da tensão do banco.

É uma solução simples e económica, mas pode não aproveitar integralmente a potência disponível no painel quando existe uma diferença significativa entre a tensão do ponto de máxima potência do painel e a tensão da bateria.

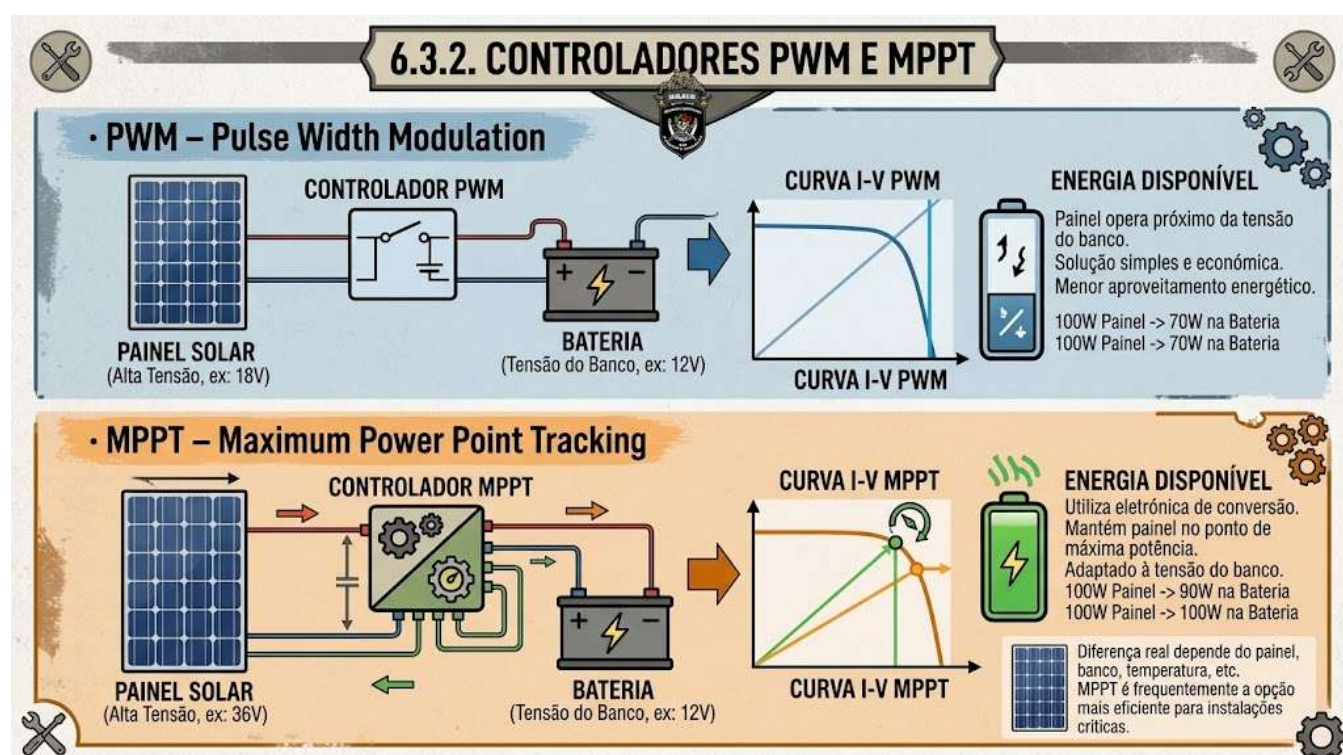
- **MPPT – Maximum Power Point Tracking**

Um controlador MPPT utiliza eletrónica de conversão para manter o painel próximo do seu ponto de máxima potência e adaptar a energia produzida à tensão do banco de baterias.

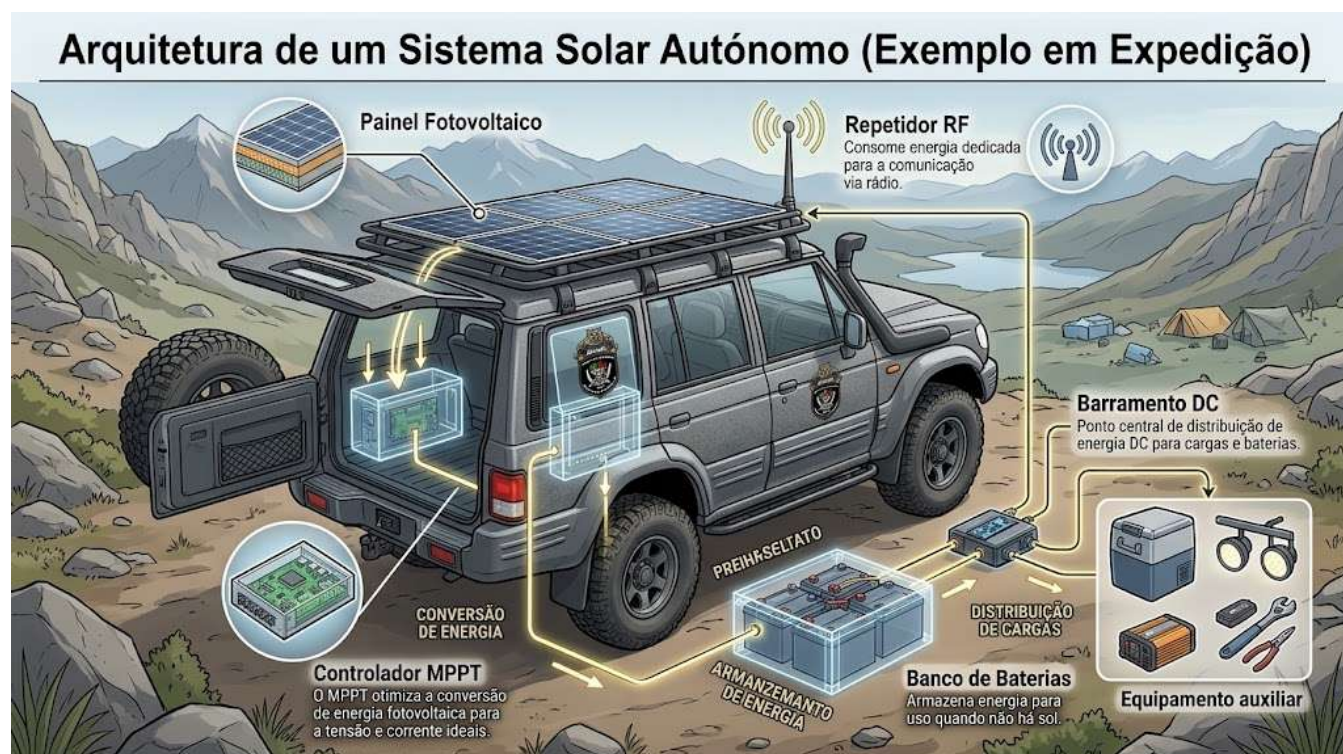
Em determinadas condições pode proporcionar um aproveitamento energético significativamente superior ao de um sistema PWM.

No entanto, **não deve ser assumido um ganho fixo de 20%, 30% ou 35%**. A diferença real depende do painel, tensão do banco, temperatura, irradiância e condições de operação.

Para instalações autónomas críticas, um MPPT é frequentemente a opção mais eficiente.



Arquitetura de um Sistema Solar Autónomo



Dimensionamento do Painei

Dimensionamento do Painei Fotovoltaico

Uma aproximação inicial para o cálculo da potência do painei é dada por:

$$P_{PV}(W_p) = \frac{E_{diário}}{HSP \cdot \eta_{sistema}}$$

Onde:

- P_{PV} : potência fotovoltaica instalada em Watts-pico (W_p);
- $E_{diário}$: energia necessária por dia em Watt-hora (Wh/dia);
- HSP: Horas de Sol Pico em horas diárias (h/dia);
- $\eta_{sistema}$: rendimento global do sistema considerado (tipicamente entre 0,70 e 0,80).

O valor final deve ser arredondado para cima e deve existir margem suficiente para compensar condições meteorológicas desfavoráveis ou períodos prolongados de fraca radiação solar.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

[Caso Prático BEAR] Dimensionamento de um Repetidor Autónomo

Considere-se uma estação repetidora operando a 13,8 V DC, com os seguintes parâmetros:

$$I_{RX} = 0,35 \text{ A}, I_{TX} = 7,0 \text{ A}, \text{Duty Cycle (D)} = 10\% (0,10)$$

Autonomia pretendida (N_{dias}) = 3 dias | **Bateria:** tecnologia LiFePO4 | **Profundidade de descarga** (DoD) de projeto = 80% (0,80) | **Eficiência global da bateria** (η) = 98% (0,98)

Consumo Médio

Cálculo da corrente média ($I_{médio}$):

$$I_{médio} = D \cdot I_{TX} + (1 - D) \cdot I_{RX} \quad | \quad I_{médio} = 0,10 \cdot 7,0 + 0,90 \cdot 0,35 \quad | \quad I_{médio} = 0,70 + 0,315 = 1,015 \text{ A}$$

Consumo diário em capacidade ($C_{diário}$):

$$C_{diário} (\text{Ah/dia}) = I_{médio} \cdot 24 \text{ h} \quad | \quad C_{diário} = 1,015 \cdot 24 = 24,36 \text{ Ah/dia}$$

Energia diária aproximada ($E_{diário}$), operando a 13,8 V:

$$E_{diário} (\text{Wh/dia}) = C_{diário} \cdot V_{nom} \quad | \quad E_{diário} = 24,36 \cdot 13,8 \approx 336,17 \text{ Wh/dia}$$

Banco de Baterias

Cálculo da capacidade nominal necessária da bateria ($C_{bateria}$):

$$C_{bateria} (\text{Ah}) = \frac{C_{diário} \cdot N_{dias}}{DoD \cdot \eta} \quad | \quad C_{bateria} = \frac{24,36 \cdot 3}{0,80 \cdot 0,98} = \frac{73,08}{0,784} \approx 93,21 \text{ Ah}$$

Assim, uma bateria comercial de 12,8 V / 100 Ah LiFePO4 poderia satisfazer o cálculo simplificado.

Contudo, para uma instalação crítica, a escolha de 100 Ah não deve ser considerada automaticamente suficiente. É necessário considerar margens adicionais para:

Envelhecimento dos elementos químicos, Temperatura de operação (redução de capacidade no frio);

Perdas nos conversores DC-DC, Consumo de equipamentos auxiliares (controladores, ventilação);

Dias sucessivos de baixa ou nula produção solar, Margem operacional de segurança, Corrente máxima de descarga suportada pelo BMS, Capacidade real útil (que pode ser inferior à especificada pelo fabricante).

Uma solução de maior capacidade (ex: 120 Ah a 150 Ah) poderá, por isso, ser tecnicamente preferível para garantir total fiabilidade no terreno.

Dimensionamento Solar

Considerando: consumo diário = 336,17 Wh; HSP de projeto = 2,5 h; rendimento global = 75%:

$$P_{PV} = \frac{336,17}{2,5 \times 0,75}$$
$$P_{PV} \approx 179,3 \text{ Wp}$$

Uma instalação comercial de **200 Wp** poderia ser utilizada como ponto de partida.

Contudo, o sistema deve ser validado através do balanço energético diário e sazonal. Se a estação for crítica, pode ser necessário aumentar significativamente a potência fotovoltaica para garantir recuperação da bateria após períodos prolongados de baixa irradiância.



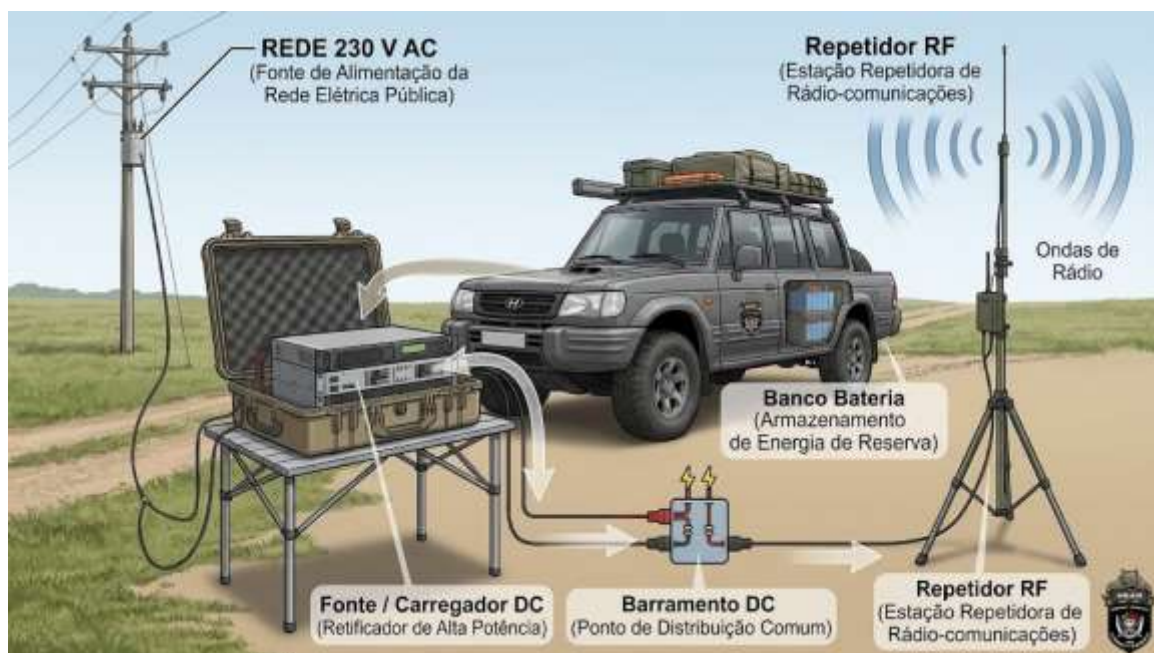
Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



6.4. Sistemas de *Backup* Ininterrupto

Nas estações permanentes ligadas à rede elétrica, a alimentação de emergência deve garantir continuidade do funcionamento do repetidor.

Uma arquitetura típica poderá utilizar uma fonte DC com função de carregamento e um banco de baterias permanentemente ligado ao barramento.



Dependendo da arquitetura, podem ser utilizados:

- fontes com carregador integrado e sistemas *DC UPS*;
- comutação eletrónica e circuitos de *OR-ing*;
- baterias em *standby* e sistemas de monitorização da tensão e corrente.

A vantagem de uma arquitetura DC adequada é evitar uma cadeia desnecessária de conversões que aumentaria as perdas:

$$AC \rightarrow DC \rightarrow AC \rightarrow DC$$

Ideal Diode OR-ing

Sistemas de *OR-ing* baseados em MOSFET podem ser utilizados para controlar o fluxo de energia entre diferentes fontes.

Comparativamente a um diodo convencional, um circuito de diodo ideal pode apresentar uma queda de tensão muito inferior, reduzindo perdas e aquecimento.

Contudo, os valores exatos dependem do componente, corrente e circuito utilizado e não devem ser generalizados como uma queda universal de "0,02 V".



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

6.5. Gestão Térmica

O calor é um dos principais fatores de degradação dos equipamentos eletrónicos e das baterias.

No caso de um repetidor, o principal produtor de calor é normalmente o **amplificador de potência**, particularmente quando a estação apresenta um elevado *Duty Cycle*.

O dimensionamento térmico deve considerar:

- potência dissipada, temperatura ambiente e volume do gabinete;
- área do dissipador, fluxo de ar e posição do equipamento;
- exposição solar, poeiras e humidade.

Refrigeração Ativa

Quando necessário, podem ser utilizadas ventoinhas controladas termicamente.

Um sistema típico poderá utilizar:

- sensor térmico no dissipador e ativação progressiva ou por patamares;
- ventilação de entrada e exaustão na zona superior;
- filtros de poeiras e alarme de temperatura.



A utilização de temperaturas fixas como "+45 °C para ligar" e "+40 °C para desligar" deve ser entendida apenas como exemplo. Os limites devem ser definidos de acordo com o equipamento e o sensor utilizado.



6.6. Proteção Elétrica e Distribuição DC

Um sistema autónomo de elevada capacidade pode fornecer correntes de curto-circuito muito elevadas.

Por esse motivo, a proteção elétrica deve ser concebida de forma a limitar a energia disponível em caso de:

- curto-circuito;
- cabo danificado;
- inversão de polaridade;
- falha de equipamento;
- sobrecorrente;
- sobretemperatura.

Cada circuito deverá ser protegido de acordo com a sua capacidade de condução e com as características da carga.

Proteção Próxima da Bateria

O condutor positivo que sai diretamente de uma bateria deve ser protegido por fusível ou disjuntor dimensionado de acordo com o cabo e com a carga.

Quanto menor for o comprimento do condutor **não protegido**, menor será a extensão potencialmente sujeita a uma corrente de curto-circuito elevada.

Por isso, a proteção deve ser instalada **o mais próximo possível do terminal da bateria**, respeitando as normas aplicáveis, as instruções do fabricante e o projeto elétrico da instalação.

[Caixa Segurança] O Fusível Protege Primeiro o Cabo

O dimensionamento do fusível não deve ser feito simplesmente com base na corrente normal do equipamento.

O dispositivo de proteção deve também proteger o condutor contra uma corrente superior à sua capacidade admissível.

Uma bateria de elevada capacidade pode fornecer uma corrente de curto-circuito extremamente elevada. Um cabo inadequadamente protegido pode aquecer rapidamente, danificar o isolamento e provocar um incêndio antes de o circuito ser interrompido.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

6.7. Autonomia Real e Margem de Segurança

O valor calculado matematicamente não deve ser confundido com a autonomia operacional garantida.

Uma estação que teoricamente apresenta **72 horas de autonomia** pode apresentar uma autonomia real inferior devido a:

- temperaturas extremas, envelhecimento da bateria;
- aumento inesperado do tráfego e consumo dos ventiladores;
- telemetria e perdas nos conversores;
- degradação dos painéis, sombra parcial e ou sujidade;
- redução da produção solar e comportamento real da carga.

Por essa razão, uma instalação destinada a missões críticas deve possuir uma **margem energética de projeto**.

Uma arquitetura robusta deverá considerar, sempre que possível:

1. consumo medido em condições reais;
2. bateria com capacidade superior ao mínimo matemático;
3. produção solar superior ao consumo médio;
4. monitorização da tensão e corrente;
5. indicação do estado de carga;
6. proteção contra descarga excessiva;
7. proteção térmica;
8. possibilidade de carregamento externo;
9. previsão de operação durante vários dias de baixa produção solar.

[Caixa Técnica] Regra Fundamental de Dimensionamento

O dimensionamento de uma estação autónoma deve seguir a cadeia:

Consumo → Energia diária → Autonomia → Bateria → Produção solar → Margem de segurança

Não se deve começar pela bateria ou pelo painel disponível e tentar adaptar o sistema posteriormente.

Primeiro determina-se a energia necessária; depois dimensionam-se os restantes elementos para garantir essa energia nas condições de operação previstas.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

6.8. Síntese Operacional do Capítulo

O sistema energético de um repetidor autónomo deve ser encarado como parte integrante da infraestrutura de radiocomunicações e não como um simples acessório.

Os princípios fundamentais são:

- **potência RF não é igual a consumo elétrico;**
- o consumo deve ser calculado com base no **perfil real de operação;**
- o *Duty Cycle* tem influência decisiva na autonomia;
- a capacidade nominal da bateria não corresponde à capacidade efetivamente utilizável;
- LiFePO4 oferece vantagens importantes, mas necessita de BMS adequado;
- a carga de LiFePO4 a temperaturas negativas exige proteção específica;
- MPPT permite melhor aproveitamento energético em muitas aplicações;
- a potência fotovoltaica deve ser dimensionada para o **pior período relevante**, não apenas para a média anual;
- os equipamentos auxiliares devem entrar no balanço energético;
- a proteção contra sobrecorrente deve ser instalada adequadamente junto das fontes de energia;
- a autonomia calculada deve incluir uma margem de segurança;
- em instalações críticas, **medir o consumo real é preferível a trabalhar exclusivamente com valores teóricos.**

[Princípio BEAR]

Uma estação repetidora só é verdadeiramente autónoma quando consegue manter simultaneamente a sua infraestrutura de RF, controlo e energia dentro dos limites operacionais previstos.

A autonomia não é determinada pelo tamanho da bateria ou pela potência dos painéis isoladamente, mas pelo equilíbrio entre **consumo, armazenamento, produção e margem de segurança.**



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



Capítulo 7 – Site Survey e Infraestrutura

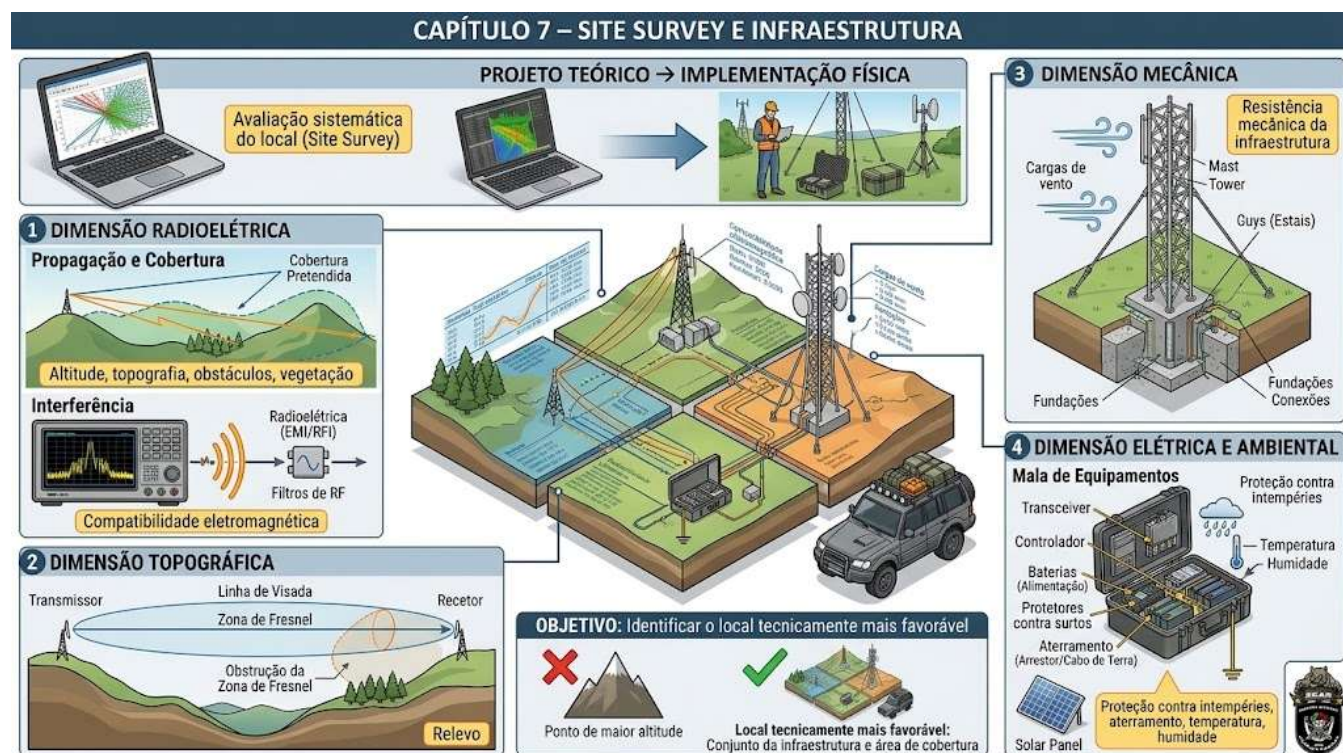
A transição de um projeto teórico de radiocomunicações para a sua implementação física exige uma avaliação sistemática do local de instalação (*Site Survey*).

A qualidade de uma estação repetidora não depende exclusivamente da potência do transmissor. Altitude, topografia, obstáculos, vegetação, características das antenas, perdas nas linhas de transmissão, interferência radioelétrica, alimentação elétrica, condições meteorológicas e resistência mecânica da infraestrutura condicionam diretamente a disponibilidade e a fiabilidade do sistema.

Um *Site Survey* deve, por isso, avaliar simultaneamente quatro dimensões:

1. **Radioelétrica** – propagação, cobertura, interferência e compatibilidade eletromagnética;
2. **Topográfica** – relevo, linha de visada e obstrução da Zona de Fresnel;
3. **Mecânica** – mastro, torre, estais, fundações e cargas de vento;
4. **Elétrica e ambiental** – alimentação, proteção, aterramento, temperatura, humidade e proteção contra intempéries.

O objetivo não é simplesmente encontrar o ponto de maior altitude, mas identificar o **local tecnicamente mais favorável para o conjunto da infraestrutura e da área de cobertura pretendida**.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.1. Análise Topográfica e Simulação de Cobertura de RF ●

O processo de seleção de um local para uma estação repetidora deve começar, sempre que possível, por uma análise cartográfica e computacional.

A utilização de ferramentas de previsão permite identificar antecipadamente áreas de possível cobertura, zonas de sombra e obstáculos topográficos, reduzindo o número de deslocações necessárias ao terreno.

7.1.1. Modelos Digitais de Elevação

A simulação pode utilizar **Modelos Digitais de Elevação (DEM – Digital Elevation Models)**, que representam a altitude do terreno numa grelha espacial.

Entre as fontes de dados utilizadas em estudos de propagação encontram-se:

- **SRTM (Shuttle Radar Topography Mission);**
- **ALOS e outros modelos de elevação de maior resolução;**
- cartografia topográfica nacional;
- modelos derivados de levantamentos LiDAR, quando disponíveis.

A resolução do DEM deve ser compatível com a dimensão da área analisada e com o nível de detalhe necessário.

Um modelo de 30 metros pode ser suficiente para determinadas análises de cobertura regional, mas pode não representar corretamente pequenas cristas, taludes, edifícios ou outras estruturas relevantes para uma ligação de curta distância.



Fundado a 23 de março de 2016

7.1.2. Dados de Ocupação do Solo

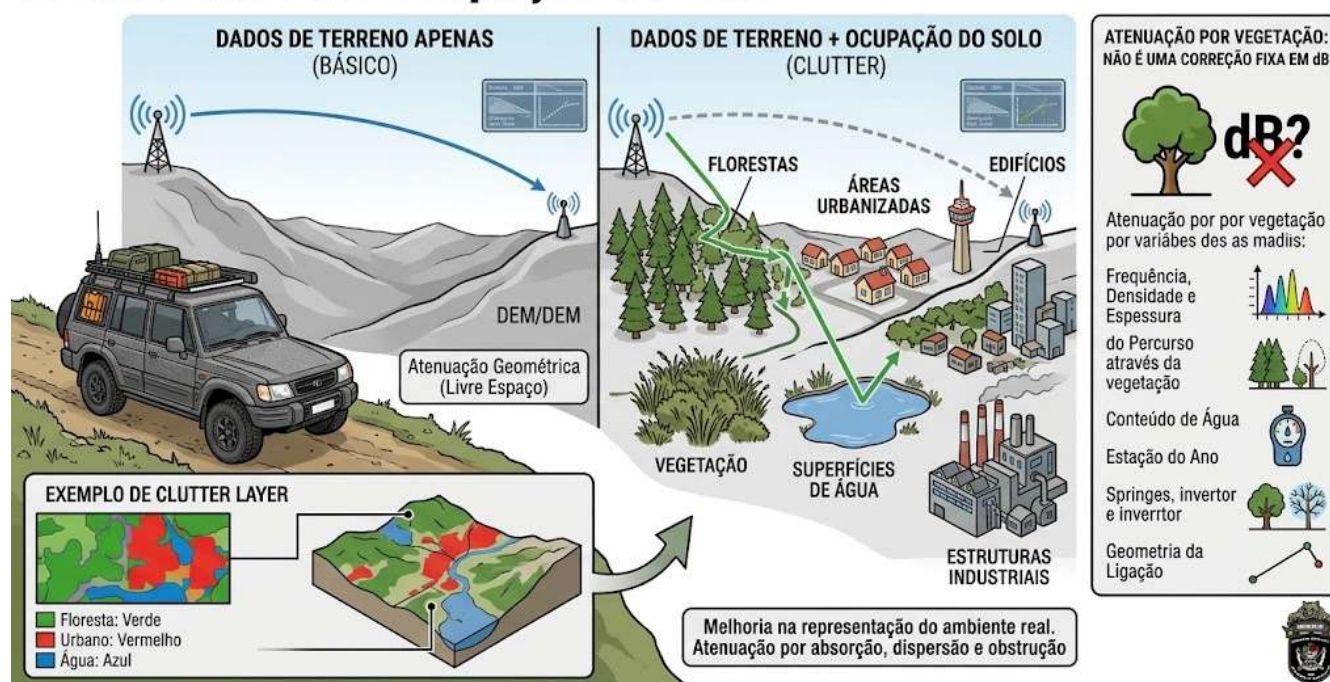
Quando disponíveis, podem também ser utilizados dados de **ocupação do solo (clutter)**, permitindo introduzir no modelo elementos como:

- florestas;
- áreas urbanizadas;
- edifícios;
- vegetação;
- superfícies de água;
- estruturas industriais.

