

Técnicas Inovadoras para Análise de Interferência Eletromagnética

Diogo Yamasaki
Application Engineer
Rohde & Schwarz do Brasil

Tópicos:

- A Rohde & Schwarz;
- Aplicações e noções básicas de EMC;
- Fatores que tornam possível utilizar o RTE/RTO para Debugging de EMC;
- Análise de FFT para medidas de Espectro;
- Teste de EMI – Emissão conduzida e radiada;
- Equipamentos para um setup Básico;
- Vantagens de um setup com RTE/RTO.

A Rohde & Schwarz

- Há mais de 80 anos, a Rohde & Schwarz é sinônimo de qualidade, precisão e inovação em todos os campos da comunicação sem fio. Está estrategicamente baseada em quatro pilares: teste e medição, transmissão e mídia, comunicações seguras, segurança cibernética, radiomonitoragem e radiolocalização. Com sede em Munique (Alemanha), tem uma presença global e está entre as líderes de mercado em todas as suas áreas de negócios.



ROHDE & SCHWARZ

COMPANY RESTRICTED

A Rohde & Schwarz

A Qualidade da engenharia alemã disponível no Brasil



A Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz do Brasil

- Presença no Brasil há mais de 20 anos
- Subsidiária R&S desde 1999
- Sede em São Paulo-SP
- Bases remotas e distribuidores para tornar a nossa presença mais próxima dos clientes
- 45 funcionários
- Service & Calibração
- Fábrica de Transmissores de TV
- Suporte pré e pós-venda



Definição de EMC

Electro-Magnetic Compatibility

- "The ability of devices and systems to operate in their electromagnetic environment without impairing their functions and without faults and vice versa, i. e. to ensure that operation does not influence the electromagnetic environment to the extent that the functions of other devices and systems are adversely affected".
- **Compatibilidade Eletromagnética: capacidade de um equipamento eletrônico ser "bom vizinho eletromagnético".**

Ele não emite, nem é suscetível a interferências eletromagnéticas (dentro dos limites das normas aplicáveis).

Robôs assassinos matam 10 pessoas



Tokyo:

Ministry investigates accidents
in factories: In six cases

**"experts are convinced that
electromagnetic waves initiated
the electronic control circuits of
the robots to work unplanned
and uncontrolled"**

Rodovia com blindagem de RF



- German motorway close to the AM transmitter station "Heusweiler":
 - ⇒ radiation power 100 kW / 1.5 MHz /
 - ⇒ fieldstrength on highway: 250...300 V/m

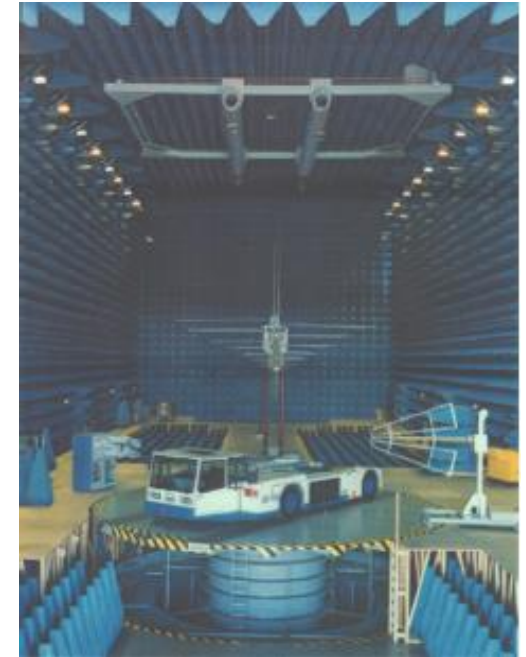
Exemplos militares

- Crashes of the "Blackhawk" helicopter of the USA Navy (>100 by rumour), caused by susceptibility of onboard electronics to electro magnetic fields.



Crash of a "TORNADO" fighter aircraft of the German Air Force at Rosenheim, caused by the fields emitted by "Radio Free Europe".

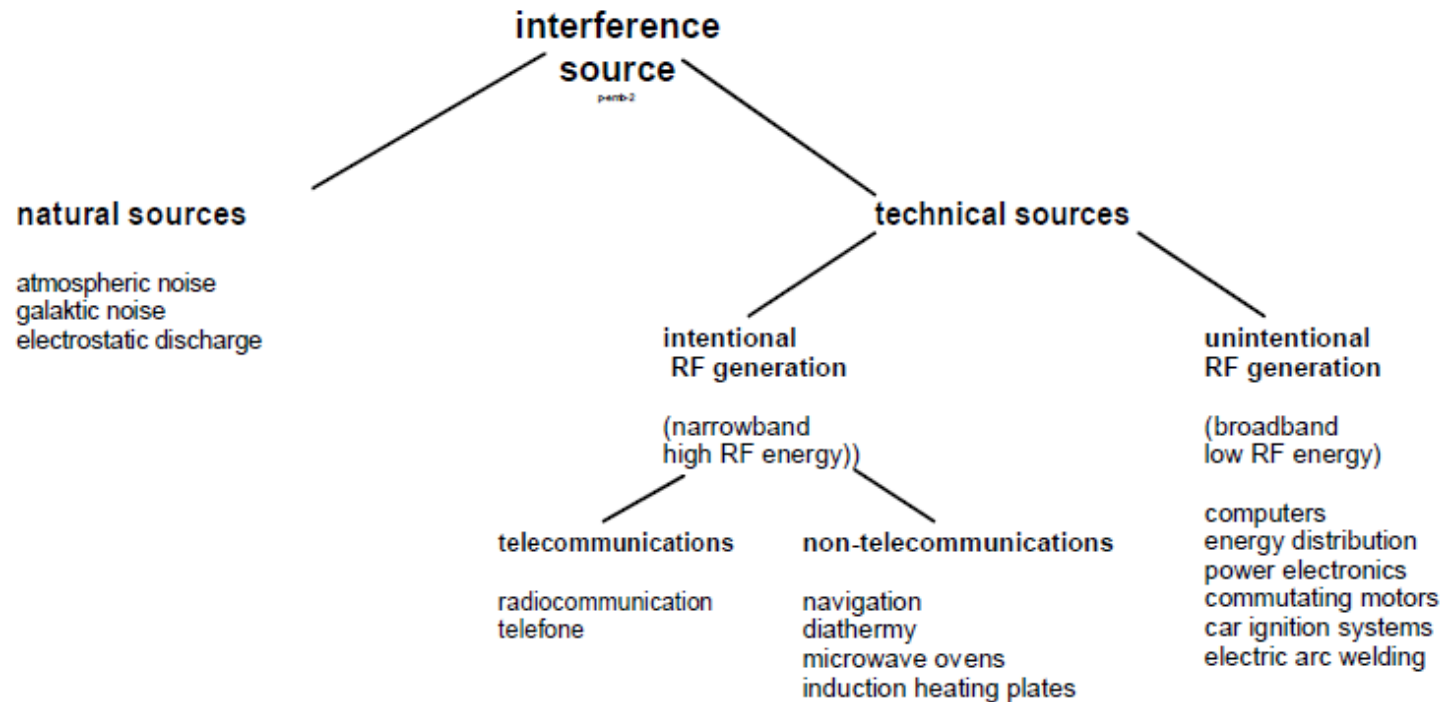
- Lab of the EMC Competence Centre of the German Armed Forces (WTD 81): Reaction on the crash of the TORNADO at Holzkirchen. Project costs: Approx. 25 M€



Órgãos Regulamentadores

- International Electrotechnical Commission – IEC
- Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques – CISPR
- International Organization for Standardization – ISSO
- European Standards
 - European Committee for Standardization – CEN
 - European Committee for Electrotechnical Standardization – CENELEC
 - European Telecommunications Standards Institute – ETSI
- Federal Communications Commission - FCC

