

# **PROPAGAÇÃO EM SHF E TÉCNICAS RADIO-DIGITAL E SOFTWARE RADIO**

Armando Rocha  
Universidade de Aveiro  
DETI/IT  
19 de Abril de 2011

# Resumo

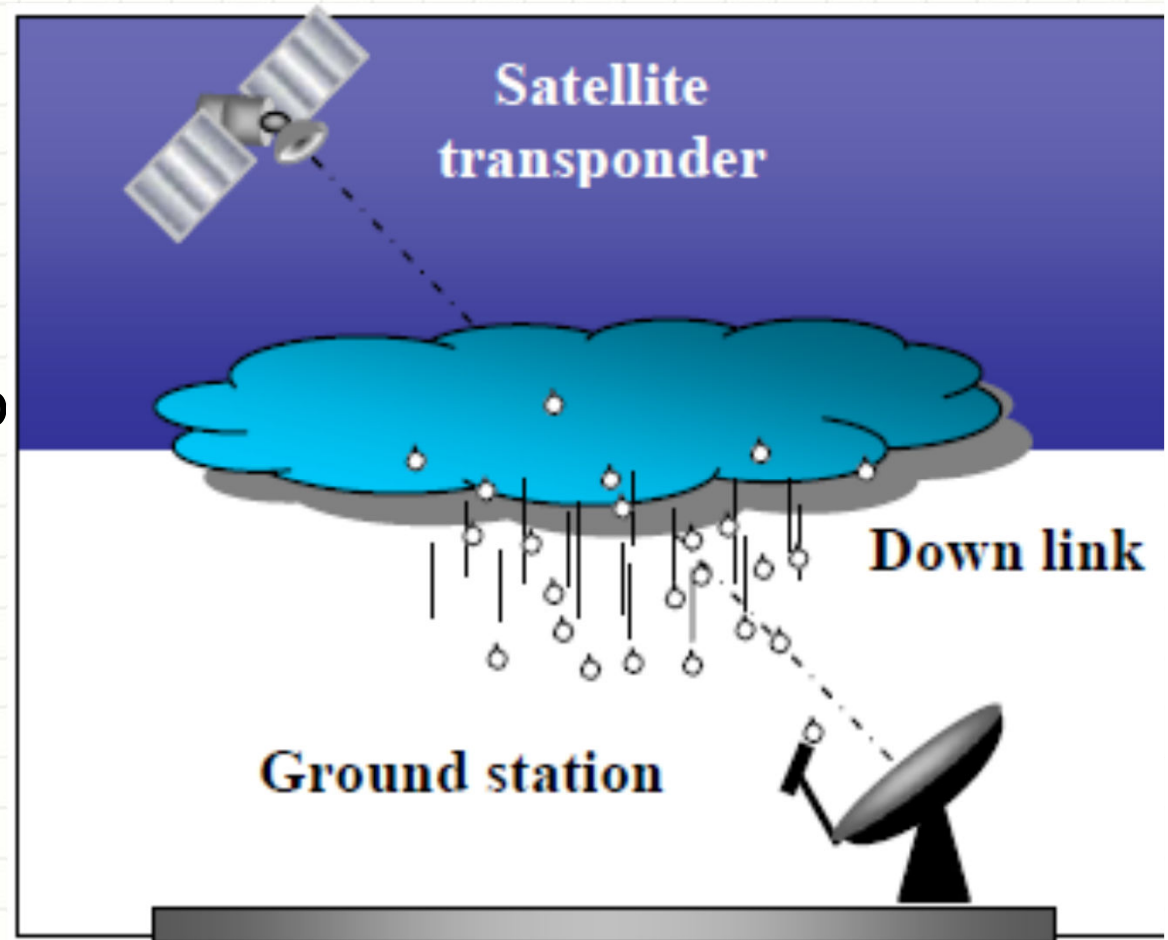
- Propagação em SHF
  - Bandas de frequência
  - Fenómenos de propagação mais relevantes
  - Técnicas de medição do canal de propagação
- Campanhas de Medição em Aveiro
  - Satélite Olympus
  - Satélite HotBird-6
  - Futuro Alpha-Sat
- Rádio Digital (aplicado a propagação)
  - Blocos principais
  - Circuitos rádio digital e software desenvolvido
  - Utilização de soluções no mercado

# SHF

- Banda entre os 3 e 30 GHz
  - Comprimento de onda: 10 cm a 1 cm
  - Aplicações
    - Links de microondas
    - Comunicações por satélite
    - Detecção remota
      - Activa
        - » Altimetria, radares de abertura sintética
      - Passiva
        - » Detecção de perfis de vapor de água e temperatura com a altitude
- Vantagens
  - Enorme largura de banda, maior facilidade em formatar os feixes, menor interferência
- Desvantagens
  - Tecnologia mais dispendiosa: antenas, electrónica, etc
  - Propagação restringida a linha de vista
  - Sinal sujeito a atenuação devido a factores climáticos

# Ligação Terra-Satélite

- Factores meteo
  - Gases
  - Nuvens
  - Nuvens de Gelo
  - Chuva
- Efeitos na onda
  - Atenuação
  - Despolarização
  - Cintilação



# Factores atmosféricos que afectam a propagação em SHF: Troposfera

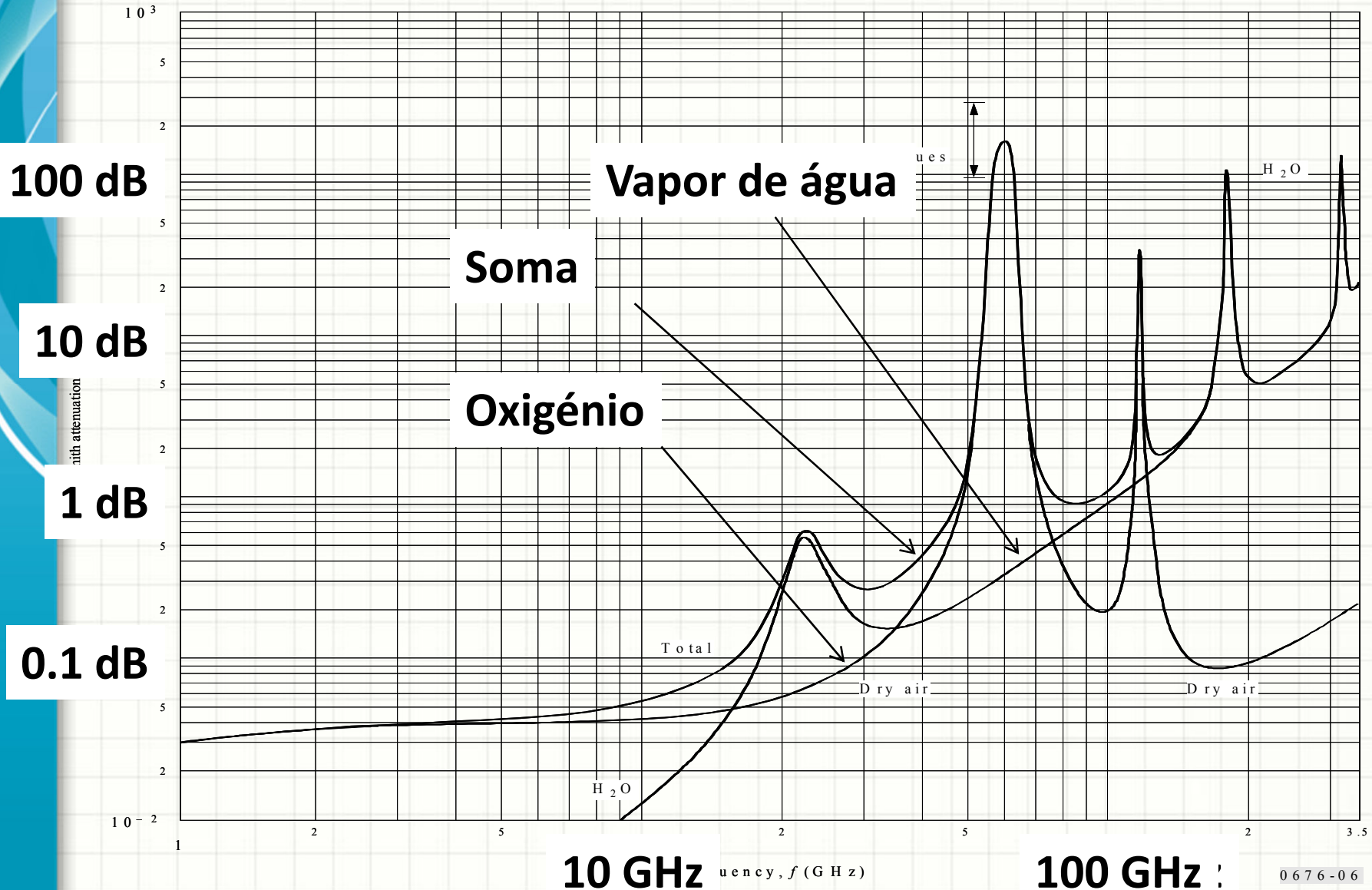
- Densidade de vapor de água (g/m<sup>3</sup>)
  - À superfície terrestre: valor standard 7.5 g/m<sup>3</sup>
  - Decresce exponencialmente em altura
  - Maior tipicamente no Verão!!
- Pressão
  - Decresce com a altitude
- Temperatura
  - Decresce com a altitude a 6.5 °C/km