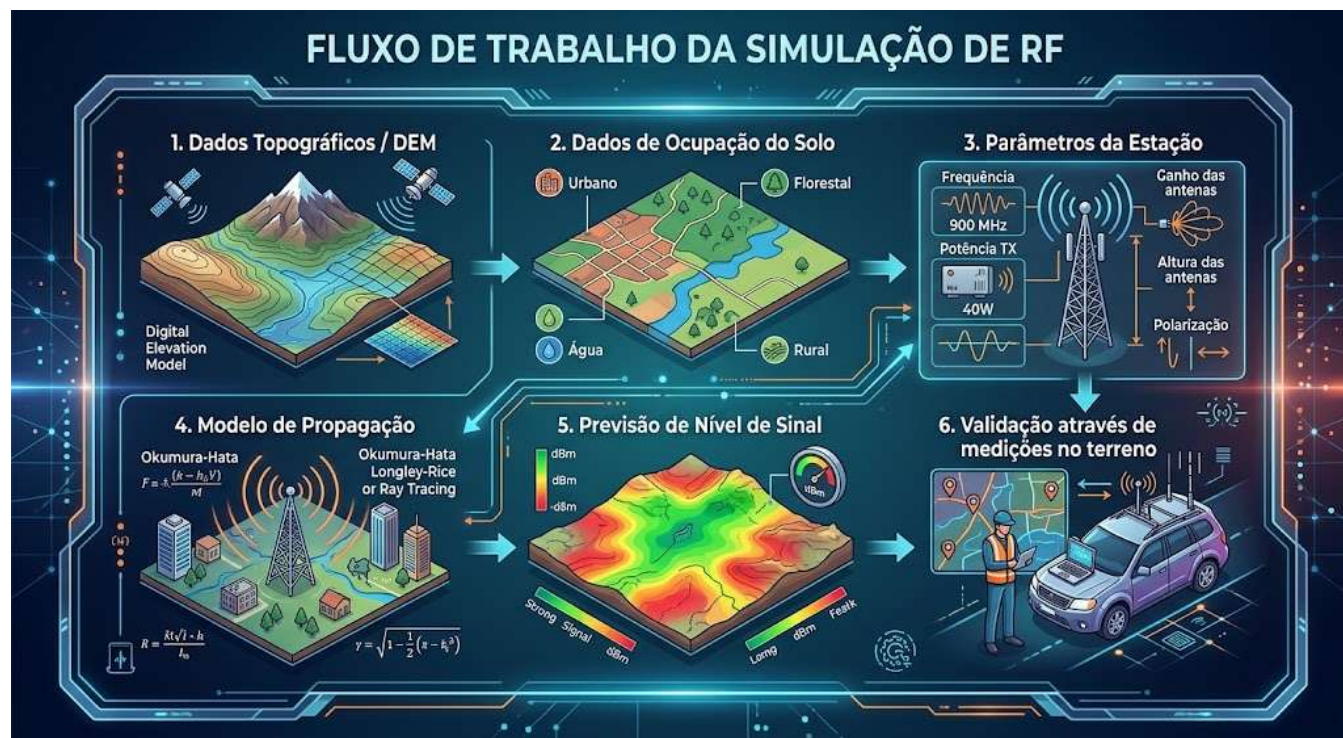
Estes dados podem melhorar a representação do ambiente real, mas **não devem ser tratados como uma correção fixa em dB aplicável a qualquer tipo de vegetação**.

A atenuação provocada por árvores e vegetação depende, entre outros fatores, da frequência, densidade e espessura do percurso através da vegetação, conteúdo de água, estação do ano e geometria da ligação.

7.1.2. Dados de Ocupação do Solo



7.1.3. Fluxo de Trabalho da Simulação de RF



A simulação deve ser considerada **uma ferramenta de previsão e planeamento**, não uma garantia de cobertura.

O resultado deve ser posteriormente confrontado com medições reais.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.1.4. Modelos Matemáticos de Propagação

Entre os modelos que podem ser utilizados encontram-se:

1. ITM / Longley-Rice

O **Irregular Terrain Model (ITM)**, também conhecido como modelo Longley-Rice, é particularmente útil para estudos de propagação em terreno irregular.

Considera parâmetros como:

- perfil topográfico e distância;
- frequência e propriedades elétricas do solo;
- refratividade atmosférica e variabilidade estatística do percurso.

É particularmente interessante para análises de cobertura em áreas rurais e terrenos com relevo significativo.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

2. Okumura-Hata

O modelo Okumura-Hata é um modelo empírico desenvolvido para determinados cenários de propagação terrestre e é especialmente associado a ambientes urbanos, suburbanos e rurais.

As suas condições de validade devem ser respeitadas, pelo que **não deve ser utilizado indiscriminadamente para qualquer ligação ou geometria de repetidor.**

3. ITU-R P.1812

A Recomendação **ITU-R P.1812** fornece métodos de previsão de propagação para serviços terrestres ponto-área, incluindo efeitos relacionados com terreno e diferentes mecanismos de propagação.

A seleção do modelo deve depender da frequência, distância, geometria e ambiente da ligação.

[Caixa Técnica] A Simulação Não Substitui o Site Survey

Uma simulação pode indicar uma ligação teoricamente favorável e, ainda assim, apresentar desempenho inferior no terreno.

Entre as causas possíveis encontram-se: vegetação não representada no modelo; edifícios ou estruturas recentes; erro de altitude do DEM; reflexões e *multipath*; interferência radioelétrica; perdas adicionais nos cabos; diferenças entre o ganho nominal e o ganho efetivo da antena; condições meteorológicas; alterações na configuração da infraestrutura.

Por esta razão, uma instalação crítica deve ser validada através de **medições reais de sinal e qualidade de ligação.**



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.1.5. Validação através de *Drive Test*

Quando a configuração o permite, a previsão pode ser validada através de um **Drive Test**, percorrendo pontos representativos da área de cobertura.

Podem ser registados:

- posição GPS;
- frequência;
- nível de sinal recebido (RSSI);
- qualidade do sinal;
- relação sinal/ruído, quando disponível;
- BER em sistemas digitais;
- presença de interferência;
- estabilidade da comunicação;
- orientação e localização do operador.

O objetivo não é apenas determinar **até onde chega o sinal**, mas identificar onde a comunicação deixa de cumprir o nível de desempenho operacional necessário.

[Caso Prático BEAR] Validação da Cobertura no Terreno

Durante a preparação de uma rede de comunicações para um exercício em ambiente rural, a simulação inicial indicava cobertura satisfatória de um vale secundário a partir de um repetidor instalado num ponto elevado.

O Site Survey presencial revelou, contudo, uma zona de cobertura significativamente inferior à prevista devido à combinação de relevo e vegetação existente no percurso.

A equipa efetuou medições em vários pontos do vale e identificou a zona de sombra. Em vez de aumentar simplesmente a potência do transmissor, foi estudada uma alteração da posição e altura da antena.

A solução permitiu melhorar a cobertura sem aumentar desnecessariamente a potência de transmissão.

Lição operacional: *uma alteração geométrica da infraestrutura pode produzir melhorias superiores às obtidas através do simples aumento da potência.*



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



7.2. Ruído Radioelétrico, Interferência e Co-localização ●

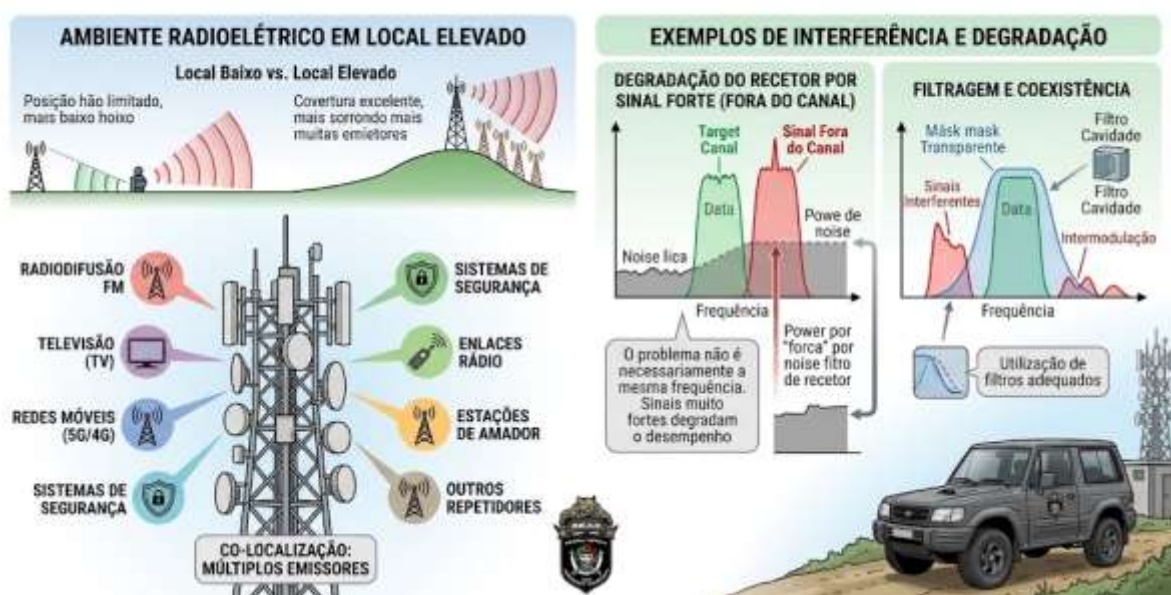
A escolha de um local elevado melhora frequentemente a cobertura, mas também pode colocar o repetidor num ambiente radioelétrico muito mais agressivo.

Torres, edifícios técnicos, instalações industriais e outros pontos elevados podem concentrar numerosos emissores, incluindo:

- radiodifusão FM;
- televisão;
- redes móveis;
- sistemas de segurança;
- enlaces rádio;
- estações de serviço de amador;
- outros repetidores.

O problema não é necessariamente a presença de um sinal na mesma frequência. **Sinais muito fortes fora do canal de operação também podem degradar o desempenho do recetor.**

7.2. Ruído Radioelétrico, Interferência e Co-localização ●

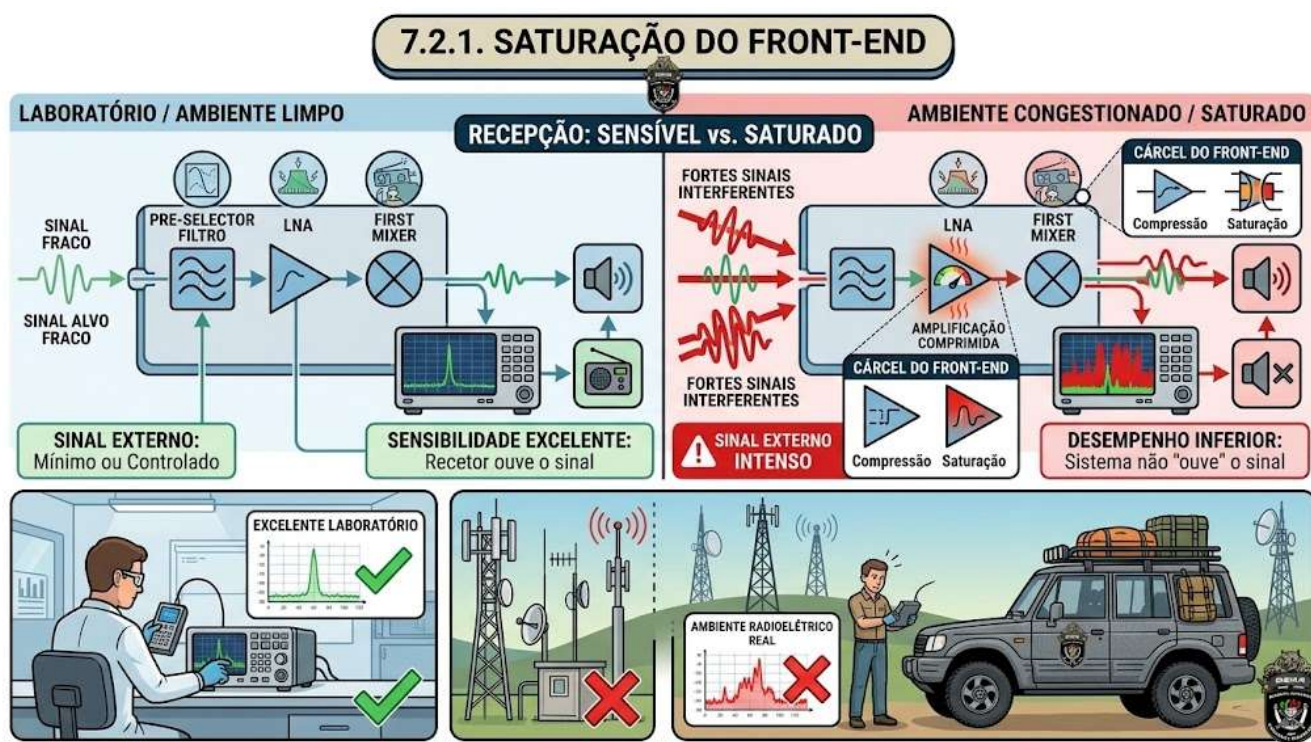


7.2.1. Saturação do Front-End

Um sinal externo muito intenso pode provocar compressão ou saturação dos primeiros andares do recetor.

Quando isto acontece, a sensibilidade efetiva do sistema pode diminuir significativamente.

Um recetor que apresenta excelentes características de sensibilidade em laboratório pode, portanto, apresentar desempenho muito inferior quando instalado num ambiente radioelétrico congestionado.





7.2.2. Intermodulação

A **Intermodulation Distortion (IMD)** ocorre quando sinais de diferentes frequências interagem num elemento não linear.

Entre os produtos mais importantes encontram-se os produtos de terceira ordem:

$$2f_1 - f_2$$

e

$$2f_2 - f_1$$

Se um destes produtos coincidir com a frequência de receção do repetidor, pode surgir uma interferência que não estava originalmente presente nessa frequência.

A intermodulação pode ocorrer em:

- componentes eletrónicos;
- amplificadores;
- conectores;
- junções metálicas;
- componentes danificados;
- elementos com contacto elétrico deficiente.

Fundado a 23 de março de 2016

7.2.3. Intermodulação Passiva – PIM

A **Passive Intermodulation (PIM)** ocorre quando elementos passivos produzem produtos de intermodulação devido a não linearidades.

Pode ser provocada por:

- contactos metálicos deficientes;
- corrosão;
- materiais incompatíveis;
- superfícies metálicas mal apertadas;
- componentes degradados;
- estruturas metálicas próximas submetidas a campos RF elevados.

A utilização de componentes adequados e a manutenção das ligações mecânicas e elétricas são fundamentais em instalações de elevada densidade radioelétrica.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.2.4. Medição do Noise Floor

Antes da instalação definitiva, deve ser realizada uma avaliação do espectro radioelétrico existente.

Um analisador de espectro ou outro equipamento de medição adequado pode ser utilizado para observar:

- nível médio de ruído;
- sinais permanentes;
- sinais intermitentes;
- portadoras fortes;
- ocupação dos canais adjacentes;
- sinais fora da banda potencialmente capazes de provocar saturação.

Não existe um único valor de *Noise Floor* que determine universalmente se uma instalação é aceitável.

O critério correto é comparar o ambiente medido com:

1. a sensibilidade real do recetor;
2. o nível de sinal mínimo necessário para a aplicação;
3. a margem de ligação pretendida;
4. os sinais interferentes existentes no local.

[Caixa Segurança] Medição Antes da Instalação

Não se deve concluir que um local é adequado apenas porque apresenta grande altitude e boa linha de visada.

Sempre que possível, o *Site Survey* deve incluir uma medição do espectro radioelétrico antes da instalação definitiva.

Se forem identificados sinais muito fortes, deve ser avaliada a utilização de filtros passa-banda; filtros passa-rejeita (*notch*); melhoria do isolamento entre antenas; alteração da localização da antena; alteração da frequência de operação; equipamento recetor com maior robustez a sinais fortes.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



7.2.5. Co-localização de Antenas

Quando várias antenas são instaladas na mesma estrutura, deve ser avaliado o acoplamento entre elas.

O isolamento depende de diversos fatores:

- distância;
- frequência;
- polarização;
- ganho;
- diagrama de radiação;
- altura relativa;
- orientação;
- características da estrutura metálica;
- ambiente envolvente.

Não existe, portanto, uma distância universal que garanta determinado isolamento em todas as instalações.

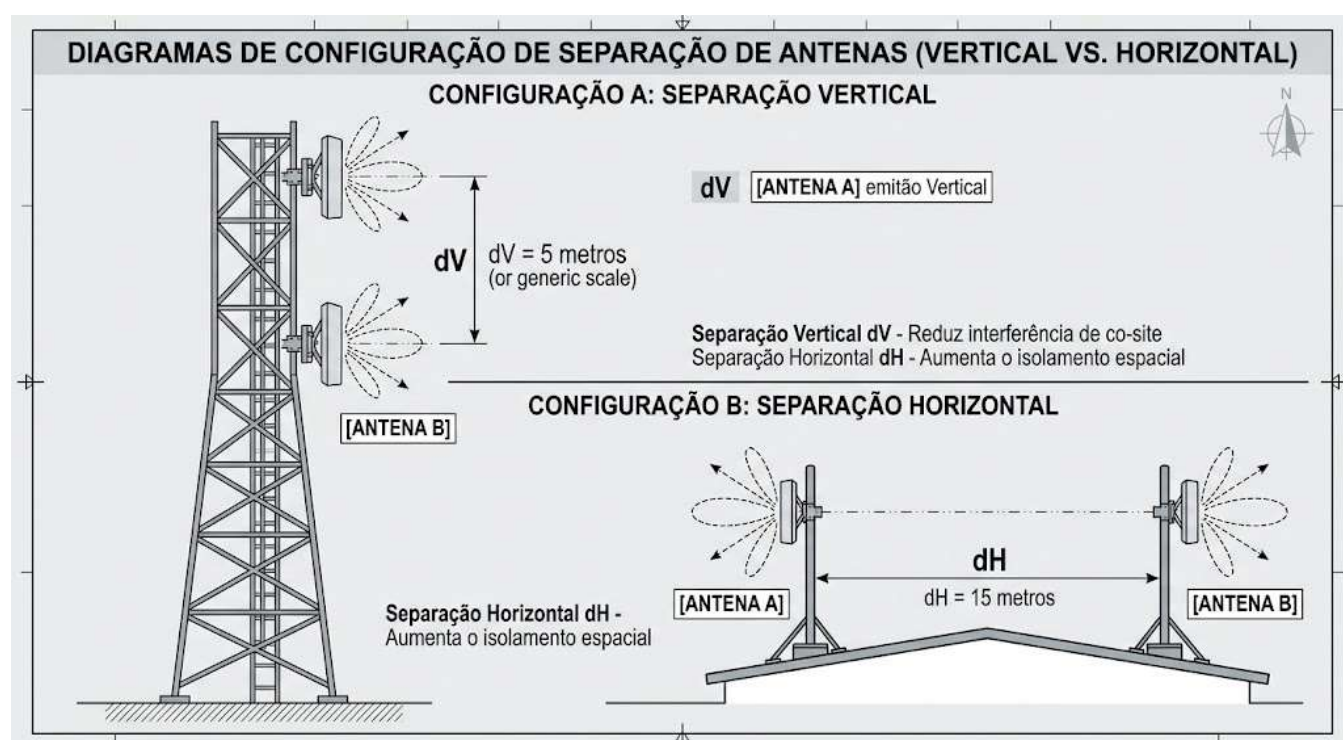


7.2.6. Separação Vertical e Horizontal

Em determinadas configurações, a separação vertical entre antenas omnidirecionais pode proporcionar bom isolamento porque reduz o acoplamento direto entre regiões de maior ganho do diagrama de radiação.

Contudo, **não deve ser assumido que a separação vertical é sempre superior à horizontal.**

A eficácia depende do tipo de antena e da sua geometria.



Em instalações críticas, o isolamento deve ser **medido ou calculado para a configuração concreta**, especialmente quando existem diferenças significativas de potência entre transmissores e recetores.

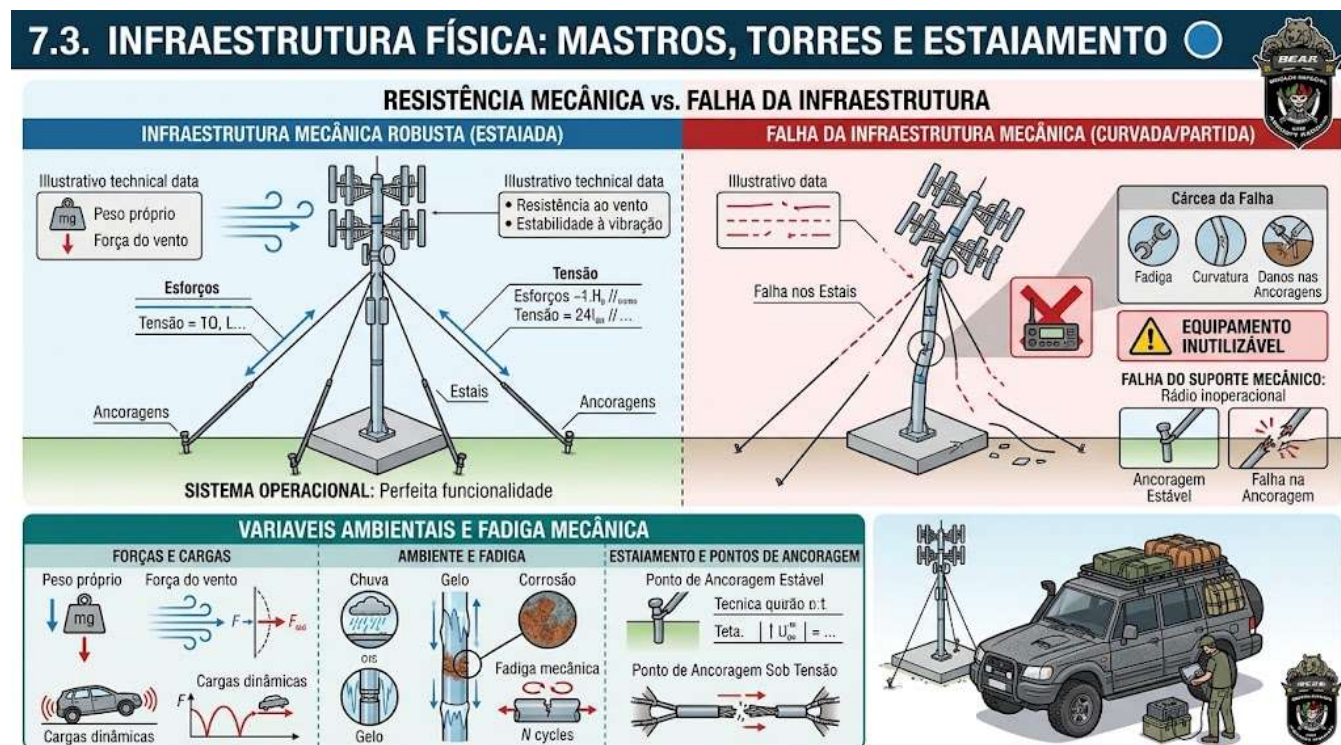
7.3. Infraestrutura Física: Mastros, Torres e Estaiamento

A infraestrutura mecânica constitui uma parte crítica da estação.

Uma antena instalada a vários metros de altura está sujeita a:

- peso próprio;
- força do vento;
- vibração;
- cargas dinâmicas;
- chuva;
- gelo, quando aplicável;
- corrosão;
- fadiga mecânica;
- esforços transmitidos aos pontos de ancoragem.

Uma infraestrutura radioelectricamente perfeita pode tornar-se inutilizável se o suporte mecânico falhar.



7.3.1. Tipologias de Estruturas

1. Mastros Telescópicos

- São adequados para instalações temporárias e de rápida implementação.
- Podem apresentar:
 - baixo peso;
 - montagem rápida;
 - facilidade de transporte;
 - altura variável.
- Devem, contudo, ser utilizados dentro das especificações do fabricante.
- A necessidade e configuração dos estais depende da altura, modelo do mastro, antena instalada e condições de vento.



2. Mastros Estaiados

- Utilizam cabos ou estais ligados a pontos de ancoragem no terreno.
- Podem oferecer uma boa relação entre altura, peso e facilidade de transporte.
- A geometria deve ser cuidadosamente definida antes da instalação.

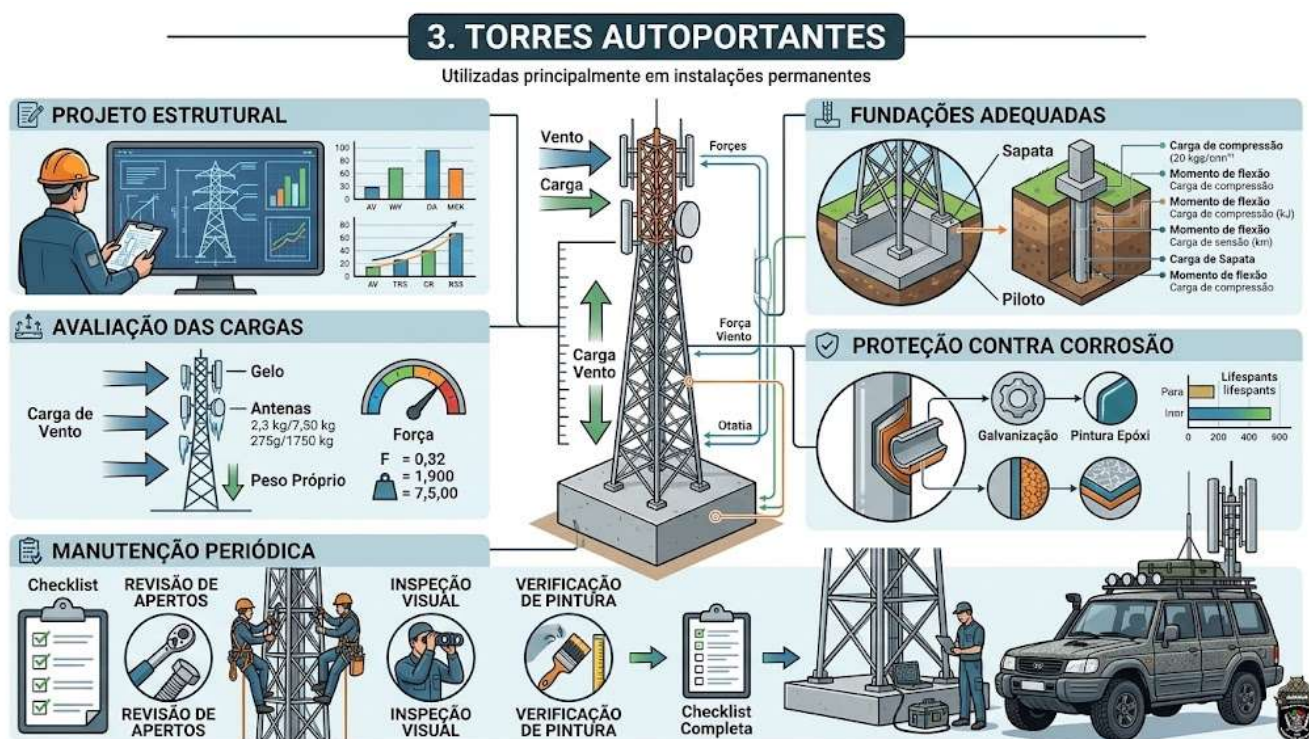


3. Torres Autoportantes

São utilizadas principalmente em instalações permanentes.

Exigem:

- projeto estrutural;
- fundações adequadas;
- avaliação das cargas;
- proteção contra corrosão;
- manutenção periódica.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

4. Estaiamento

Uma configuração comum utiliza três direções de estaiamento aproximadamente espaçadas de:

120°

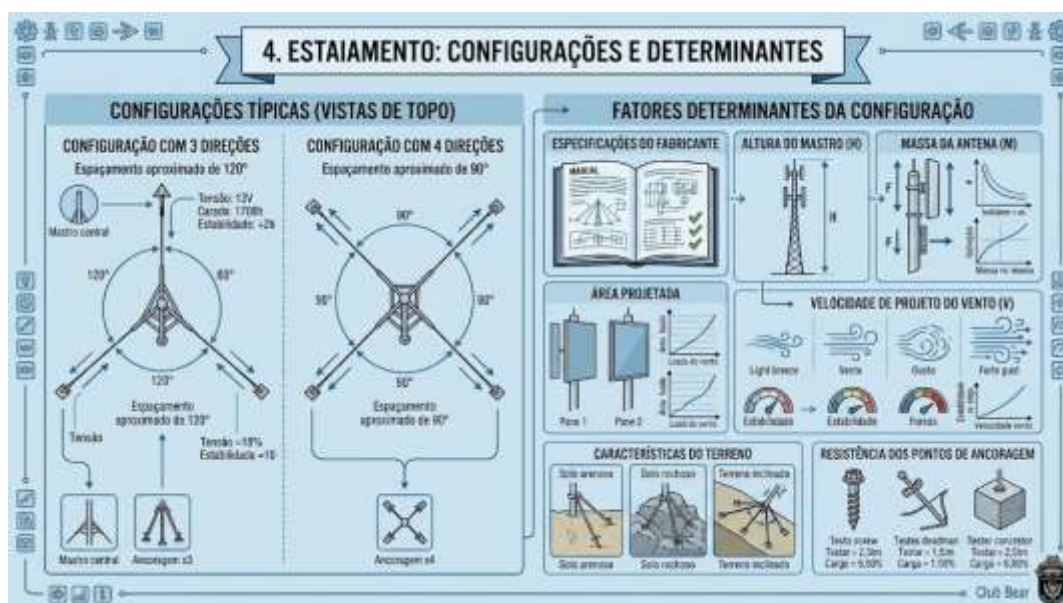
Outra possibilidade é utilizar quatro direções:

90°

Contudo, estes valores constituem **configurações geométricas típicas**, não uma regra universal.