Fontes de interferência



Propagação de sinais interferentes

conducted Interference

coupling via leads
and el. components

radiated Interference



near field coupling

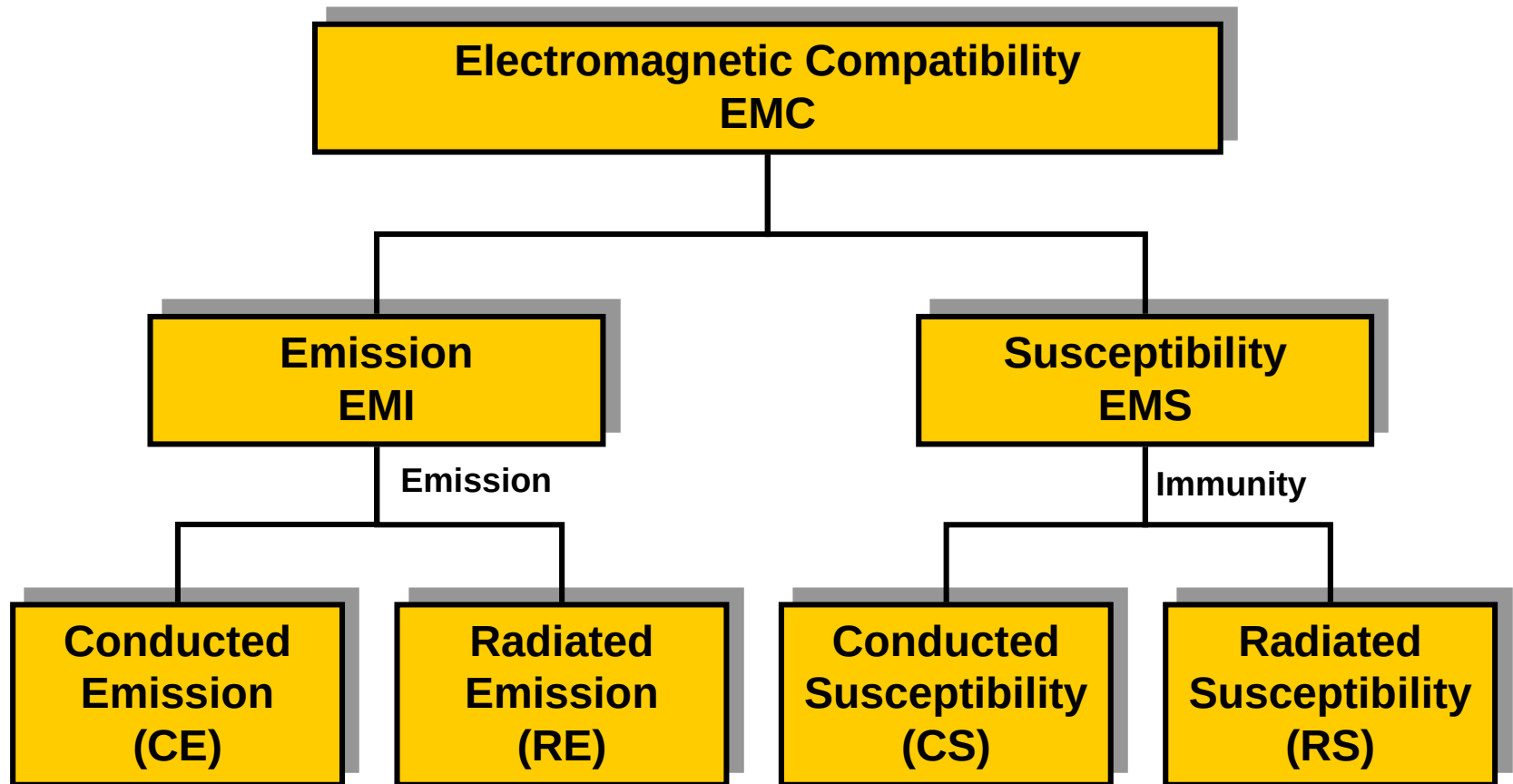
coupling via
inductive and
capacitive field



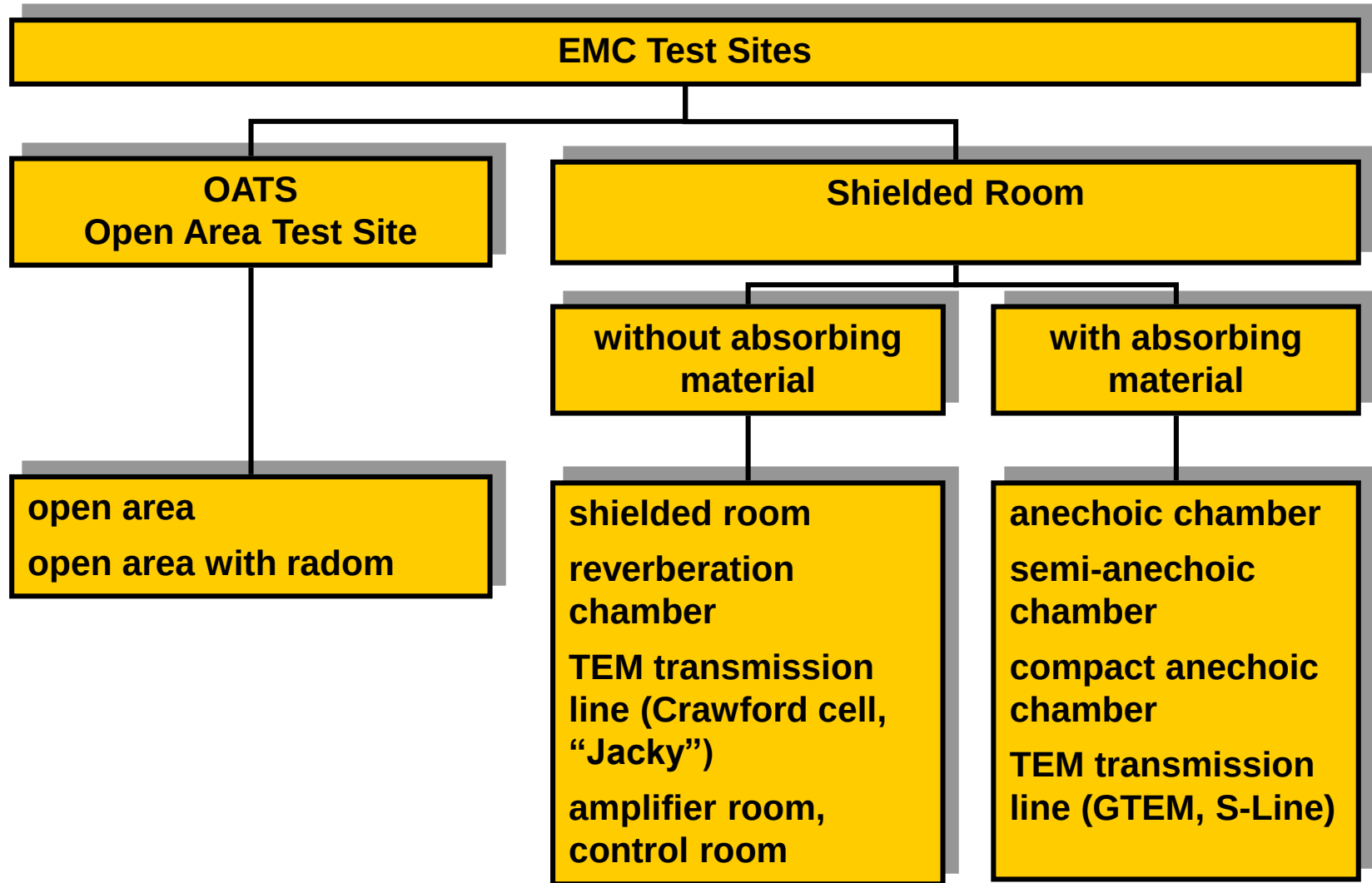
far field coupling

coupling via
electromagnetic
waves

Compatibilidade Eletromagnética



Ambientes de teste



Ambientes de teste

■ Por que uma Câmara Blindada é necessária?

- O campo de RF não deve causar distúrbios no ambiente
- O ambiente não pode causar distúrbio na medição

■ Tipos de câmaras blindadas:

- Semi-anechoic chamber (SAC), fully anechoic chamber (FAC)
- Shielded room without absorbers
(amplifier room, control room, room for conducted measurements)
- Shielded test cell (S-Line, TEM cell, GTEM cell)

■ Considere os seguintes aspectos:

- Tamanho da câmara, tipo do absorvedor e disposição, faixa de frequência
- Infraestrutura: Rede elétrica, luz, ar condicionado
- Interface para os instrumentos: filtros, feedthroughs, extensão IEEE 488, pontos de conexão: não deve invalidar a efetividade da blindagem!
- Evitar o armazenamento de equipamentos na câmara durante as medições!