# Atenuação zenital (sem precipitação)

FIGURE 6

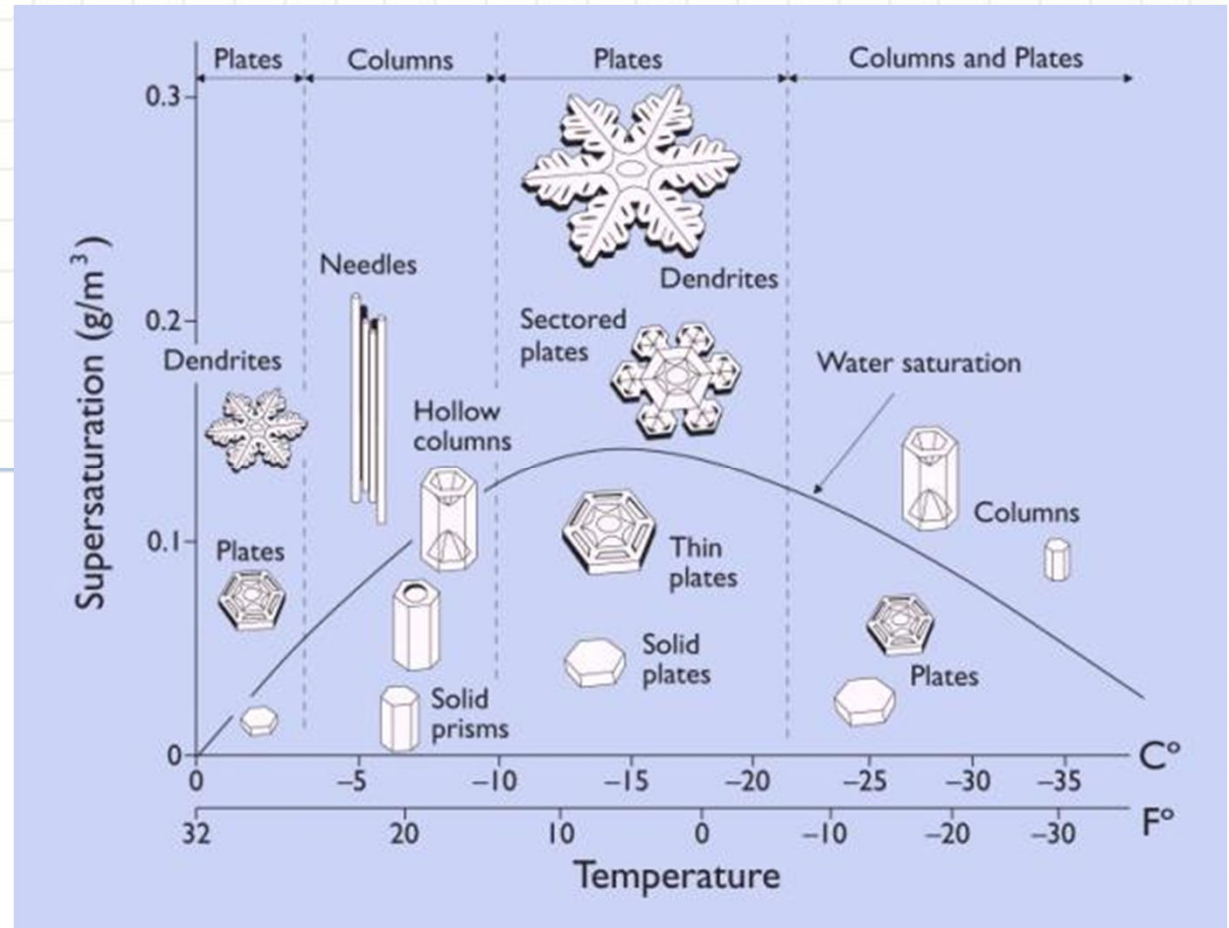
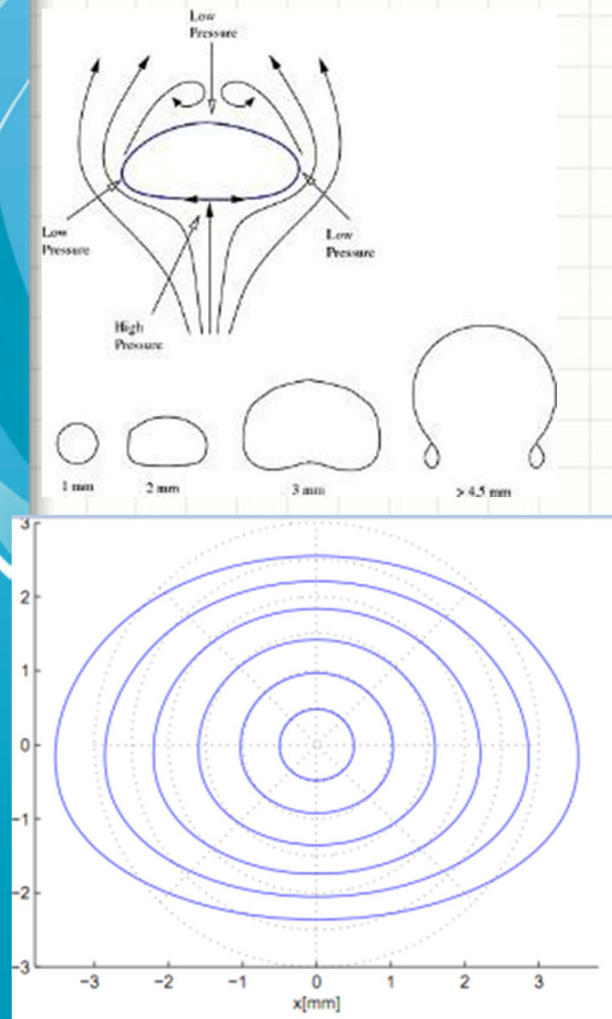
Total, dry air and water vapour attenuation at the zenith from sea level



# Caracterização da precipitação

- Chuva (atenuação e despolarização)
  - Gotas de água em queda (raio desde  $\mu\text{m}$  a 4.5 mm)
  - Tem origem a cerca de 2 km de altura
  - Medida pela taxa de precipitação (mm/h) com pluviómetros
- Nuvens e nevoeiros (atenuação)
  - Gotas muito pequenas que flutuam (raio de alguns  $\mu\text{m}$ )
  - Pequeníssimo conteúdo de água ( $<0.8 \text{ g/m}^3$ )
  - Pouca espessura dos nevoeiros e nuvens (dezenas a centenas de metros)
- Gelo
  - Cristais de gelo em nuvens na denominada *melting layer* (*despolarização*)
  - Granizo, neve (atenuação e despolarização insignificante)

# Gotas de chuva e gelo: formas



<http://www.cs.cmu.edu/~byl/publications/raindrop.pdf>

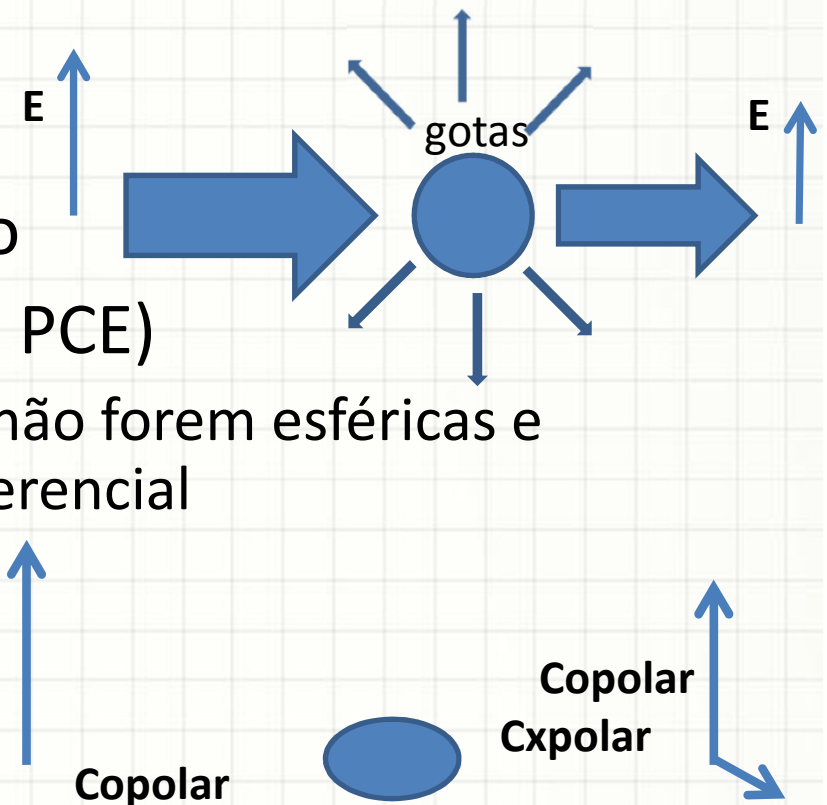
<http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/primer/morphologydiagram.jpg>



# Atenuação e despolarização

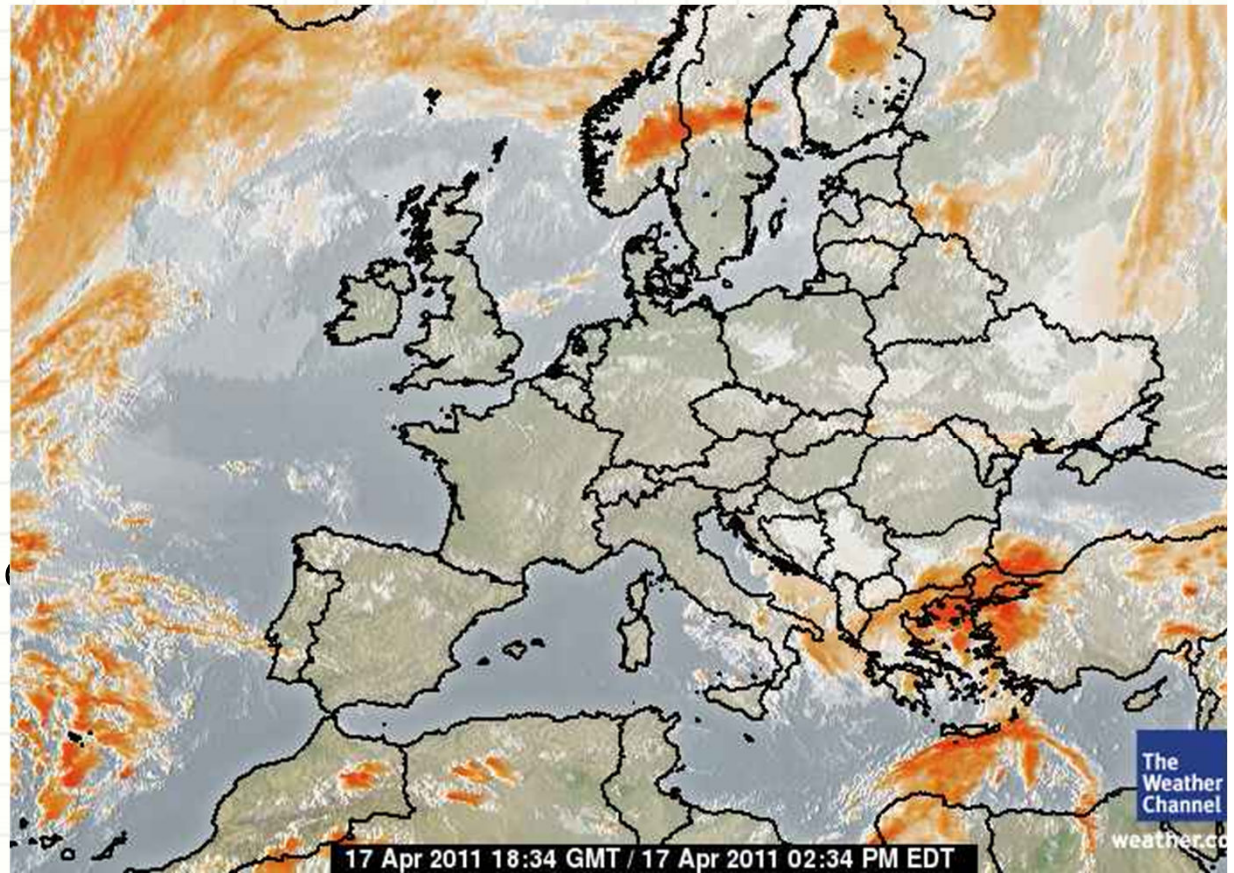
- Fenómeno causado pela:
  - Absorção (energia é dissipada nas gotas)
  - Scattering (energia é desviada das gotas)
- Despolarização
  - Alguma energia é transferida para polarização ortogonal ( $V \rightarrow H$  ou  $PCD \rightarrow PCE$ )
  - Acontece se as partículas não forem esféricas e tiverem alinhamento preferencial