A quantidade, altura e posição dos pontos de fixação dos estais deve ser determinada de acordo com:

- especificações do fabricante;
- altura do mastro;
- massa da antena;
- área projetada;
- velocidade de projeto do vento;
- características do terreno;
- resistência dos pontos de ancoragem.



5. Geometria do Estaiamento

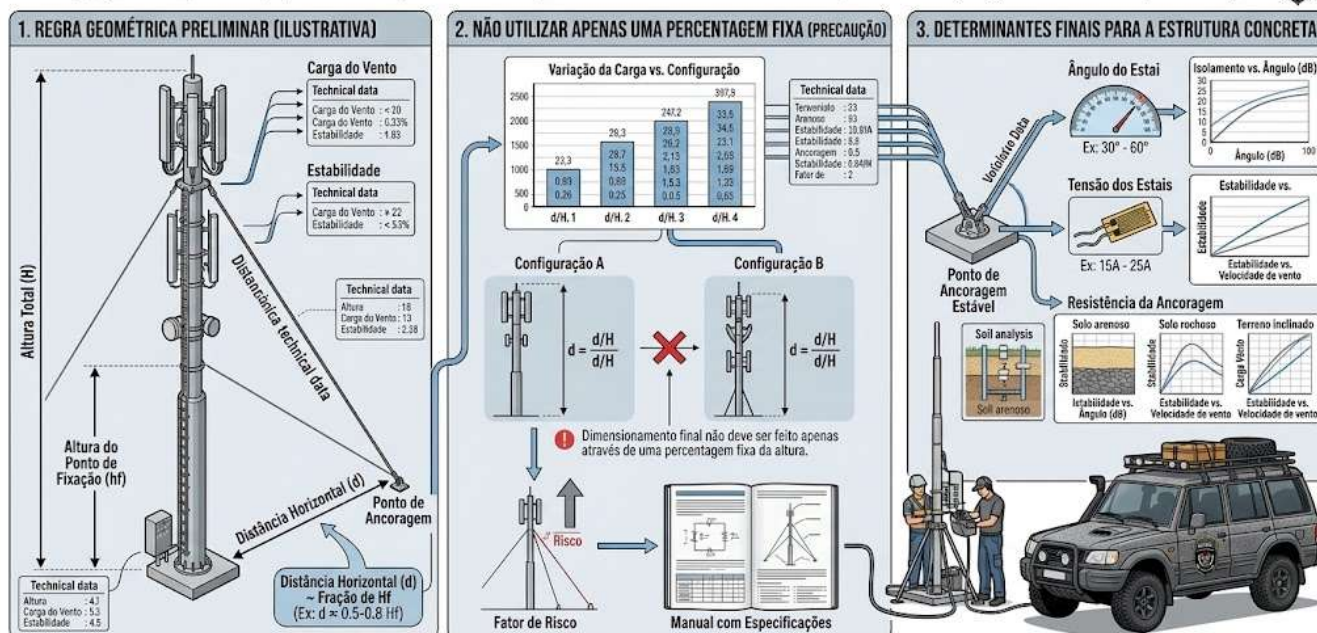
Como regra geométrica preliminar, o ponto de ancoragem encontra-se frequentemente a uma distância horizontal comparável a uma fração significativa da altura do ponto de fixação.

No entanto, o dimensionamento final não deve ser feito apenas através de uma percentagem fixa da altura.

O ângulo, a tensão dos estais e a resistência das ancoragens devem ser determinados para a estrutura concreta.

7.3.2.3.1 GEOMETRIA DO ESTAIAMENTO

Como regra geométrica preliminar, o ponto de ancoragem encontra-se frequentemente a uma distância horizontal comparável a uma fração significativa da altura do ponto de fixação.





Fundado a 23 de março de 2016

7.4. Carga de Vento e Dimensionamento Mecânico ●

A ação do vento constitui uma das principais cargas a considerar numa infraestrutura de antenas.

Uma aproximação simplificada da força de arrasto (F_{vento}) é dada por:

$$F_{\text{vento}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A$$

Onde:

- F_{vento} : força de arrasto exercida pelo vento em Newtons (N);
- ρ : densidade do ar em quilogramas por metro cúbico ($\approx 1,225 \text{ kg/m}^3$ ao nível do mar);
- v : velocidade do vento em metros por segundo (m/s);
- C_d : coeficiente de arrasto aerodinâmico (adimensional, dependente da forma da antena/suporte);
- A : área frontal projetada perante a direção do vento em metros quadrados (m^2).

Importância do Quadrado da Velocidade

A relação:

$$F \propto v^2$$

é particularmente importante.

Se a velocidade do vento duplicar:

$$2^2 = 4$$

a força de arrasto idealizada quadruplica.

Por isso, uma estrutura que parece perfeitamente estável em condições de vento moderado pode apresentar esforços significativamente superiores durante rajadas fortes.

Momento Fletor



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

A força exercida sobre uma antena instalada no topo de um mastro cria um momento fletor (M) na base da estrutura:

$$M = F \cdot h$$

Onde:

- M : momento fletor exercido na base em Newton-metro ($N \cdot m$);
- F : força de arrasto do vento aplicada na antena/suporte em Newtons (N);
- h : altura ou distância entre o ponto de aplicação da força e o ponto de fixação/base em metros (m).

Este conceito é fundamental porque **uma força relativamente pequena aplicada a grande altura pode produzir um momento elevado na base do mastro.**

[Caixa Segurança] Não Dimensionar Ancoragens "A Olho"

O peso da antena não é suficiente para determinar a segurança de um mastro.

Devem ser considerados: força do vento; área projetada; altura; momento fletor; resistência do mastro; resistência dos estais; resistência das ancoragens; características mecânicas do solo.

Uma estaca adequada para uma pequena tenda pode ser completamente inadequada para suportar os esforços de uma estrutura de antena elevada.

Em estruturas permanentes ou sujeitas a condições meteorológicas significativas, o dimensionamento deve ser realizado de acordo com as especificações do fabricante e, quando necessário, por técnico competente.



Fundado a 23 de março de 2016

7.5. Acondicionamento Técnico e Proteção Ambiental

O equipamento eletrónico deve ser protegido contra as condições ambientais existentes no local.

Entre os principais fatores encontram-se: chuva; humidade; condensação; poeiras; radiação solar; temperaturas elevadas; temperaturas baixas; insetos; salinidade em ambientes costeiros.

7.5.1. Grau de Proteção IP

O grau de proteção **IP (Ingress Protection)** deve ser selecionado em função do ambiente.

Para equipamentos instalados no exterior, caixas com proteção elevada contra poeiras e água podem ser apropriadas, mas **IP65 ou IP66 não devem ser tratados como requisitos universais**.

A seleção deve considerar: exposição direta à chuva; posição do gabinete; existência de cobertura; humidade; maresia; necessidade de ventilação; dissipação térmica.

Uma caixa extremamente estanque pode, por exemplo, criar dificuldades de dissipação térmica.

7.5.1. GRAU DE PROTEÇÃO IP (INGRESS PROTECTION)

SELEÇÃO DO GRAU IP EM FUNÇÃO DO AMBIENTE

POEIRO CHUVA INTENSA MAREZIA

IP54 AMBIENTE SECO IP66 AMBIENTE AGRESSIVO

A SELEÇÃO DEVE CONSIDERAR: (FATORES DE RISCO)

EXPOSIÇÃO DIRETA À CHUVA POSIÇÃO DO GABINETE EXISTÊNCIA DE COBERTURA

HUMIDADE MAREZIA NECESSIDADE DE VENTILAÇÃO DISSIPACÃO TÉRMICA

EXEMPLOS E PRECAUÇÕES

CAIXA EXTERIOR (EXEMPLO PRÁTICO)

IP65 Adequado

PRECAUÇÃO: DISSIPACÃO TÉRMICA

IP66 EXTREMAMENTE ESTANQUE
IP55 VENTILADA E ADEQUADA

Uma caixa extremamente estanque pode, por exemplo, criar dificuldades de dissipação térmica.

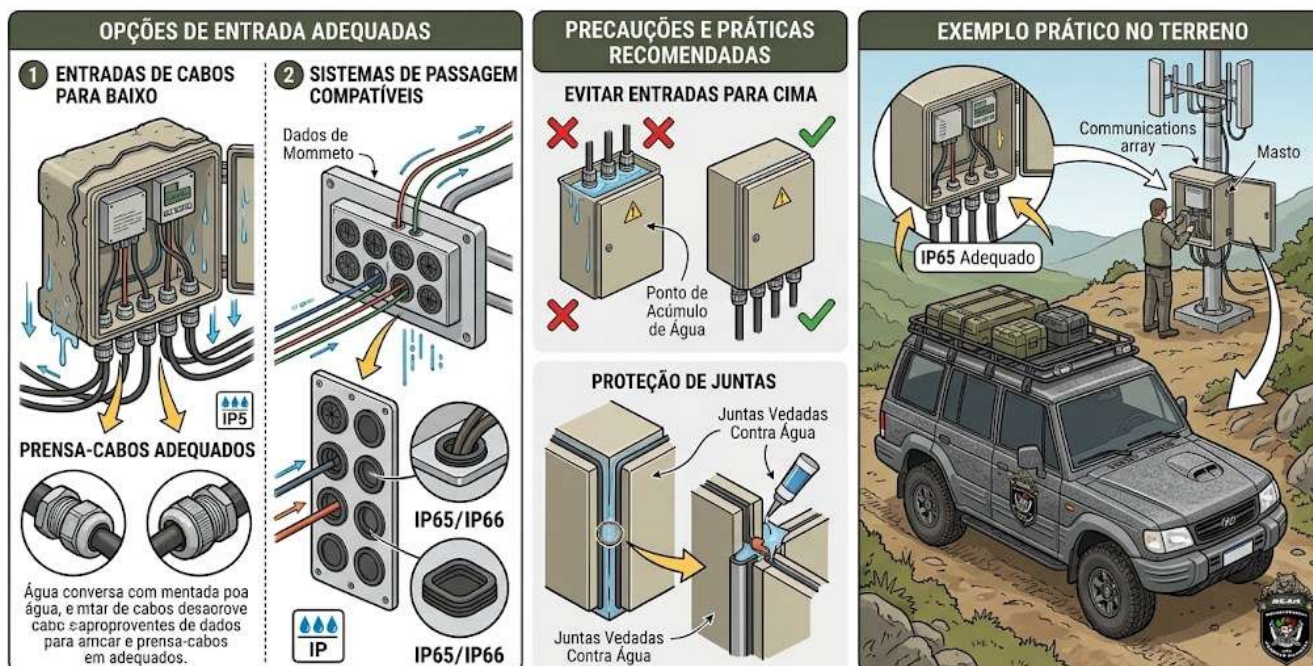
SUPERAQUECIMENTO DISSIPACÃO CORRETA

7.5.2. Entrada de Cabos

Os cabos devem entrar no gabinete através de sistemas de passagem adequados e compatíveis com o grau de proteção pretendido.

Sempre que possível: entradas de cabos devem ser orientadas para baixo; devem ser utilizados prensa-cabos apropriados; devem evitar-se pontos de entrada virados para cima; as juntas devem ser protegidas contra entrada de água.

7.5.2. ENTRADA DE CABOS (GRAU DE NO EQUIP.ARENTTE PROTEÇÃO)



7.5.3. Drip Loop

Um **Drip Loop** é uma curva descendente criada no cabo antes da entrada no equipamento.



A água que escorre pelo cabo tende a abandonar o cabo no ponto inferior da curva, reduzindo a possibilidade de entrada direta no gabinete.

O *Drip Loop* não substitui a utilização de prensa-cabos, conectores e vedantes adequados.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.6. Gestão Térmica do Gabinete ●

O calor produzido pelos componentes eletrónicos pode reduzir significativamente a fiabilidade do sistema.

As principais fontes térmicas incluem: PA do transmissor; fonte de alimentação; conversores DC/DC; controladores; baterias; perdas nos cabos e componentes.

A gestão térmica pode utilizar:

Dissipação Passiva

Baseia-se em:

- dissipadores, condução térmica para o chassis, circulação natural de ar.

É particularmente interessante quando não é necessária ventilação forçada.

Ventilação Forçada

Utiliza ventiladores para remover calor do gabinete.

Deve ser acompanhada por:

- filtragem de poeiras, controlo térmico, manutenção periódica, proteção contra entrada de água.

Uma solução possível é utilizar ventilação controlada por temperatura, fazendo com que o ventilador só entre em funcionamento quando necessário.

[Caixa Técnica] Temperatura e Fiabilidade

A temperatura interna do gabinete deve ser analisada considerando não apenas a temperatura ambiente, mas também: potência dissipada pelo PA; eficiência da fonte; radiação solar; ventilação; volume interno; isolamento térmico.

Uma caixa metálica exposta diretamente ao Sol pode atingir uma temperatura interna significativamente superior à temperatura ambiente.

Por isso, em instalações exteriores, a proteção solar e a circulação de ar podem ser tão importantes como o próprio dissipador do equipamento.

7.7. Aterramento, Descargas Atmosféricas e Proteção da Infraestrutura

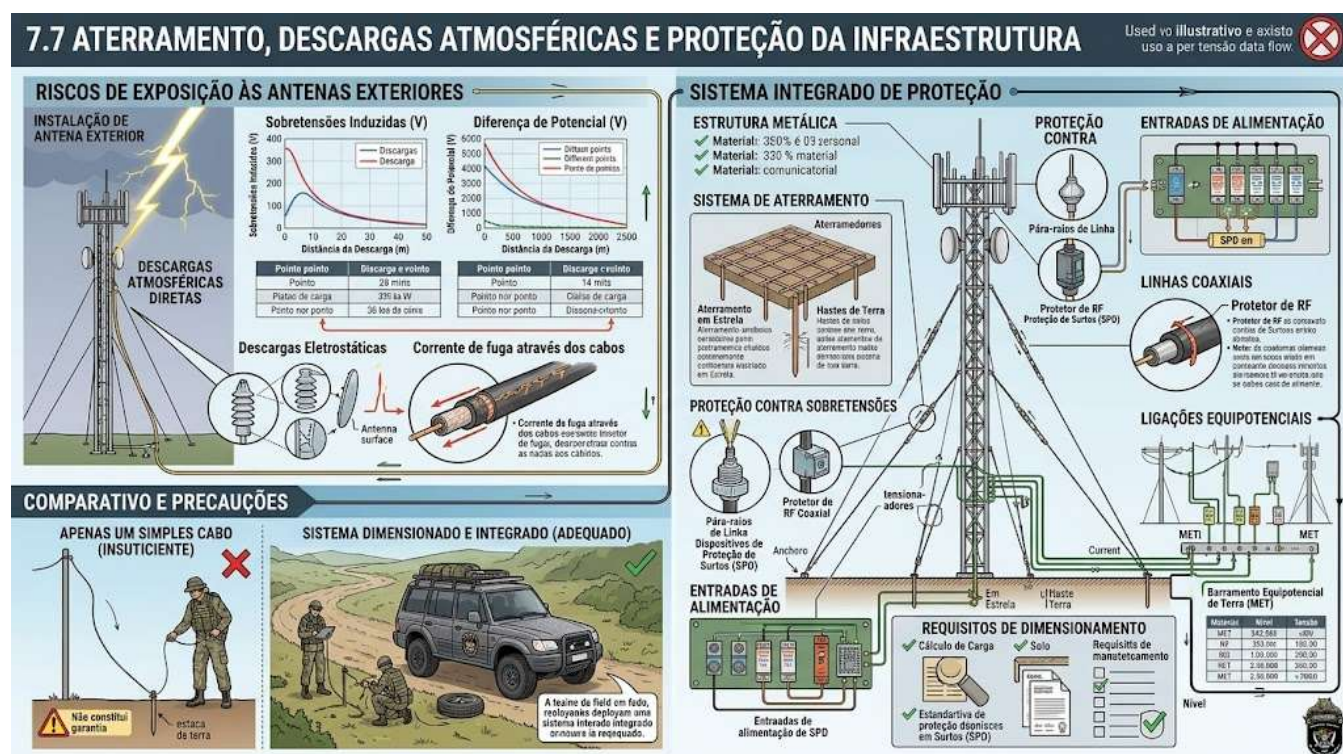
Uma instalação de antena exterior apresenta exposição acrescida a fenómenos atmosféricos.

O sistema deve ser analisado quanto a: descargas atmosféricas diretas; sobretensões induzidas; diferenças de potencial; descargas eletrostáticas; corrente de fuga através dos cabos.

A proteção deve ser concebida como um sistema integrado, envolvendo: estrutura metálica; sistema de aterramento; proteção contra sobretensões; entradas de alimentação; linhas coaxiais; ligações equipotenciais.

A utilização de um simples cabo ligado a uma estaca de terra **não constitui, por si só, uma garantia de proteção contra descargas atmosféricas.**

Em instalações permanentes, o sistema de proteção deve ser dimensionado de acordo com as características da instalação e as normas técnicas aplicáveis.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.8. Metodologia Completa de Site Survey ●

Um *Site Survey* profissional deve seguir uma sequência organizada.

Fase 1 – Análise documental

Recolher:

- coordenadas, altitude, cartografia;
- frequência prevista, potência, altura prevista da antena;
- área de cobertura, restrições de acesso.

Fase 2 – Simulação

Executar:

- análise de linha de visada, análise da Zona de Fresnel;
- previsão de cobertura, identificação de potenciais zonas de sombra.

Fase 3 – Inspeção física

Avaliar:

- acesso, espaço disponível, estabilidade do terreno e pontos de ancoragem;
- exposição ao vento, exposição solar e possibilidade de instalação do gabinete.

Fase 4 – Avaliação radioelétrica

Medir:

- *Noise Floor*, sinais interferentes e ocupação espectral;
- sinais fortes fora da frequência de trabalho e eventual PIM/intermodulação.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Fase 5 – Avaliação energética

Determinar:

- alimentação disponível, consumo do repetidor;
- capacidade de bateria e possibilidade de instalação solar;
- autonomia necessária e proteção elétrica.

Fase 6 – Teste de cobertura

Realizar, quando possível:

- medições estáticas, *Drive Test*;
- testes com equipamentos portáteis, avaliação de qualidade de áudio;
- testes de estabilidade.

Fase 7 – Avaliação de segurança

Verificar:

- estabilidade do mastro, estais e ancoragens, risco de queda;
- risco elétrico, risco de incêndio, exposição a descargas atmosféricas;
- condições meteorológicas.

[Caso Prático BEAR] Site Survey Multidisciplinar

Para a instalação temporária de um repetidor destinado a apoiar uma atividade em terreno rural, a equipa não deve limitar a avaliação à escolha do ponto mais elevado.

O processo deve começar pela simulação da cobertura, seguida da inspeção presencial do terreno.

No local devem ser avaliados simultaneamente o perfil topográfico, o espectro radioelétrico, o acesso, a possibilidade de instalação do mastro, os pontos de ancoragem, a alimentação elétrica e a proteção do equipamento.

Depois da instalação, devem ser realizados testes de comunicação nos pontos críticos identificados na simulação.

Se a cobertura real não corresponder à prevista, devem ser investigadas primeiro as causas — posição, altura, antena, perdas, interferência ou obstrução — antes de aumentar indiscriminadamente a potência de transmissão.

Princípio BEAR: primeiro otimizar a posição e o sistema radiante; depois considerar o aumento de potência.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

7.8. Conclusão do Capítulo

O *Site Survey* constitui a ligação entre a engenharia teórica e o desempenho real da estação repetidora.

Uma boa instalação não resulta simplesmente da utilização de um transmissor potente ou da colocação de uma antena no ponto mais alto disponível.

O desempenho final resulta da interação entre:

$$\text{Cobertura} = f(\text{Topografia, Antena, Altura, Potência, Perdas, Interferência, Ambiente})$$

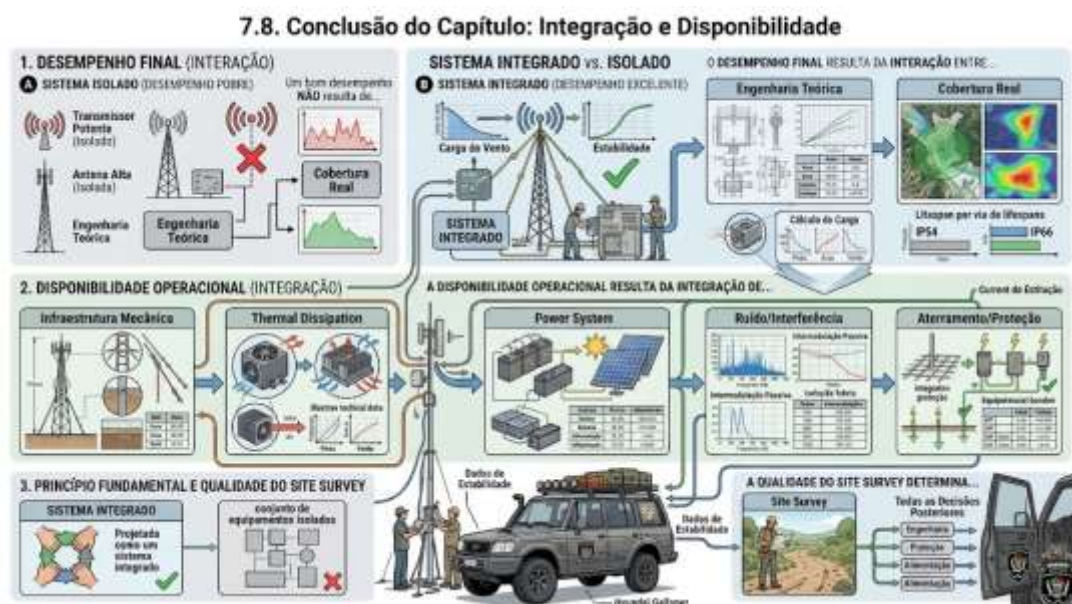
Da mesma forma, a disponibilidade operacional resulta da integração de:

$$\text{Disponibilidade} = f(\text{RF, Energia, Mecânica, Ambiente, Manutenção})$$

O princípio fundamental é simples:

Uma estação repetidora deve ser projetada como um sistema integrado e não como um conjunto de equipamentos isolados.

A qualidade do *Site Survey* determina, em grande medida, a qualidade de todas as decisões tomadas posteriormente.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



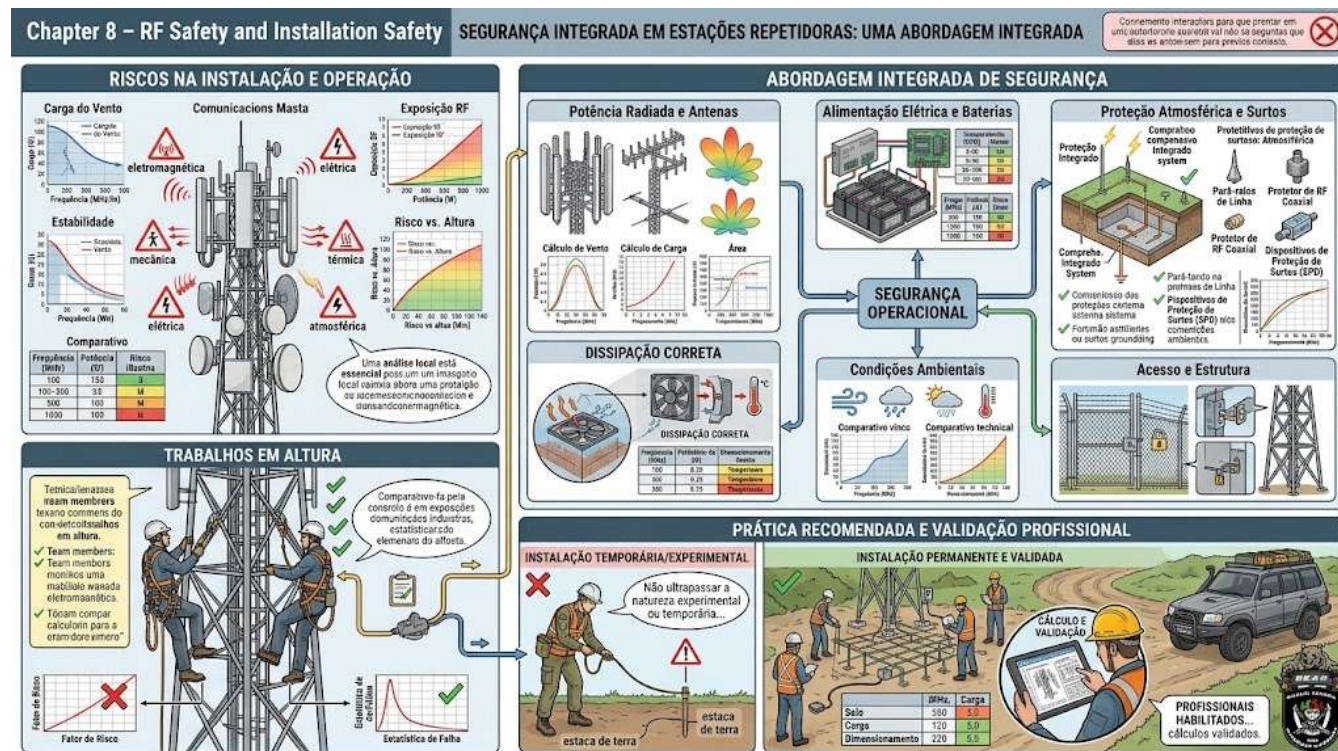
Fundado a 23 de março de 2016

Capítulo 8 – Segurança RF e Segurança da Instalação

A instalação, colocação em serviço e operação de uma estação repetidora envolvem riscos de natureza eletromagnética, elétrica, mecânica, térmica e atmosférica.

A segurança operacional não depende apenas do cumprimento dos requisitos legais aplicáveis. Deve resultar de uma abordagem integrada que considere a potência radiada, as características das antenas, o acesso às estruturas, os trabalhos em altura, a alimentação elétrica, as baterias, a proteção contra sobretensões e descargas atmosféricas e as condições ambientais.

Sempre que uma instalação ultrapasse a natureza experimental ou temporária, os cálculos estruturais, elétricos e de proteção contra descargas atmosféricas devem ser realizados ou validados por profissionais habilitados, de acordo com as normas e regulamentação aplicáveis.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



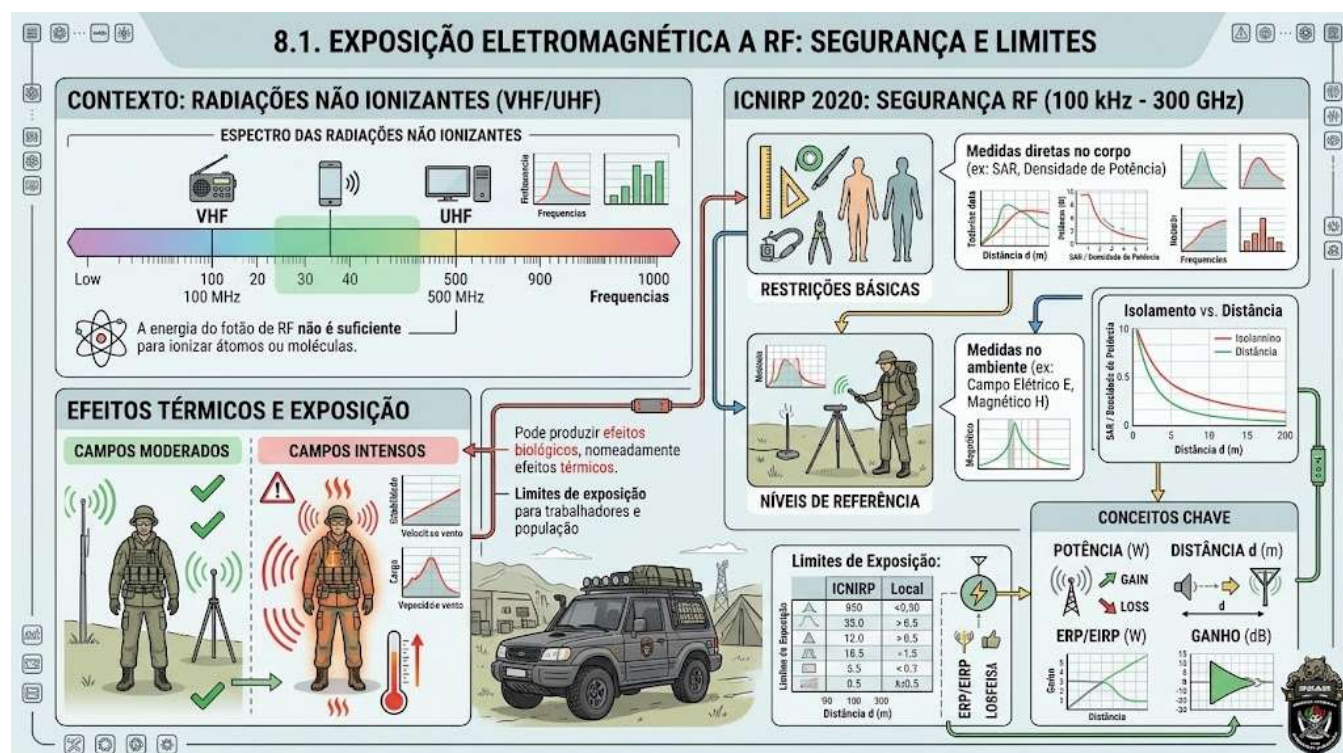
Fundado a 23 de março de 2016

8.1. Exposição eletromagnética a RF: potência, ERP/EIRP, ganho, distância e limites de exposição

As radiofrequências utilizadas em sistemas VHF e UHF pertencem ao espectro das **radiações não ionizantes**. A energia de um fóton de RF não é suficiente para provocar ionização dos átomos ou moléculas.