Exemplo de ambiente de teste

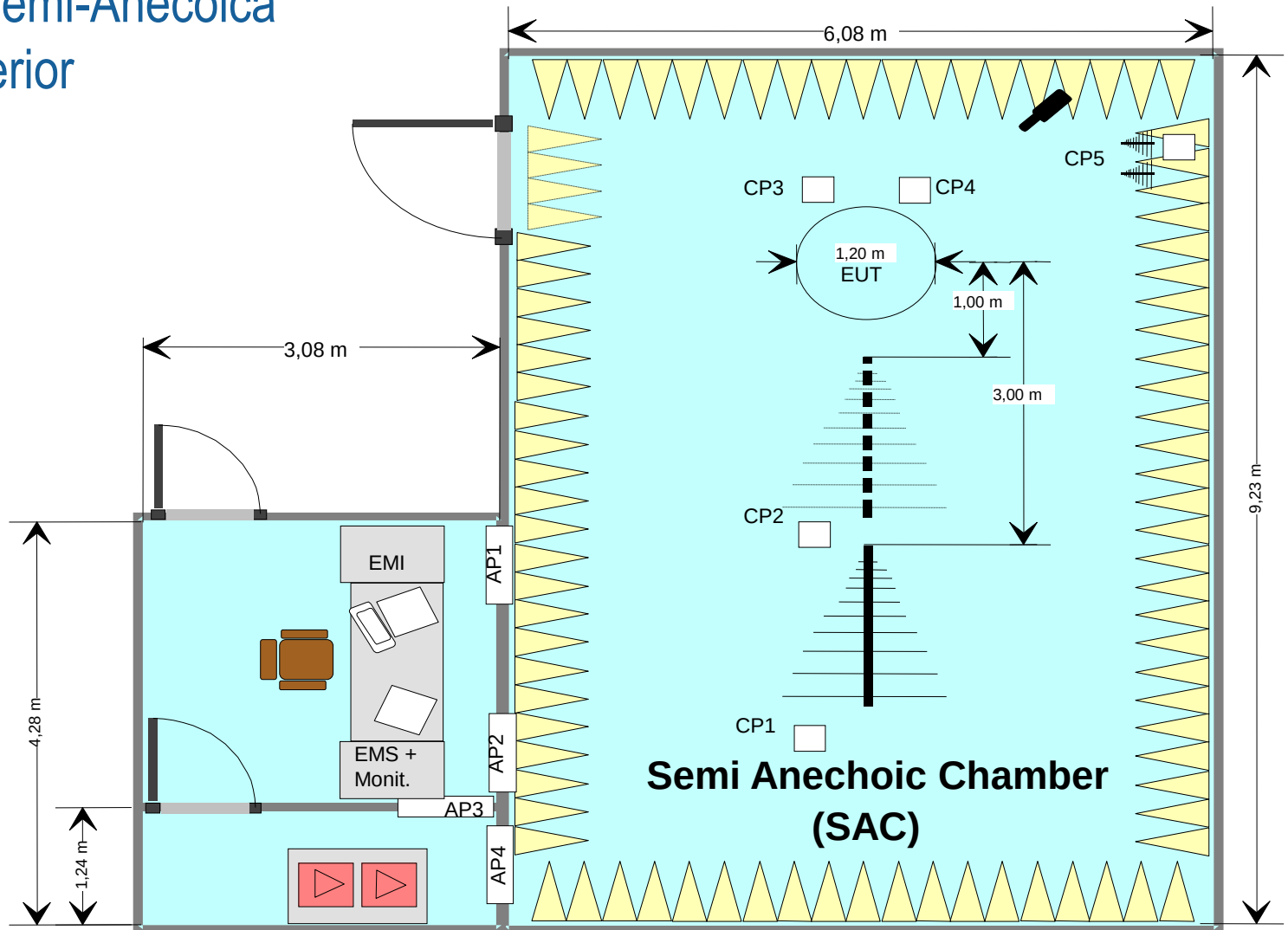
Campo aberto (OATS)



