

“Estudo do Impacto da Distorção Não Linear na Gestão do Espectro Radioelétrico”



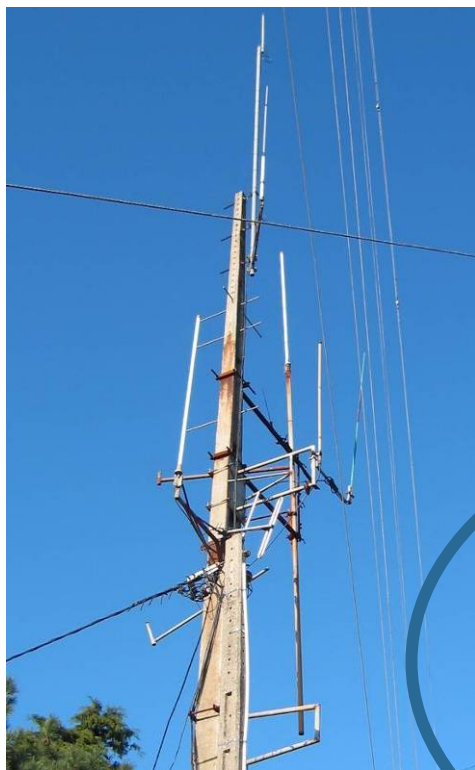
14.º Seminário ANACOM

SANA Malhoa Hotel

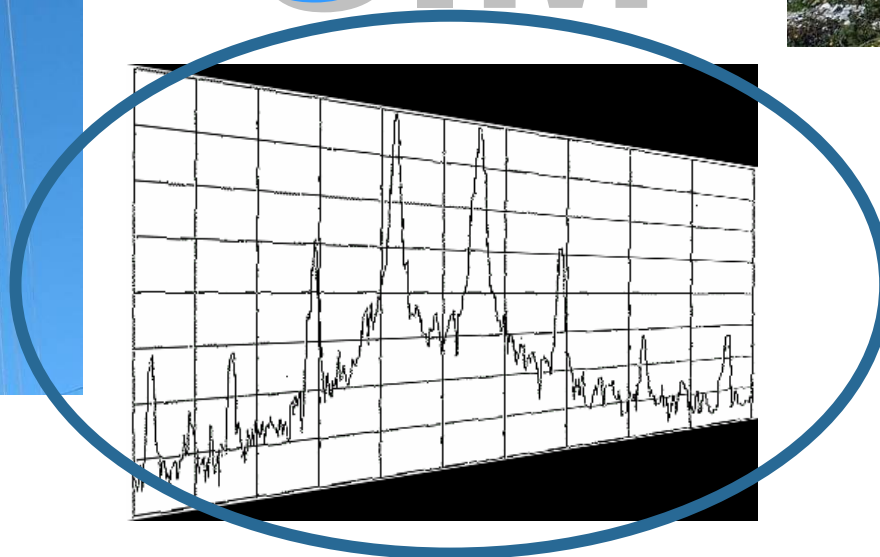
José Pedro Borrego

22 de Abril de 2008

Poderá um parafuso ou vedação dar origem a emissões radioelétricas?



SIM




“Estudo do Impacto da Distorção Não Linear na Gestão do Espectro Radioelétrico”

ÍNDICE



- 1. Introdução/Motivação**
- 2. Distorção Não Linear**
- 3. Intermodulação Passiva (PIM)**
- 4. Estudos de Caso**
 - Interferências no Serviço Móvel Aeronáutico
 - Interferências no SMT-RP (CDMA)
- 5. Conclusões**

- **Crescimento rápido e generalizado dos sistemas rádio**



-  Número de estações
- Frequências utilizadas (*congestionamento espectral*)

- **Coexistência de meios rádio no mesmo local**

(*grande densidade de fontes de RF*)

- **Elevadas potências radiadas**

- **Problemas de interferência:**

- Fontes perturbadoras externas 
- Fenómenos não lineares 
 - degradação dos sinais a transmitir/receber
 - ocupação espectral indevida