Contudo, campos eletromagnéticos suficientemente intensos podem produzir **efeitos biológicos**, nomeadamente **efeitos térmicos**, razão pela qual existem limites de exposição destinados a proteger trabalhadores e população em geral.

As recomendações da **ICNIRP 2020** aplicam-se à exposição humana a campos eletromagnéticos de 100 kHz a 300 GHz e distinguem entre **restrições básicas** e **níveis de referência**.



Fundado a 23 de março de 2016

8.1.1. EIRP e densidade de potência

A potência disponível na saída do transmissor não corresponde necessariamente à potência efetivamente radiada.

É necessário considerar:

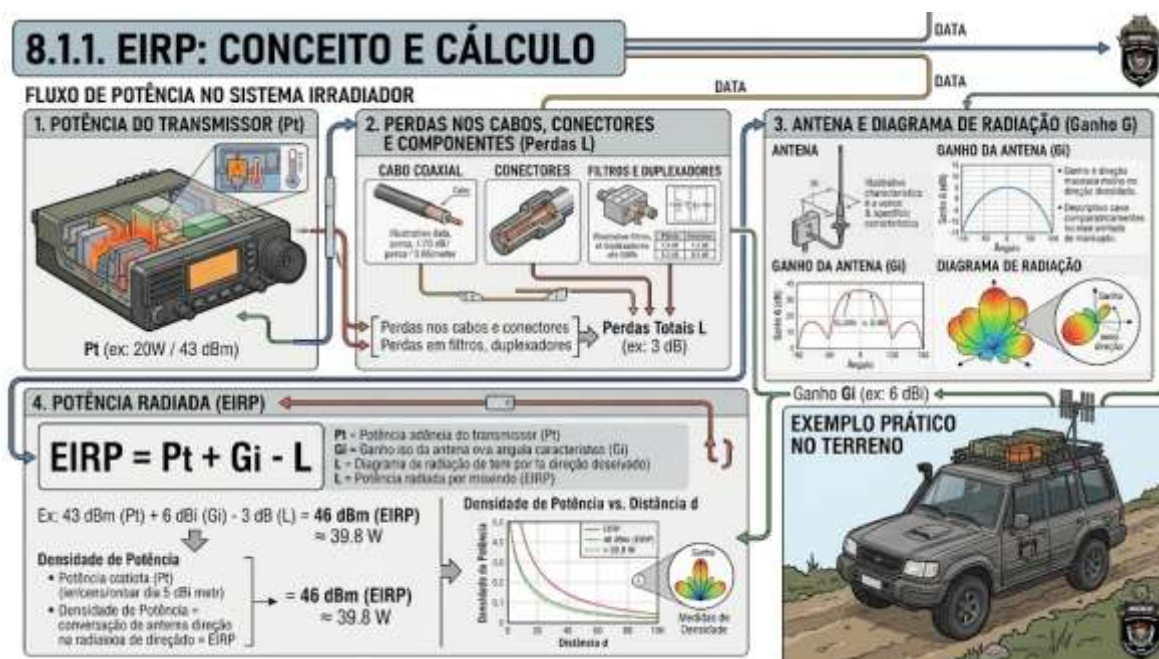
- potência do transmissor, perdas nos cabos e perdas nos conectores;
- perdas em filtros, duplexadores e outros componentes;
- ganho da antena e direção considerada relativamente ao diagrama de radiação.

A EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) pode ser expressa, em termos simplificados, por:

$$EIRP = P_{TX} \times 10^{\frac{G-L}{10}}$$

onde:

- P_{TX} = potência entregue pelo transmissor;
- G = ganho da antena em dBi;
- L = perdas totais entre o transmissor e a antena, em dB.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Em campo distante e numa direção específica, a densidade de potência pode ser aproximada por:

$$S \approx \frac{EIRP}{4\pi R^2}$$

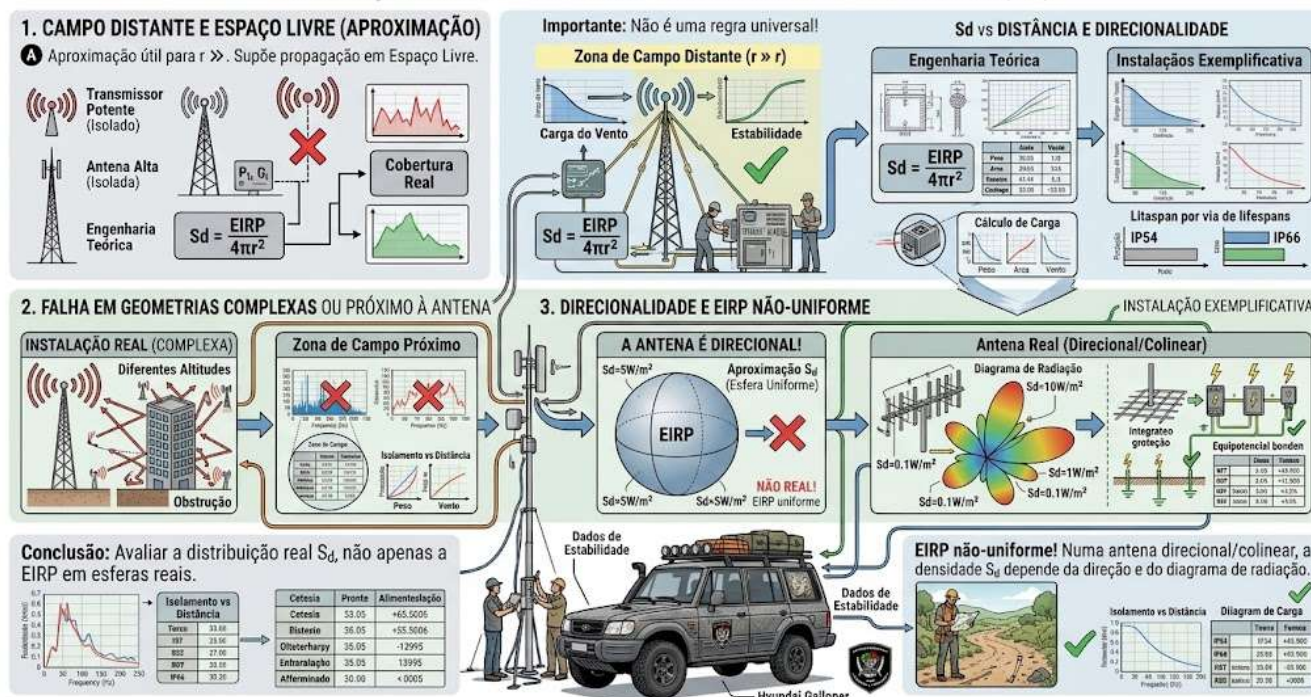
onde:

- S = densidade de potência, em W/m^2 ;
- R = distância à antena, em metros.

Importante: esta expressão é uma aproximação de **campo distante** e pressupõe propagação aproximadamente em espaço livre. Não deve ser utilizada isoladamente para determinar a conformidade de uma instalação real, especialmente junto à antena ou em geometrias complexas.

Além disso, numa antena direcional ou colinear, a densidade de potência depende da direção e do diagrama de radiação. A EIRP não deve, portanto, ser interpretada como se toda essa potência estivesse uniformemente distribuída numa esfera real.

LIMITAÇÕES DA FÓRMULA DE DENSIDADE DE POTÊNCIA (S_d)





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.1.2. Limites de referência

A ICNIRP 2020 estabelece, para exposição de corpo inteiro, os seguintes níveis de referência de densidade de potência:

Frequência	Trabalhadores	Público em geral
>30–400 MHz	10 W/m ²	2 W/m ²
>400–2000 MHz	$f/40$ W/m ²	$f/200$ W/m ²
>2–300 GHz	50 W/m ²	10 W/m ²

Na expressão f , a frequência é introduzida em MHz.

Assim, a **435 MHz**:

Trabalhadores

$$S = \frac{435}{40} = 10,875 \text{ W/m}^2$$

Público em geral

$$S = \frac{435}{200} = 2,175 \text{ W/m}^2$$

Estes valores correspondem aos **níveis de referência ICNIRP 2020** para exposição de corpo inteiro. A aplicação prática destes níveis depende, entre outros fatores, da zona de campo e da metodologia de avaliação. A própria ICNIRP estabelece condições diferentes para campo distante, campo próximo radiativo e campo próximo reativo.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Enquadramento português

Em Portugal, a **Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro**, estabelece restrições básicas e níveis de referência relativos à exposição da população a campos eletromagnéticos.

O regime português das infraestruturas de suporte das estações de radiocomunicações também prevê requisitos relacionados com a conformidade dos níveis de exposição e atribui competências de fiscalização à ANACOM. O Decreto-Lei n.º 11/2003 estabelece, entre outros aspetos, o regime de autorização municipal das infraestruturas de suporte das estações de radiocomunicações.

Nota importante

Não se deve escrever que a Portaria n.º 1421/2004 “adota integralmente a ICNIRP 2020”. A Portaria é de 2004 e integra o enquadramento baseado na Recomendação 1999/519/CE e nos valores então aplicáveis. A ICNIRP publicou posteriormente as suas Guidelines 2020, que substituíram as anteriores Guidelines de RF de 1998.

Para um manual técnico publicado atualmente, é preferível apresentar separadamente **o requisito legal português aplicável** e, como referência técnica internacional, **a ICNIRP 2020**.

SAR – Specific Absorption Rate

A **SAR** (*Specific Absorption Rate*) representa a taxa de absorção de energia eletromagnética pelo tecido biológico e é expressa em W/kg.

A SAR constitui uma das grandezas utilizadas nas **restrições básicas** de exposição. Os níveis de referência medidos no exterior do corpo são derivados das restrições básicas através de condições conservadoras.

Assim, não é correto afirmar simplesmente que “os limites de densidade de potência foram derivados para garantir que a SAR do corpo inteiro nunca ultrapasse 0,08 W/kg” como se essa relação fosse a única base de avaliação.

A ICNIRP distingue diferentes restrições básicas para exposição de corpo inteiro e exposição localizada.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





8.2. Avaliação das distâncias de segurança e delimitação de zonas de exclusão RF ●

A distância de segurança de uma antena não deve ser determinada exclusivamente através de uma fórmula baseada na EIRP.

Para uma avaliação preliminar em **campo distante**, pode utilizar-se:

$$R = \sqrt{\frac{EIRP}{4\pi S_{limite}}}$$

Contudo, esta expressão apresenta limitações importantes.

A distância resultante depende de:

- frequência;
- potência efetivamente radiada;
- ganho da antena;
- perdas da linha;
- diagrama de radiação;
- direção considerada;
- altura da antena;
- presença de estruturas metálicas;
- reflexões;
- características do terreno;
- regime de campo próximo ou distante;
- ciclo de transmissão (*duty cycle*);
- localização e duração da exposição.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.2.1. Campo próximo e campo distante

Uma antena de repetição pode apresentar regiões de **campo próximo reativo**, **campo próximo radiativo** e **campo distante**.

Na proximidade da antena, a simples utilização de:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi R^2}$$

pode produzir resultados incorretos.

A ICNIRP 2020 estabelece metodologias diferentes para avaliação consoante a região de campo considerada.

Exemplo de cálculo preliminar

Considere-se, exclusivamente para fins didáticos, um transmissor:

- $P_{TX} = 50 \text{ W}$;
- perdas totais entre transmissor e antena = 2 dB;
- ganho máximo da antena = 8 dBi.

A EIRP será aproximadamente:

$$EIRP = 50 \times 10^{\frac{8-2}{10}}$$
$$EIRP \approx 199,1 \text{ W}$$

Para uma frequência de 435 MHz, considerando o nível de referência de 2,175 W/m²:

$$R = \sqrt{\frac{199,1}{4\pi \times 2,175}}$$
$$R \approx 2,70 \text{ m}$$

Este valor não deve ser apresentado como uma distância de segurança normativa da instalação.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

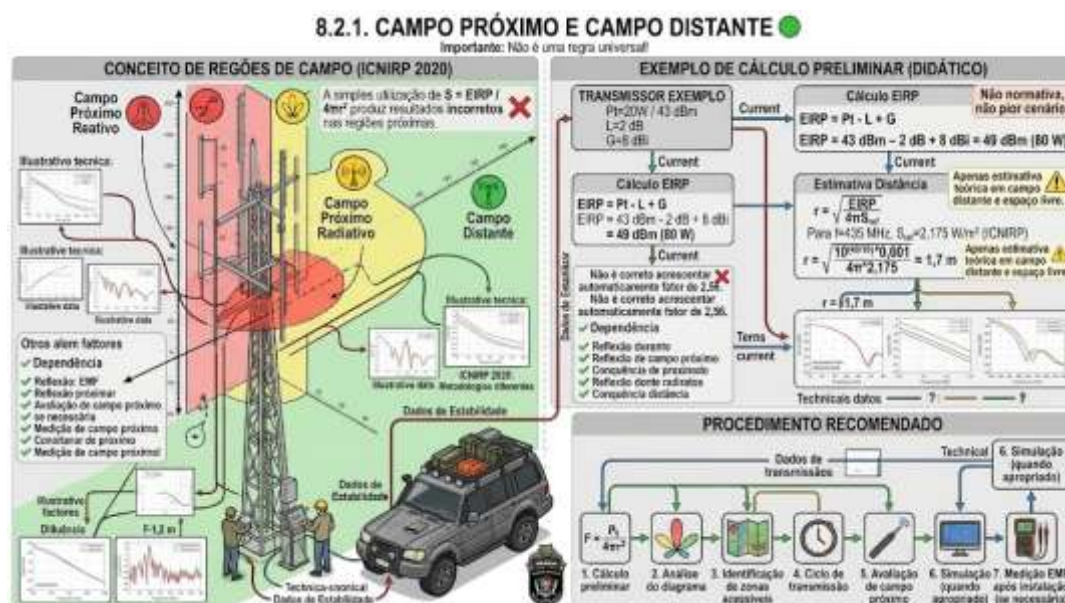
Trata-se apenas de uma **estimativa teórica em campo distante e espaço livre**.

Não é correto acrescentar automaticamente um fator de 2,56 para “reflexão do solo” e apresentar o resultado como “pior cenário”. A reflexão depende da geometria, polarização, altura, frequência, características do solo e posição do indivíduo.

Procedimento recomendado

Para uma instalação permanente ou de potência significativa, a zona de exclusão deve ser determinada através de:

1. cálculo preliminar;
2. análise do diagrama de radiação da antena;
3. identificação das zonas acessíveis;
4. consideração do ciclo de transmissão;
5. avaliação de campo próximo;
6. simulação quando apropriado;
7. **medição de campos eletromagnéticos após instalação**, sempre que necessária para demonstrar conformidade.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.2.2. Delimitação física

Quando existir possibilidade de acesso de pessoas a zonas onde os níveis de exposição possam exceder os valores aplicáveis, devem ser implementadas medidas de controlo, como:

- barreiras físicas;
- sinalização;
- controlo de acesso;
- elevação da antena;
- alteração da orientação da antena;
- redução da potência;
- alteração da localização;
- interbloqueios ou procedimentos de desativação durante manutenção.

Não existe uma regra universal segundo a qual uma antena deva estar obrigatoriamente a “mais de 5 metros do solo”.

A altura necessária deve resultar da análise da instalação e da zona de exposição.

[Caixa Segurança] Contacto direto com elementos RF

Nunca tocar numa antena ou elemento radiante enquanto o transmissor estiver ativo.

Uma instalação de RF pode provocar aquecimento localizado e queimaduras, particularmente quando existem potências elevadas ou contacto com elementos condutores associados ao sistema de transmissão.

Antes de intervir numa antena, linha de transmissão, duplexador ou outro componente RF deve ser assegurado que o transmissor está desligado e que foram adotadas as medidas necessárias para impedir uma transmissão inadvertida.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.3. Segurança em trabalhos em altura e montagem de infraestruturas ●

A instalação de antenas em mastros, torres ou estruturas elevadas constitui uma atividade de risco elevado.

Sempre que possível, devem ser privilegiadas soluções que permitam executar o maior número possível de operações **a partir do solo**, reduzindo a necessidade de trabalho em altura.

O equipamento de proteção deve ser selecionado de acordo com o sistema de trabalho utilizado.

Exemplos de equipamentos

Equipamento	Norma de referência
Arnês de corpo inteiro	EN 361
Equipamento de posicionamento	EN 358
Talabarte	EN 354
Absorvedor de energia	EN 355
Dispositivo anti-quedas guiado	EN 353
Capacete para trabalhos em altura	EN 397 ou EN 12492, conforme aplicação

A seleção concreta deve ser feita de acordo com a tarefa, estrutura e sistema de proteção adotado.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.3.1. Princípio da continuidade da proteção

Quando for utilizado um sistema de dupla conexão, a transição entre pontos deve ser realizada de forma a manter o trabalhador permanentemente protegido contra uma queda.

No entanto, **um talabarte duplo em Y não constitui automaticamente o sistema adequado para qualquer torre ou mastro**. Em determinadas estruturas pode ser mais apropriado utilizar:

- dispositivo anti-queda guiado;
- linha de vida vertical;
- sistema de posicionamento;
- sistema de retenção;
- sistema de paragem de queda especificamente concebido para a estrutura.

8.3.2. Inspeção

Antes da utilização devem ser verificadas:

- fitas;
- costuras;
- absorvedores;
- conectores;
- mecanismos de bloqueio;
- pontos de ancoragem;
- linhas de vida;
- elementos estruturais.

Um equipamento que tenha sofrido uma queda deve ser **retirado imediatamente de serviço** e sujeito à avaliação prevista pelo fabricante ou entidade competente.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.3.4. Condições meteorológicas

Os trabalhos em altura devem ser suspensos sempre que as condições ambientais comprometam a segurança.

Devem ser considerados, entre outros:

- velocidade e rajadas de vento;
- chuva;
- gelo;
- trovoadas;
- visibilidade;
- estado da estrutura;
- risco de escorregamento;
- recomendações do fabricante da estrutura e dos EPI.

Não deve ser estabelecido um valor universal como “40 km/h” para todas as estruturas.

O limite deve ser definido pelo **fabricante do equipamento/estrutura, procedimento de trabalho e avaliação de risco**.

Da mesma forma, não deve ser utilizado arbitrariamente um raio de “20 km” para trovoadas. A presença de trovoadas na proximidade constitui motivo para suspender o trabalho em estruturas elevadas e metálicas, seguindo o procedimento de segurança definido para a atividade.

[Caixa Legal] Trabalhos temporários em altura

O Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro, estabelece requisitos de segurança para a utilização de equipamentos de trabalho e contém disposições específicas relativas aos trabalhos temporários em altura. O artigo 36.º determina, entre outros princípios, a prioridade das medidas de proteção coletiva relativamente às medidas de proteção individual.

Não deve ser apresentada uma regra simplificada segundo a qual o diploma determina automaticamente a utilização de sistemas de paragem de quedas para qualquer trabalho realizado “acima de 2 metros”. A necessidade e seleção do sistema de proteção dependem da natureza do trabalho e dos riscos existentes.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.4. Proteção contra descargas atmosféricas, aterramento e equipotencialização ●

Uma estação repetidora instalada num mastro ou torre pode estar exposta a:

- descargas atmosféricas diretas;
- sobretensões induzidas;
- correntes de descarga;
- diferenças de potencial entre equipamentos;
- sobretensões provenientes da rede elétrica;
- descargas através de linhas coaxiais.

A proteção deve ser concebida como um **sistema integrado de proteção contra descargas atmosféricas e sobretensões**, e não apenas como um “piquete de terra”.

Principais elementos

Dependendo da instalação, podem ser necessários:

- sistema de captação;
- condutores de descida;
- sistema de eletrodos de terra;
- equipotencialização;
- descarregadores de sobretensão;
- proteção das linhas coaxiais;
- proteção das linhas de alimentação;
- proteção de linhas de dados;
- ligação equipotencial do gabinete;
- proteção específica da alimentação DC.

A conceção deve seguir as normas aplicáveis, nomeadamente a família **IEC/EN 62305**, quando aplicável à instalação.

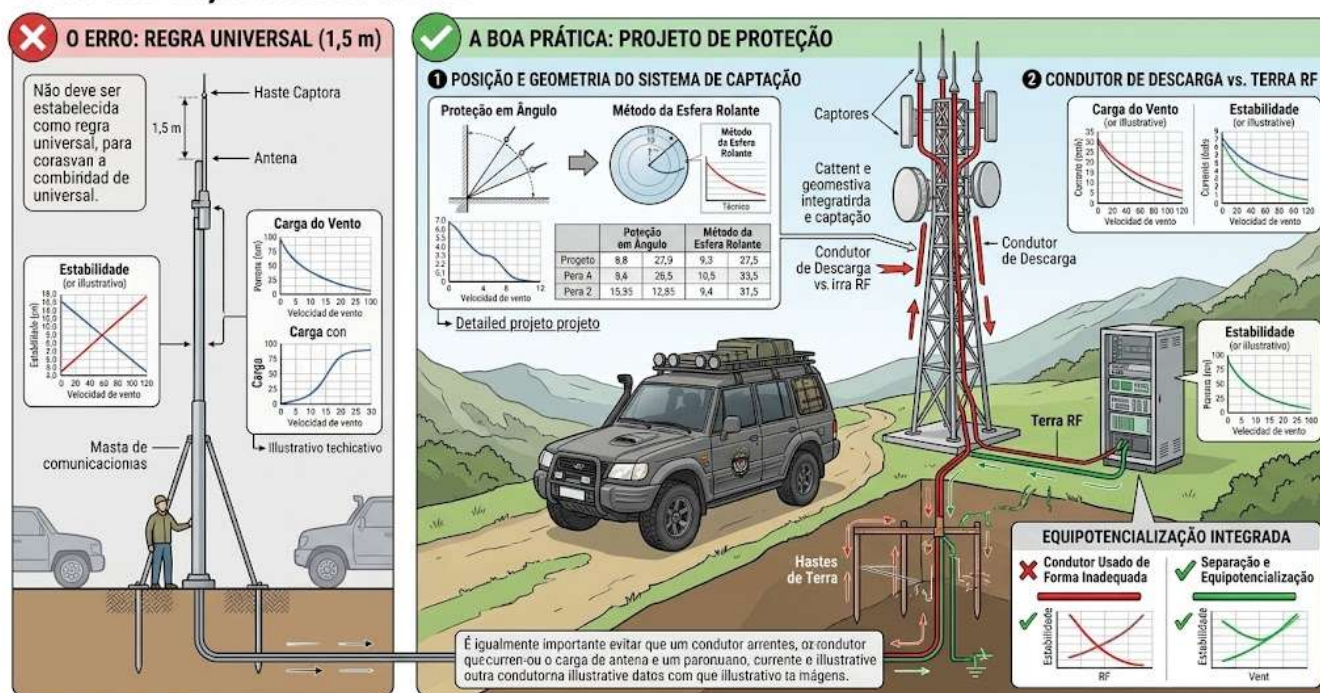
8.4.1. Captação da descarga

Não deve ser estabelecida como regra universal a instalação de uma haste captora **1,5 m acima da antena**.

A posição, altura e geometria do sistema de captação devem resultar do método de proteção utilizado e do projeto de proteção contra descargas atmosféricas.

É igualmente importante evitar que um condutor destinado a transportar corrente de descarga seja utilizado de forma inadequada como se fosse simplesmente o “terra RF” do equipamento.

8.4.1. CAPTAÇÃO DA DESCARGA



8.4.2. Condutores de descida

O condutor de descida deve apresentar baixa impedância para correntes impulsivas e possuir características adequadas ao sistema de proteção utilizado.

O percurso deve ser:

- o mais curto possível;
- o mais direto possível;
- sem curvas desnecessárias;
- afastado de elementos suscetíveis de sofrer arco elétrico;
- corretamente fixado.

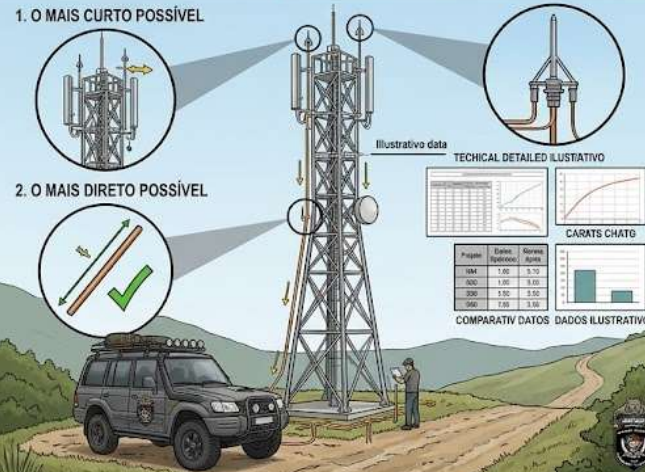
A secção do condutor **não deve ser fixada genericamente em 50 mm² para todas as instalações**. Deve resultar do sistema de proteção, material utilizado, norma aplicável e projeto.

8.4.2. CONDUTORES DE DESCIDA

BOA PRÁTICA: PERCURSO CURTO E DIRETO

1. O MAIS CURTO POSSÍVEL

2. O MAIS DIRETO POSSÍVEL



Ilustrativo data

TECHICAL DETAILED ILUSTRATIVO

CARATS CHATG

Projeto	Dados	Aplicação	Norma
10M	1.00	5.75	5.75
50M	1.00	5.75	5.75
200	1.00	5.75	5.75
500	1.00	5.75	5.75

COMPARATIV DADOS DADOS ILUSTRATIVO

MÁ PRÁTICA: PERCURSO COMPLEXO E ARCO ELÉTRICO

3. SEM CURVAS DESNECESSÁRIAS

4. AFASTADO DE ELEMENTOS SUSCETÍVEIS

5. FIXADO CORRETAMENTE?



Call-out redundant

Call-out redundant

Call-outs curvas redundantes e desnecessárias!

Ilustrativo errático

ARCO ELÉTRICO!

A secção do condutor deve resultar da análise por análise de metro conjuntas destes fatores...

5. FIXADO CORRETAMENTE?

S. FIXADO CORRETAMENTE?

Projeto	Dados	Aplicação	Norma
10M	1.00	5.75	5.75
50M	1.00	5.75	5.75
200	1.00	5.75	5.75
500	1.00	5.75	5.75

A secção do condutor deve resultar da análise conjunta destes fatores.

DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR DE DESCIDA

A SECÇÃO NÃO É GENÉRICA (50 mm² PARA TODOS)

50mm²

Não é universal para que condutor a condutor um pela universal. Estabelecendo maior com a um a secção do condutor ilustrativo.

COMPARATIVOS DE DADOS

COMPARATIVO ILUSTRATIVO

A SECÇÃO DEPENDE DO PROJETO INTEGRADO

SISTEMA DE PROTEÇÃO

MATERIAL UTILIZADO

NORMA APLICÁVEL

PROJETO ESPECÍFICO

A secção do condutor deve resultar da análise conjunta destes fatores, a resolução de como: rendimento do condutor+ramento do condutores para a compração...

ILLUSTRATIVE TECHNICALS

TECHNICAL TRATICS

FINAL RESULTATO



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.4.3. Descarregadores coaxiais

As linhas coaxiais que entram num gabinete ou abrigo podem constituir um caminho para sobretensões.

Podem ser utilizados **descarregadores de sobretensão coaxiais**, frequentemente baseados em tecnologia GDT (*Gas Discharge Tube*).

A seleção deve considerar:

- frequência de operação;
- potência RF;
- impedância;
- VSWR;
- tensão de atuação;
- capacidade de corrente de descarga;
- tipo de conector;
- perda de inserção.