Exemplo de ambiente de teste

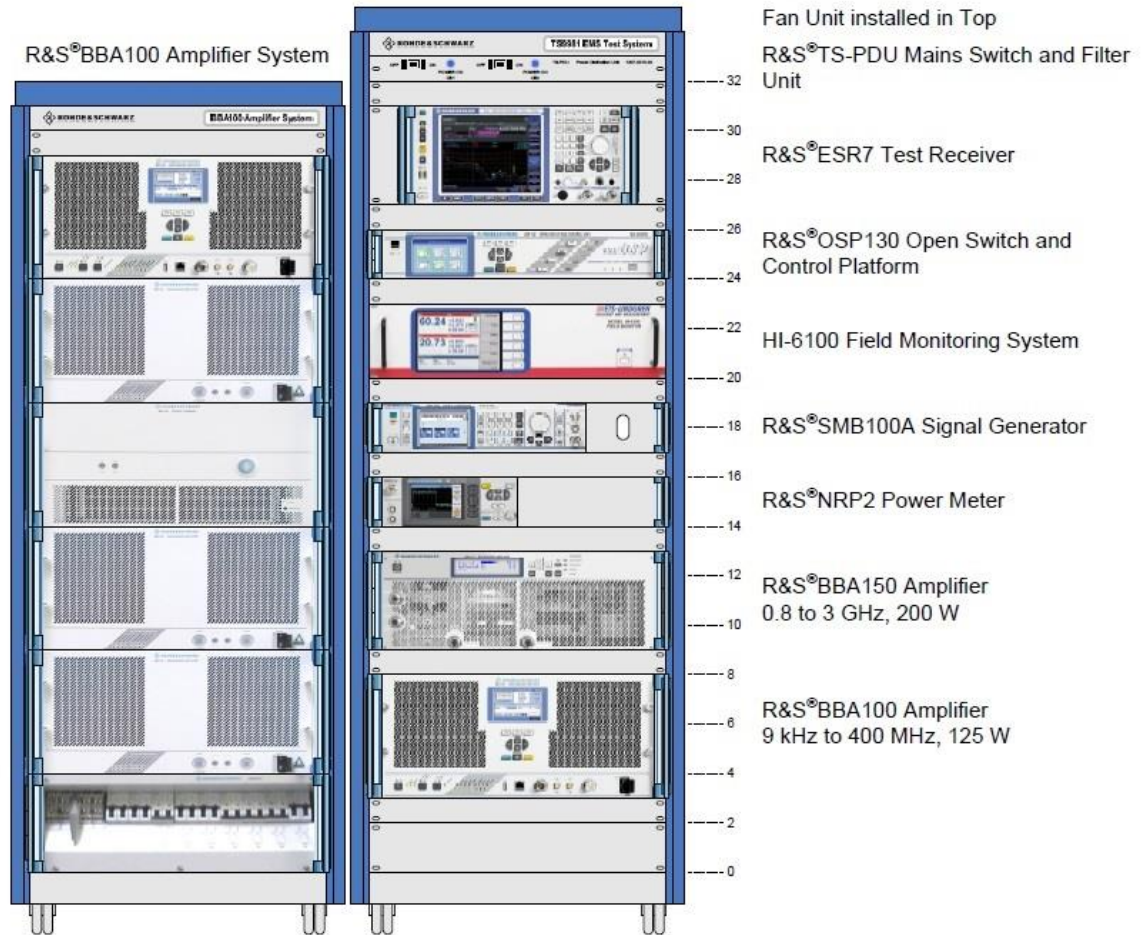
Câmara Semi-Anecóica

Vista superior



Exemplo de ambiente de teste

Sistema de Teste



Exemplo de ambiente de teste

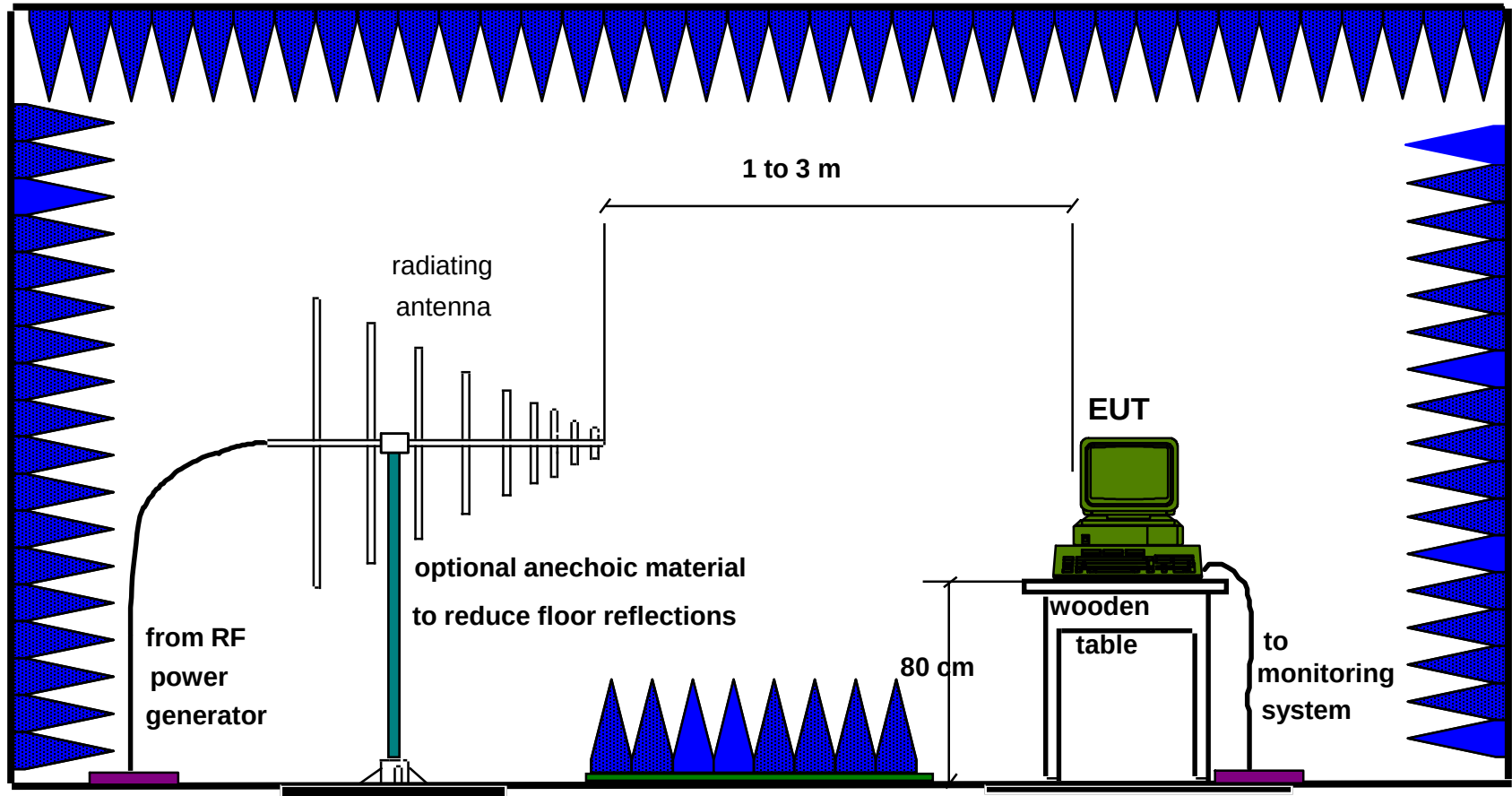
Sistema de Teste



Exemplo de ambiente de teste

Câmara Semi-Anecóica

Vista lateral



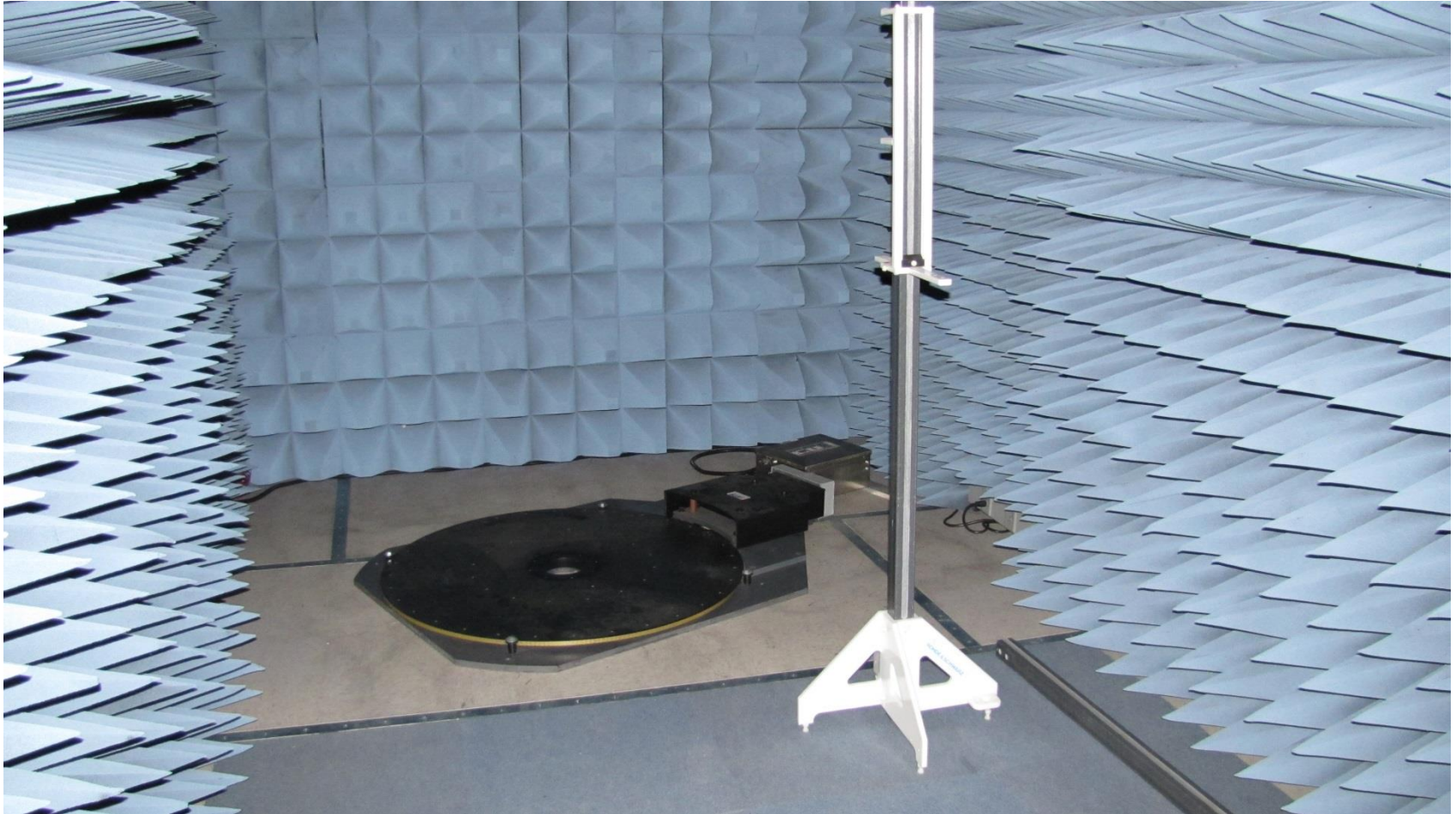
Exemplo de ambiente de teste

Câmara Anecóica na RSA



Exemplo de ambiente de teste

Câmara Anecóica na RSA



Exemplo de ambiente de teste

Instalação típica



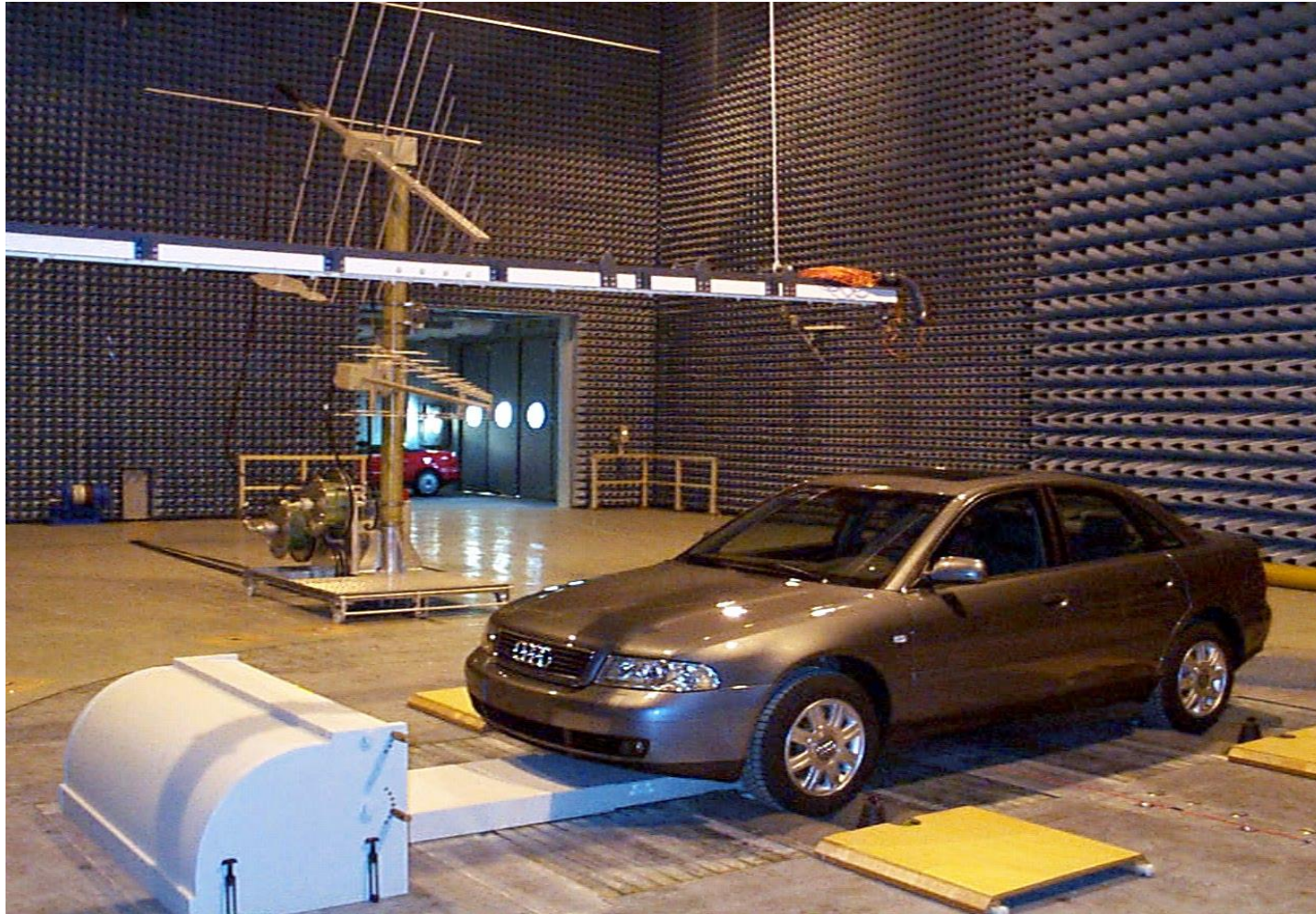
Exemplo de ambiente de teste

Câmara Anecóica do INPE - BRASIL



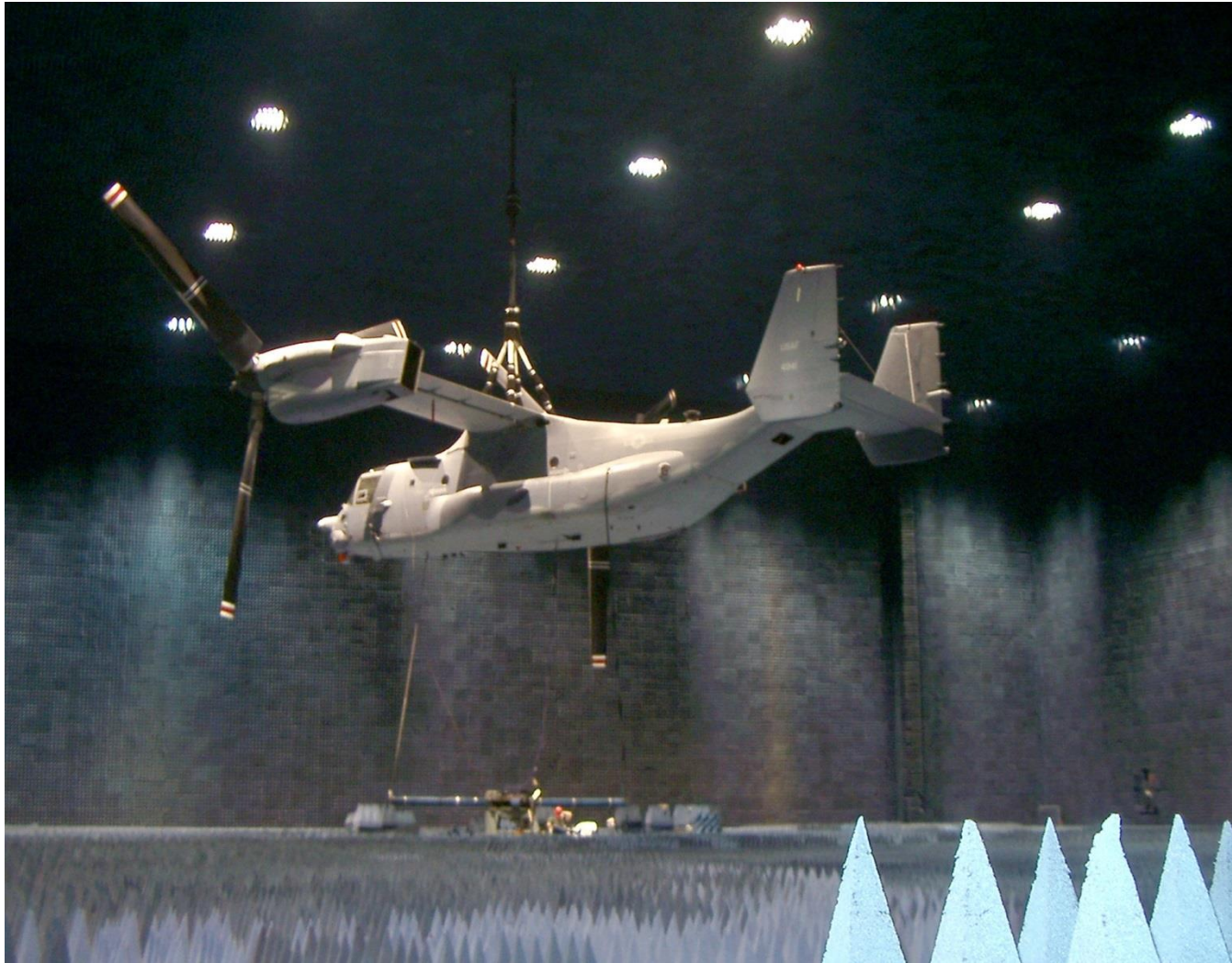
Exemplo de ambiente de teste

Câmara Anecóica da Audi (Alemanha)



Exemplo de ambiente de teste

Câmara Anecóica na Base Aérea de Edwards (USAF)



ROHDE & SCHWARZ

COMPANY RESTRICTED

Exemplo de ambiente de teste

Câmara Anecóica na Base Aérea de Edwards (USAF)



Exemplo de ambiente de teste

Câmara Reverberante da Philips



Courtesy of Philips Electronics

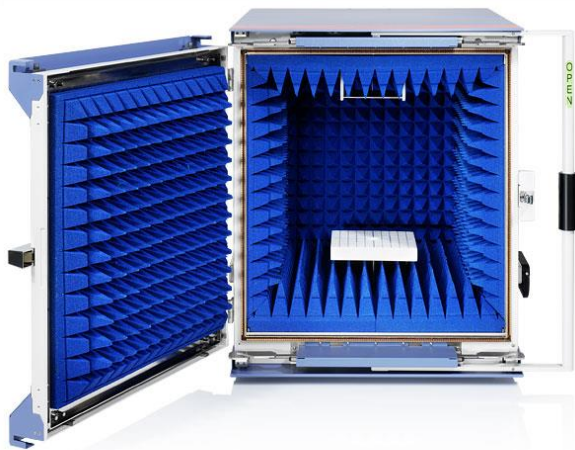
Exemplo de ambiente de teste

Célula GTEM



Exemplo de ambiente de teste

Câmaras compactas



DST200



CMW-Z10



R-Line



É possível utilizarmos um osciloscópio
para medidas de EMI?



Sim!