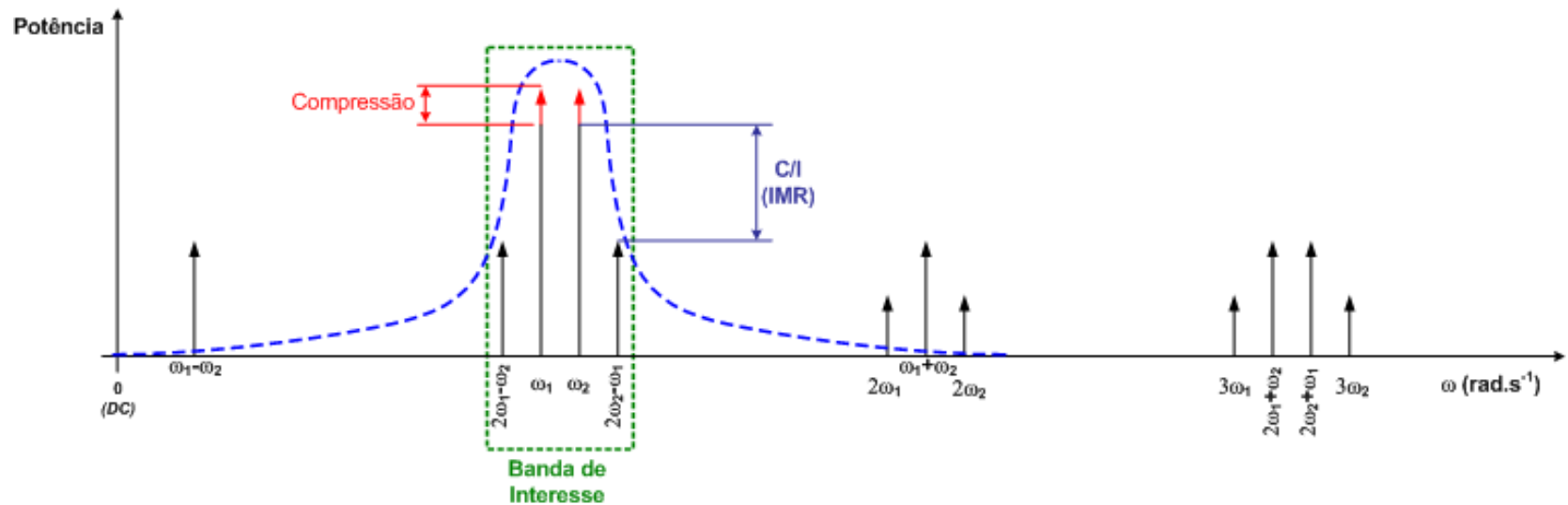
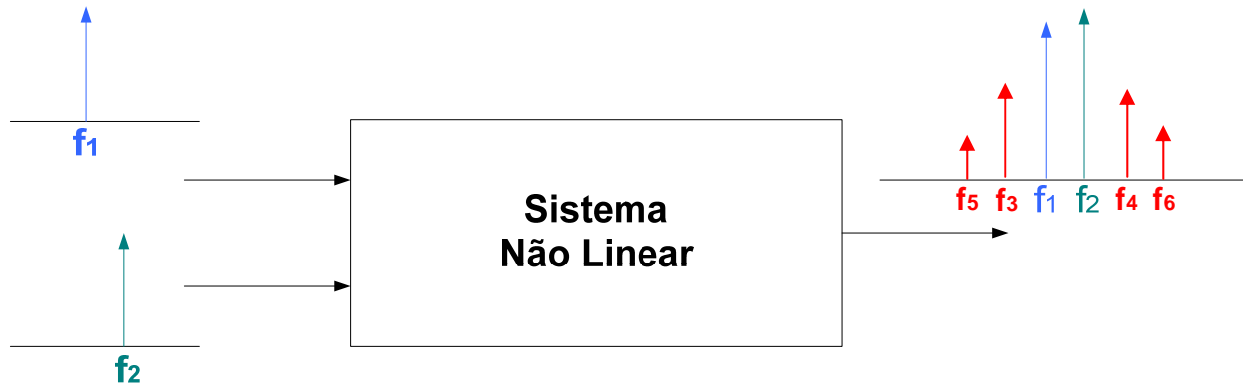
- **Intermodulação**  **Intermodulação Passiva (PIM)**

Consequências e Impactos mais evidentes nos Sistemas de Radiocomunicações:

- Chamadas abandonadas (*'drop calls'*)
- Falhas no acesso à rede
- Interferências / Interferências Prejudiciais
- Dificuldades acrescidas na Gestão do Espectro
 - Algum grau de “imprevisibilidade” quanto à sua manifestação



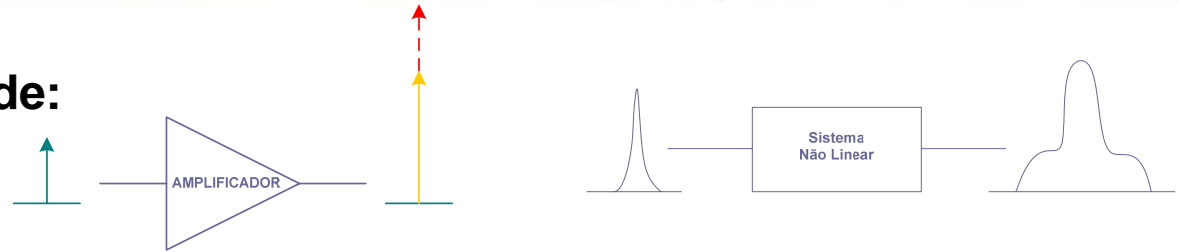
Distorção Não Linear



Impacto da Distorção Não Linear

- **Implicações em termos de:**

- *Ganho* dos sistemas
- *Formatação* dos sinais



-  da *Taxa de Erros*
-  *Atrasos*
-  dos *Ritmos de Transmissão*
-  da *Eficiência Espectral e de Potência*

1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0	1

- Aparecimento de *Radiações Não-Essenciais* (Espúrias, Harmónicas, ...) que *não transportam qualquer informação útil*.