$$XPD = 20.* \log_{10} \left( \frac{Copolar}{Crosspolar} \right)$$

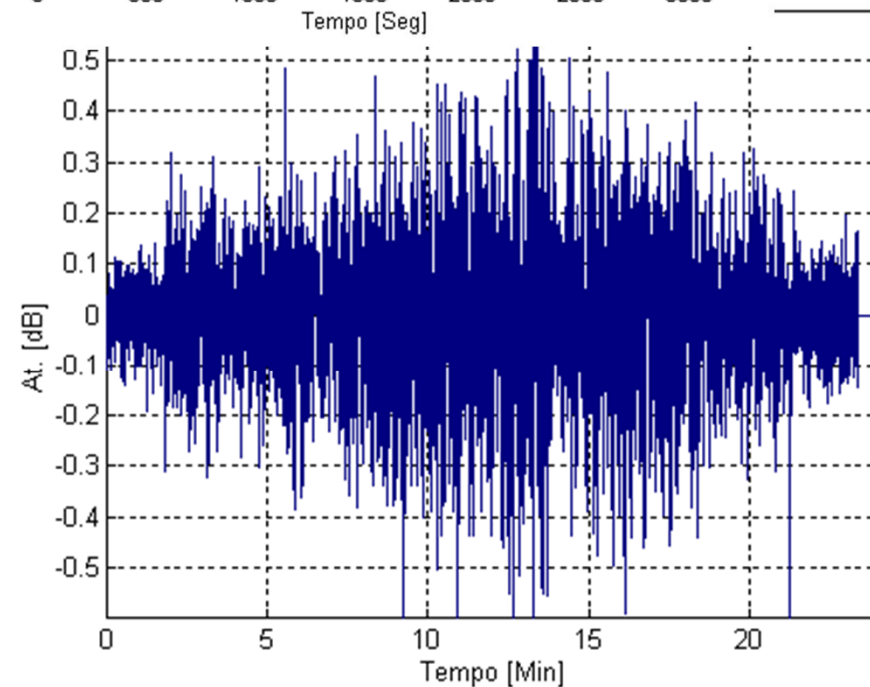
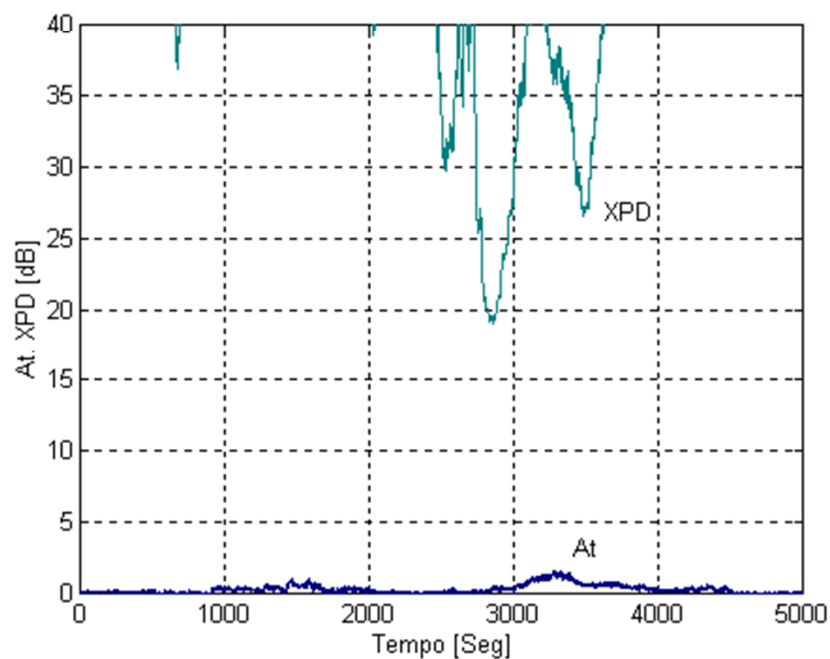
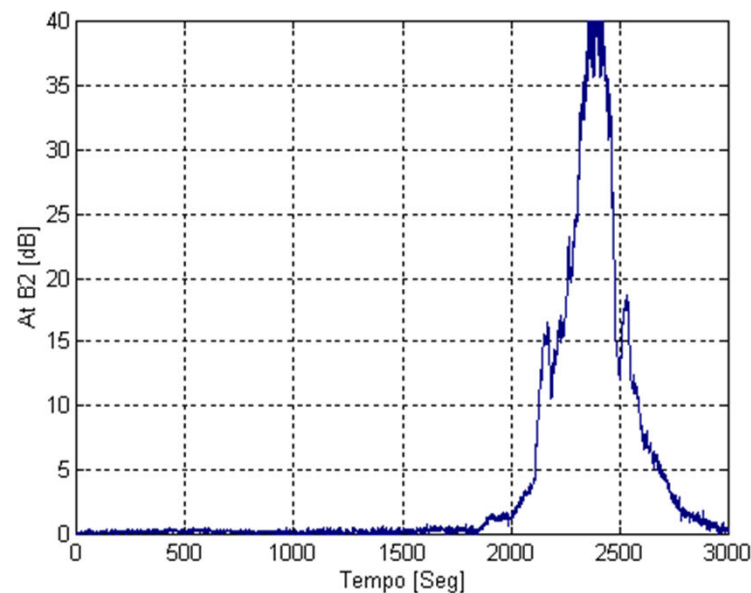


# Como ocorre a chuva e combate à atenuação

- Em células de 2 a 10km de diâmetro que nascem, crescem e morrem sendo arrastadas pelo vento dominante
- Combate à atenuação
  - Diversidade
    - Local
    - Temporal
  - Controlo de potência
  - Distribuição inteligente de potência
  - Ajustar tipo de modulação e codificação



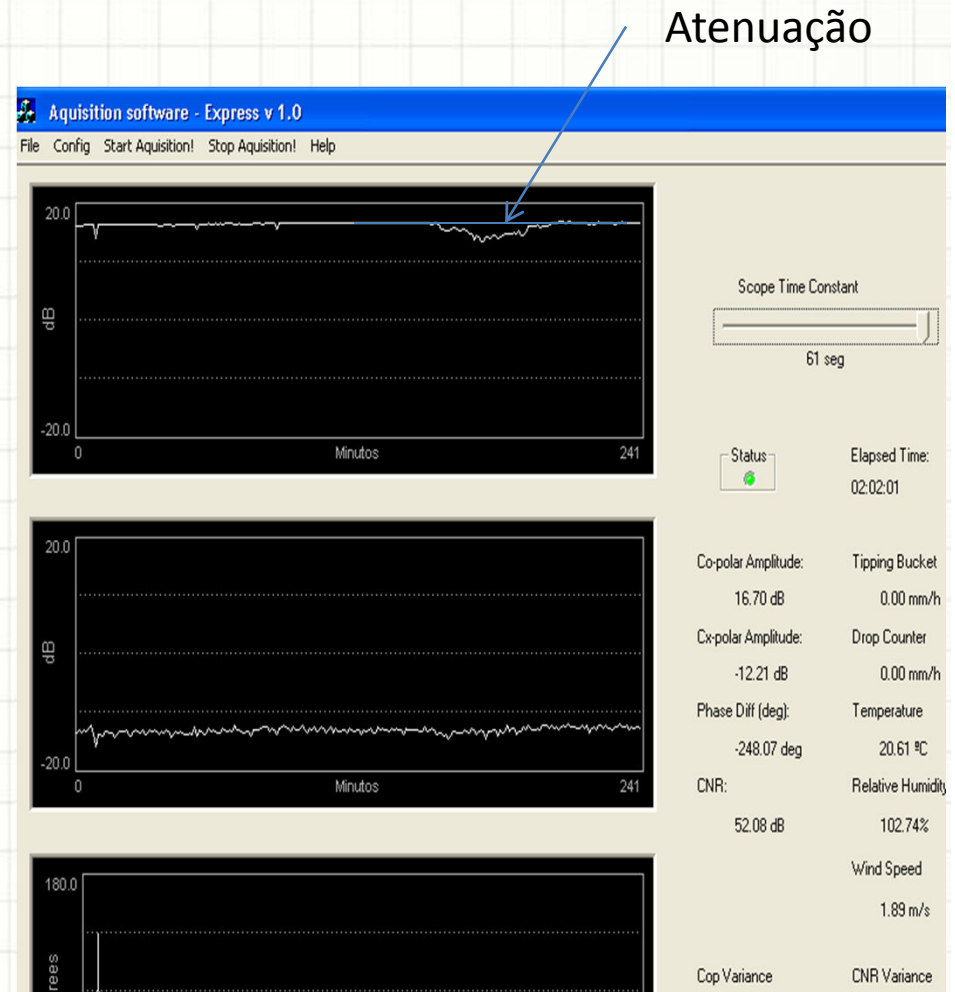
# Exemplos: atenuação, despolarização e cintilação





# Medidas do canal necessárias

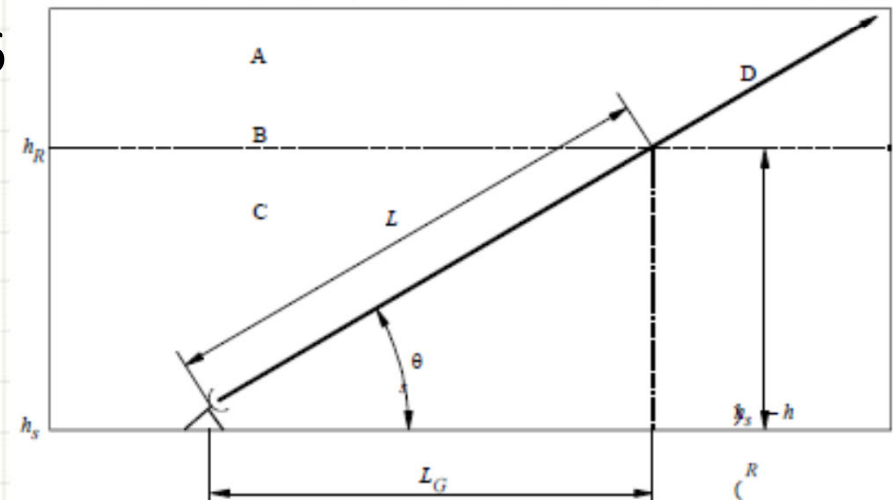
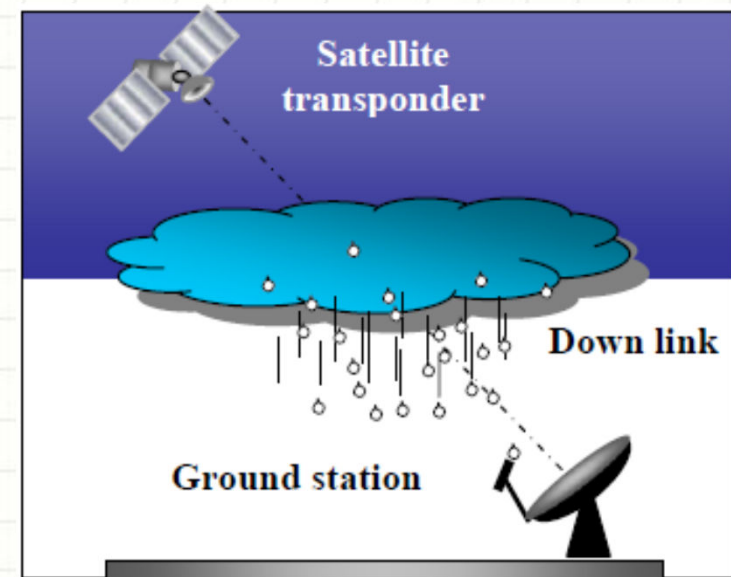
- Pouco conhecimento do meio de propagação
  - Estrutura do meio (chuva? chuva+gelo?, etc) : Tamanho de gotas, temperatura, homogeneidade do meio, etc
  - Altura da chuva
  - Dinâmica dos fenômenos
    - Taxa de variação da atenuação e duração da atenuação
  - Dependência da elevação, polarização, clima, etc?
- Importante para:
  - Prever a degradação do sinal
    - Atenuação → Imagem desaparece ou fica com “quadrados”, velocidade de transmissão diminui, etc
    - Despolarização → interferência na polarização ortogonal
  - Testar desempenho de mecanismos de combate a estes efeitos
- Envolvimento: várias experiências com os satélites
  - Olympus (ESA 12, 20 e 30 GHz), HotBird-6 : 20 GHz, Futuro? AlphaSat: 40 GHz