Com os osciloscópios de alto desempenho R&S RTE e R&S RTO. Graças ao excelente desempenho no domínio da frequência.



Diferenciais

I Front-end de baixíssimo ruído

- Permite medições de sinais de baixa amplitude até 6 GHz;
- A Largura de banda máxima do instrumento está disponível a partir de 1mV/div.

I Altíssimo range dinâmico

- Medidas de sinais altamente dinâmicos, por exemplo: Tensão de comutação de fonte de alimentação;
- Medidas de Espectro com alto range dinâmico (aprox. 112dB).

I Display Touch Screen com Tecnologia Smart grid e layout ajustável

- Mantém o range dinâmico em sua escala máxima mesmo quando visualizados múltiplos sinais na tela;
- Visualização de até 12 sinais no domínio do tempo e de frequência e 16 sinais digitais (28 sinais no total).

I Sistema de trigger digital de altíssima precisão

- Alta sensibilidade e zero jitter para todos os tipos de trigger (edge e “*triggeres*” inteligentes)
- Captura de pulsos com largura de até 100 ps (50 ps para os RTO2044 e RTO2064);

I Alta taxa de atualização de tela para sinais de até 6GHz

- 1 Milhão de formas de onda por segundo.

Front-end de baixíssimo ruído

Alta sensibilidade

- O piso de ruído afeta diretamente a sensibilidade do osciloscópio. É determinado pelas características de ruído dos componentes no caminho do sinal do front end.