- **Interferências Radioelétricas**





Intermodulação

- **Fontes de Origem:**

- Receptores ('front-end')
- Transmissores (andares finais)
- **Componentes Passivos (Intermodulação Passiva)**

Fontes mais comuns: cabos coaxiais, conectores de RF, adaptadores, uniões usadas para juntar troços de linhas de transmissão ('flanges'), filtros, acopladores direccionais, antenas, alimentadores de antenas, protecções contra descargas atmosféricas.

Fontes menos óbvias: partes metálicas para fixação das antenas à estrutura de suporte; fixadores oxidados ou frouxos, tais como parafusos, porcas e rebites, na torre; junções entre diferentes secções de uma torre; espigas de suporte das torres; vedações, portões e sinalização metálica na periferia do 'site'.

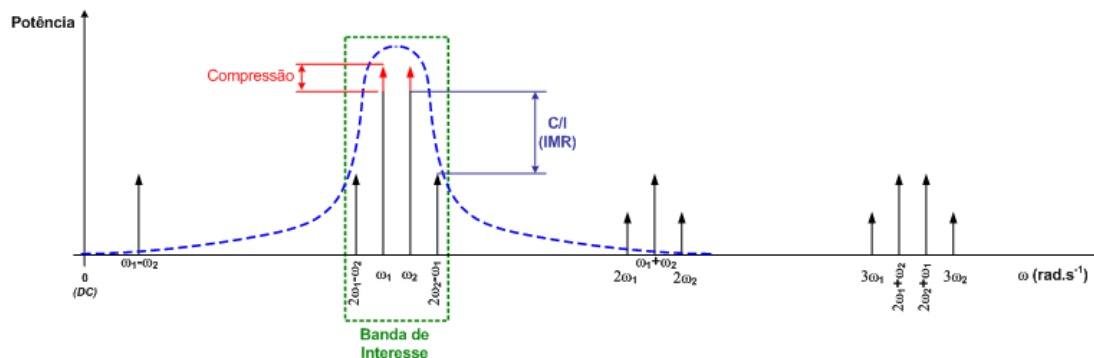
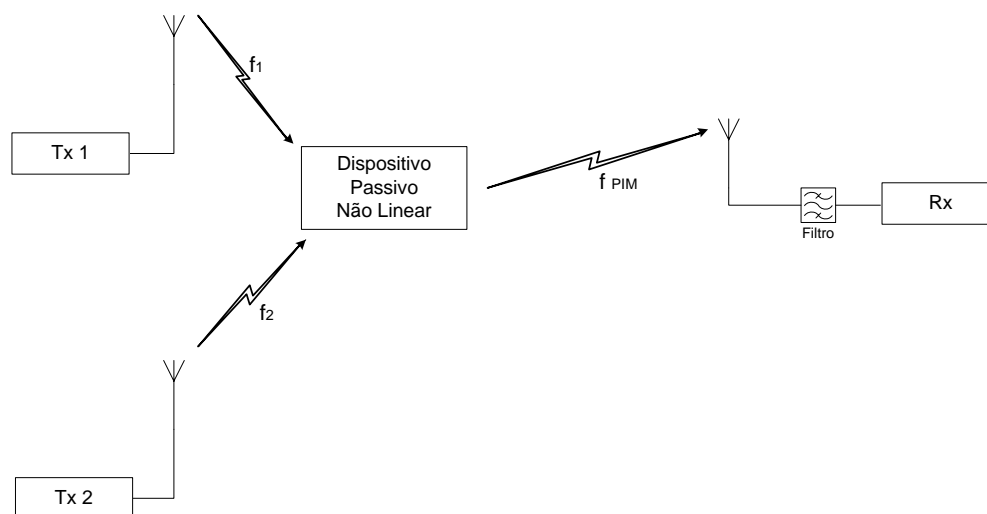


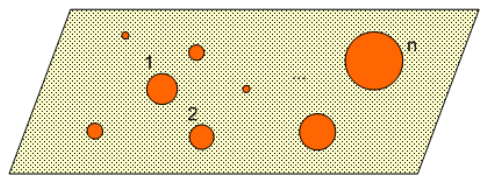
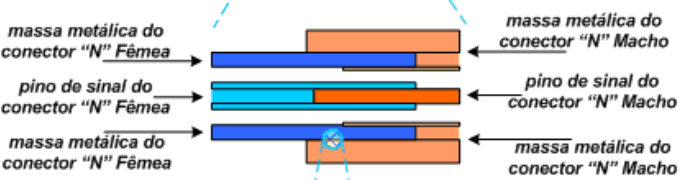
Intermodulação Passiva (PIM)

- De uma forma geral, a PIM resulta essencialmente de não linearidades em:

- Contactos
- Materiais

- Não pode ser filtrada!