# Como prever a atenuação usando as Recomendações ITU

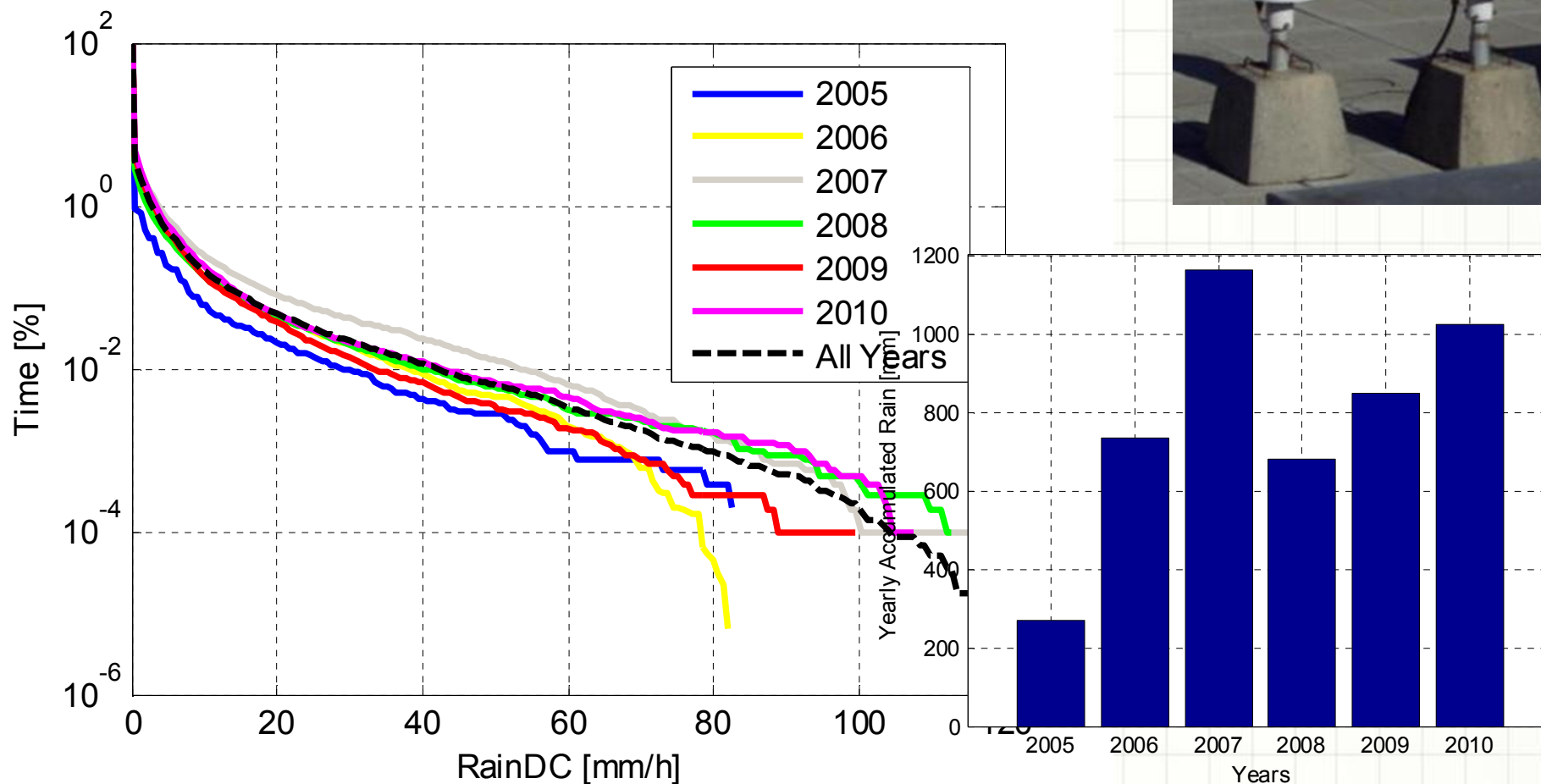
- Deve-se:
  - Medir a precipitação e em especial a
    - Taxa de precipitação excedida 0.01% do tempo de um ano médio ( $R_{0.01\%}$ ) ou seja (52.56 minutos num ano)
    - ...ou usar a **Rec ITU 837-5**
  - Aplicar a **Rec ITU-618-10**
    - Altitude do local
    - Elevação da antena
    - Etc



A: frozen precipitation  
B: rain height  
C: liquid precipitation  
D: Earth-space path

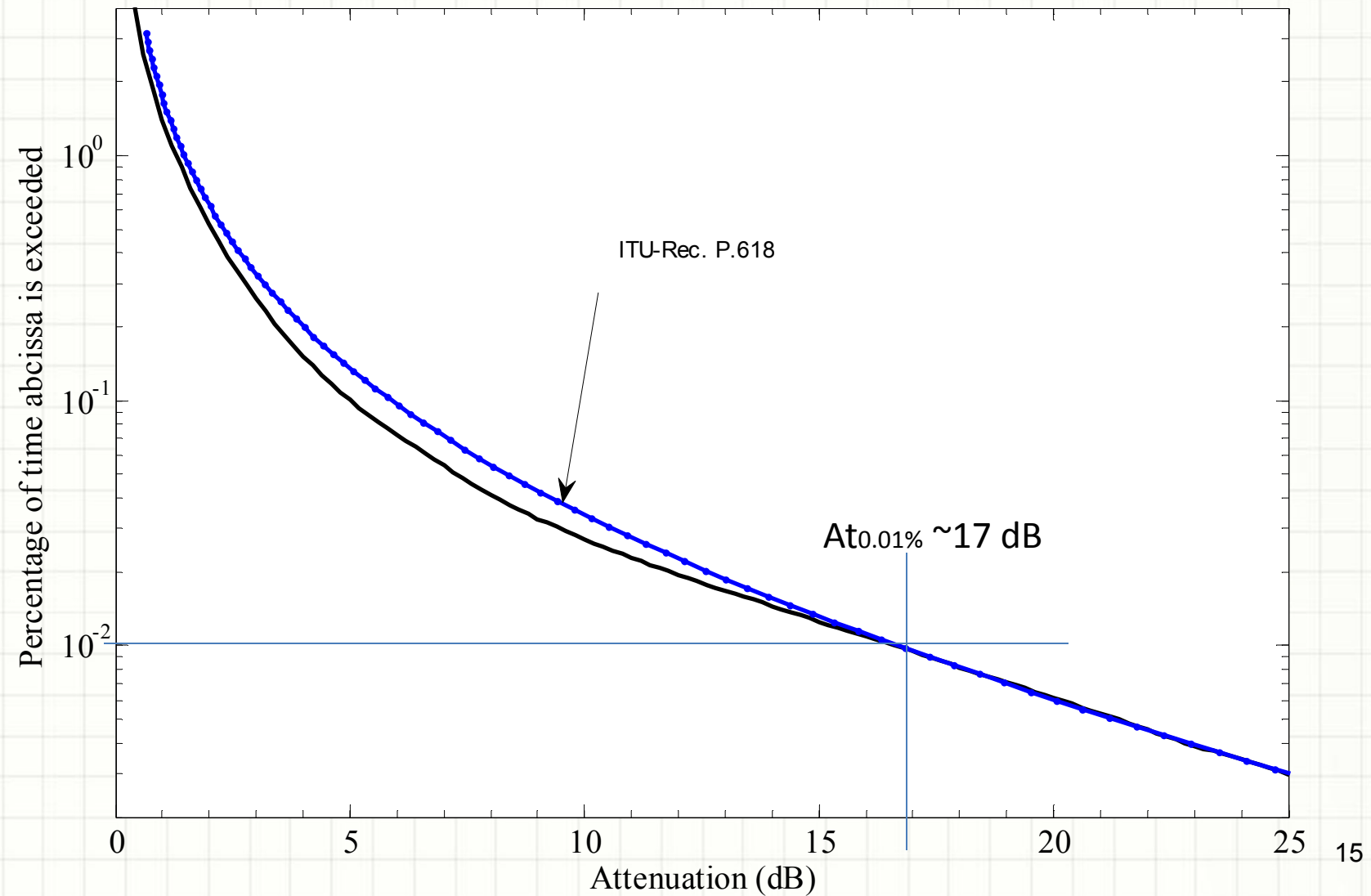
# Estatísticas de taxa de precipitação medida em Aveiro (6 anos)