O descarregador deve possuir uma ligação à equipotencialização com **percurso curto e baixa impedância**.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

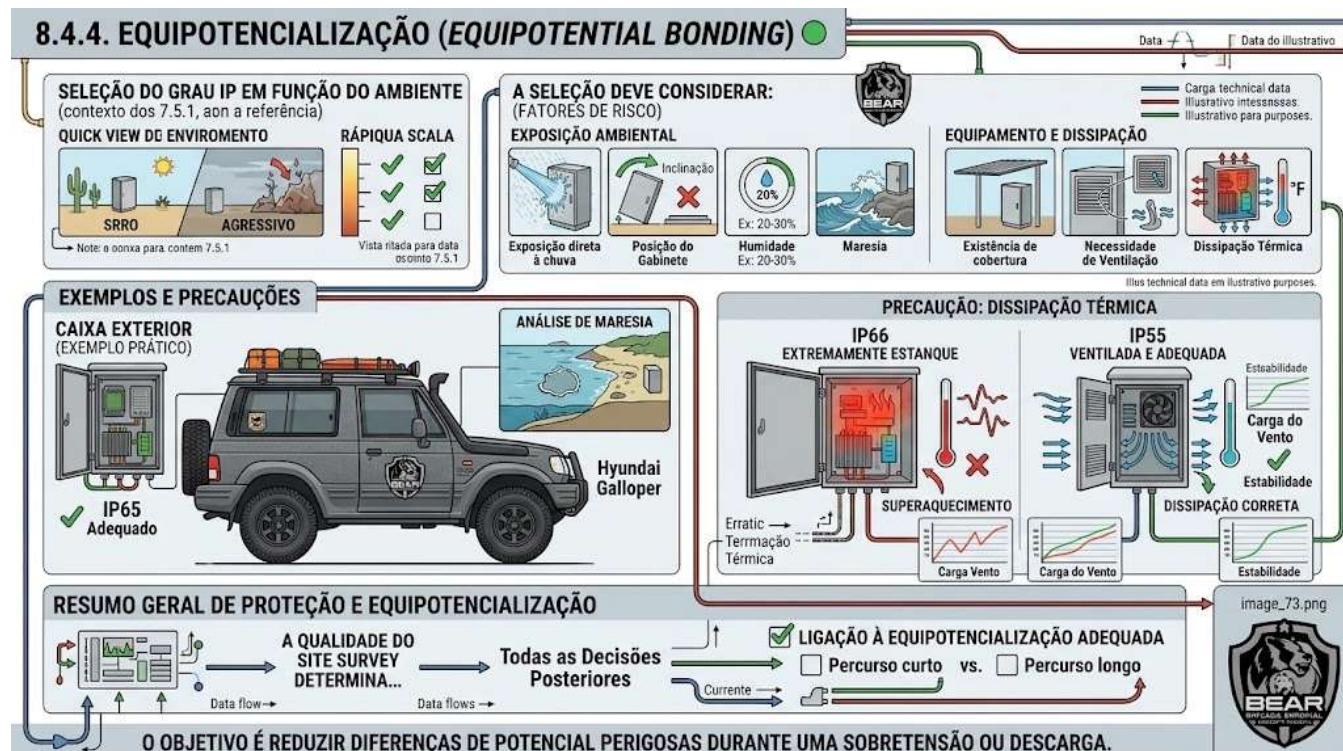
8.4.4. Equipotencialização

Todos os elementos metálicos relevantes devem ser integrados num sistema de equipotencialização devidamente concebido.

Podem incluir:

- estrutura do mastro;
- gabinete;
- blindagens dos cabos;
- descarregadores;
- quadro elétrico;
- condutores de proteção;
- sistema de terra.

O objetivo é reduzir diferenças de potencial perigosas durante uma sobretensão ou descarga.



8.4.5. Ground Potential Rise – GPR

Durante uma descarga atmosférica, o potencial do sistema de terra pode elevar-se significativamente, relativamente ao potencial de referência de outras zonas da instalação.

Por esse motivo, a existência de vários sistemas de terra completamente independentes pode criar diferenças de potencial perigosas.

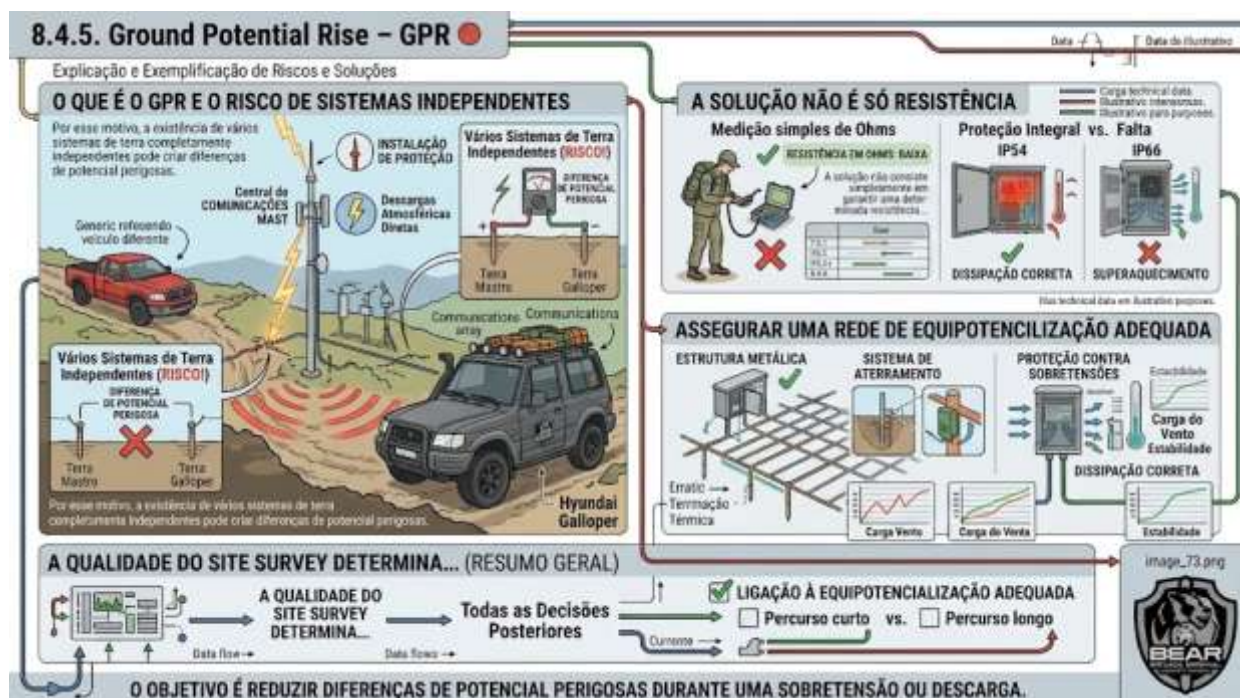
A solução não consiste simplesmente em garantir uma determinada resistência em ohms, mas em assegurar uma **rede de equipotencialização adequada e compatível com o sistema de proteção contra descargas atmosféricas**.

[Caixa Técnica] Resistência de terra

Não deve ser apresentada uma regra universal segundo a qual “o sistema deve ter menos de 5Ω e no máximo 10Ω ”.

O valor de resistência de terra não é, isoladamente, um indicador suficiente da qualidade de uma instalação de proteção contra descargas atmosféricas.

A geometria dos elétrodos, a impedância para correntes impulsivas, a equipotencialização, o comprimento dos condutores e o sistema global de proteção são igualmente determinantes.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.5. Segurança elétrica e de baterias

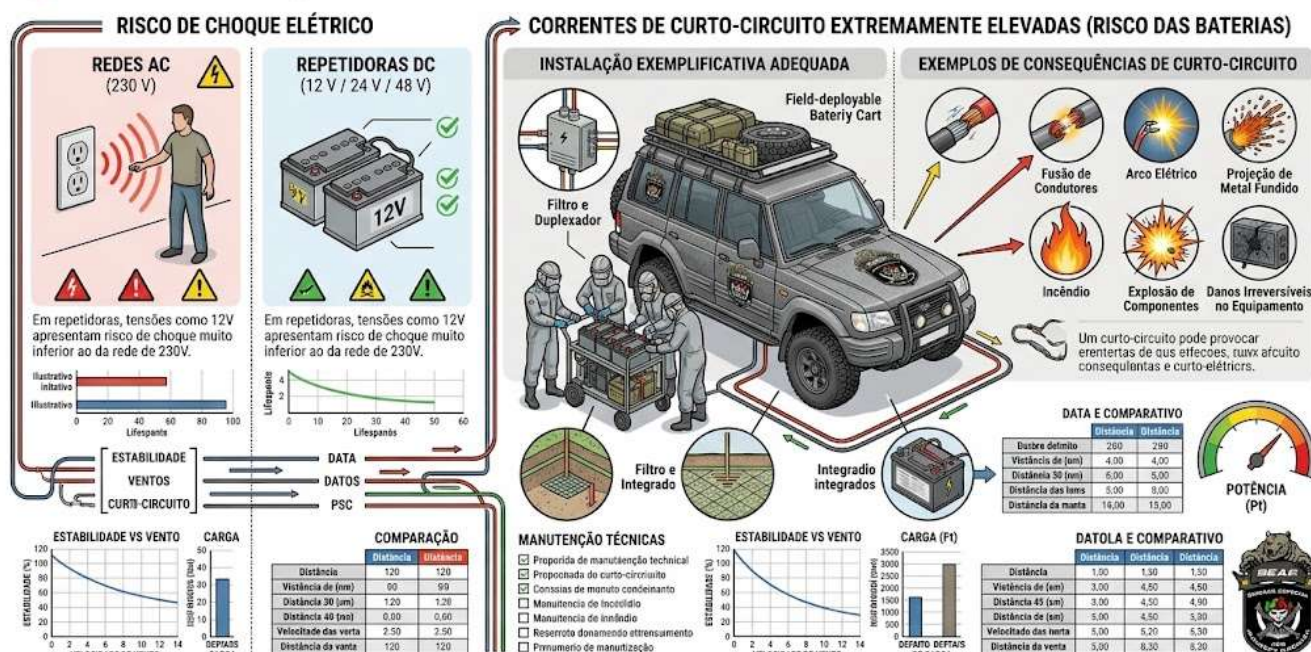
As estações repetidoras podem utilizar alimentações de 12 V, 24 V ou 48 V DC, frequentemente associadas a baterias de reserva.

Embora tensões como 12 V apresentem normalmente um risco de choque elétrico muito inferior ao da rede de 230 V, **as baterias podem fornecer correntes de curto-circuito extremamente elevadas.**

Um curto-circuito pode provocar:

- fusão de condutores e arco elétrico;
- projeção de metal fundido e queimaduras;
- incêndio e explosão de componentes;
- danos irreversíveis no equipamento.

8.5. SEGURANÇA ELÉTRICA E DE BATERIAS





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.5.1. Proteção do cabo junto à bateria

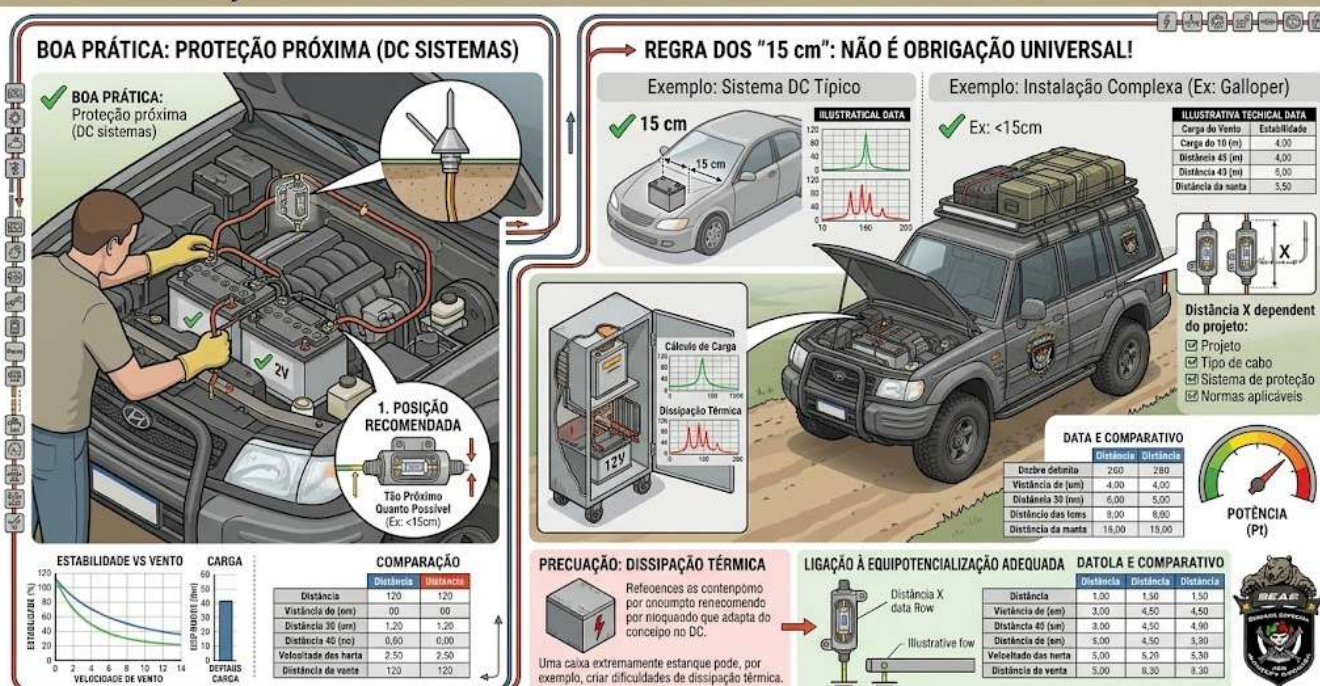
O cabo positivo deve possuir proteção contra sobrecorrente adequada e instalada tão próximo quanto tecnicamente possível da fonte de energia.

A finalidade é proteger o **próprio cabo** contra um curto-circuito entre a bateria e o dispositivo de proteção.

A distância exata depende do projeto, do tipo de cabo, do sistema de proteção e das normas aplicáveis.

Assim, a regra dos “15 cm” pode ser apresentada como **boa prática de instalação em determinados sistemas DC**, mas não como uma obrigação universal aplicável a todas as instalações.

8.5.1. PROTEÇÃO DO CABO JUNTO À BATERIA



8.5.2. Dimensionamento do fusível

O fusível não deve ser escolhido simplesmente como uma percentagem da corrente do transmissor.

O dimensionamento deve considerar:

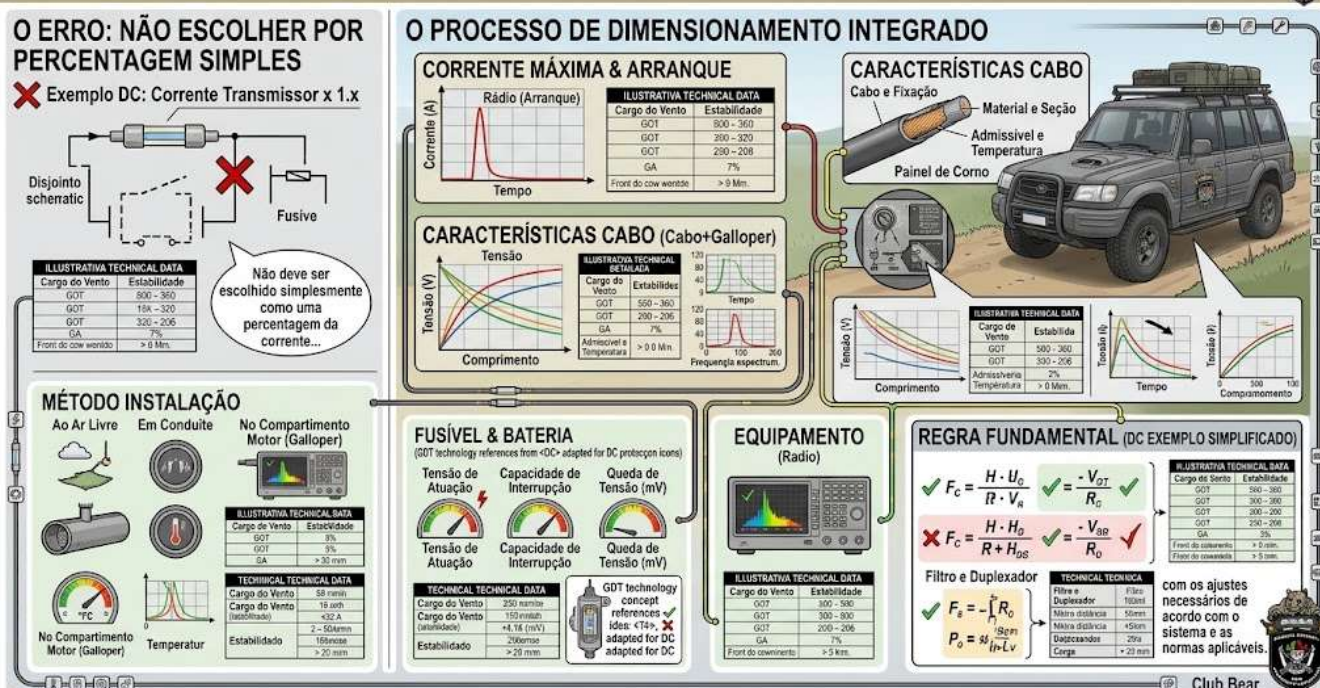
1. corrente máxima da carga e corrente de arranque;
2. corrente contínua admissível pelo cabo e temperatura ambiente;
3. método de instalação e comprimento do cabo;
4. queda de tensão admissível e capacidade de interrupção do fusível;
5. características da bateria e requisitos do fabricante do equipamento.

A regra fundamental é:

$$I_{\text{carga}} \leq I_{\text{fusível}} \leq I_{\text{admissível do cabo}}$$

com os ajustes necessários de acordo com o sistema e as normas aplicáveis.

8.5.2. DIMENSIONAMENTO DO FUSÍVEL



8.5.3. Exemplo de dimensionamento

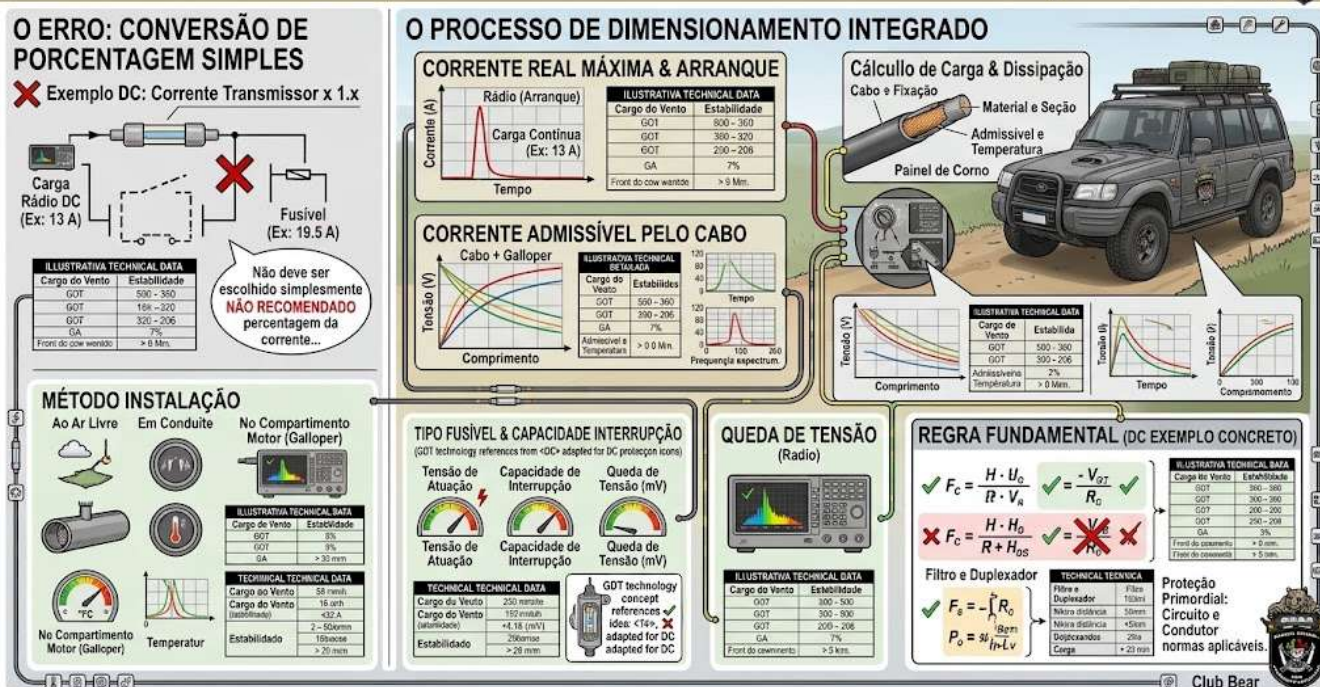
Para uma carga que consuma aproximadamente 13 A, não se deve concluir automaticamente que o fusível deve ser de 16,25 A ou 19,5 A.

Deve verificar-se:

- corrente real máxima e corrente admissível pelo cabo;
- características do equipamento e corrente de arranque;
- tipo de fusível disponível e capacidade de interrupção;
- queda de tensão.

O fusível deve proteger primordialmente **o circuito e o condutor**, e não simplesmente “proteger o rádio”.

8.5.3. EXEMPLO PRÁTICO DE DIMENSIONAMENTO DE FUSÍVEL (SISTEMA DC)





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.5.4. Cabos DC

A seleção do cabo deve considerar simultaneamente:

- corrente e comprimento total do circuito;
- queda de tensão e temperatura;
- agrupamento de cabos e tipo de isolamento;
- método de instalação e proteção mecânica.

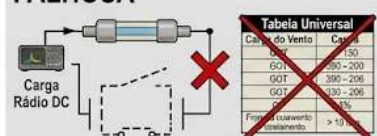
Por esse motivo, uma tabela universal que associe diretamente “potência RF → secção do cabo → fusível” pode induzir em erro.

A potência de RF não determina diretamente a corrente DC.

Por exemplo, um transmissor de 50 W pode consumir significativamente mais de 50 W em DC devido à eficiência do estágio final, fonte de alimentação e restantes circuitos.

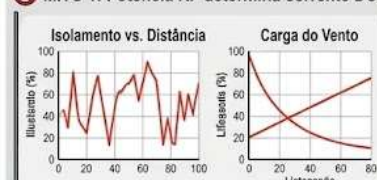
8.5.4. CABOS DC

O MITO: TABELA UNIVERSAL FALHOSA

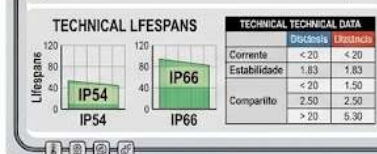


Potência RF → Secção → Fusível (ERRO!)

MITO 1: Potência RF determina corrente DC



- ✗ Falha em Geometrias Complexas
- ✓ Falha com Alta Tensão



O PROCESSO DE SELEÇÃO INTEGRADO



8.5.5. Baterias de chumbo-ácido

As baterias de chumbo-ácido podem libertar hidrogénio durante determinadas condições de carga, particularmente em situações de sobrecarga.

O hidrogénio é inflamável e deve ser considerado no dimensionamento da ventilação.

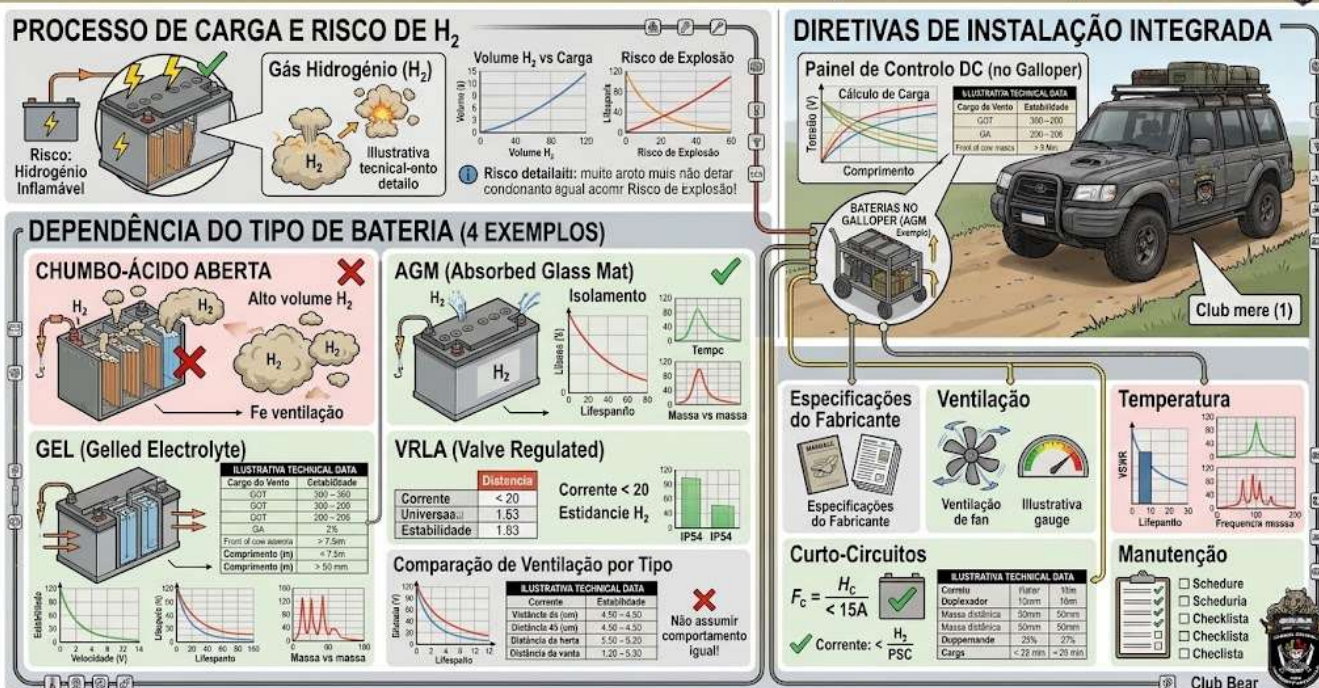
A solução concreta depende do tipo de bateria:

- chumbo-ácido aberta
- AGM;
- GEL;
- VRLA.

Não deve ser assumido que todas possuem exatamente o mesmo comportamento de ventilação.

As baterias devem ser instaladas de acordo com as especificações do fabricante e os requisitos aplicáveis de ventilação, temperatura, proteção contra curto-circuitos e manutenção.

8.5.5. BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO: SEGURANÇA E VENTILAÇÃO





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.5.6. Baterias LiFePO4

As baterias **LiFePO4** apresentam características diferentes das baterias de chumbo-ácido e não produzem hidrogénio em operação normal.

Contudo, uma bateria de lítio pode sofrer **fuga térmica (*thermal runaway*)** em determinadas condições de falha, como:

- sobrecarga grave e danos internos;
- perfuração e curto-circuito;
- temperaturas excessivas e falha do sistema de gestão da bateria.

A presença de um **BMS** não elimina todos os riscos; reduz determinados modos de falha quando corretamente dimensionado e funcional.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

O sistema deve considerar:

- BMS adequado, proteção contra sobrecorrente e proteção contra sobrecarga;
- proteção contra descarga excessiva, proteção térmica e fusível principal;
- proteção mecânica, fixação adequada e carregador compatível.

[Caixa Segurança] Trabalhos em baterias

Uma bateria de capacidade elevada pode fornecer correntes de curto-circuito extremamente elevadas.

Nunca colocar ferramentas metálicas sobre os terminais.

Durante trabalhos de manutenção devem ser utilizadas ferramentas adequadas, preferencialmente isoladas e conformes com as normas aplicáveis, bem como proteção ocular e outros EPI definidos pela avaliação de risco.

*A corrente máxima de curto-circuito **não deve ser assumida apenas com base na capacidade nominal da bateria em Ah.** Deve ser obtida a partir das especificações do fabricante, da resistência interna, do BMS e da capacidade de descarga.*

[Caso Prático BEAR – cenário ilustrativo]

Nota editorial: *Se este episódio tiver ocorrido efetivamente numa instalação BEAR e existir registo técnico, pode ser apresentado como caso real. Caso contrário, deve ser identificado como cenário ilustrativo.*

Curto-circuito evitado pela proteção da bateria

Imagine-se uma estação repetidora móvel instalada numa viatura todo-o-terreno.

Durante a utilização, a vibração provoca desgaste da isolamento do cabo positivo de alimentação. O condutor entra em contacto com a carroçaria metálica.

Se existir uma proteção contra sobrecorrente corretamente dimensionada e instalada junto à bateria, a corrente de curto-circuito deverá provocar a abertura do dispositivo de proteção, limitando a energia libertada no condutor.

Este exemplo demonstra uma regra fundamental:

O fusível deve ser instalado de forma a proteger o cabo desde o mais próximo possível da fonte de energia.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

8.6. Checklist de segurança antes da entrada em serviço ●

Antes de colocar uma estação repetidora em funcionamento deve ser verificado, no mínimo:

RF

- Frequência de operação confirmada.
- Potência de transmissão configurada corretamente.
- Perdas de linha conhecidas.
- Ganho da antena conhecido.
- EIRP calculada.
- Diagrama de radiação considerado.
- Zonas acessíveis avaliadas.
- Risco de exposição RF avaliado.
- Medições realizadas quando necessárias.