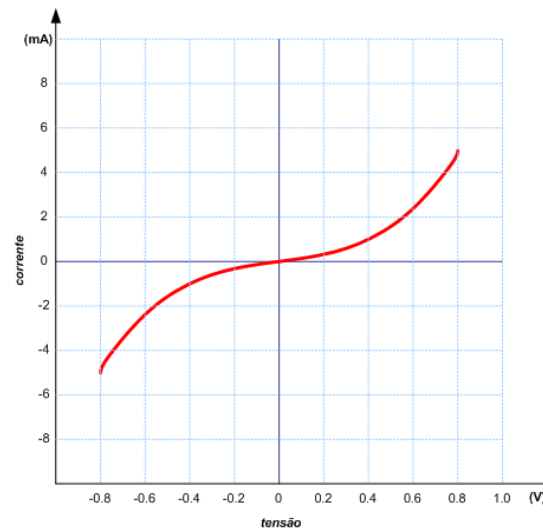
• Contactos:

- **'A-Spot'**

Resistência de constrição não linear, devido ao aquecimento provocado pela corrente que atravessa o contacto, causando variações da resistividade (não linear com a temperatura)

- **Junção Alumínio-Óxido Alumínio-Alumínio (películas 10 a 100 Å)**

Efeito de Túnel (condução não linear)



Característica i-v típica de uma junção metal-isolador-metal

- **Contactos:**

- **‘Rusty Bolt’**

A camada de óxido num metal é suficientemente porosa.

O processo de oxidação não pára quando é atingida uma determinada espessura.

O metal continua a corroer, se a humidade for suficientemente elevada.

*Têm sido identificadas como **fontes significativas de geração de PIM** em estruturas metálicas nas imediações de antenas transmissoras*

Possíveis causas para a não linearidade

-O óxido semiconductor presente nos contactos metálicos, manifestando por isso a **junção** um **efeito rectificador**.

-**Diminuição da área de contacto** e/ou **perda de contacto**.



• Estrutura dos Materiais:



- **Ferromagnéticos e Ferrites**
Saturam, exibem histerese (não linear) B vs. H
- **Alguns Dielétricos** (*constante dielétrica não linear*)
 - **Materiais Ferroelétricos** (*dielétricos que se tornam espontaneamente polarizados -> saturação e histerese P vs. E*)
 - **Disrupção dielétrica** (*não linear*), a que pode estar associada *disrupção térmica (decorrente do efeito de Joule) e disrupção por avalanche.*
- **O Níquel, o Aço e as Fibras de Carbono** (*não linearidade intrínseca da Grafite*) são materiais muito susceptíveis de gerar PIM.

• Outros Efeitos:

- **Imperfeições, rugosidades e abrasão das superfícies dos materiais.**
- **Soldaduras** (resíduos deixados pelas substâncias usadas no processo de soldadura são susceptíveis de causar PIM).
- **Revestimentos** (o revestimento de materiais não lineares com materiais lineares – e.g. Ouro ou Prata melhora as suas características em termos de PIM).
- **Fenómenos de variação temporal:**
 - **Distribuição e variação da densidade de corrente de RF;**
 - **Acabamentos (imperfeições) e deterioração das superfícies: fendas, fracturas, estrias, rebarbas, etc.;**
 - **Pressão de contacto e fadiga interna em várias superfícies;**
 - **Deformação plástica dos materiais: fadiga e consequente relaxação (deformação);**
 - **Variações e gradientes de temperatura;**
 - **Humidade e condensação;**
 - **Abalos, cargas mecânicas, e vibrações;**
 - **Corrosão e oxidação, contaminação de componentes com partículas electricamente condutoras.**
 - **'Fretting':** superfícies de contacto roçam umas nas outras, o movimento mecânico desgasta as superfícies em contacto e extrai partículas que corroem ou oxidam facilmente. Este fenómeno é designado por corrosão devido a 'fretting', e dá origem a um aumento da resistência de contacto e, no limite, poderá conduzir à avaria ou deterioração de conectores eléctricos.

- **Não usar materiais não lineares**

- Se se tiver mesmo que usar:
 - afastá-los de campos elevados
 - revesti-los com materiais lineares

- **Contactos**

- Densidades de corrente reduzidas
- Número de contactos metal-metal o menor possível
- Pressão de contacto adequada
- Áreas de contacto lisas e polidas
- Soldaduras em vez de contactos mecânicos