- Tempo de integração de 1 minuto

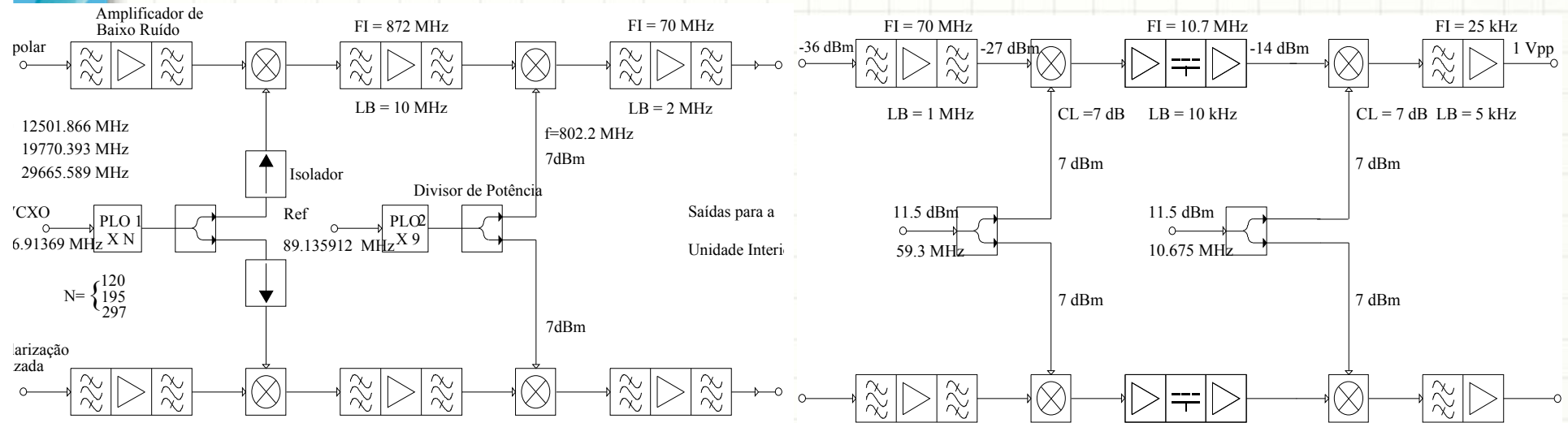


# Atenuação medida com o HotBird-6 a 19.7 GHz (6 anos de medições)

- ITU Attenuation Model

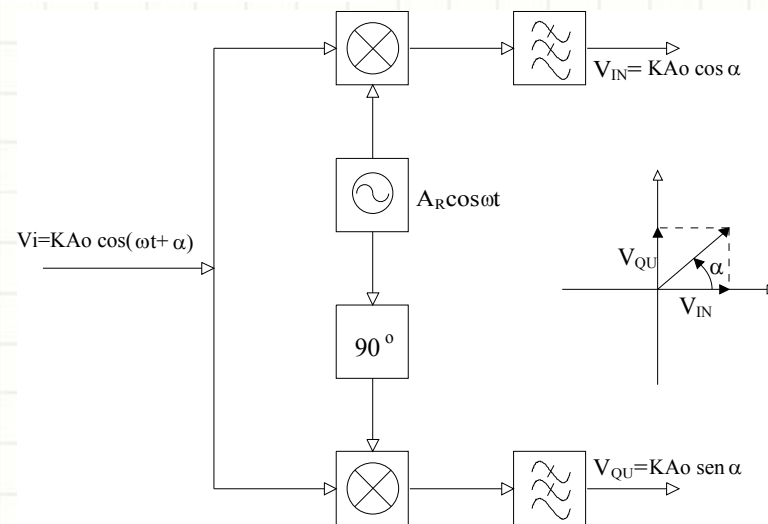


# Medindo o canal: Receptores de padrão (beacon) de frequência



UNIDADE EXTERIOR

UNIDADE INTERIOR



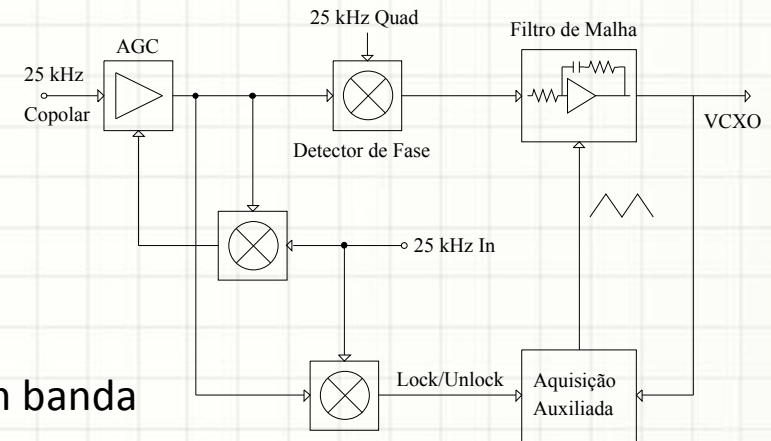
Detector Síncrono



# Problemas e dificuldade da solução analógica

- Sinal muito fraco embora com potência concentrada numa *risca* estreita
  - Convertido para uma IF de alguns MHz
- Varia de frequência lentamente
  - Deve ser estabilizado em frequência e filtrado em banda estreita
  - Solução
    - Uso de PLLs ou AFC
    - Detecção coerente
- Problemas
  - Manter o sinal constante no circuito da PLL
  - Sinal pode atenuar-se muito e a PLL não consegue manter o sincronismo
    - Tem que ser ajudada a re-adquirir o que pode demorar algum tempo reduzindo o tempo de medição
  - Enorme complexidade do hardware
  - Pouca versatilidade caso mudem as FI

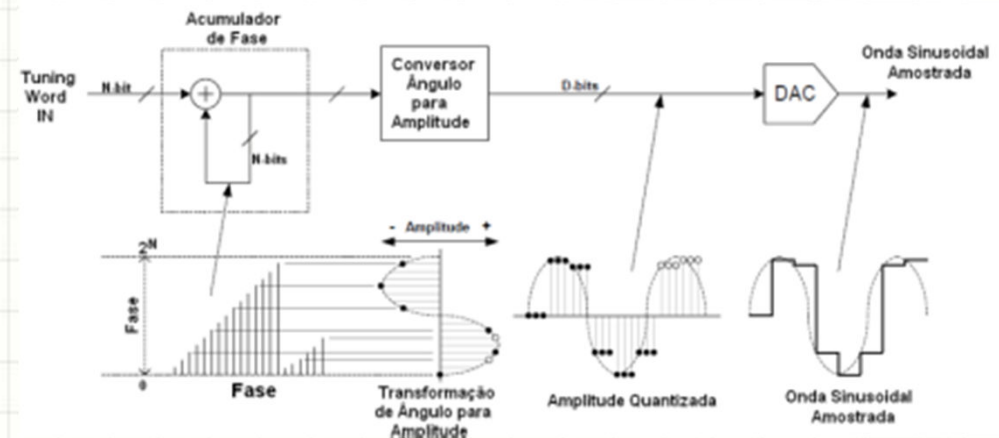
- **Radio Digital?**



# Rádio Digital e Software Rádio

- Grandes avanços na electrónica digital trouxeram:

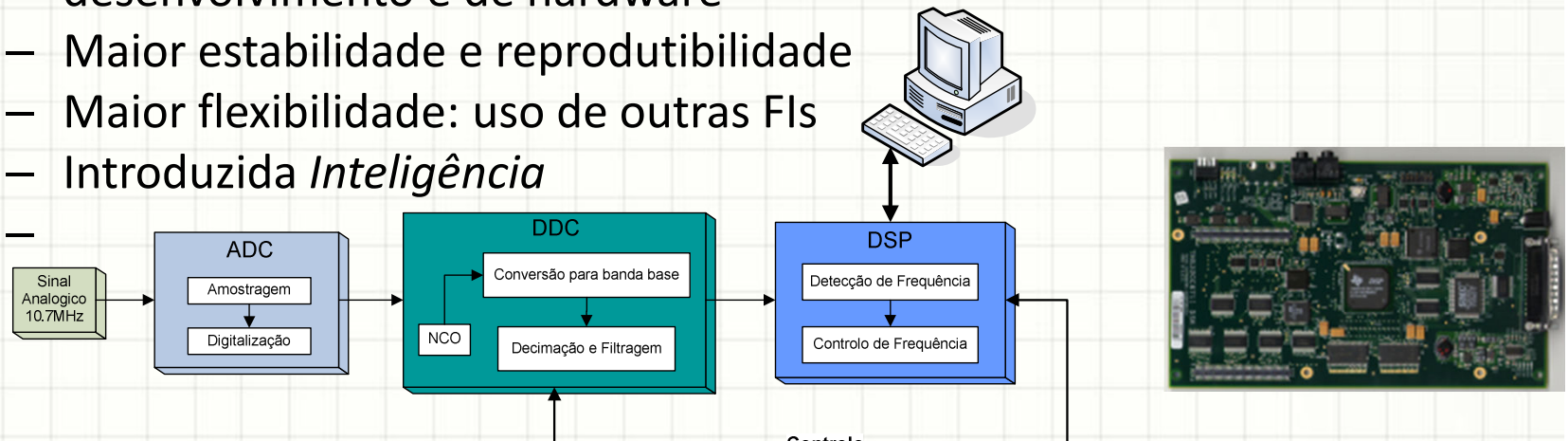
- **ADCs** muito baratas (alguns dólares):
  - Dezenas de Ms/s e 12 bits são quase o ponto de partida
- **NCO** (numerically controled oscillator) e DDS
  - Programáveis (VCO)
- **Filtros digitais**
  - Decimadores
- **DRSP (Digital Receiver Signal Processors)**



- Combinam multiplicador digital (mixer), filtros de decimação e interface série e/ou paralelo com DSP
    - São interfaced com ADC
- Uma vez os dados na DSP ou PC
  - Usam-se programas para imitar funções de circuitos analógicos:
    - PLLs, desmodulação, controlo automático de ganho, codificação, etc

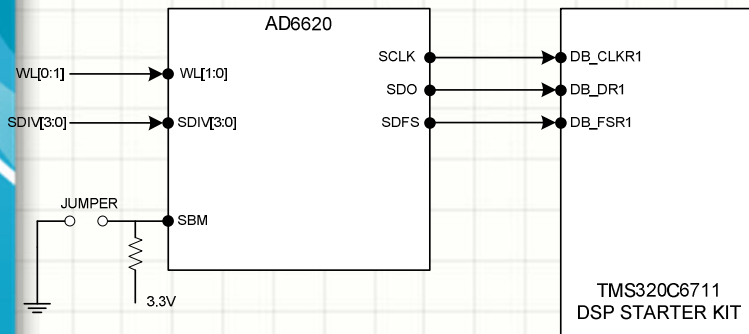
# Uma solução para o receptor

- Amostrar a FI de, por exemplo 10.7 MHz, a 50 Ms/s
  - Reduzir taxa de dados
  - Mover amostras para DSP ou PC
  - Estimar a amplitude do sinal
    - Análise espectral ou ..
    - Detecção síncrona
  - Implementar seguimento usando NCO
    - Avaliação em tempo real das condições de funcionamento e proceder de acordo
- Vantagens
  - Menos H/W analógico, menor manutenção e menos custos de desenvolvimento e de hardware
  - Maior estabilidade e reprodutibilidade
  - Maior flexibilidade: uso de outras FIs
  - Introduzida *Inteligência*



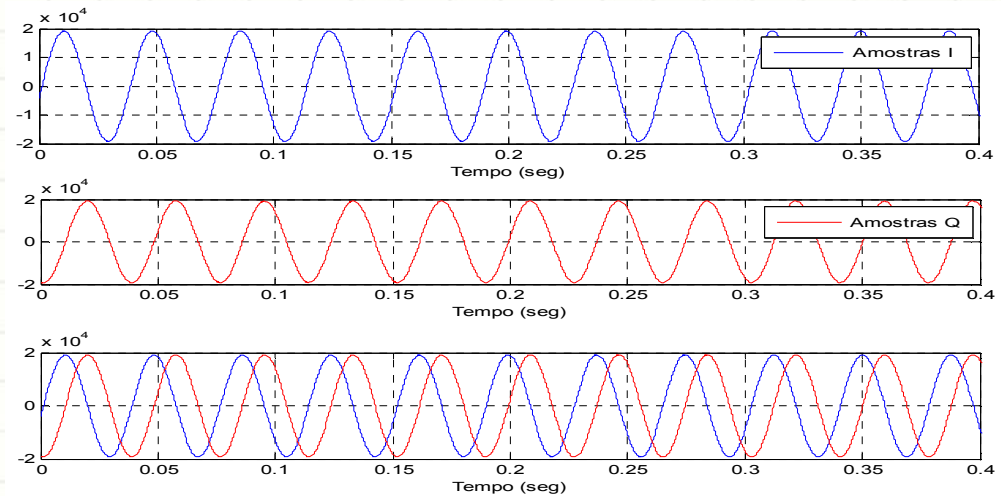
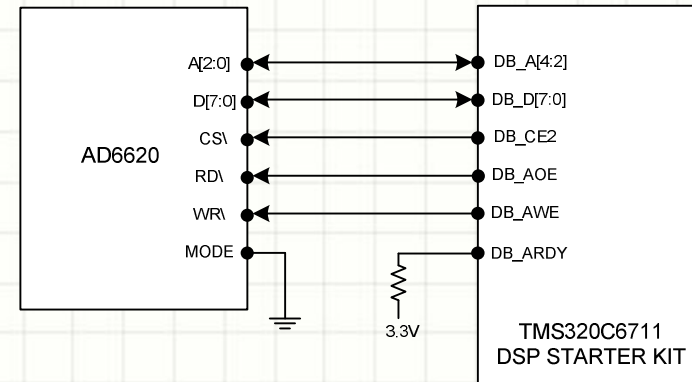
# 1º Desenho