Estrutura

- Mastro/torre estruturalmente adequado.
- Fixações verificadas.
- Estais corretamente instalados.
- Ancoragens verificadas.
- Carga de vento considerada.
- Antena corretamente fixada.

Elétrica

- Cabos dimensionados.
- Fusíveis instalados.
- Polaridade verificada.
- Proteções contra sobretensão instaladas quando necessárias.
- Queda de tensão verificada.
- Bateria corretamente fixada.
- Cablagem protegida mecanicamente.

Descargas atmosféricas



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO

Fundado a 23 de março de 2016



Capítulo 9 – Construção e Integração DIY

A construção e integração manual de uma estação repetidora (*Do-It-Yourself* / DIY) permite desenvolver soluções personalizadas, adaptadas a necessidades específicas e, em determinados contextos, reduzir custos de implementação.

Contudo, uma estação repetidora é um sistema de radiofrequência que envolve simultaneamente RF, alimentação elétrica, dissipação térmica, compatibilidade eletromagnética, isolamento entre recetor e transmissor, estabilidade mecânica e requisitos regulamentares.

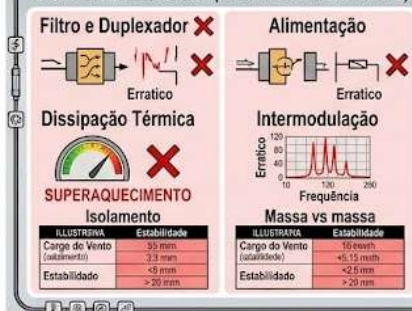
A montagem artesanal não deve, por isso, ser entendida como uma simples interligação de dois rádios. O sistema deve ser tratado como um conjunto técnico cuja segurança e desempenho têm de ser verificados antes da entrada em serviço.

8.4.3. CAPÍTULO 9 – CONSTRUÇÃO E INTEGRAÇÃO DIY (REPETIDORA) ✓

O ERRO: ABORDAGEM SIMPLISTA (INTERLIGAÇÃO DE DOIS RÁDIOS) ✗

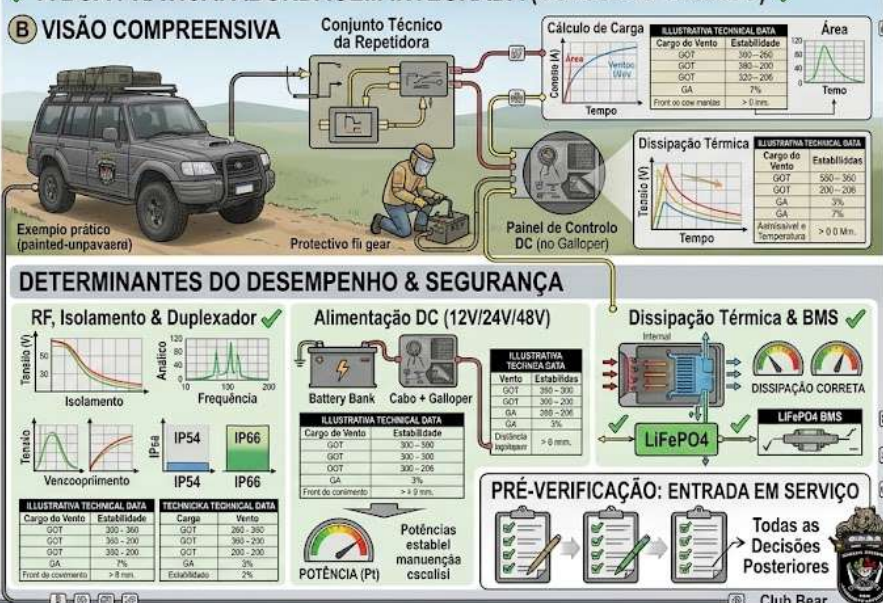


CONSEQUÊNCIAS (FALHAS FREQUENTES)



ABORDAGEM INTEGRADA: SEGURANÇA E DESEMPENHO

✓ A BOA PRÁTICA: ABORDAGEM INTEGRADA (CONJUNTO TÉCNICO) ✓





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



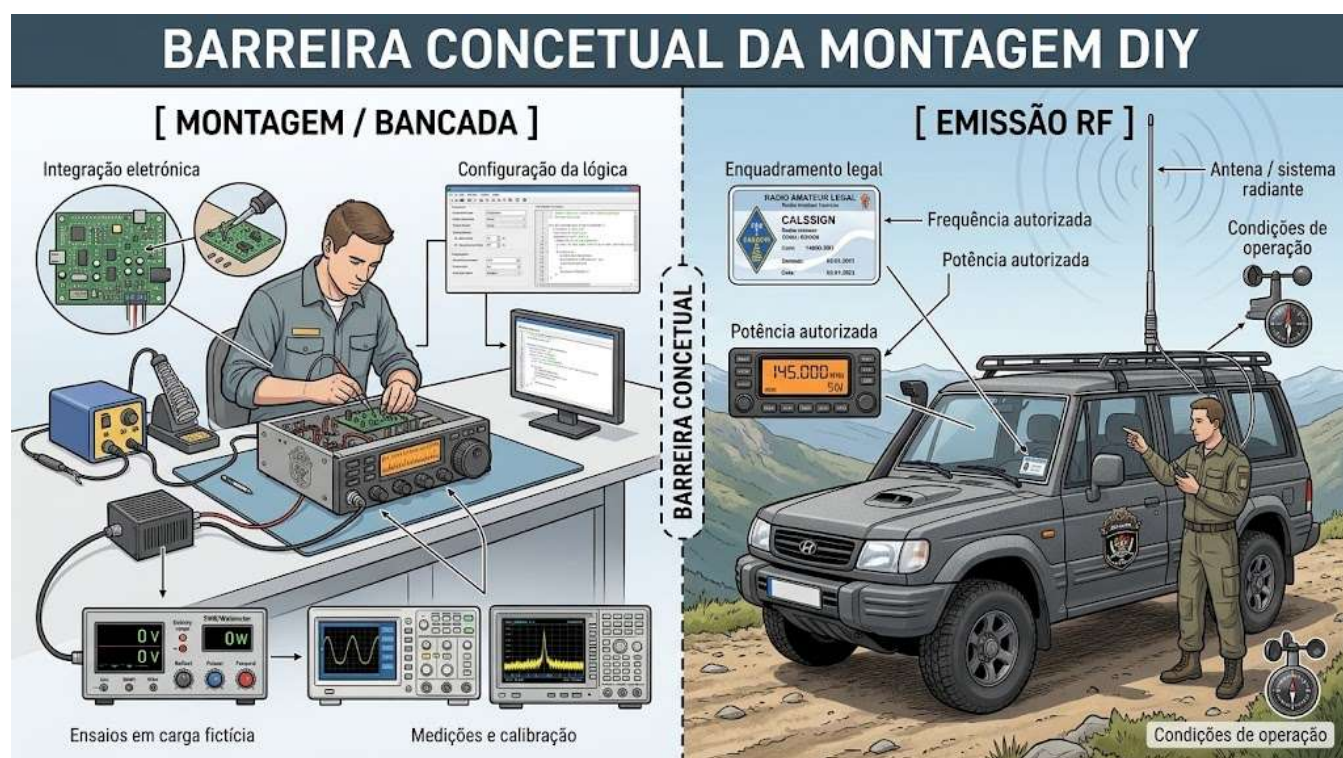
Fundado a 23 de março de 2016

Nota Prévia de Segurança, Autonomia e Conformidade Regulamentar ●

A construção, modificação ou ensaio de um equipamento transmissor é uma atividade técnica distinta da autorização para efetuar emissões radioelétricas numa determinada frequência, potência, largura de banda ou serviço.

O facto de um equipamento poder tecnicamente transmitir **não significa que a sua utilização em emissão esteja autorizada.**

O regime português das radiocomunicações estabelece regras relativas ao licenciamento de redes e estações, utilização do espectro radioelétrico e fiscalização das instalações e emissões.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Regra fundamental

Todos os ensaios de transmissão destinados a verificar potência, ROE/SWR, modulação, estabilidade ou funcionamento do sistema devem, **sempre que não exista autorização específica para emissão**, ser realizados através de uma **carga fictícia de RF de 50 Ω** , adequada à potência e ao regime de funcionamento.

A carga fictícia permite realizar ensaios de transmissão sem utilizar uma antena radiante.

Importa, contudo, não confundir uma carga fictícia com um sistema de blindagem absoluta: uma carga de qualidade absorve a potência RF e minimiza a radiação, mas **não deve ser considerada automaticamente uma câmara anecóica ou uma garantia de emissão nula**.

[Caixa Legal] Ensaios Técnicos

O Decreto-Lei n.º 151-A/2000 constitui um dos diplomas estruturantes do regime português aplicável às redes e estações de radiocomunicações e à utilização do espectro radioelétrico. A ANACOM pode igualmente autorizar utilizações temporárias de espectro para determinados ensaios técnicos e estudos, mediante as condições aplicáveis.

Assim, quando um ensaio exigir efetivamente emissão através de antena, deverá existir previamente o correspondente enquadramento/autorização aplicável.





Fundado a 23 de março de 2016

9.1.1. Desafios de Viabilidade na Montagem DIY

1. Viabilidade térmica

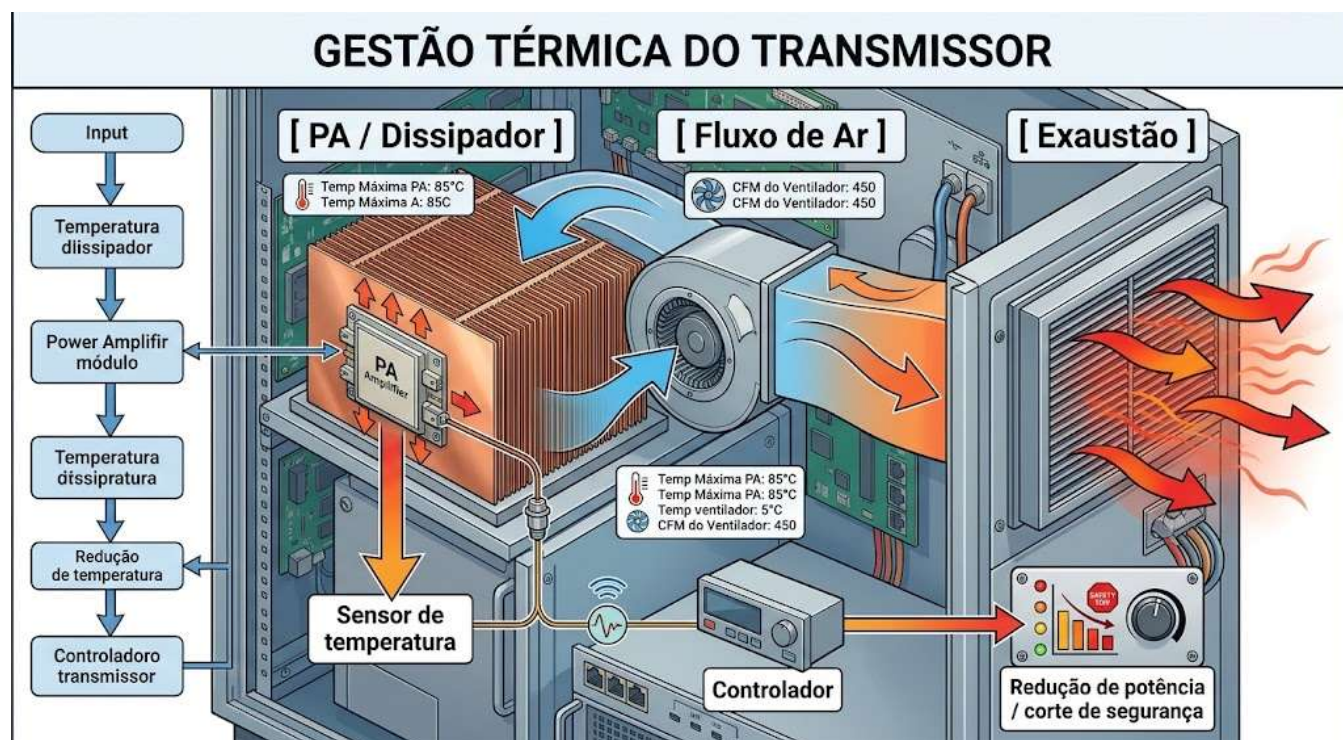
Não é correto assumir que todos os rádios móveis foram concebidos exclusivamente para 10–20 % de *duty cycle*, nem que qualquer rádio sofrerá necessariamente danos "em poucos minutos" quando utilizado como transmissor de repetidor.

O comportamento depende do modelo, potência, temperatura ambiente, dissipador, ventilação e ciclo real de transmissão.

Assim:

O regime de funcionamento contínuo deve ser determinado a partir das especificações do fabricante e validado através de ensaios térmicos.

Em aplicações repetidoras, é recomendável utilizar potência inferior à potência máxima do equipamento quando tal for necessário para manter a temperatura dos componentes dentro dos limites especificados.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

2. Viabilidade mecânica

O gabinete deve:

- proteger os componentes contra poeiras, humidade e impactos;
- impedir deslocamentos dos equipamentos durante o transporte;
- permitir a circulação de ar necessária à dissipação térmica;
- garantir acesso para manutenção;
- proporcionar separação física entre circuitos sensíveis e fontes de RF;
- assegurar uma adequada organização dos cabos RF, alimentação e sinal.

Um gabinete metálico pode ainda contribuir para a blindagem eletromagnética, mas **não constitui, por si só, garantia de compatibilidade eletromagnética.**

3. Viabilidade eletrónica e compatibilidade eletromagnética

A utilização da mesma fonte de alimentação para RX, TX e lógica de controlo requer atenção a:

- quedas de tensão, ruído da fonte e correntes de retorno;
- desacoplamento, filtragem e massas e blindagem;
- acoplamento RF e interferência entre circuitos digitais e analógicos.

A utilização de uma arquitetura de massa inadequada pode introduzir ruído ou realimentação. Por outro lado, criar múltiplos pontos de massa sem uma estratégia definida também pode originar problemas.

[Caixa Técnica] Potência e Duty Cycle

Não deve ser adotada uma regra universal como "reduzir sempre um rádio de 45 W para 15–20 W". A potência segura depende do equipamento e da sua capacidade térmica.

A potência de operação deve ser determinada a partir das especificações do fabricante, da temperatura medida no funcionamento contínuo e da margem térmica pretendida.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





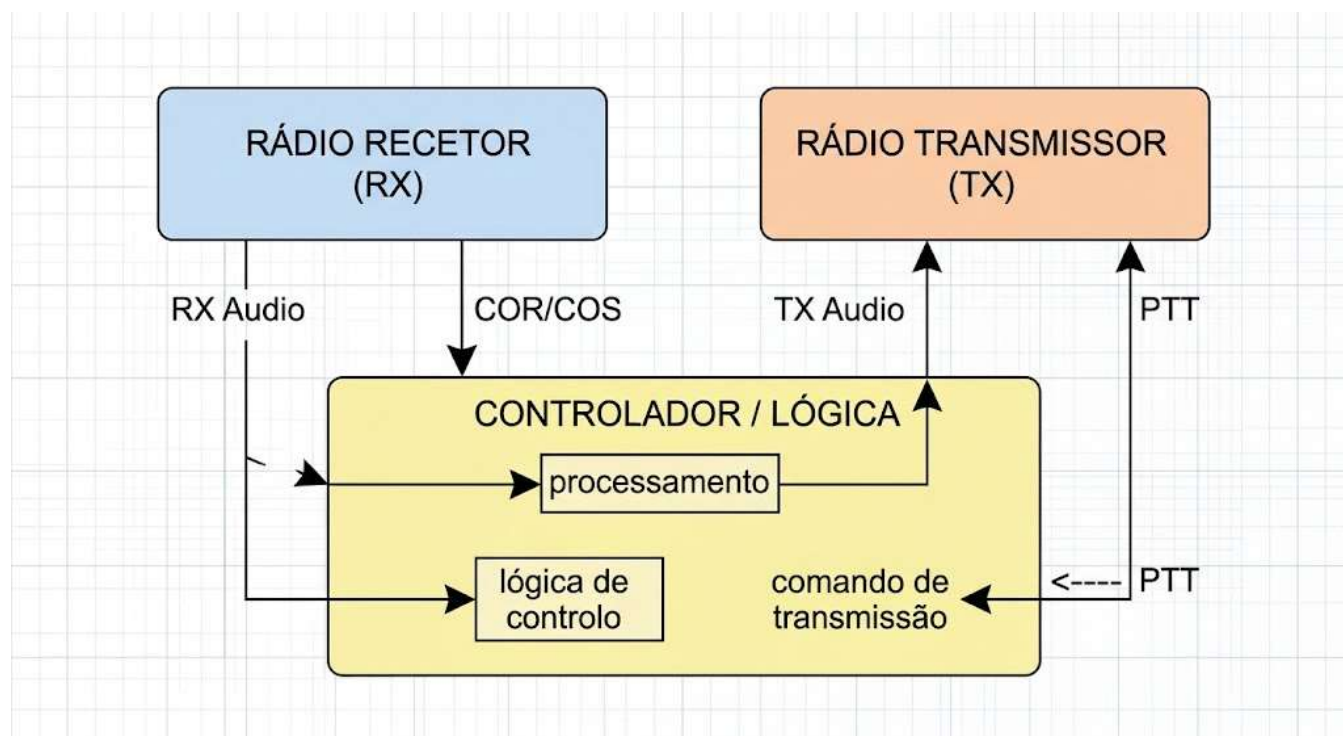
Fundado a 23 de março de 2016

9.2. Interligação de Transcetores Móveis — COR/COS, PTT e Áudio ●

A interligação entre um rádio recetor, um rádio transmissor e uma unidade de controlo depende das interfaces disponibilizadas pelo fabricante.

Os sinais mais comuns são:

- áudio de receção;
- áudio de transmissão;
- COR/COS ou *squelch detect*;
- PTT;
- alimentação;
- massa;
- eventualmente sinais de controlo adicionais.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1. Áudio de receção

O sinal disponibilizado pelo rádio pode ser:

- áudio de receção filtrado, áudio discriminador (*discriminator audio*);
- ou outro formato definido pelo fabricante.

Não se deve assumir que todos os rádios disponibilizam áudio discriminador no mesmo pino ou com o mesmo nível elétrico.

2. COR/COS

O COR/COS indica à lógica que o recetor detetou uma condição que permite iniciar a retransmissão.

A lógica pode ser:

- *active low* ou *active high*;
- ou uma configuração programável.

O nível elétrico e a função do pino devem ser confirmados no manual de serviço do modelo concreto.

3. PTT

O PTT é normalmente uma entrada lógica ou de comando do transmissor.

Em determinados equipamentos é ativado colocando a entrada em massa, mas **isto não deve ser assumido como regra universal**.

4. Áudio de transmissão

A entrada de áudio do transmissor pode ser:

- entrada de microfone e entrada de áudio filtrado;
- entrada de áudio plano (*flat audio*) e ou uma interface específica de dados.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

A entrada correta depende do modo de operação e do equipamento.

Exemplo: Motorola GM300

Atenção: o pinout apresentado anteriormente estava incorreto.

Nos GM300 de 16 pinos, referências técnicas indicam, entre outras funções:

Pino	Função
2	Entrada de áudio de microfone
3	PTT
5	Flat Transmit Audio
7	GND
8	I/O programável / COR, conforme programação
11	Áudio de receção / Discriminator Audio, conforme configuração

O pino 8 é particularmente importante: em determinadas configurações pode ser programado para fornecer *COR/CSQ Detect*, mas **não deve ser tratado como COR universal de todos os GM300**.

O pino 11 pode disponibilizar áudio discriminador ou outro áudio de receção dependendo da configuração/programação do rádio.

[Caixa de Segurança] Pinout

Nunca ligar uma placa MMDVM, interface de controlo ou outro equipamento diretamente a um conetor de acessórios com base num pinout encontrado para outro modelo.

Mesmo dentro da mesma família de rádios podem existir diferenças entre versões, placas lógicas e configurações. O pinout deve ser confirmado no manual de serviço do equipamento específico.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Tabela — GM300

Função	Pino típico
GND	7
PTT	3
Flat TX Audio	5
COR / I/O programável	8*
RX / Discriminator Audio	11*
Mic Audio	2

* Dependente da versão/configuração/programação.

MMDVM e modos digitais

Uma MMDVM (*Multi-Mode Digital Voice Modem*) não deve ser tratada simplesmente como uma "placa de áudio".

A sua integração depende do modo digital, do rádio utilizado e da interface elétrica disponível.

A calibração deve ser realizada através de equipamento de medição apropriado, verificando pelo menos:

- níveis de áudio;
- desvio;
- largura de banda ocupada;
- qualidade do sinal;
- estabilidade da transmissão;
- ausência de emissões espúrias relevantes.

No caso de DMR, por exemplo, não é adequado estabelecer universalmente um valor de **BER < 0,5 %** como critério absoluto de aprovação. O BER depende do método de medição, equipamento, condições de teste e ponto onde é efetuada a medição.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





Fundado a 23 de março de 2016

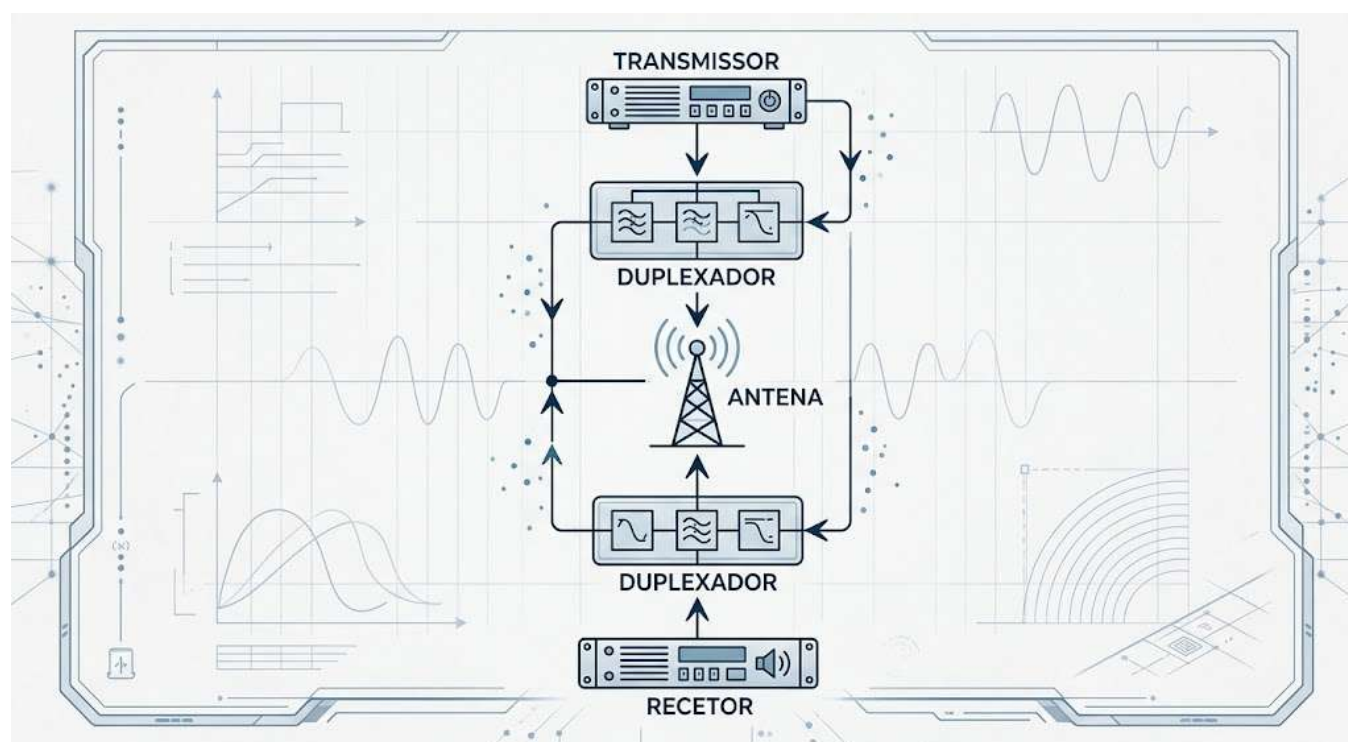
9.3. Integração de Duplexadores Compactos e Ajuste de Frequência (*Tuning*) ●

A utilização de uma única antena para transmissão e receção simultâneas requer um sistema de filtragem adequado.

Num repetidor convencional, o duplexador proporciona:

1. passagem do sinal TX para a antena;
2. passagem do sinal recebido para o recetor;
3. rejeição do transmissor na frequência do recetor;
4. rejeição do recetor na frequência do transmissor.

A configuração concreta depende do duplexador e do *offset* utilizado.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Afinação

Um duplexador deve ser afinado para o **par concreto de frequências** e para as condições de instalação.

Não é correto estabelecer universalmente valores como "-75 a -85 dB de isolamento" ou "perda de inserção inferior a 1,2–1,5 dB" como requisitos de todos os duplexadores.

Esses valores devem ser substituídos pelas **especificações do fabricante e pelos requisitos do projeto**.

Equipamento de medição

Pode ser utilizado:

- VNA adequado à faixa de frequência;
- analisador de espectro com *tracking generator*;
- equipamento específico de afinação de duplexadores.

Uma carga de 50 Ω adequada deve ser utilizada nas portas que não estão ligadas ao equipamento de medição.

[Caixa Segurança] Potência

Um VNA de bancada típico não deve ser ligado diretamente à saída de um transmissor de potência elevada.

Os ensaios de potência devem utilizar atenuadores, acopladores direcionais, cargas fictícias e equipamento de medição com potência admissível adequada.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



Fundado a 23 de março de 2016

9.4. Montagem, Teste em Carga Fictícia e Integração Portátil ●

A montagem de uma estação portátil deve seguir uma sequência controlada de inspeção e ensaio.



Passo 1 — Montagem mecânica

Os equipamentos devem ser fixados de forma a:

- resistir às vibrações previsíveis e permitir dissipação térmica;
- impedir contacto accidental entre condutores e facilitar manutenção;
- manter separação adequada entre RF, alimentação e sinal.

Uma mala estanque não deve ser simplesmente fechada hermeticamente com equipamentos dissipadores de calor no interior. **Estanquidade e dissipação térmica são requisitos potencialmente conflitantes** e devem ser tratados através de um projeto térmico adequado.

Passo 2 — Alimentação DC

A alimentação deve possuir:

- proteção contra sobrecorrente e cabos dimensionados para a corrente e comprimento;
- proteção adequada da bateria e conectores compatíveis;
- proteção contra inversão de polaridade quando aplicável e distribuição de massa adequada.

O fusível principal deve ser instalado próximo da bateria, de acordo com o projeto elétrico e as recomendações do fabricante do sistema de proteção.

A distância de **10 ou 15 cm não deve ser apresentada como uma regra universal aplicável a todas as instalações.**



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Passo 3 — Teste em carga fictícia

Antes de utilizar uma antena radiante, deve ser realizada uma verificação utilizando uma **carga fictícia de 50 Ω** adequada à potência e ao ciclo de transmissão.



A carga deve possuir capacidade térmica suficiente para suportar a potência durante o período previsto do ensaio.

Uma carga de 50 W não deve, por exemplo, ser utilizada para um ensaio contínuo de 50 W durante um período que exceda a sua capacidade térmica especificada.

Passo 4 — Medição de RF

Devem ser verificados, conforme aplicável:

- potência direta, potência refletida, ROE/SWR e frequência;
- estabilidade, largura de banda e desvio/modulação;
- emissões espúrias, temperatura do transmissor.

ROE/SWR

Uma carga fictícia de boa qualidade deverá apresentar uma ROE muito baixa, mas **não se deve escrever que o resultado será obrigatoriamente 1:1,0 e 0 W refletidos.**

Na prática existe sempre uma pequena componente refletida.

O critério de aceitação deve ser definido pelas especificações da carga, do transmissor e do projeto.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Passo 5 — Teste de receção e *desense*

A capacidade do recetor para manter a sensibilidade enquanto o transmissor está ativo constitui um dos testes fundamentais de um repetidor.

O procedimento deve determinar:

- sensibilidade do recetor com TX desligado e sensibilidade com TX ativo;
- diferença entre os dois valores e isolamento proporcionado pelo duplexador;
- eventual interferência conduzida ou irradiada.

A expressão:

Desense < 1 dB

não deve ser apresentada como requisito universal.

Deve antes ser registado o valor medido e comparado com o objetivo definido para o projeto.

Passo 6 — Testes digitais

Nos sistemas digitais, os parâmetros de qualidade devem ser avaliados de acordo com o protocolo utilizado e com os instrumentos disponíveis.

Podem ser analisados:

- BER;
- qualidade de receção;
- taxa de pacotes;
- estabilidade;
- erros de sincronização;
- qualidade da modulação;
- largura de banda ocupada.