Caso 1

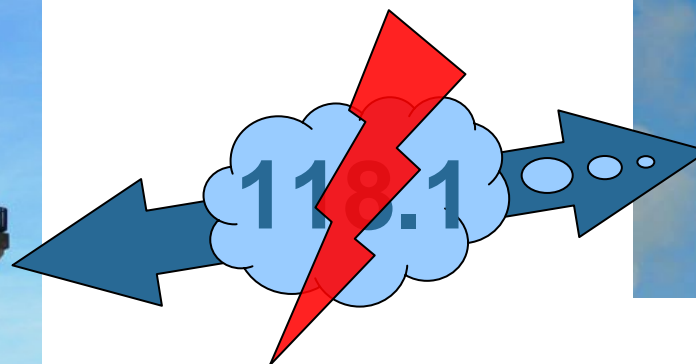
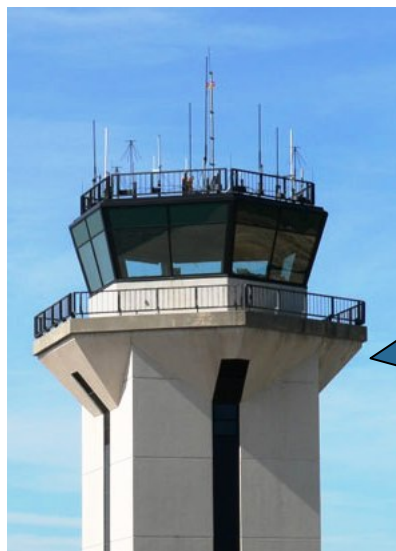
Interferência no Serviço Móvel Aeronáutico

Comunicações: Torre – Aeronaves

Aeroporto de Lisboa



Interferência Prejudicial: 118.1 MHz



- **Aeroporto de Lisboa reporta:**

- Frequência da Torre de Controlo: *118.1 MHz* **fortemente interferida!**
- É audível uma emissão de radiodifusão sonora.
- É impossível usar a frequência!
- Por razões de segurança, as comunicações estão a ser asseguradas na frequência alternativa.



Dezembro 2004

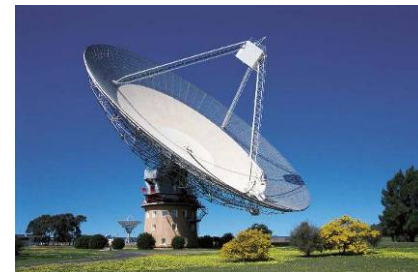
E agora?



- **Possíveis Fontes de Interferência**

- **Complexidade**

- Muitos serviços de radiocomunicações (licenciados)
- Muitos serviços isentos de licença (Wi-Fi, Bluetooth, RFID's, ...)
- Utilizações de espectro ilegais
- Outras fontes (fornos microondas, amplificadores TV a oscilar, ...)



- **É importante:**

- Caracterizar o melhor possível o sinal interferente (padrões com que se manifesta, LB, intensidade, ...)
- Recolher todos os “sintomas” do sistema afectado (e.g., ‘reports’ e alarmes do OMC: ‘drop calls’, falhas no acesso à rede, período do dia, local, BTS afectadas, sectores mais vulneráveis, ...)

- **Monitorização do Espectro**

- **Caracterização do Sinal Interferente**

- **Largura de Banda** ocupada
 - **Duração** da interferência (*permanente, intermitente, aleatória, ...*)
 - **Período de ocorrência** (*tentar obter informações sobre as condições climáticas nessas alturas: temperatura, humidade, precipitação, ...*)
 - **Intensidade do sinal** (*indicação sobre proximidade da fonte*)
 - **Desmodulação** do sinal
 - Verificação de **picos simultâneos** com a interferência



- Mas já sabemos “muito” sobre a interferência...

- É permanente (maior flexibilidade na sua localização)



- Da desmodulação, conclui-se que se trata, pelo menos, de uma **emissão de radiodifusão sonora**, identificando-se auditivamente a “**Rádio A**”, que emite na zona, na frequência **104.3 MHz**.

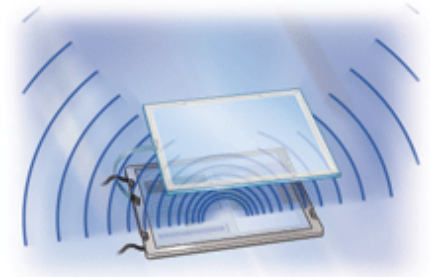
- Estamos portanto perante um fenómeno de **Distorção Não Linear**, com origem num sistema não linear.

(Uma vez que, não se trata de nenhuma emissão licenciada, nem de uma emissão ilegal [intencional], na frequência 118.1 MHz).