Volt/Div	1mV	2mV	5mV	10mV	100mV	1V
R&S RTO200x	0.08 mV	0.08 mV	0.11 mV	0.17 mV	1.30 mV	13.7 mV



Benefício do baixo ruído:

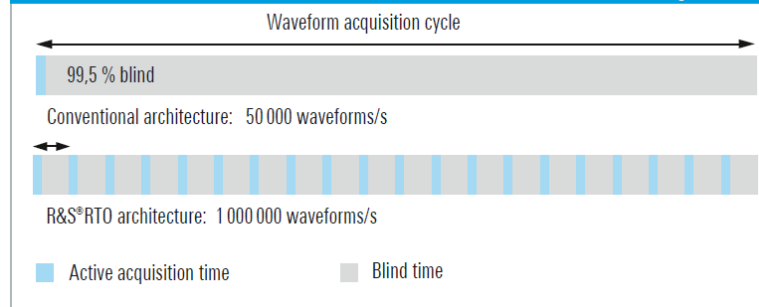
- Melhor margem de teste, faixa dinâmica mais alta no domínio da frequência, melhor visualização de sinais de baixa amplitude

- **Resultado:** Largura de banda total disponível a partir de 1mV/Div(RTO) e 500uV/Div (RTE)
- Alta isolamento canal-canal (>60dB)
- ENOB > 7 Bits

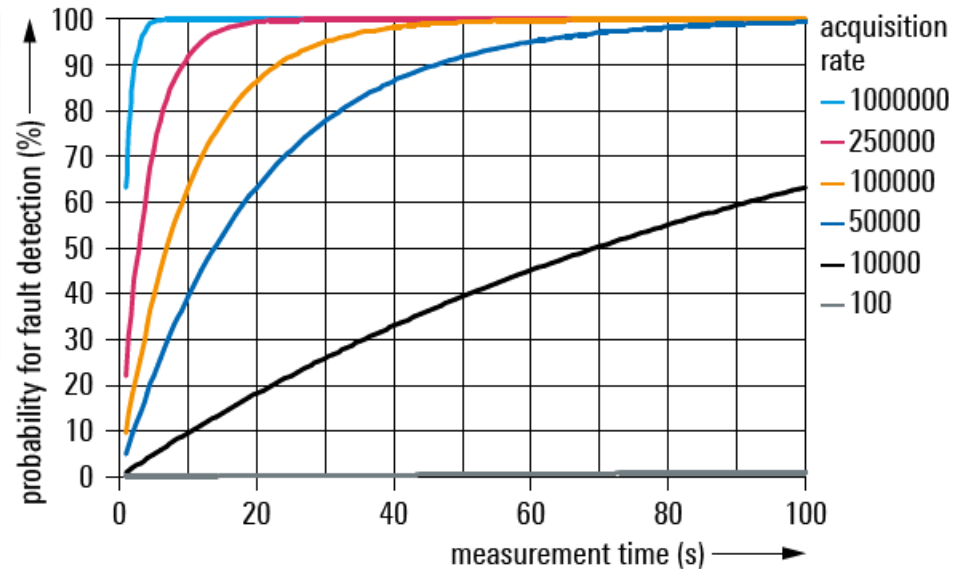
Alta Taxa de aquisição

>1 000 000 wfms/s

Blindtime: R&S®RTO and conventional oscilloscopes



Probability to catch rare signal faults: depending on acquisition rate
(10 faults/s, 1k RL, 10ns/div)



Average measurement time required until a signal error is displayed (as a function of error rate and acquisition rate)

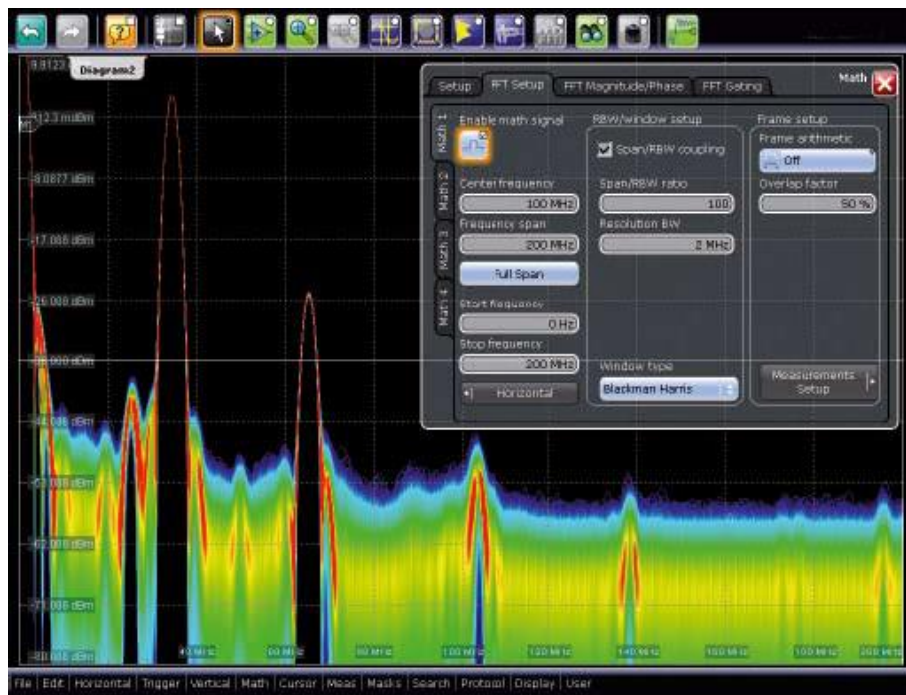
Error rate	Acquisition rate [waveforms/s]			
	100	10 000	100 000	1 000 000
100/s	1 h : 55 min : 08 s	1 min : 09 s	6.9 s	0.7 s
10/s	19 h : 11 min : 17 s	11 min : 31 s	1 min : 09 s	6.9 s
1/s	7 d : 23 h : 52 min : 55 s	1 h : 55 min : 08 s	11 min : 31 s	1 min : 09 s
0.1/s	79 d : 22 h : 49 min : 15 s	19 h : 11 min : 17 s	1 h : 55 min : 08 s	11 min : 31 s

10 Gsample/s, 1 ksample recording length, 10 ns/div, 99.9% probability of detecting the error.

Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

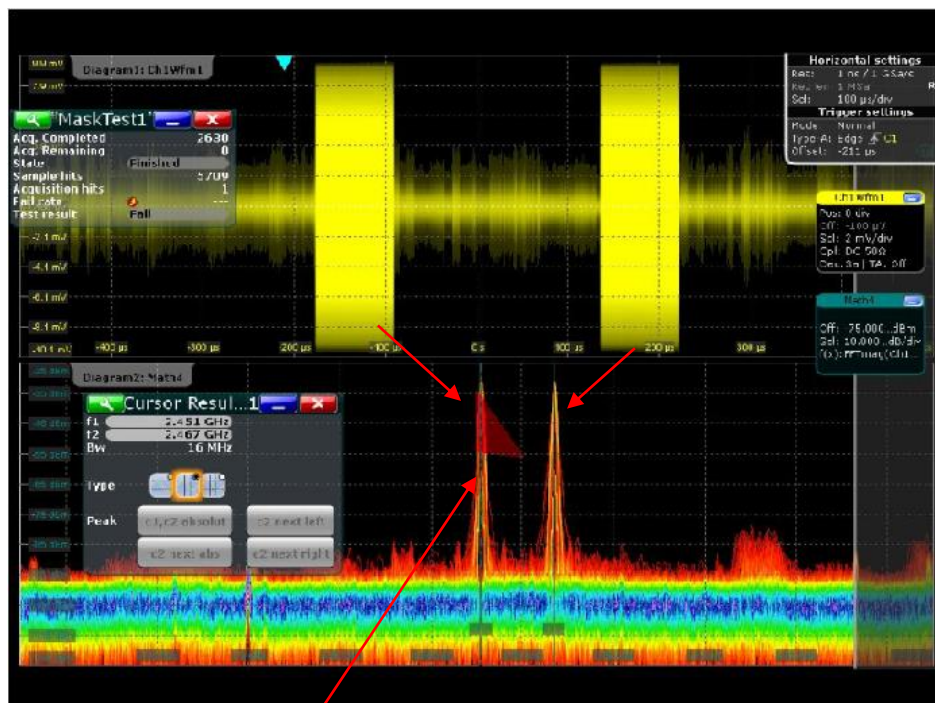
Aceleração de Hardware – Fast FFT

- Análise de espectro baseado em FFT: potente e amigável



Implementação de overlapping de FFT =>
Display com resposta rápida modulada em cores,
MODO PERSISTÊNCIA