Os limites de aprovação devem ser definidos de acordo com o equipamento e protocolo utilizado, e não através de um único valor universal.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Passo 7 — Temporizador de segurança (TOT)

A utilização de um *Time-Out Timer* é recomendável em sistemas repetidores.

O valor de **90 segundos** pode ser utilizado como exemplo de configuração, mas não deve ser apresentado como valor obrigatório.

O TOT deve ser definido considerando:

- finalidade do repetidor;
- protocolo utilizado;
- duração máxima prevista das comunicações;
- capacidade térmica do transmissor;
- requisitos regulamentares aplicáveis.

Passo 8 — Documentação

Cada unidade construída deve possuir uma ficha técnica contendo, pelo menos:

- fabricante e modelo dos rádios e número de série;
- frequência RX e frequência TX;
- *offset* e potência nominal;
- potência efetivamente configurada e tipo de duplexador;
- antena prevista e perdas estimadas;
- alimentação e capacidade da bateria;
- fusíveis e resultados dos ensaios;
- temperatura máxima observada e ROE/SWR;
- isolamento/desense e data de ensaio;
- responsável técnico.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Passo 9 — Ligação à antena

A substituição da carga fictícia por uma antena radiante **não deve ser entendida como a etapa normal seguinte da montagem.**

A emissão através de antena só pode ocorrer quando existir o correspondente enquadramento regulamentar.

A ANACOM dispõe de mecanismos específicos para autorizações e consignações de frequências, incluindo situações de ensaios técnicos temporários.

[Caixa Legal]

A autorização para operar uma estação não decorre simplesmente da construção física do equipamento. Antes da ligação a uma antena e da realização de emissões, devem ser confirmados:

o serviço de radiocomunicações aplicável;

a frequência ou faixa autorizada;

o título habilitante aplicável;

a potência autorizada;

as condições técnicas de operação;

eventuais limitações de localização ou cobertura.

[Caso Prático BEAR] A importância da carga fictícia

Durante um ensaio de bancada de um repetidor DIY, foi ligada inadvertidamente uma antena diretamente à saída do sistema para verificar rapidamente o funcionamento do transmissor.

A antena apresentava uma adaptação deficiente e a instalação não possuía ainda o isolamento RF necessário. A energia refletida e o acoplamento RF provocaram interferência na eletrónica de controlo, mantendo o transmissor ativo durante mais tempo do que o previsto.

O aumento da temperatura do estágio final obrigou à interrupção do ensaio e à inspeção do equipamento.

O incidente demonstrou uma regra fundamental:

Durante o desenvolvimento e afinação de um repetidor, a antena não deve ser utilizada como instrumento de teste. Deve ser utilizada uma carga fictícia adequada, complementada pelos instrumentos de medição necessários.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752







Fundado a 23 de março de 2016

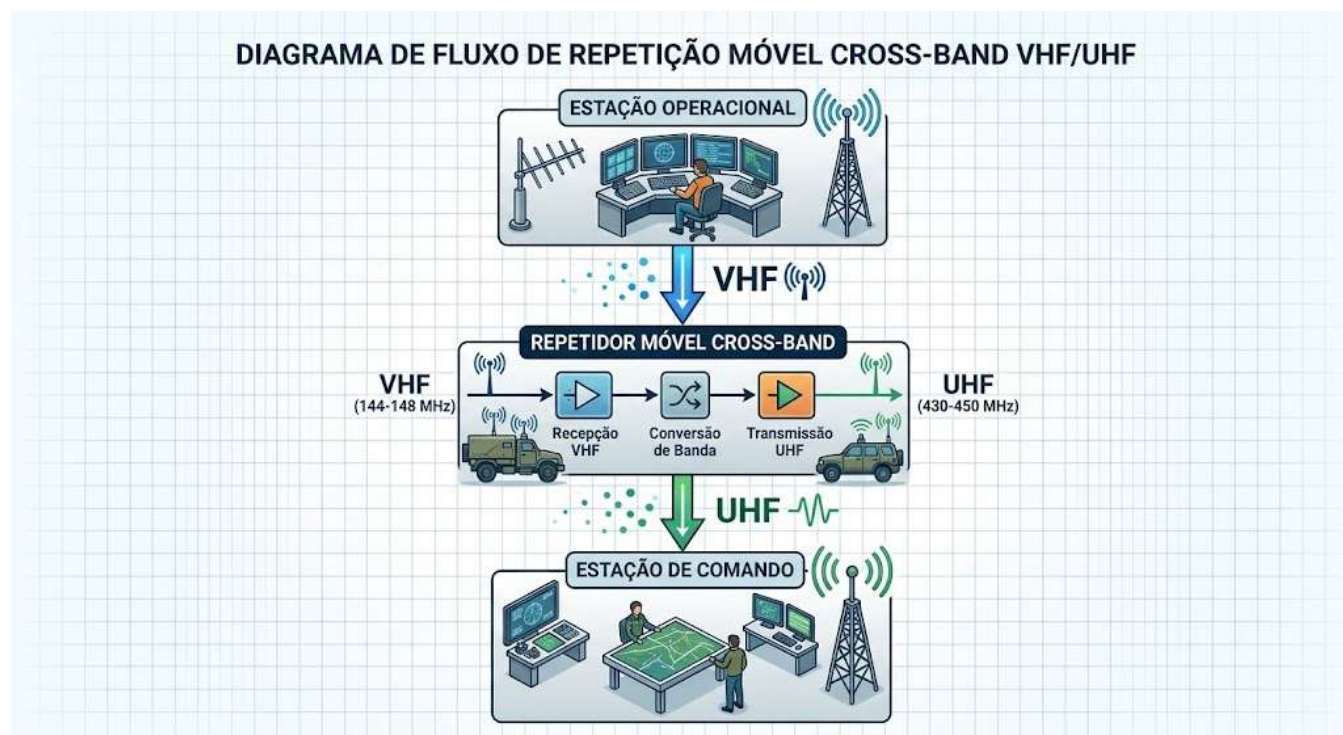
10.1. Retransmissão Tática Móvel e *Cross-Band Repeating* ●

A **retransmissão tática móvel** permite aumentar ou restabelecer temporariamente a cobertura de uma rede de radiocomunicações através de uma estação colocada num ponto geograficamente favorável.

Uma das soluções possíveis é o **Cross-Band Repeating**, ou retransmissão cruzada entre bandas.

Ao contrário de um repetidor convencional, que recebe e transmite dentro da mesma banda de frequência, um sistema *cross-band* utiliza bandas distintas para os dois sentidos da comunicação.

Por exemplo, uma estação pode receber numa frequência VHF e retransmitir numa frequência UHF, desde que o equipamento e o enquadramento regulamentar permitam essa operação.



Vantagens do *Cross-Band*

A utilização de frequências suficientemente afastadas pode simplificar o isolamento entre o recetor e o transmissor quando comparada com um repetidor *in-band*.

Contudo, **não significa que um simples duplexador seja sempre suficiente.**

O isolamento necessário depende da potência transmitida, sensibilidade do recetor, separação entre frequências, características dos rádios, antenas, filtros e ambiente eletromagnético.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Assim, a utilização de um sistema *cross-band* deve ser validada através de ensaios de sensibilidade, dessensibilização e compatibilidade eletromagnética.

Modos de funcionamento

Unidirecional:

A estação retransmite apenas num sentido, por exemplo, de VHF para UHF.

Bidirecional:

A estação retransmite nos dois sentidos, permitindo a comunicação entre equipamentos que operam em bandas diferentes.

O funcionamento bidirecional exige especial atenção à lógica de controlo, temporização e prevenção de realimentação (*feedback*).

[Caixa Técnica] Diplexador ≠ Duplexador

Os dois termos não devem ser confundidos.

Um **diplexador** combina ou separa diferentes bandas de frequência e é normalmente utilizado quando as bandas estão suficientemente afastadas.

Um **duplexador** é utilizado para permitir a utilização de uma única antena por um transmissor e um recetor que operam em frequências relativamente próximas, proporcionando o isolamento necessário entre ambos.

A utilização de um diplexador num sistema *cross-band* pode reduzir as exigências de filtragem, mas **não garante automaticamente um determinado valor de isolamento**, como 40 dB. Esse valor depende do componente concreto e deve ser confirmado na respetiva documentação técnica ou por medição.

Exemplo Prático BEAR

Num exercício de busca e salvamento simulado num vale sem cobertura rádio direta para o Posto de Comando, uma viatura todo-o-terreno pode ser posicionada num ponto elevado e utilizada como estação de retransmissão *cross-band*, desde que os equipamentos e frequências utilizados estejam devidamente autorizados.

O sistema pode receber as comunicações das equipas numa banda e retransmiti-las noutra, permitindo ultrapassar parcialmente as limitações impostas pelo relevo.

A **cobertura efetivamente obtida não deve ser assumida com base exclusivamente na potência do transmissor**. Altura da antena, ganho, polarização, perdas, relevo e condições de propagação têm influência determinante.



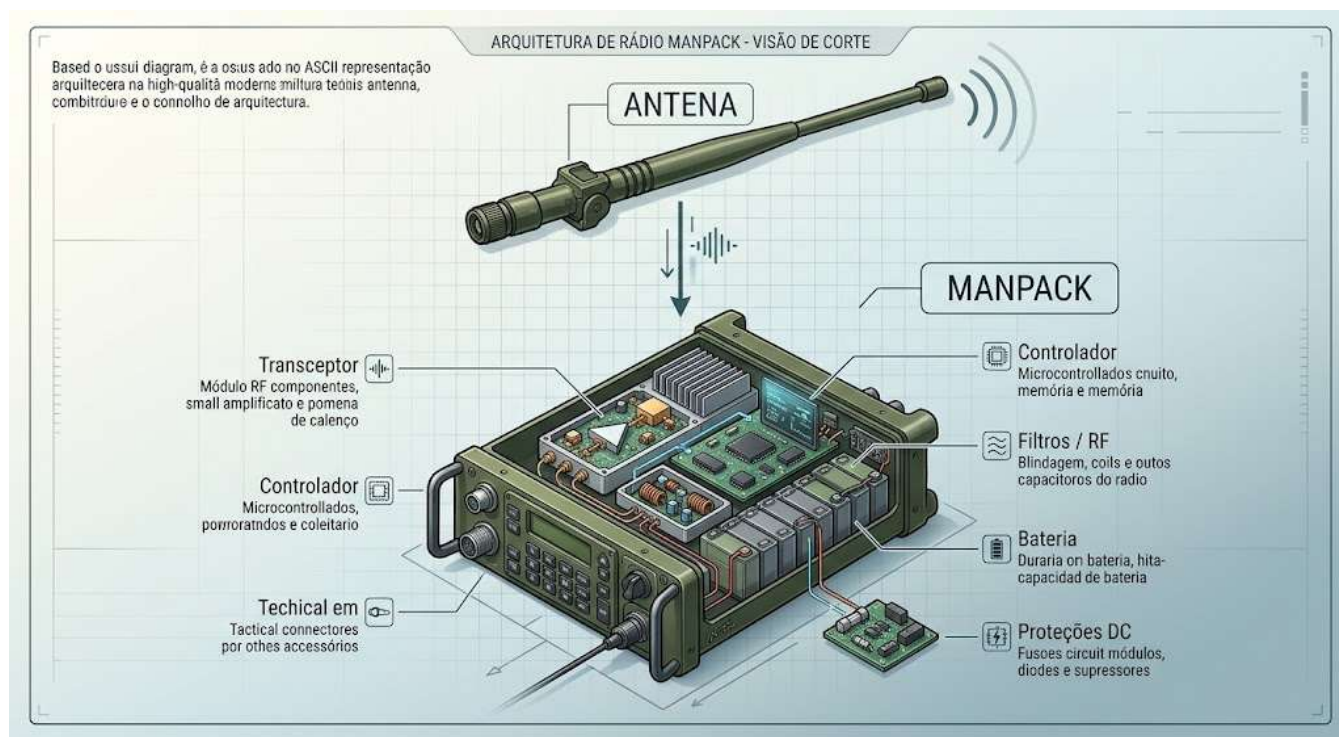
Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt

Tel.: 910 855 752



10.2. Unidades **Manpack** e Desdobramento Rápido em Cenários Críticos

As unidades **Manpack** são sistemas de radiocomunicações concebidos para transporte por um operador, podendo integrar transceptor, bateria, sistema de controlo, acessórios RF e antena.



Massa e autonomia

Não existe uma massa universalmente correta para uma unidade *manpack*.

Uma unidade destinada a transporte individual deve ser dimensionada de acordo com:

- potência de transmissão;
- capacidade da bateria;
- tecnologia do transceptor;
- sistema radiante;
- autonomia pretendida;
- condições ambientais;
- distância de transporte;
- necessidade de refrigeração.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Assim, valores como **8–10 kg** devem ser tratados como objetivo de projeto e não como requisito técnico universal.

Dimensionamento energético

A autonomia também depende do **duty cycle** real.

Por exemplo, uma bateria LiFePO4 de:

12,8 V × 20 Ah ≈ 256 Wh

possui teoricamente cerca de 256 Wh de energia nominal.

A autonomia efetiva será inferior ao resultado de uma simples divisão se forem consideradas perdas do conversor, temperatura, envelhecimento da bateria e limites definidos pelo BMS.

Além disso, um repetidor pode apresentar consumos muito diferentes em receção, transmissão e espera.

Por esse motivo, a autonomia deve ser determinada através de um **perfil de consumo realista**, e não apenas pela capacidade nominal da bateria.

Sistemas radiantes de desdobramento rápido

Podem ser utilizados:

- antenas verticais;
- *whips*;
- J-Pole;
- Slim-Jim;
- antenas de mastro;
- antenas direcionais, quando apropriado.

A elevação da antena normalmente proporciona uma melhoria significativa da cobertura devido ao aumento da linha de vista rádio.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

10.2.1. Procedimento de Desdobramento Rápido

O objetivo de realizar o desdobramento em menos de 10 minutos pode ser utilizado como **meta operacional de treino**, mas não deve ser apresentado como um tempo universal.

1. Reconhecimento do local

Selecionar um ponto:

- elevado quando possível e seguro para o operador;
- afastado de linhas elétricas e com boa visibilidade rádio;
- protegido de riscos ambientais e compatível com o sistema radiante.

2. Instalação da antena

Montar ou elevar a antena utilizando o sistema previsto para o equipamento.

3. Instalação do cabo coaxial

Ligar o cabo ao equipamento, evitando:

- dobras excessivas e esmagamento;
- tensão mecânica sobre os conectores e contacto com superfícies cortantes.

Deve existir **alívio de tensão mecânica** (*strain relief*).

4. Ativação e verificação

Antes de iniciar a exploração:

1. verificar a tensão da bateria e confirmar o estado do sistema;
2. verificar ROE/SWR e realizar um teste de comunicação;
3. confirmar a cobertura e registar eventuais anomalias.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

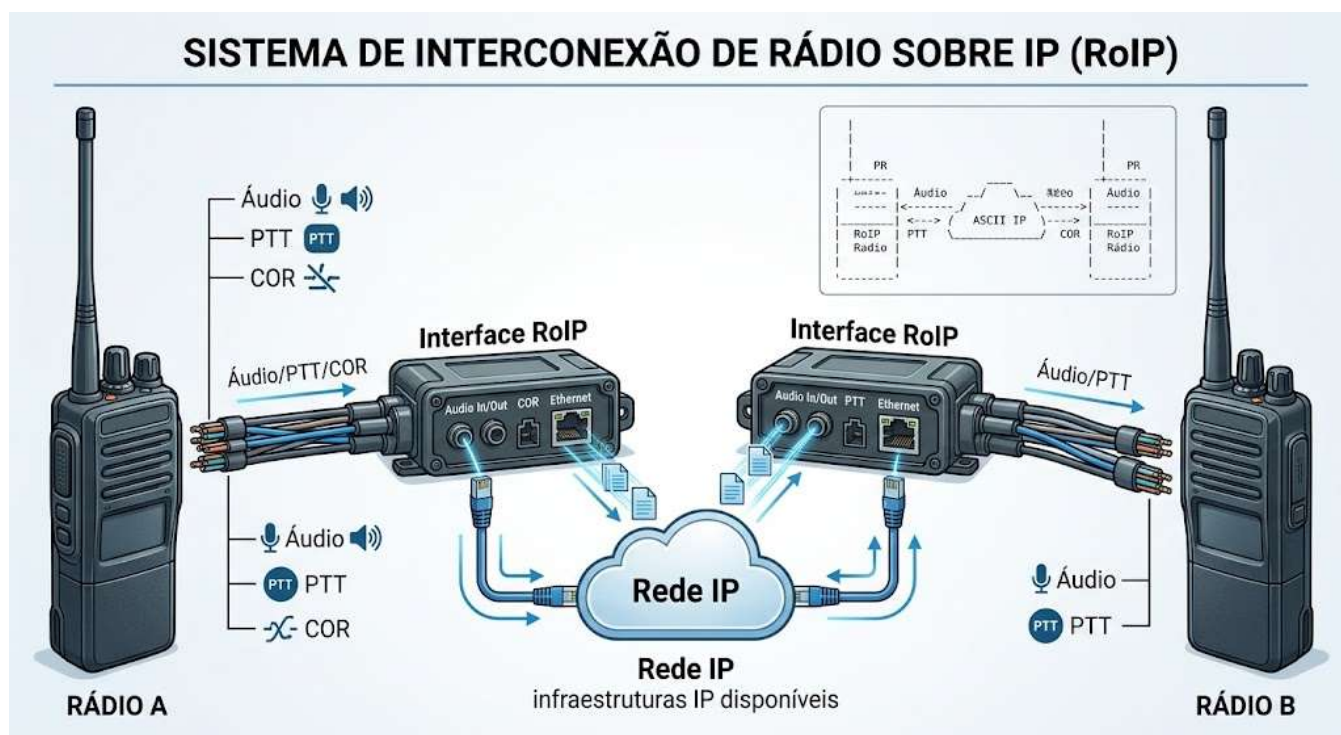
10.3. Gateways RoIP (Radio over IP) e Interligação de Redes ●

A tecnologia **RoIP (Radio over IP)** permite transportar áudio e sinais de controlo de uma estação rádio através de uma rede IP.

Dependendo da implementação, podem ser transportados:

- áudio;
- PTT;
- COR/COS;
- sinalização;
- telemetria;
- dados auxiliares.

A rede IP pode ser local ou remota, incluindo redes Ethernet, Wi-Fi, redes móveis ou outras infraestruturas IP disponíveis.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

10.3.1 Componentes de uma interface RoIP

Uma solução RoIP pode incluir:

1. **Interface de áudio** – converte áudio analógico em dados digitais;
2. **Interface PTT** – permite controlar a transmissão;
3. **Entrada COR/COS** – identifica a atividade do recetor;
4. **Processamento de áudio** – inclui eventualmente filtragem, ganho e codificação;
5. **Interface IP** – transporta os dados através da rede.

Nem todas as implementações utilizam os mesmos codecs ou protocolos.

10.3.2. Requisitos de rede

Os valores abaixo devem ser entendidos como **referências de projeto**, não como limites universais.

Parâmetro	Bom objetivo de projeto	Observação
Largura de banda	≥ 32 kbps/canal	Depende do codec e protocolo
Latência	< 100 ms	Quanto menor, melhor
Jitter	< 20 ms	Deve ser compensado por <i>jitter buffer</i>
Perda de pacotes	Idealmente $< 1\%$	Pode degradar o áudio
Disponibilidade	Elevada	Fundamental para continuidade

Não existe um valor único de latência, jitter ou perda de pacotes a partir do qual um sistema RoIP deixa necessariamente de funcionar.

O comportamento depende do protocolo, codec, *jitter buffer*, temporização e aplicação utilizada.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752



10.3.3. Redes de satélite

As ligações por satélite podem apresentar latências significativamente superiores às redes terrestres.

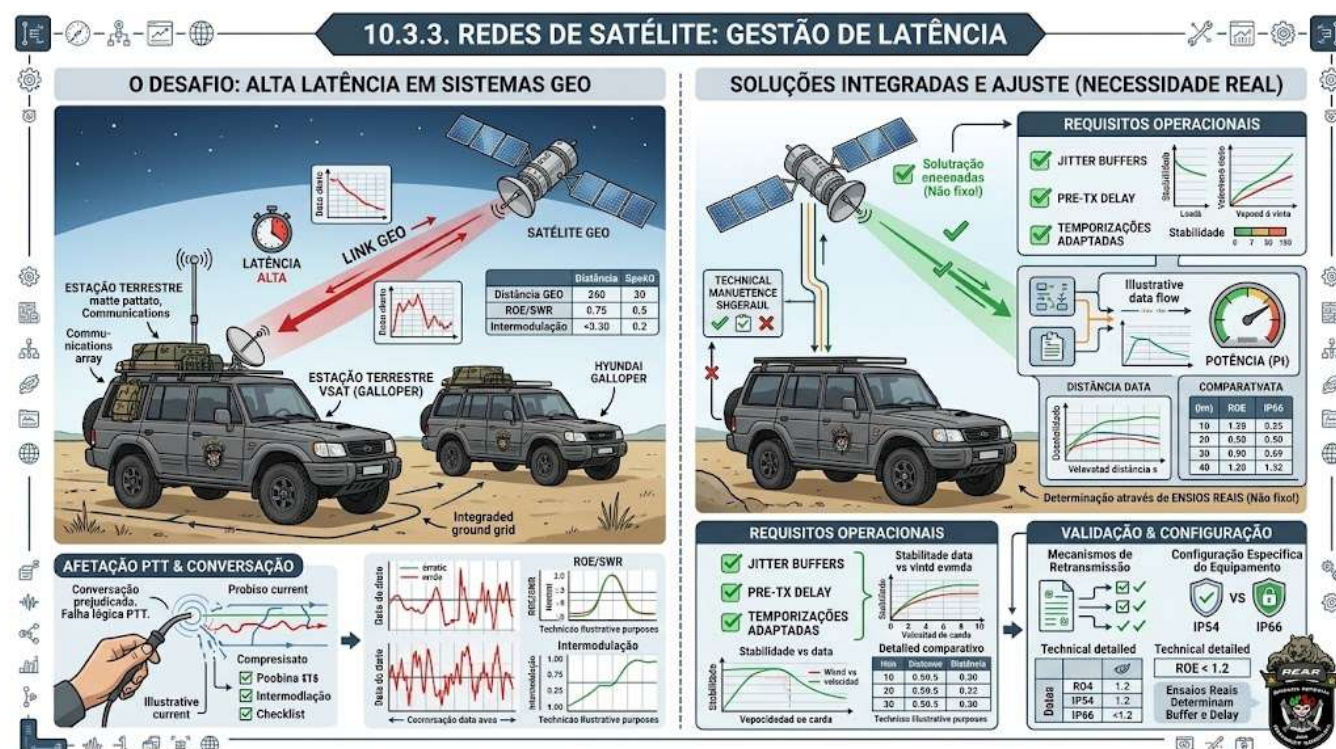
Em sistemas GEO, a latência pode ser suficientemente elevada para afetar a conversação e a lógica PTT.

Por isso, podem ser necessários:

- jitter buffers;
- pre-TX delay;
- temporizações adaptadas;
- mecanismos de retransmissão;
- configuração específica do equipamento.

Não se deve assumir um atraso fixo de 600 ms ou um *buffer* obrigatório de 300–500 ms para todas as ligações VSAT.

A configuração deve ser determinada através de ensaios reais.





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

10.4.1 O Plano de Comunicações PACE

O modelo **PACE** constitui uma metodologia de redundância de comunicações:

- **P – Primary:** meio primário;
- **A – Alternate:** meio alternativo;
- **C – Contingency:** meio de contingência;
- **E – Emergency:** meio de emergência.

Um exemplo genérico:



A configuração concreta deve ser definida **antes do início da operação**, incluindo:

- frequência/canal e modo;
- subtom ou sinalização, quando aplicável;
- indicativos e identificação das estações;
- procedimento de mudança e responsável pela decisão;
- método de confirmação da transição.

Importante: Não existe uma "frequência universal de emergência" que possa ser utilizada indiscriminadamente por qualquer utilizador de rádio. A utilização de uma frequência depende do serviço de radiocomunicações, autorização e regulamentação aplicáveis.

Por isso, exemplos como **145,500 MHz** ou **canais PMR446** não devem ser apresentados como canais universais de emergência.

No caso do Serviço de Amador, determinadas frequências podem ser utilizadas para fins específicos dentro das regras desse serviço, mas isso **não transforma automaticamente essas frequências em canais de emergência para o público em geral**.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

10.4.2. Estação Controladora de Rede (NCS)

A **Net Control Station (NCS)** é a estação responsável pela coordenação do tráfego de uma rede quando tal função foi previamente estabelecida.

As suas funções podem incluir:

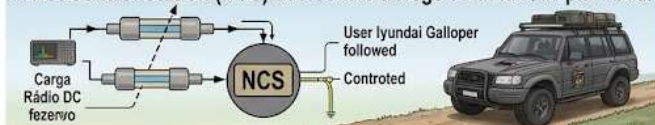
- abertura e encerramento da rede, chamada das estações e controlo da disciplina de tráfego;
- atribuição de prioridades e gestão da mudança de canal;
- recolha de informação e retransmissão de mensagens importantes;
- controlo do silêncio rádio quando necessário.

A NCS não substitui a autoridade legalmente responsável por uma operação de emergência.

Em exercícios de proteção civil ou operações reais, a sua função deve estar subordinada à estrutura de comando estabelecida.

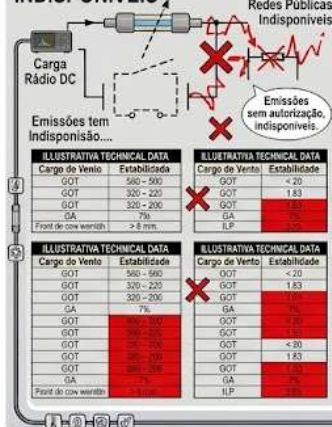
10.4.2. ESTAÇÃO CONTROLADORA DE REDE (NCS) ❌

A Net Control Station (NCS) coordena o tráfego de uma rede planeada.

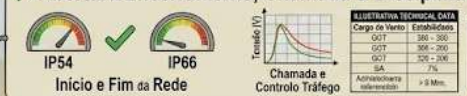


CONSEQUÊNCIAS (EMISSÃO INDEVIDA)

O DESAFIO: REDES PÚBLICAS INDISPONÍVEIS



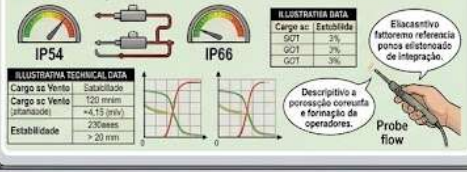
Abertura/Encerramento, Chamada & Disciplina



Atribuição de Prioridades & Gestão de Canal



Recolha, Retransmissão & Silêncio Rádio



A BOA PRÁTICA: ABORDAGEM INTEGRADA (CONJUNTO TÉCNICO)





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

10.4.3. Prioridade de emergência

Uma transmissão relacionada com **perigo iminente para a vida humana** deve receber prioridade operacional sobre o tráfego rotineiro.

Expressões como:

- **MAYDAY** – socorro/distress;
- **PAN PAN** – urgência;

têm significados específicos nos serviços de radiocomunicações onde são aplicáveis.

A utilização destas expressões deve ser reservada para situações que efetivamente justifiquem a respetiva prioridade.

[Caixa de Segurança]

Ao ouvir uma comunicação de emergência:

- interromper as transmissões não essenciais;*
- manter escuta;*
- não transmitir sobre a estação em emergência;*
- registar a informação relevante;*
- seguir as instruções da NCS ou da autoridade responsável;*
- prestar apoio apenas quando tal possa ser feito sem aumentar o risco.*



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

10.4.4. Formato METHANE para Relato de Incidente

O **METHANE** é uma estrutura utilizada em determinados contextos de gestão de incidentes para organizar informação essencial.

Pode ser adaptado para utilização interna durante exercícios ou operações:

Letra	Informação
M	<i>Major incident</i> / identificação da ocorrência
E	<i>Exact location</i> – localização
T	<i>Type of incident</i> – tipo de ocorrência
H	<i>Hazards</i> – perigos
A	<i>Access</i> – acessos
N	<i>Number of casualties</i> – número de vítimas
E	<i>Emergency services</i> – meios necessários



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Exemplo

M: acidente com múltiplas vítimas

E: coordenadas / localização confirmada

T: acidente rodoviário

H: veículo instável e risco elétrico

A: acesso disponível pelo caminho norte

N: três vítimas, uma aparentemente inconsciente

E: necessidade de meios de emergência médica e desencarceramento

A mensagem deve ser transmitida de forma **curta, objetiva e estruturada**, evitando ocupar o canal com informação secundária.

Caso Prático BEAR – Aplicação do Plano PACE

Durante um exercício de proteção civil simulado, uma falha elétrica provocou a indisponibilidade do repetidor principal.

A Estação Controladora de Rede confirmou a falha e transmitiu:

"Posto de Comando para todas as unidades: transitar para Plano Alternate. Confirmar mudança."