Produto de Intermodulação Interferente

- **Emissões presentes no produto interferente:**

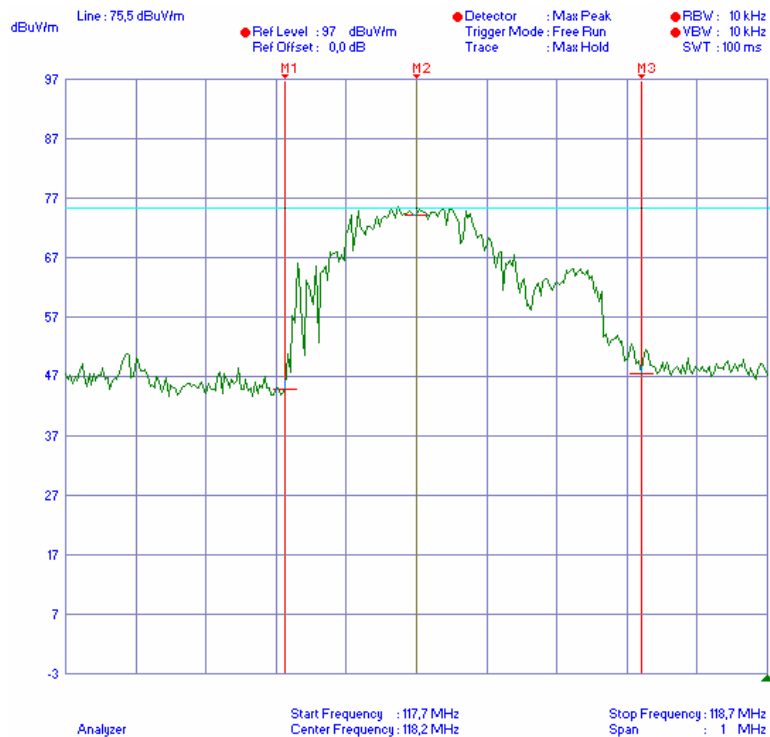
- “Rádio A” – 104.3 MHz (identificada por análise auditiva)
- “Rádio B” - ? (menos perceptível auditivamente)
 - **Solução:** Colocar a “Rádio A” apenas “em portadora”, sem qualquer modulação.
 - Assim já é audível a “Rádio B”, que emite na frequência **90.4 MHz**. (Encontra-se instalada na mesma torre, em sistemas radiantes adjacentes).



- **Admitindo um produto de intermodulação ‘in band’ de 3.^a ordem:**

$$2 \times 104.3 - 90.4 = 118.2 !!$$

Produto de Intermodulação Interferente



- **Localização das Fontes de Origem:**

- Pode ser morosa e complexa
- A gravidade e o grau de risco da interferência aqui em análise não se compadece com o lapso de tempo que poderá ser, eventualmente, longo para detectar a fonte de intermodulação.

- **Medidas Urgentes para Mitigação da Interferência:**

URGENT

- Dado tratar-se de um produto de intermodulação em que, pelo menos, um dos intervenientes é conhecido, sabe-se que desligando essa emissão a interferência desaparece. (Em último caso é a opção a seguir!)
- Reduzir o nível de potência da fundamental conhecida, de forma a levar o nível da interferência para valores aceitáveis. (inicialmente: $P = 9\text{kW} \Rightarrow \text{PAR} = 44\text{ kW}$, ficou com $P = 1\text{ kW} \Rightarrow \text{PAR} = \sim 5\text{ kW}$)

• Localização das Fontes de Origem:

• **Vistoria Rx** (entidade afectada)



- Verificar se houve alterações recentes (novos equipamentos, modificação de frequências ou outros parâmetros técnicos)
- Sensibilidade, 'squellch', saturação do 'front-end', filtragens, ...

• **Vistoria Tx** (emissões envolvidas no produto de intermodulação)



- Verificar se houve alterações recentes (novos equipamentos, modificação de frequências ou outros parâmetros técnicos)
- Medição dos níveis de Espúrias (Tx→'dummy load' / Tx→Antena / Antena→Tx), filtros, isoladores, ...

• **Intermodulação Passiva (PIM)**



Causa: Intermodulação Passiva (PIM)

- **Origem do Problema de Interferência na frequência 118.1 MHz:**
 - *Sistema Radiante inferior*
- **Resolução:**
 - *Substituição*



Caso 2

Interferências no Serviço Móvel Terrestre com Recursos Partilhados (CDMA)

Comunicações afectadas: 'Uplink' (Terminais móveis → BTS)