- Um canal PLL digital



Interface de Porta série  
com o Kit

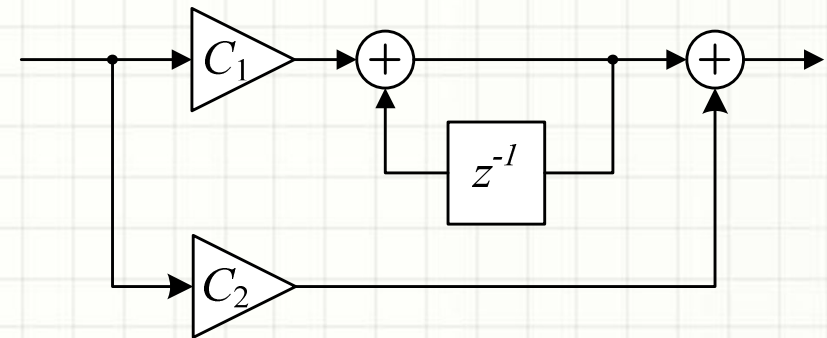
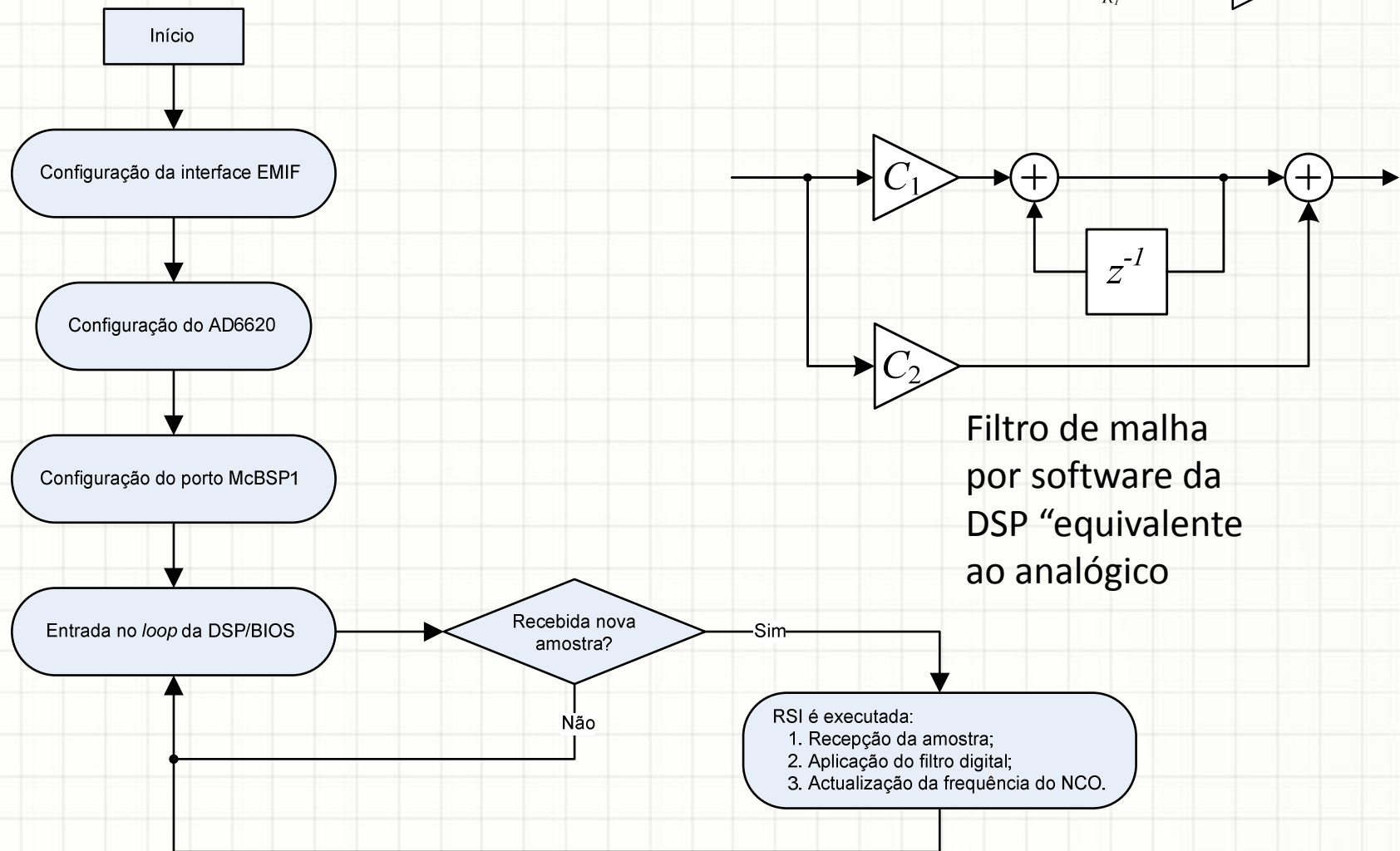
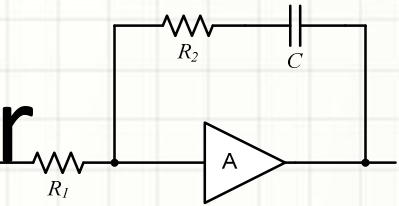
## Interface para leitura/escrita da DRSP com o Kit



Dados das componentes  
cartesianas do sinal recebidas no  
Kit DSP



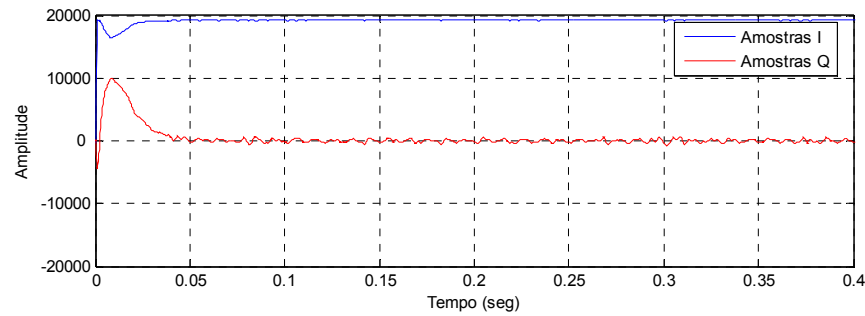
# Software: C-Code composer



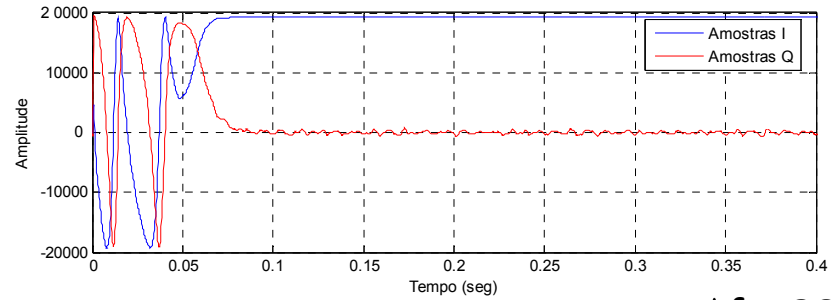
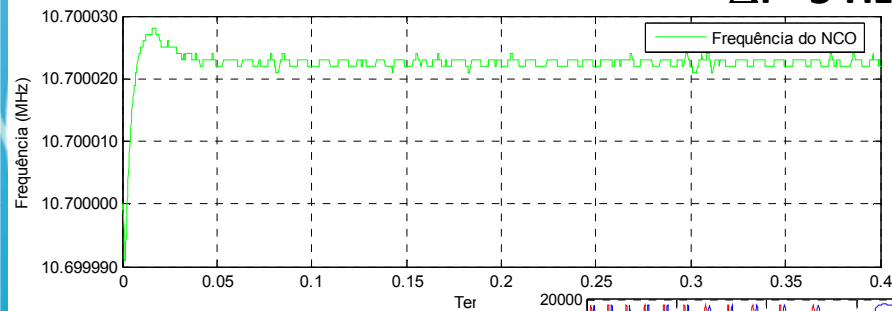
Filtro de malha  
por software da  
DSP "equivalente  
ao analógico

Software: implementação de PLL por software na DSP

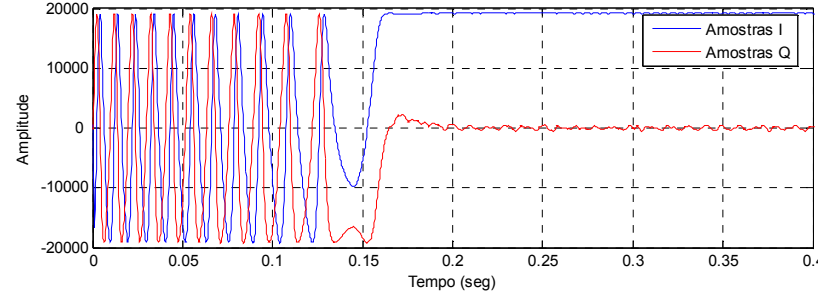
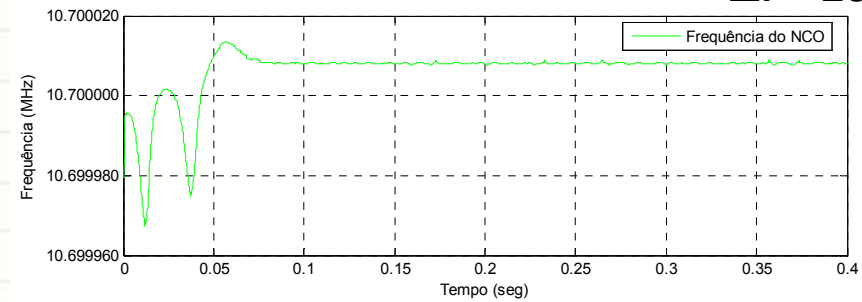
# Exemplos: Processo de aquisição da PLL por software digital para distintas diferenças de frequência $\Delta f$



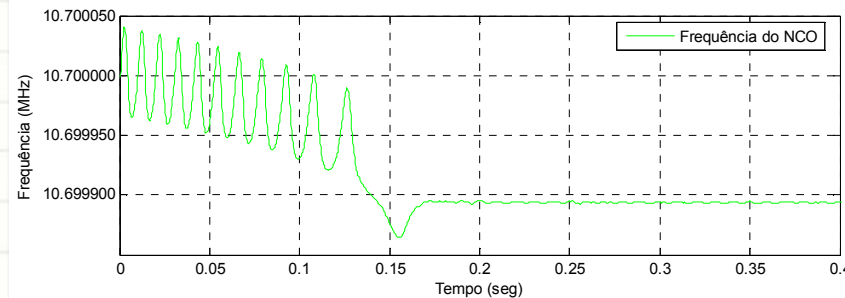
$\Delta f \sim 5 \text{ Hz}$



$\Delta f \sim 20 \text{ Hz}$

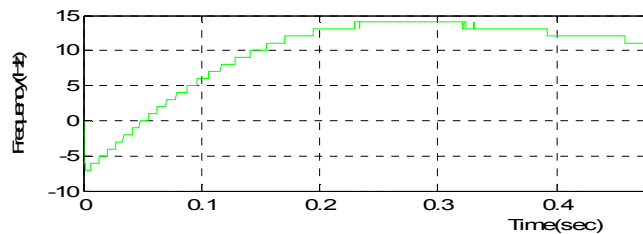
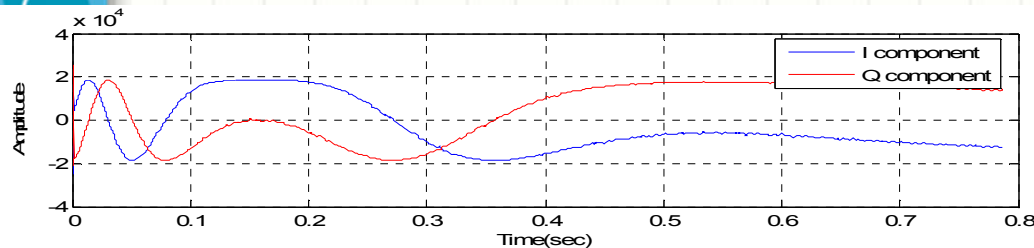
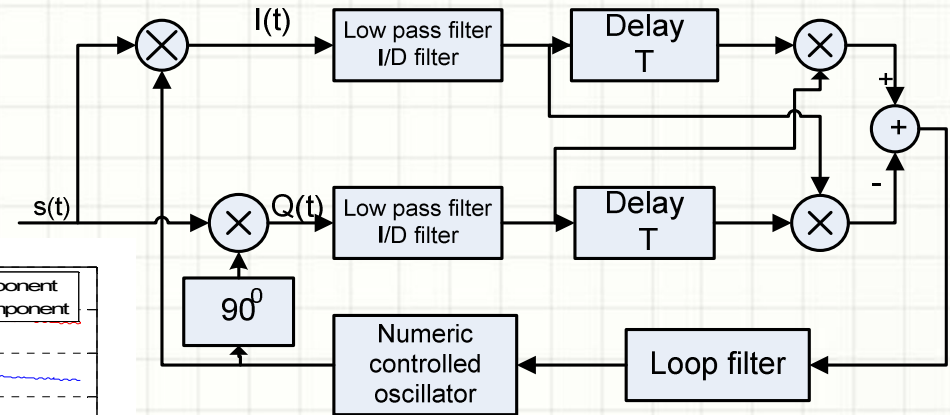