As equipas passaram para o meio de comunicação alternativo previamente definido e confirmaram individualmente a mudança.

Este procedimento permitiu manter a comunicação operacional sem depender do restabelecimento imediato do sistema primário.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

10.5. Nota Final do Capítulo

A continuidade das comunicações não depende da existência de um único equipamento de elevada potência. Uma rede robusta resulta da combinação de:

cobertura + redundância + energia + disciplina rádio + procedimentos + operadores treinados.

Uma infraestrutura tecnicamente sofisticada pode tornar-se inútil se não existir um plano de contingência previamente testado.

Por essa razão, a Academia BEAR deve privilegiar o **treino periódico de falhas simuladas**, incluindo:

- perda do repetidor principal;
- perda de alimentação;
- perda de rede IP;
- degradação de cobertura;
- falha de uma estação;
- mudança para simplex;
- perda de GPS/dados;
- redução de autonomia energética;
- necessidade de evacuação da estação repetidora.

O objetivo não é apenas saber **como operar o equipamento**, mas garantir que a rede continua funcional quando parte da infraestrutura deixa de estar disponível.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Conclusão

A implementação de estações repetidoras e a operação de sistemas de retransmissão constituem um ponto de convergência entre a engenharia eletrotécnica, a radiofrequência, a segurança operacional, a autonomia energética e o cumprimento do enquadramento regulamentar aplicável.

Ao longo deste manual técnico, a **Academia BEAR** procurou apresentar, de forma estruturada e tecnicamente fundamentada, os principais conceitos necessários ao planeamento, dimensionamento, montagem, teste, operação e manutenção de infraestruturas de radiocomunicações.

Desde o enquadramento regulamentar e a utilização do espectro radioelétrico, passando pelo estudo do local (*Site Survey*), cálculo de margens de ligação (*Link Budget*), zonas de Fresnel e dimensionamento de sistemas radiantes, até à integração de repetidores, duplexadores, sistemas de alimentação e soluções de retransmissão em campo, ficou demonstrado que a eficácia de uma rede rádio não depende simplesmente da potência do transmissor.

Uma infraestrutura de radiocomunicações fiável resulta do equilíbrio entre **desempenho radioelétrico, qualidade da instalação, segurança, autonomia energética, proteção dos equipamentos e disciplina operacional**.

[Caixa Técnica] Síntese da Resiliência em RF

A resiliência de um nó de retransmissão depende da articulação de três pilares fundamentais:

Conformidade regulamentar

Utilização de frequências e parâmetros de emissão dentro do enquadramento legal aplicável, incluindo eventuais requisitos de autorização, licença, consignação ou enquadramento no Serviço de Amador.

Integridade radioelétrica

Adequado isolamento entre transmissão e receção, controlo da dessensibilização (*desense*), filtragem, adaptação de impedâncias, controlo da ROE/SWR e utilização de sistemas radiantes corretamente dimensionados e instalados.

Autonomia e continuidade energética

Dimensionamento adequado das baterias, sistemas de carregamento e, quando aplicável, produção fotovoltaica, considerando o consumo real do sistema, o ciclo de trabalho e as condições ambientais previsíveis.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

O princípio estruturante transversal a esta obra permanece fundamental:

A capacidade técnica de transmitir numa determinada frequência, potência ou modo não concede, por si só, o direito ou a autorização para realizar essa emissão.

Esta distinção entre **capacidade técnica e autorização regulamentar** deve constituir um dos princípios fundamentais de qualquer projeto de radiocomunicações.

Da mesma forma, a competência técnica não pode ser dissociada da segurança. Uma instalação radioelétrica deve ser concebida tendo em consideração os riscos associados à RF, alimentação elétrica, baterias, descargas atmosféricas, trabalhos em altura, estruturas de suporte e condições ambientais.

A utilização de **cargas fictícias, instrumentos de medição adequados e procedimentos de teste controlados** permite validar grande parte do sistema antes da sua ligação a uma antena radiante. Esta abordagem reduz o risco de interferências, danos nos equipamentos e acidentes durante a fase de desenvolvimento e comissionamento.

A radiocomunicação como sistema, não como equipamento isolado

Um repetidor não deve ser encarado apenas como um transmissor e um recetor colocados dentro da mesma caixa.

O desempenho global resulta da interação entre:

- equipamento de RF e antenas e linhas de transmissão;
- filtros e duplexadores e alimentação elétrica;
- sistema de proteção contra sobretensões;
- estrutura mecânica e ambiente de instalação;
- propagação radioelétrica e configuração e controlo lógico;
- procedimentos operacionais e operadores devidamente habilitados.

Uma falha em qualquer destes elementos pode comprometer todo o sistema.

Por essa razão, o projeto de uma infraestrutura de retransmissão deve ser tratado como um **sistema integrado**, no qual cada componente deve ser dimensionado e validado em função dos restantes.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Continuidade das comunicações

Em cenários de degradação das infraestruturas convencionais, sistemas de comunicação independentes podem desempenhar um papel importante na manutenção da capacidade de coordenação entre equipas e na transmissão de informação operacional.

Contudo, a existência de meios autónomos de comunicação **não substitui as redes e os serviços públicos de emergência, nem confere ao operador funções ou autoridade que não lhe tenham sido atribuídas.**

Em contexto de emergência real, devem ser privilegiados os canais e procedimentos oficialmente estabelecidos, incluindo o contacto com os serviços de emergência e as entidades competentes sempre que a situação o justifique.

Ferramentas de planeamento como o **PACE** e estruturas de comunicação como o **METHANE** devem, por isso, ser entendidas como mecanismos de organização e preparação operacional, adequados ao contexto em que sejam legitimamente utilizados, e não como substitutos dos procedimentos oficiais de emergência.

[Caso Prático BEAR] Preparação para a Continuidade

Num exercício de campo, a perda de um repetidor ou de uma rede de comunicações deve ser encarada não como uma falha isolada, mas como uma oportunidade para validar o plano de contingência. A transição para uma rede alternativa, a utilização de comunicações simplex ou a ativação de outro meio disponível permite avaliar se o plano PACE funciona efetivamente quando o sistema principal deixa de estar disponível.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

O papel da Academia BEAR

A missão da **Academia BEAR** não consiste apenas em ensinar a montar equipamentos capazes de transmitir.

Consiste em promover uma cultura de **competência técnica, segurança, responsabilidade e conformidade**.

Um operador tecnicamente competente deve saber não apenas configurar um rádio, mas também reconhecer as limitações do equipamento, compreender o ambiente radioelétrico, identificar riscos, interpretar os parâmetros fundamentais de uma instalação e saber **quando uma determinada operação não deve ser realizada**.

Essa última capacidade é tão importante quanto saber colocar um sistema em funcionamento.

O conhecimento técnico deve, portanto, ser acompanhado de responsabilidade individual e respeito pelas regras de utilização do espectro, pelas normas de segurança e pelas competências das entidades responsáveis pela gestão das comunicações e pela resposta a emergências.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Consideração final

A mestria em radiocomunicações não resulta da utilização de maior potência ou da aquisição do equipamento mais sofisticado.

Resulta da capacidade de **planear, medir, testar, documentar, corrigir e operar de forma responsável.**

Uma estação bem projetada é aquela que apresenta desempenho adequado sem comprometer a segurança das pessoas, a integridade dos equipamentos ou o funcionamento das restantes redes radioelétricas.

Este manual pretende, assim, constituir uma ferramenta de consulta para estudantes, operadores, técnicos e praticantes que pretendam aprofundar os seus conhecimentos sobre sistemas de retransmissão e infraestruturas de radiocomunicações.

A abordagem da Academia BEAR assenta num princípio simples:

Conhecer antes de transmitir.

Testar antes de operar.

Medir antes de concluir.

E cumprir antes de emitir.

É essa combinação entre **conhecimento técnico, segurança operacional e responsabilidade regulamentar** que transforma uma simples montagem eletrónica numa infraestrutura de radiocomunicações verdadeiramente preparada para funcionar quando dela se necessita.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Anexos Técnicos

Anexo A – Tabela de Conversão dBm / Watts ●

A relação entre potência absoluta e nível de potência expresso em decibéis-miliwatt (dBm) é definida por:

$$P_{\text{dBm}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{mW}}}{1 \text{ mW}} \right)$$

e, inversamente:

$$P_{\text{mW}} = 10^{\left(\frac{P_{\text{dBm}}}{10} \right)}$$

Quando a potência é expressa em Watts:

$$P_{\text{dBm}} = 10 \log_{10} (P_{\text{W}} \times 1000)$$

Tabela de referência para engenharia de RF

Potência	Miliwatts	dBm	Referência técnica
1 μ W	0,001 mW	-30 dBm	Sinal RF muito fraco
1 mW	1 mW	0 dBm	Referência de potência
10 mW	10 mW	+10 dBm	Pequenos transmissores/SRD
100 mW	100 mW	+20 dBm	Equipamentos RF de baixa potência
500 mW	500 mW	+27 dBm	Referência de potência de 0,5 W
1 W	1000 mW	+30 dBm	Transmissores de baixa potência
2 W	2000 mW	+33 dBm	Transmissores portáteis



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Potência	Miliwatts	dBm	Referência técnica
5 W	5000 mW	+37 dBm	Transceptores portáteis VHF/UHF
10 W	10000 mW	+40 dBm	Transmissores de média potência
20 W	20000 mW	+43 dBm	Repetidores/transmissores móveis
25 W	25000 mW	+44 dBm	Transmissores móveis
50 W	50000 mW	+47 dBm	Transmissores de elevada potência
100 W	100000 mW	+50 dBm	Transmissor de 100 W

Nota importante: dBm representa potência elétrica/RF absoluta relativamente a 1 mW. Não deve ser confundido com ERP ou EIRP. Os limites legais de potência dependem do serviço radioelétrico, faixa de frequências, categoria da estação, autorização aplicável e demais condições regulamentares.

No caso de PMR446, o valor de **0,5 W corresponde a 27 dBm de potência**, mas a regulamentação utiliza **ERP**, não simplesmente potência de saída do transmissor. Assim, não é tecnicamente correto apresentar 500 mW como uma equivalência universal entre potência do transmissor, ERP e EIRP.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





Anexo B – Fórmulas e Exemplo Prático de Cálculo de Autonomia Energética ●

Formulário de dimensionamento energético

1. Corrente média ponderada

Considerando apenas os estados de receção e transmissão:

$$I_{\text{medio}}' = (D \times I_{\text{TX}}) + ((1 - D) \times I_{\text{RX}})$$

onde:

- I_{TX} = corrente durante transmissão;
- I_{RX} = corrente durante receção/escuta;
- D = ciclo de trabalho de transmissão, expresso entre 0 e 1.

2. Consumo diário

$$E_{\text{diario,Ah}}' = I_{\text{medio}}' \times 24$$

3. Capacidade necessária da bateria

$$C_{\text{bateria}} = \frac{E_{\text{diario,Ah}}' \times N_{\text{dias}}}{DoD \times \eta_{\text{bateria}}}$$

onde:

- DoD = profundidade máxima de descarga admissível;
- η_{bateria} = eficiência considerada para o armazenamento.

4. Energia diária

Para efeitos de dimensionamento fotovoltaico, é preferível converter o consumo em energia:

$$E_{\text{diario,Wh}}' = E_{\text{diario,Ah}}' \times V_{\text{sistema}}$$



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

5. Potência fotovoltaica aproximada

$$P_{FV} = \frac{E_{\text{diário,Wh}}}{HSP \times \eta_{\text{sistema}}}$$

Este cálculo é uma aproximação de dimensionamento. O dimensionamento definitivo deve considerar temperatura, orientação e inclinação do painel, perdas do controlador, cablagem, bateria, variação sazonal da radiação solar e perfil real de consumo.

Exemplo prático

Dados de entrada

- Tensão de referência do sistema: **13,8 V DC**
- Corrente em receção: **0,40 A**
- Corrente em transmissão a 25 W: **6,50 A**
- Ciclo de trabalho: **15 %**
- $D = 0,15$
- Bateria: **LiFePO4**
- DoD máximo considerado: **85 %**
- Eficiência da bateria: **98 %**
- Autonomia sem contribuição solar: **3 dias**
- HSP considerada: **2,8 h/dia**
- Eficiência global estimada do sistema: **75 %**

1. Corrente média

$$I_{\text{medio}} = (0,15 \times 650) + (0,85 \times 040)$$

$$I_{\text{medio}} = 0,975 + 0,340 = 1,315 \text{ A}$$

2. Consumo diário

$$E_{\text{diário,Ah}} = 1,315 \times 24 = 31,56 \text{ Ah/dia}$$



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

3. Capacidade da bateria

$$C_{\text{bateria}} = \frac{31,56 \times 3}{0,85 \times 0,98}$$

$$C_{\text{bateria}} = 113,66 \text{ Ah}$$

Assim, uma solução comercial de:

12,8 V / 120 Ah LiFePO4

é adequada como seleção nominal, desde que o BMS, corrente máxima de descarga e condições térmicas sejam compatíveis com o equipamento.

4. Energia diária

$$E_{\text{diário}} = 31,56 \times 13,8 = 435,5 \text{ Wh/dia}$$

5. Dimensionamento fotovoltaico

$$P_{\text{FV}} = \frac{435,5}{2,8 \times 0,75}$$

$$P_{\text{FV}} = 207,4 \text{ Wp}$$

Seleção

Um painel de **220 Wp** fornece uma margem pequena sobre o valor calculado.

Para uma instalação real, recomenda-se considerar **margem adicional**, especialmente para funcionamento no inverno. Um painel de 220 Wp não deve ser interpretado como garantia de produção diária de 435 Wh em todas as condições meteorológicas.

Com 220 Wp e um sistema nominal de 12,8/13,8 V, um controlador **MPPT de 20 A** é, em princípio, compatível com a ordem de grandeza desta instalação, devendo ser confirmadas as especificações concretas do painel, controlador e bateria.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Anexo C – Fórmulas e Exemplo Prático de Cálculo de *Link Budget* ●

Formulário de engenharia de enlace

EIRP

$$EIRP_{dBm} = P_{TX,dBm} - L_{TX} + G_{TX}$$

Perda de espaço livre

Para distância em quilómetros e frequência em MHz:

$$L_{FS}(dB) = 32,44 + 20\log_{10}(d_{km}) + 20\log_{10}(f_{MHz})$$

A metodologia de cálculo de atenuação em espaço livre é tratada pela Recomendação ITU-R P.525, cuja versão atualmente em vigor é a **P.525-5 (11/2024)**.

Potência recebida

$$P_{RX} = EIRP - L_{FS} + G_{RX} - L_{RX}$$

Margem de ligação

$$M_{link} = P_{RX} - S_{RX}$$

onde S_{RX} representa a sensibilidade do recetor nas condições consideradas.

Exemplo prático

Dados

- Potência TX: **20 W**
- Frequência: **438,500 MHz**
- Distância: **22 km**
- Perdas TX: **2,8 dB**
- Ganho da antena TX: **6,5 dBi**
- Ganho da antena RX: **2,15 dBi**
- Perdas RX: **3,0 dB**
- Sensibilidade: **-118 dBm**



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

1. Conversão de potência

$$20 W = 43,01 dBm$$

Arredondando:

$$P_{TX} \approx 43 dBm$$

2. EIRP

$$EIRP = 43 - 2,8 + 6,5$$
$$\boxed{EIRP = 46,7 dBm}$$

3. Perda em espaço livre

$$L_{FS} = 32,44 + 20\log_{10}(22) + 20\log_{10}(438,5)$$
$$L_{FS} \approx \boxed{112,13 dB}$$

4. Potência recebida

$$P_{RX} = 46,7 - 112,13 + 2,15 - 3$$
$$\boxed{P_{RX} \approx -66,28 dBm}$$

5. Margem

$$M_{link} = -66,28 - (-118)$$
$$\boxed{M_{link} = 51,72 dB}$$

Interpretação

O cálculo apresenta uma margem teórica de aproximadamente **51,7 dB no modelo de espaço livre**.

Isto **não significa, por si só, que a ligação ficará garantidamente limpa ou estável**. Um enlace real pode sofrer perdas adicionais provocadas por:

- Obstáculos e vegetação;
- reflexões e multipercurso;
- difração e desvanecimento (*fading*);
- polarização e perdas adicionais nos conectores e cabos;
- interferência e desensibilização;
- condições atmosféricas e zona de Fresnel parcialmente obstruída.

Assim, o resultado deve ser interpretado como **margem teórica de engenharia**, e não como garantia de desempenho operacional.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Anexo D – Cálculo da 1.ª Zona de Fresnel e Linha de Visada ●

Raio da 1.ª Zona de Fresnel

O raio da primeira zona de Fresnel, num determinado ponto do percurso, pode ser calculado por:

$$r_1 = 547,7 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fD}}$$

onde:

- r_1 = raio da primeira zona de Fresnel, em metros;
- d_1 = distância do ponto ao transmissor, em km;
- d_2 = distância do ponto ao recetor, em km;
- D = distância total do enlace, em km;
- f = frequência, em MHz.

No ponto médio:

$$d_1 = d_2 = \frac{D}{2}$$

Tabela corrigida

Distância total	145 MHz – VHF	60 % de r_1	435 MHz – UHF	60 % de r_1
5 km	50,9 m	30,5 m	29,4 m	17,6 m
10 km	71,9 m	43,1 m	41,5 m	24,9 m
20 km	101,7 m	61,0 m	58,7 m	35,2 m
40 km	143,8 m	86,3 m	83,0 m	49,8 m

Esta é uma das correções mais importantes. Os valores da tabela original estavam significativamente subestimados.

A regra dos 60 % deve ser apresentada como **critério prático de engenharia**, não como uma condição legal universal.

Além disso, uma avaliação real de LoS deve considerar também:

- curvatura terrestre e *earth bulge*;
- altura das antenas, relevo e vegetação;
- edifícios e obstáculos temporários.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Anexo E – Atenuação de Cabos Coaxiais por Frequência e Comprimento ●

As perdas de um cabo coaxial dependem do **modelo concreto**, frequência, temperatura, comprimento e características de instalação.

Por isso, a tabela deve ser apresentada como **valores indicativos**, e não como valores universais para todos os cabos com a mesma designação.

Valores indicativos

Tipo de cabo	Frequência	5 m	10 m	20 m	30 m	50 m
RG-58 C/U	145 MHz	1,02 dB	2,05 dB	4,10 dB	6,15 dB	10,25 dB
	435 MHz	1,90 dB	3,80 dB	7,60 dB	11,40 dB	19,00 dB
RG-213/U	145 MHz	0,41 dB	0,82 dB	1,64 dB	2,46 dB	4,10 dB
	435 MHz	0,77 dB	1,55 dB	3,10 dB	4,65 dB	7,75 dB
LMR-400 / equivalente	145 MHz	0,24 dB	0,49 dB	0,98 dB	1,47 dB	2,45 dB
	435 MHz	0,44 dB	0,88 dB	1,76 dB	2,64 dB	4,40 dB
Cabo corrugado 1/2" / equivalente	145 MHz	0,10 dB	0,21 dB	0,42 dB	0,63 dB	1,05 dB
	435 MHz	0,19 dB	0,38 dB	0,76 dB	1,14 dB	1,90 dB

Nota: Os valores devem ser confirmados através da ficha técnica do fabricante antes de serem utilizados num cálculo de *link budget*. Não é aconselhável tratar “1/2” Heliax” ou “LMR-400” como se fossem modelos únicos com uma perda universal.

Também corrigiria “**Lança de 5 m**” para simplesmente “**Comprimento de 5 m**”, porque “lança” não é a designação técnica adequada neste contexto.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Anexo F – Guia Ilustrativo de Conectores RF ●

Matriz de seleção técnica

Conetor	Impedância	Frequência típica*	Estanqueidade	Aplicações
PL-259 / SO-239	Aproximadamente 50 Ω , não verdadeiramente constante	Principalmente HF/VHF	Baixa	Equipamentos de HF/VHF, instalações móveis
N-Type	50 Ω	Até vários GHz, dependendo do modelo	Elevada	Antenas, repetidores, duplexadores, instalações exteriores
BNC 50 Ω	50 Ω	Até vários GHz, dependendo do modelo	Moderada	Instrumentação, RF, equipamentos de bancada
SMA 50 Ω	50 Ω	Até vários GHz, dependendo do modelo	Baixa a moderada	Equipamentos portáteis, módulos RF, MMDVM

* A frequência máxima não deve ser atribuída apenas ao nome do conetor. Existem diferentes construções, materiais, fabricantes e variantes.

Nota técnica

O PL-259 é o conetor macho, enquanto o SO-239 é o conetor fêmea correspondente.

Também não é correto afirmar que um conetor N é “obrigatório” em portas de repetidores ou duplexadores. É, contudo, uma solução muito comum e adequada para instalações RF profissionais, particularmente em ambientes exteriores.



CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Anexo G – Exemplo de Configuração MMDVM ●

Ficheiro de configuração estruturado

O exemplo seguinte deve ser apresentado **apenas como exemplo de estrutura**.

[General]

Callsign=CS8BEAR

Id=2689999

Timeout=90

Duplex=1

ModeHang=3

RFModeHang=10

Display=Nextion

[Modem]

Port=/dev/ttyACM0

Speed=115200

RXInvert=0

TXInvert=1

Channelizer=0

RXLevel=50

TXLevel=50

OscillatorOffset=0

[DMR]

Enable=1

Beacons=1

BeaconInterval=60

BeaconDuration=3

ColorCode=1

SelfOnly=0



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

[DMR Network]

Enable=1

Address=brandmeister.net

Port=62031

Jitter=300

Slot1=1

Slot2=1

Nota: Os parâmetros, endereços de rede, identificadores, *Color Code*, *Time Slots*, modos e restantes valores devem ser configurados de acordo com o equipamento, firmware, rede e autorização aplicáveis. Este exemplo não constitui uma configuração universal nem autorização para ligação a uma rede DMR.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Glossário Alfabético

- **AGM (*Absorbent Glass Mat*):** Tecnologia de bateria de chumbo-ácido regulada por válvula (VRLA), na qual o eletrólito é imobilizado numa manta de fibra de vidro.
- **ANACOM:** Autoridade Nacional de Comunicações, entidade reguladora portuguesa dos setores das comunicações eletrónicas e dos serviços postais.
- **AMBE+2:** Vocoder proprietário desenvolvido pela Digital Voice Systems, Inc., utilizado em vários sistemas de voz digital, incluindo aplicações DMR.
- **BER (*Bit Error Rate*):** Taxa de erro de bits, correspondente à proporção de bits recebidos incorretamente relativamente ao número total de bits transmitidos.
- **BMS (*Battery Management System*):** Sistema eletrónico de gestão e proteção de uma bateria, incluindo funções como monitorização de tensão, corrente e temperatura e, dependendo do sistema, balanceamento das células.
- **C4FM (*Continuous 4-level Frequency Modulation*):** Técnica de modulação digital baseada em quatro níveis de frequência, utilizada, entre outros sistemas, pelo Yaesu System Fusion.
- **Cavidade ressonante:** Elemento ressonante utilizado em filtros RF, incluindo duplexadores, para proporcionar elevada seletividade e isolamento entre frequências.
- **COR/COS (*Carrier Operated Relay / Carrier Operated Squelch*):** Sinal ou função que indica a deteção de uma portadora ou condição de receção num recetor.
- **Cross-Band Repeat:** Operação em que um repetidor recebe numa banda de frequência e retransmite noutra banda distinta.
- **dBi:** Ganho de uma antena expresso relativamente a uma antena isotrópica ideal.
- **dBd:** Ganho de uma antena expresso relativamente a um dipolo de meia onda.
- **Desensibilização (*Desense*):** Redução da sensibilidade efetiva de um recetor provocada, entre outras causas, pela presença de sinais fortes ou interferência proveniente de transmissores próximos.
- **DMR (*Digital Mobile Radio*):** Norma de rádio digital definida pelo ETSI. Nas implementações Tier II/Tier III, utiliza normalmente TDMA de dois *slots* num canal RF de 12,5 kHz.
- **Duplexador:** Dispositivo constituído por filtros RF que permite a utilização da mesma antena por um transmissor e um recetor, proporcionando isolamento adequado entre as frequências.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

- **Duty Cycle:** Percentagem de tempo durante a qual um transmissor permanece efetivamente em transmissão dentro de um determinado período.
- **EIRP (*Equivalent Isotropically Radiated Power*):** Potência isotropicamente radiada equivalente, correspondendo à potência que seria necessária numa antena isotrópica ideal para produzir a mesma densidade de potência na direção considerada.
- **ERP (*Effective Radiated Power*):** Potência radiada efetiva, referida a uma antena dipolo de meia onda.
- **FDMA (*Frequency Division Multiple Access*):** Técnica de acesso em que diferentes transmissões utilizam canais ou porções distintas do espectro de frequência.
- **FSPL (*Free-Space Path Loss*):** Perda de propagação associada à propagação em espaço livre.
- **HSP (*Horas de Sol Pico*):** Número equivalente de horas por dia durante as quais a irradiância solar média seria de 1000 W/m².
- **IARU:** *International Amateur Radio Union*, organização internacional que representa associações nacionais de radioamadores.
- **ICNIRP:** *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, organização científica internacional dedicada à proteção contra radiação não ionizante.
- **IMD (*Intermodulation Distortion*):** Distorção resultante da mistura não linear de dois ou mais sinais, podendo originar produtos de intermodulação.
- **LiFePO₄:** Química de bateria de iões de lítio baseada em fosfato de ferro-lítio.
- **Link Budget:** Balanço de ligação que contabiliza potências, ganhos e perdas existentes entre o transmissor e o recetor.
- **LoS (*Line of Sight*):** Linha de visada direta entre duas antenas, sem obstáculos relevantes no percurso.
- **MMDVM (*Multi-Mode Digital Voice Modem*):** Plataforma/modem de processamento de voz digital utilizada em várias arquiteturas de rádio digital multimodo.
- **MPPT (*Maximum Power Point Tracking*):** Técnica utilizada por controladores fotovoltaicos para acompanhar o ponto de máxima potência do painel e otimizar a transferência de energia.
- **Offset:** Diferença de frequência entre a frequência de transmissão e a frequência de receção de um repetidor.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

- **PMR446:** Serviço de radiocomunicações de curto alcance destinado a comunicações pessoais, sujeito às condições regulamentares aplicáveis, incluindo limites de potência, frequências, antena e funcionamento.
- **QNAF:** Quadro Nacional de Atribuição de Frequências, instrumento de planeamento e gestão do espectro radioelétrico em Portugal.
- **RoIP (Radio over IP):** Tecnologia que permite transportar voz, controlo ou outros sinais associados a sistemas de rádio através de redes IP.
- **SINAD:** Medida da relação entre o sinal mais ruído e distorção e o ruído mais distorção, utilizada frequentemente na caracterização da sensibilidade de recetores analógicos.
- **SWR/ROE (Standing Wave Ratio / Relação de Onda Estacionária):** Relação entre os valores máximo e mínimo da tensão de uma onda estacionária numa linha de transmissão, utilizada para avaliar o casamento entre a linha e a carga.
- **TDMA (Time Division Multiple Access):** Técnica que divide um canal de comunicação em intervalos temporais (*time slots*) destinados a diferentes transmissões.
- **Time-Out Timer (TOT):** Temporizador que limita automaticamente a duração máxima de uma transmissão.
- **Zona de Fresnel:** Região espacial em torno do percurso direto entre transmissor e recetor cuja obstrução pode provocar perdas adicionais por difração e interferência.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752





CLUBE BRIGADA ESPECIAL DE AIRSOFT RADICAL ACADEMIA DE FORMAÇÃO



Fundado a 23 de março de 2016

Bibliografia

- **ANACOM.** *Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF)*. Autoridade Nacional de Comunicações.
- **ARRL.** *The ARRL Handbook for Radio Communications*. American Radio Relay League.
- **Diário da República.** Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de julho.
- **Diário da República.** Decreto-Lei n.º 53/2009, de 2 de março — Regime aplicável aos serviços de radiocomunicações de amador e de amador por satélite. O diploma continua em vigor, com alterações posteriores.
- **ETSI.** *TS 102 361-1 – Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) Protocol*.
- **ICNIRP.** *Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)*. Health Physics, 118(5), 483–524.
- **IARU Region 1.** *VHF/UHF/Microwave Band Plans*.
- **ITU-R.** *Recommendation P.525-5: Calculation of Free-Space Attenuation*. 2024. **Esta deve substituir a referência à P.525-4**, que já foi substituída pela versão P.525-5.
- **ITU-R.** *Recommendation P.1812 – A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands*.
- **Motorola Solutions.** *MOTOTRBO SLR 5000 Series Repeater System Installation and Maintenance Manual*.
- **Portaria n.º 1421/2004, de 25 de novembro.** Limites de exposição da população a campos eletromagnéticos.
- **Seybold, J. S.** *Introduction to RF Propagation*. John Wiley & Sons.
- **Yaesu Musen Co.** *DR-2X / DR-2XE System Fusion Repeater Instruction Manual*.



Associação Clube BEAR - NIPC: 514 614 552
Email geral: geral@clubebear.pt | www.clubebear.pt
Tel.: 910 855 752