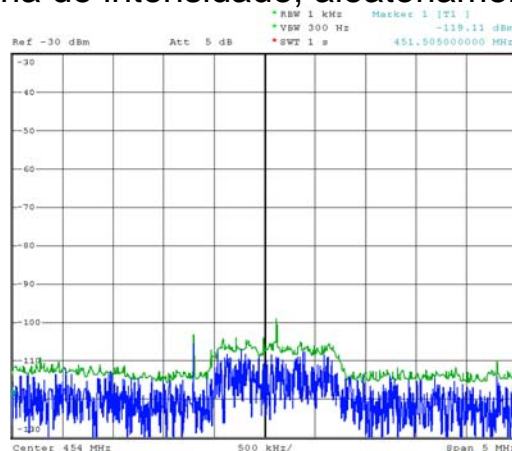
Castelo Branco



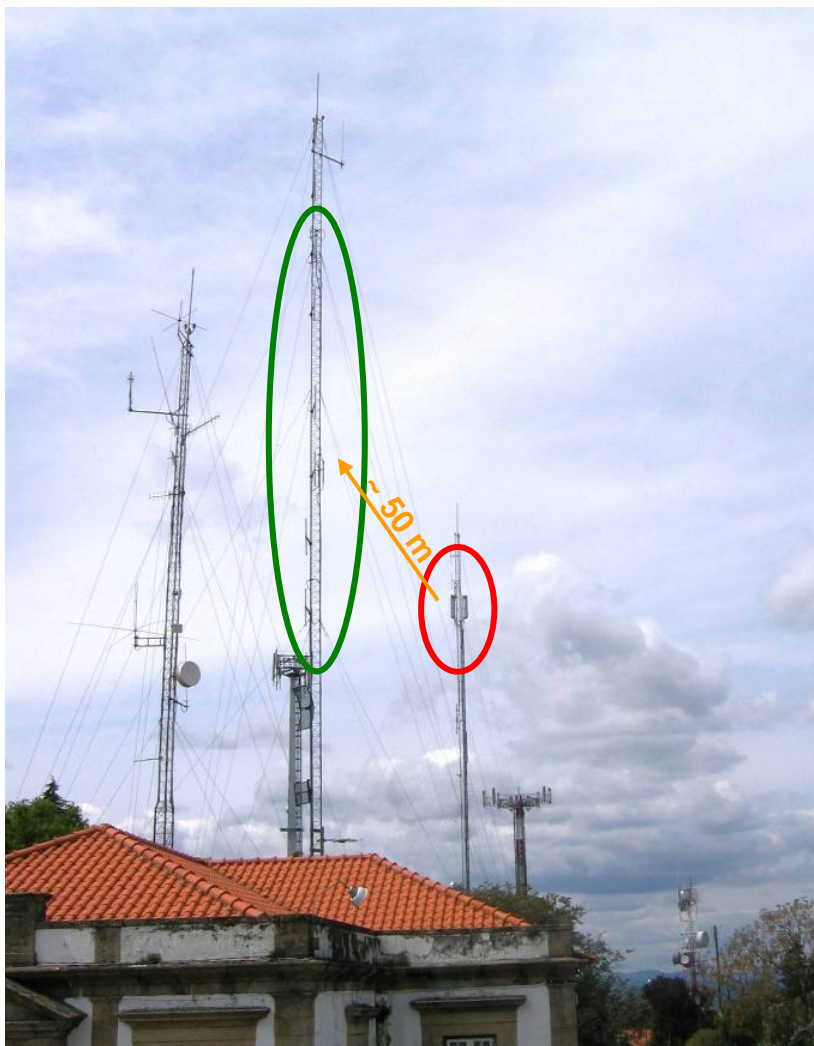


O Operador reporta:

- Interferências no 'uplink'
 - ruído com LB de cerca de 1.25 MHz
 - varia de intensidade, aleatoriamente



- Os terminais móveis têm dificuldade em comunicar com a BTS
- Queda de chamadas ('drop calls')
- Dificuldades no acesso à rede através daquela BTS (obrigando alguns terminais a ligarem-se à BTS da Gardunha)



• 'Site' Problemático:



- **Densidade** de fontes de RF **muito elevada** (restrições impostas ao nível do planeamento urbano local)



- *Exige cuidados adicionais do ponto de vista de engenharia de radiofrequência*



- **Forte congestionamento espectral**



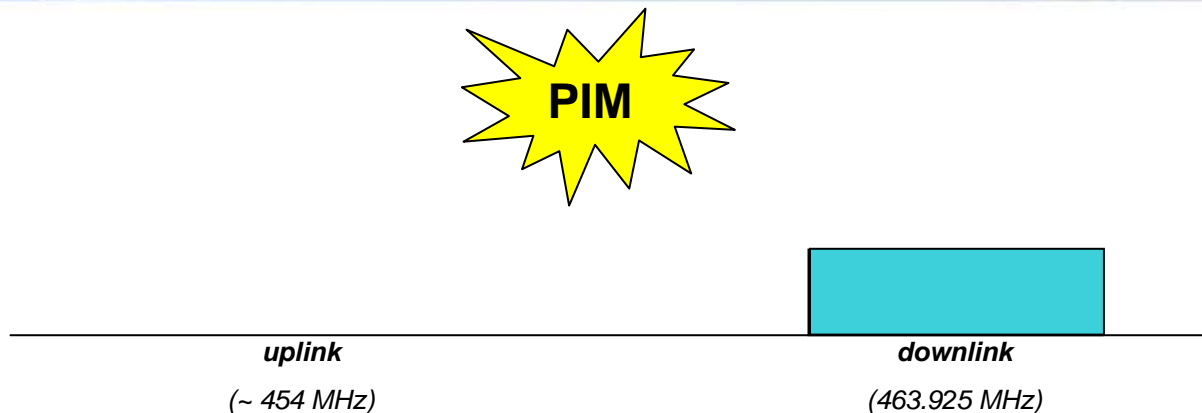
- **Coexistência de receptores** de elevada sensibilidade **com emissões** com potências consideráveis



- **Degradação das infra-estruturas** (*torres, antenas, estruturas metálicas, etc.*) → *corrosão*

- **Ausência de manutenção**

Causa da Interferência: PIM?



- É **muito provável** que se trate de **PIM** !
 - Espectro interferente semelhante ao 'downlink' (*réplica deslocada ~ 10 MHz*)
 - Sector mais afectado (*o que se encontra de frente para a torre onde se encontram 5 estações de radiodifusão sonora → somatório de PAR's > 5 kW!*)
 - Mau estado de conservação das infra-estruturas metálicas de suporte e de algumas antenas (*corrosão*)

É difícil de provar!