$\Delta f \sim 100 \text{ Hz}$



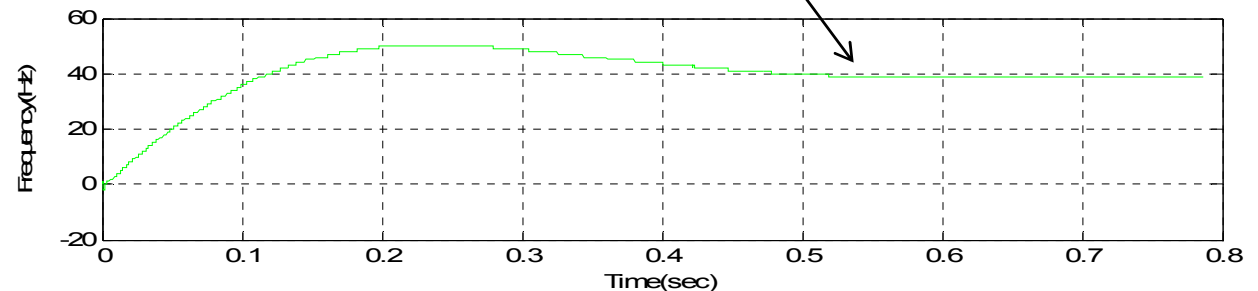
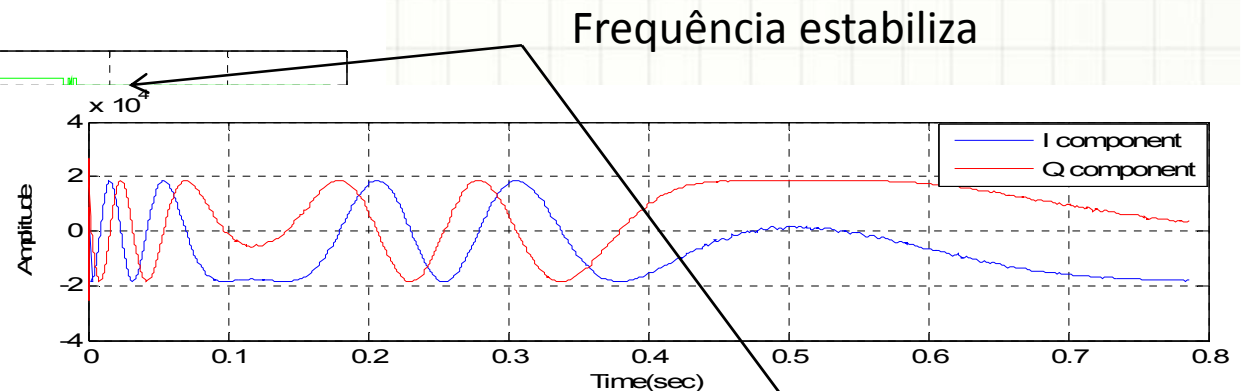
# Exemplos de AFC tracking

- Implementado um AFC com o detector de frequência do tipo cross correlator



$\Delta f = 7$  Hz

$\Delta f = 40$  Hz

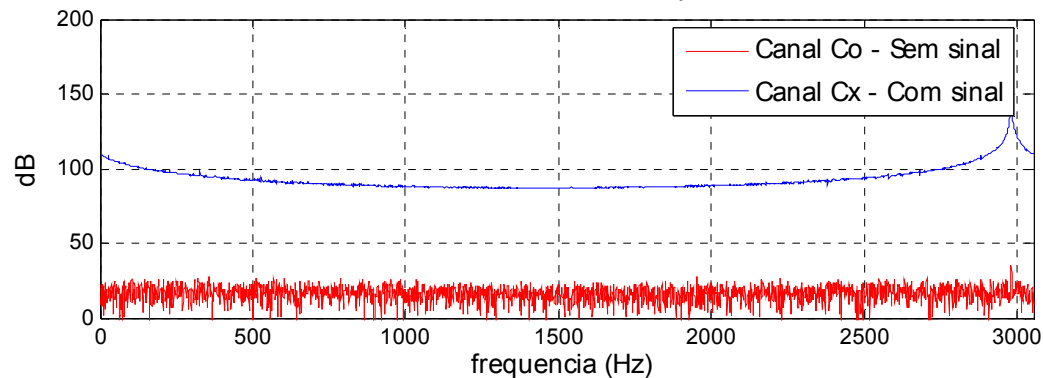


Frequência estabiliza

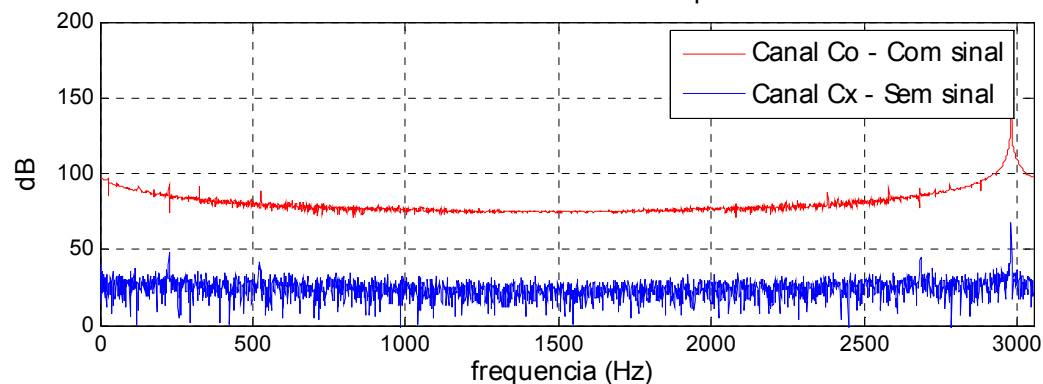
# Protótipo de dois canais e teste de DDS