Principais dificuldades na detecção da PIM (neste caso)

- Mobilização de todos os operadores (> 20!)
- Dificuldades de coordenação
- Inoperacionalidade dos meios de comunicação via rádio
- Desmontagem de equipamentos e infra-estruturas
- Testes selectivos e análise
- Dificuldade em antecipar o “culpado” pela situação
- Custos envolvidos numa operação desta envergadura
- Ausência de **legislação** que se possa ajustar aos problemas de interferência decorrentes de PIM

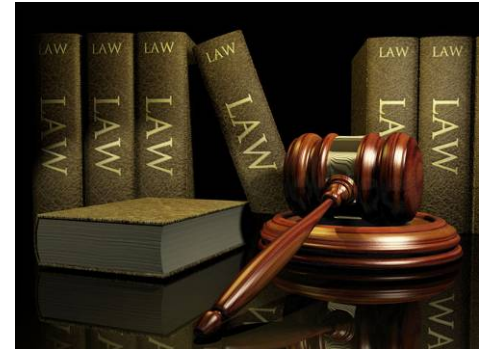


Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de Julho,

publicado no D.R. n.º 166 (Série I - A, 2.º Suplemento)

- Artigo 10.º, alínea b)

é obrigação dos operadores “(...) Manter as redes e estações em bom estado de funcionamento, abstendo-se de provocar interferências noutras redes e estações de radiocomunicações; (...)”.



- Interferência devido a PIM pode ocorrer algures nas imediações do ‘site’.
- Não é óbvio que seja o operador em particular o responsável.

Questões:

- Quem é o responsável pelo problema de interferência?
- Quem deverá resolvê-la?
- A quem imputar os custos?



next



• Equacionar:

- A adequação da legislação a casos de interferência devido a PIM.
- A criação de um **“Regulamento de Boas Práticas de Engenharia no Projecto de Instalações Radioeléctricas”**
 - Definição de interferência
 - Requisitos de Compatibilidade Electromagnética:
 - Níveis de Ruído Ambiente
 - Interferência gerada no ‘site’
 - Definição de níveis / limiares de protecção radioeléctrica
 - Estabelecimento de critérios para a escolha de um ‘site’
 - Medidas para minimização de emissões indesejadas (emissão e recepção) – *controlo de efeitos não lineares*
 - Medidas para controlo da corrosão e minimização de efeitos climáticos
 - Cuidados a ter na instalação
 - etc.

- **Distorção não linear como causa de interferências**

- **PIM**

- Não pode ser filtrada
- Consequências graves
- Dificuldades de detecção e resolução
- Pouca sensibilidade para o problema
- Principais lacunas:
 - desconhecimento
 - mau planeamento de RF
 - não é garantida a compatibilidade electromagnética e entre serviços rádio
 - ausência de legislação específica



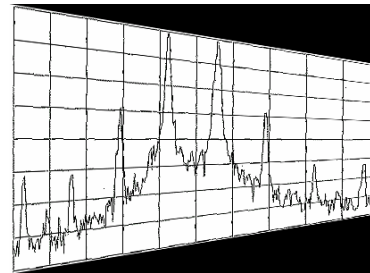
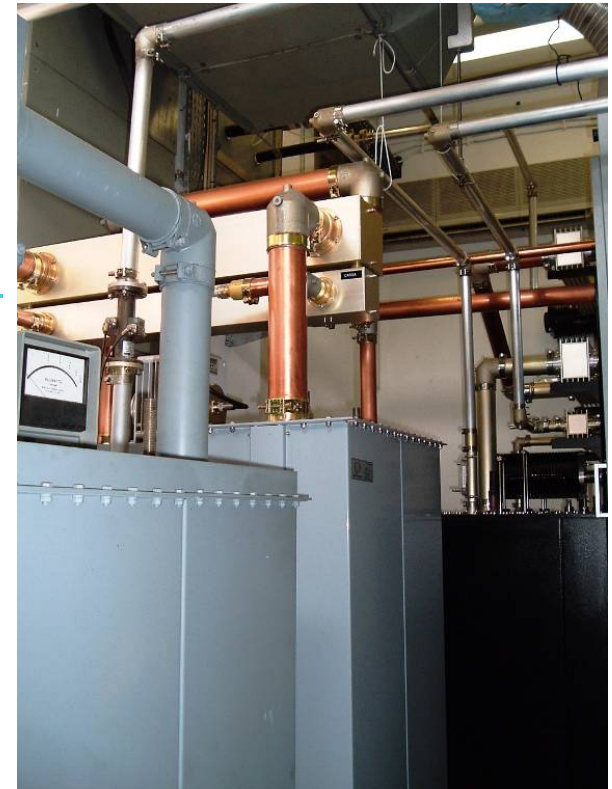
- **Boas Práticas de Engenharia no Projecto de RF**

Fim



José Pedro
Borrego

jose.borrego@anacom.pt



obrigado pela atenção