DDS

Isolamento do canal Copolar

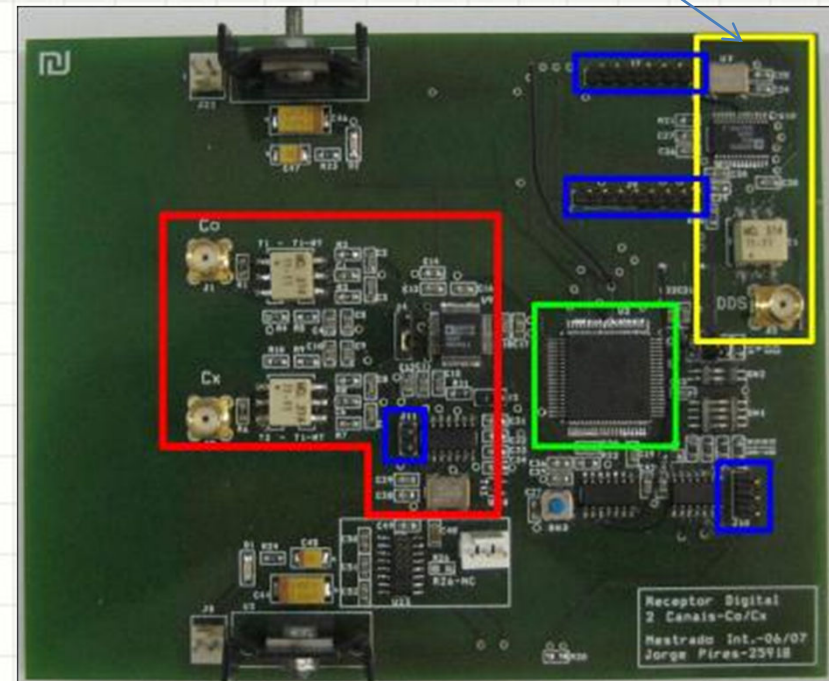


Isolamento do canal Crosspolar



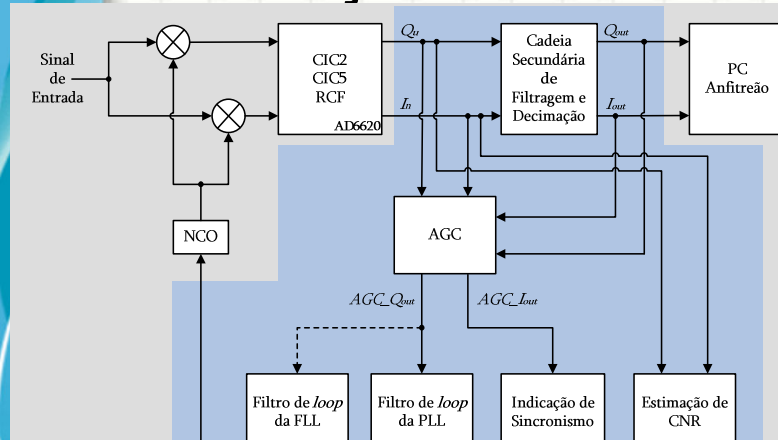
Isolamento entre os dois canais >90 dB

Espectro do oscilador da DDS

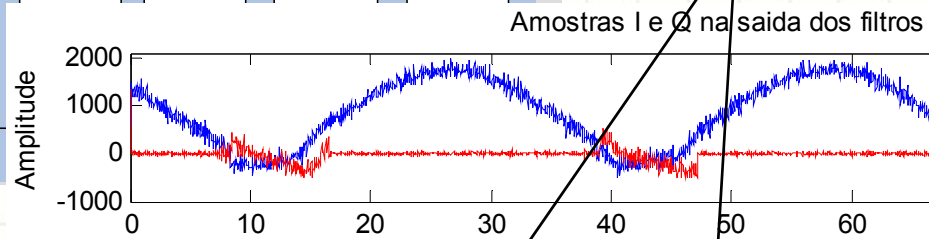




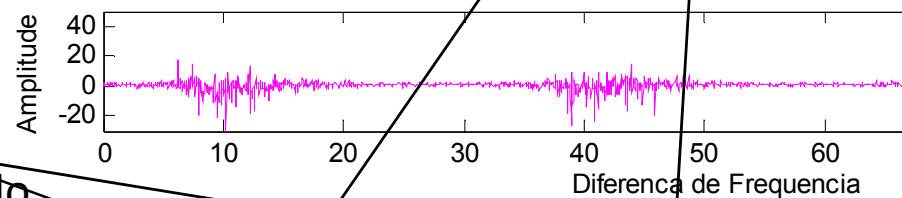
- Condições avaliadas em tempo real



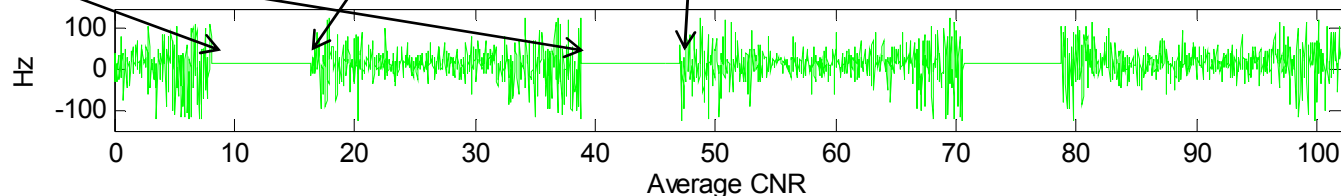
NCO recomeçado  
SNR recuperou



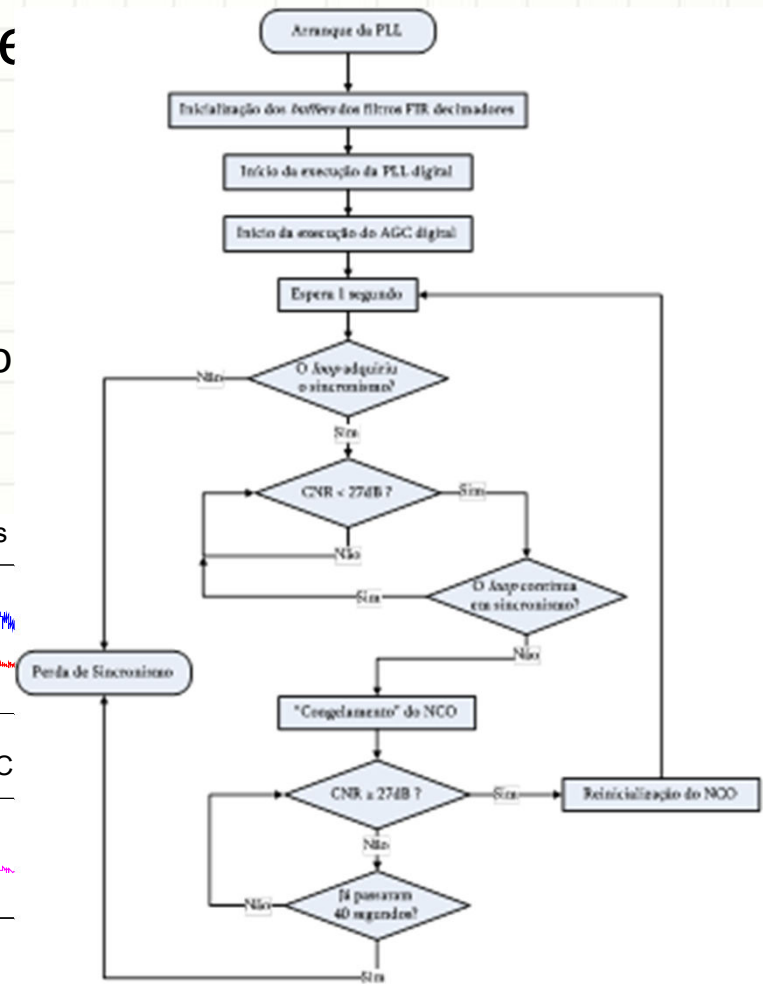
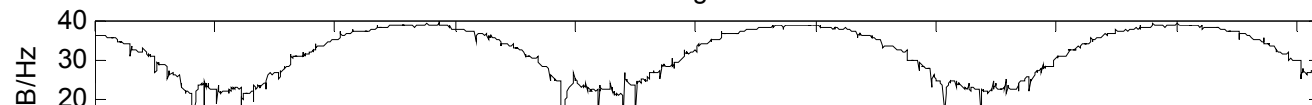
Amostras I actuadas pelo AGC



### Diferença de Frequencia



Average CNR



NCO congelado  
SNR baixo

# Porquê ir para soluções no mercado

- Desenvolvimento de H/W “em casa”
  - Vantagens
    - Conhecimento de todo o hardware
  - Desvantagens
    - Requer algumas competências transversais
      - RF e Electrónica digital, Arquitectura de computadores, Programação e optimização
    - Elevado custo de desenvolvimento (uma ou duas unidades não se pagam)
    - Dificuldade de diagnosticar os problemas de Hardware
- Soluções no Mercado
  - Vantagens
    - Preço acessível e produto comprovado
    - Algum software de apoio com ajuda disponível
    - Facilidades adicionais
  - Desvantagens
    - Exige também conhecimentos de sistemas operativos
    - Algo incerto –se possível- como trabalhar em real time

# Soluções no Mercado

- SDR I/Q da <http://www.rfspace.com/RFSPACE/SDR-IQ.html> ~600
  - Baseado no DRSP: memória interna, controlador e USB
  - Apenas 1 canal
  - Software básico e aplicações
- Ettus Research kit (700 Euros)
  - Baseado em FPGAs
  - Sistema modular
    - Várias placas filho para recepção e emissão
  - ADC (4) e DACs (2) e de elevada velocidade
  - ADC de baixa velocidade
  - Interfaces muito úteis: SPI, I2C e série
  - Linhas I/O: controlo
- Software Livre GNU Radio para Ettus Research
  - Pode tornar-se complexo
  - Algum para aplicações genéricas
  - Possível desenvolvimento de módulos em C/C++
    - Ligáveis pela linguagem Python



USRP E100 Series  
PDF Datasheet



USRP2  
PDF Datasheet



USRP3  
PDF Datasheet



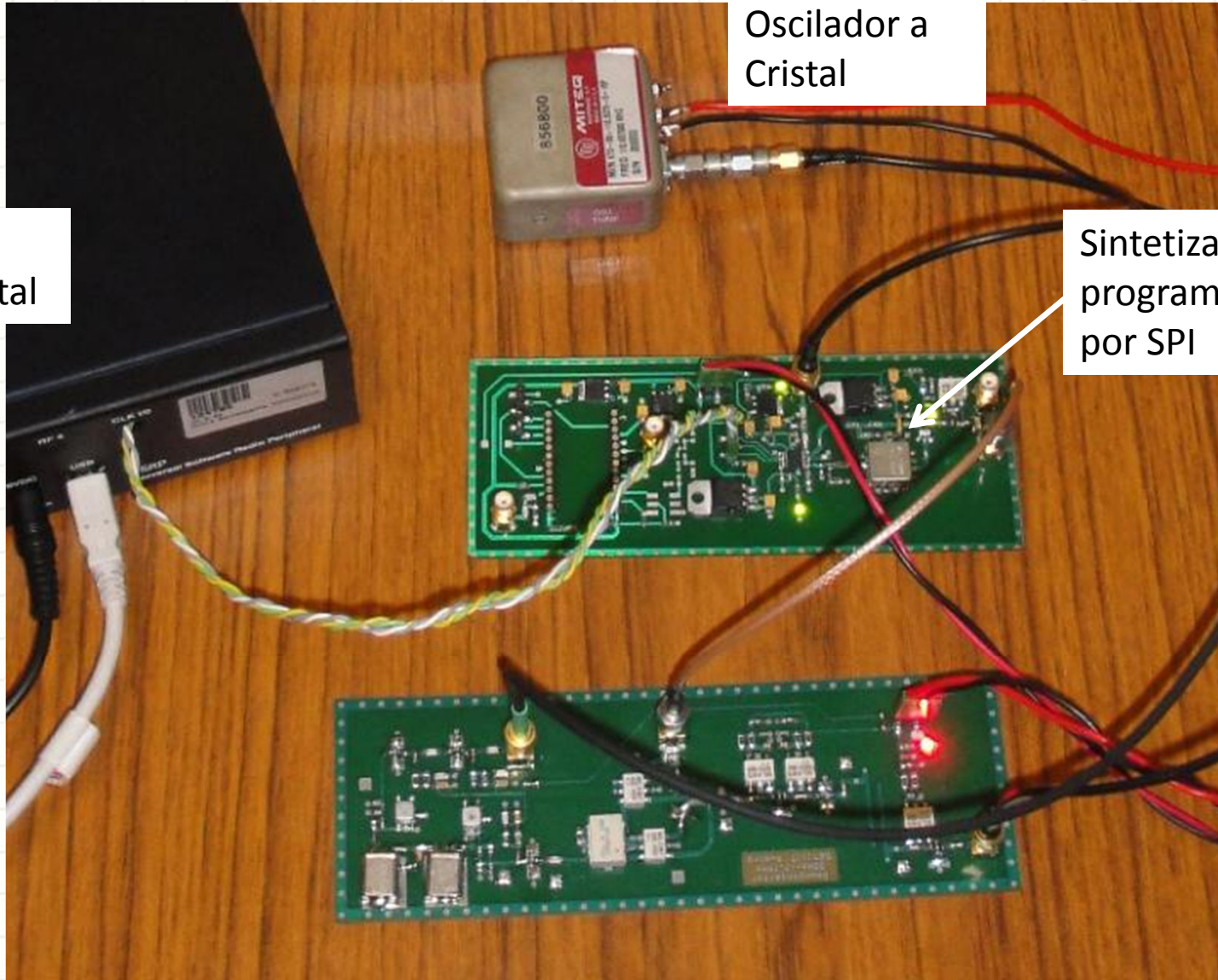


# Sistema receptor (IF + Radio Digital)

Ettus KIT  
Radio Digital

Oscilador a  
Cristal

Sintetizador  
programado  
por SPI



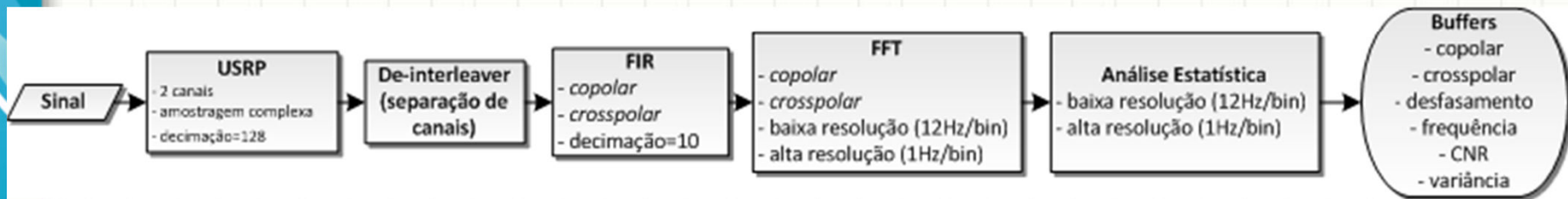


# Software GNU Radio para estimação espectral do sinal

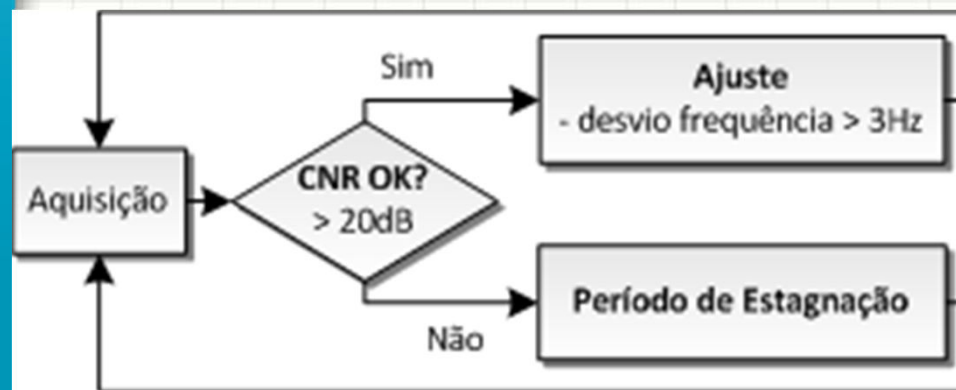
- Sintonia do sinal:



- ▶ Aquisição e análise:



- ▶ Seguimento de frequência:



# Resultados: interface e linearidade