- Máscara de teste em FFT e correlação com o domínio do tempo

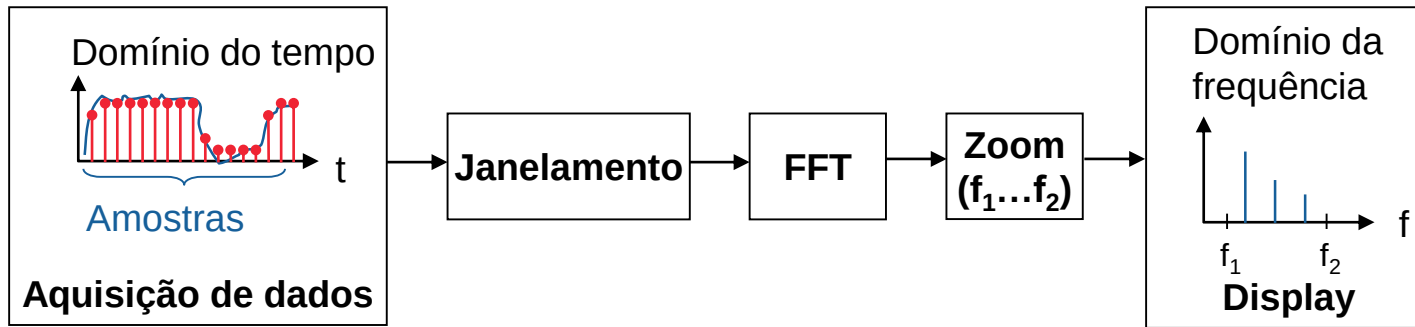


Violação da máscara -> Para a aquisição

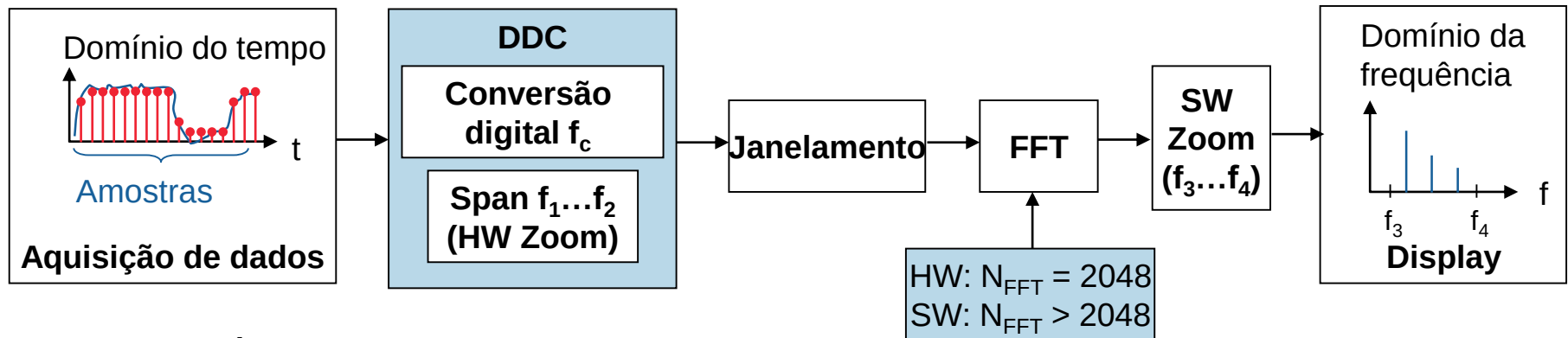
Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

Novo Approach: Conversão digital

Cálculo da FFT em osciloscópios convencionais



FFT no RTO – novo approach com conversão para frequência baixa



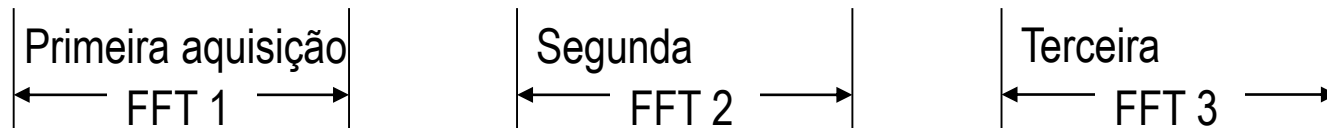
=> Mais rápida e eficiente

Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

Novo Approach: Sobreposição de FFT

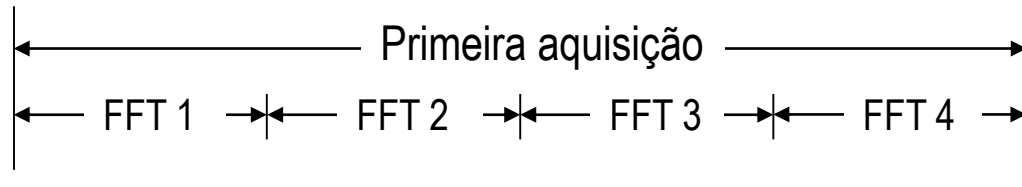
■ Osciloscópios convencionais

⇒FFT em uma aquisição completa

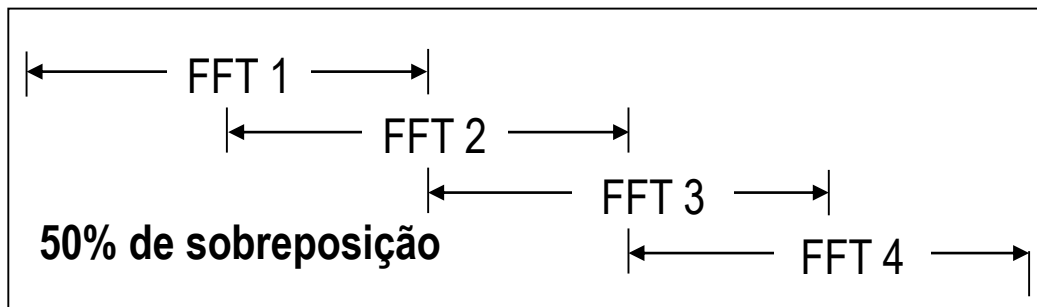


■ RTO

⇒FFT pode ser separada em várias FFTs ou sobrepostas



⇒ Processamento rápido,
Atualização de tela mais
rápida



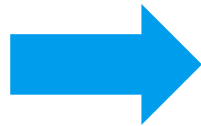
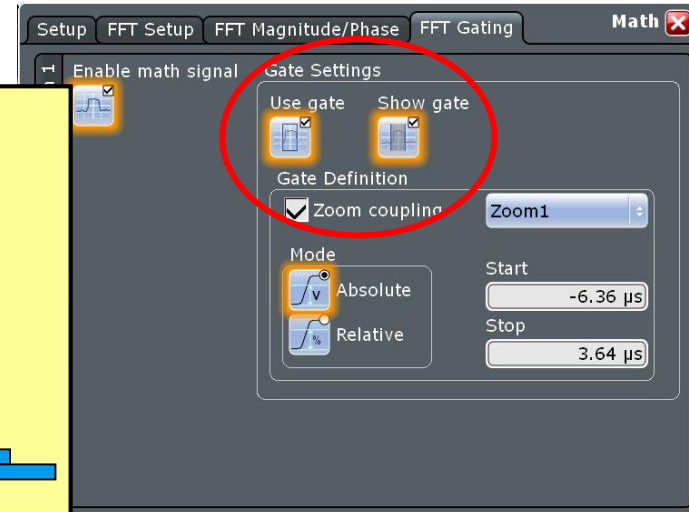
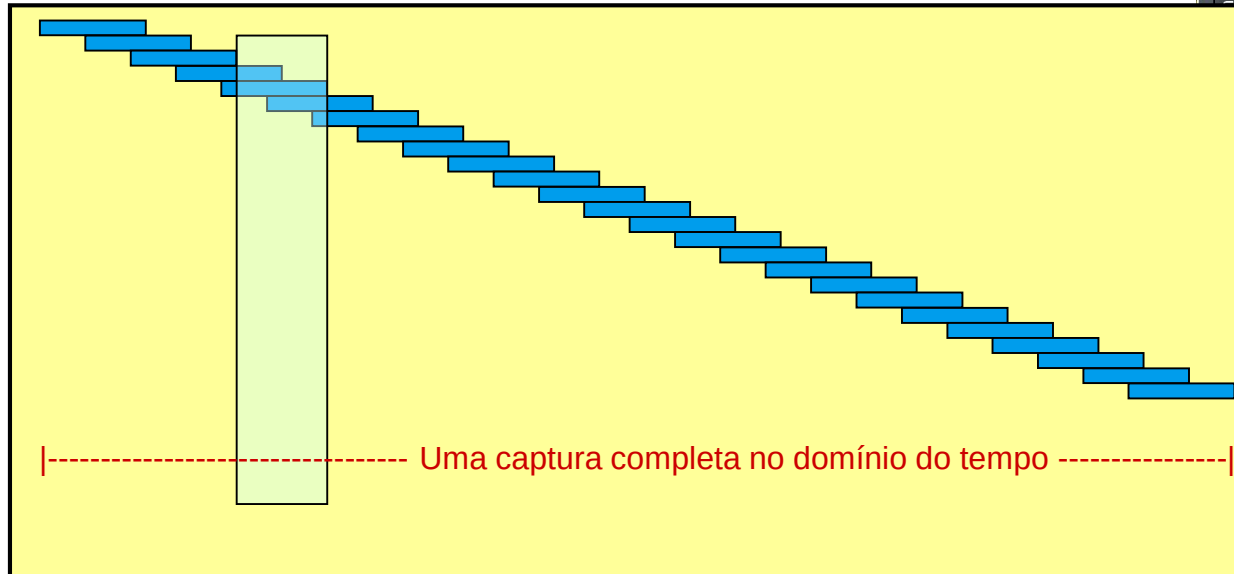
⇒ Ideal para encontrar
detalhes esporádicos
dos sinais em análise

Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

Análise Tempo-Frequência

FFT:

50% de sobreposição (padrão)

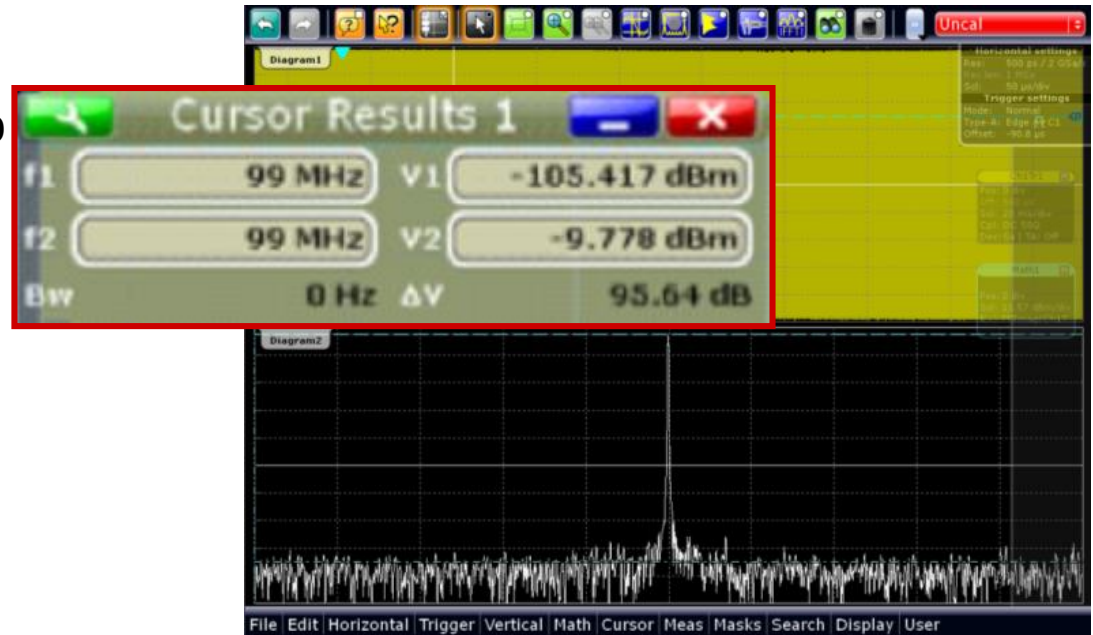


Função Gated FFT: Característica-chave para EMI Debug!

Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

Range dinâmico

- Único osciloscópio do mundo capaz de medir até 4 sinais simultâneos no domínio da frequência com range dinâmico de aprox. 112dB!!



- Definição de range dinâmico:
 - Menor sinal visível pelo instrumento na presença de um sinal maior;
 - Reflete a magnitude Delta entre o Espectro fundamental e o piso de ruído.

Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

Medidas adicionais

Potência de
Canal
(Channel Power)

Banda ocupada

Largura de
Banda (Bw)

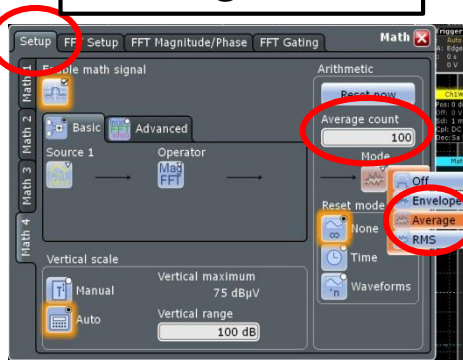
Distorção
Harmônica total
(THD)



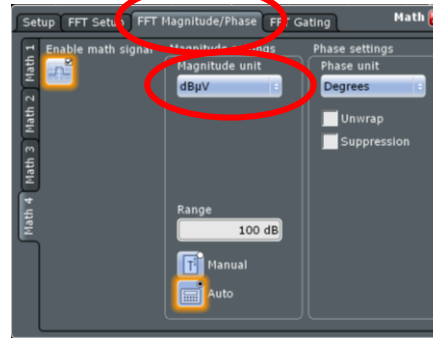
Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

Mais configurações, mais vantagens

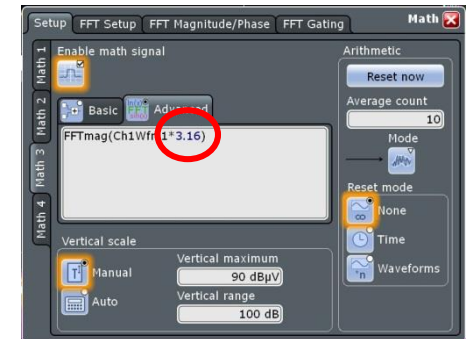
**Max-Hold*,
Average, RMS**



Ajuste de unidade

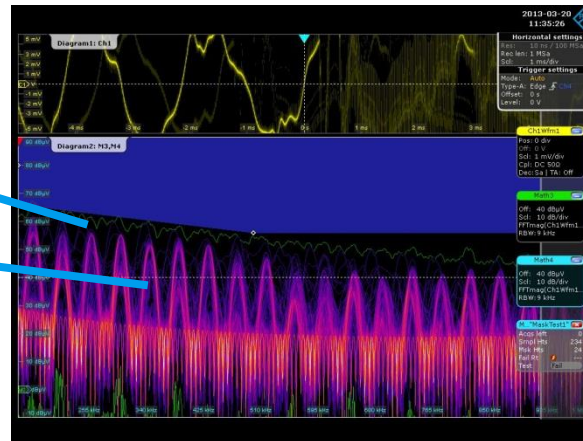


**Fator de correção
da LISN**

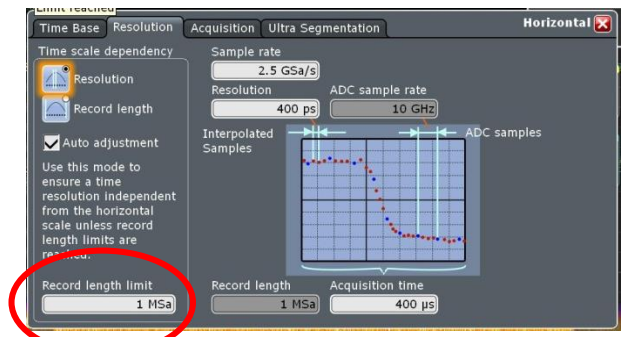


Múltiplas FFTs

Verde: Max-Hold
Violeta: Espectro atual,
graduado em intensidade



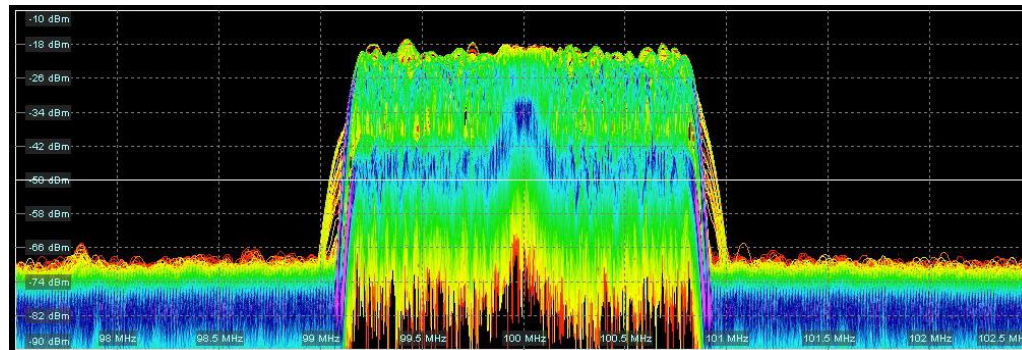
Memória > 1 MS



*Note: Envelope = Max Hold

Poderosa Análise de FFT para medidas de Espectro

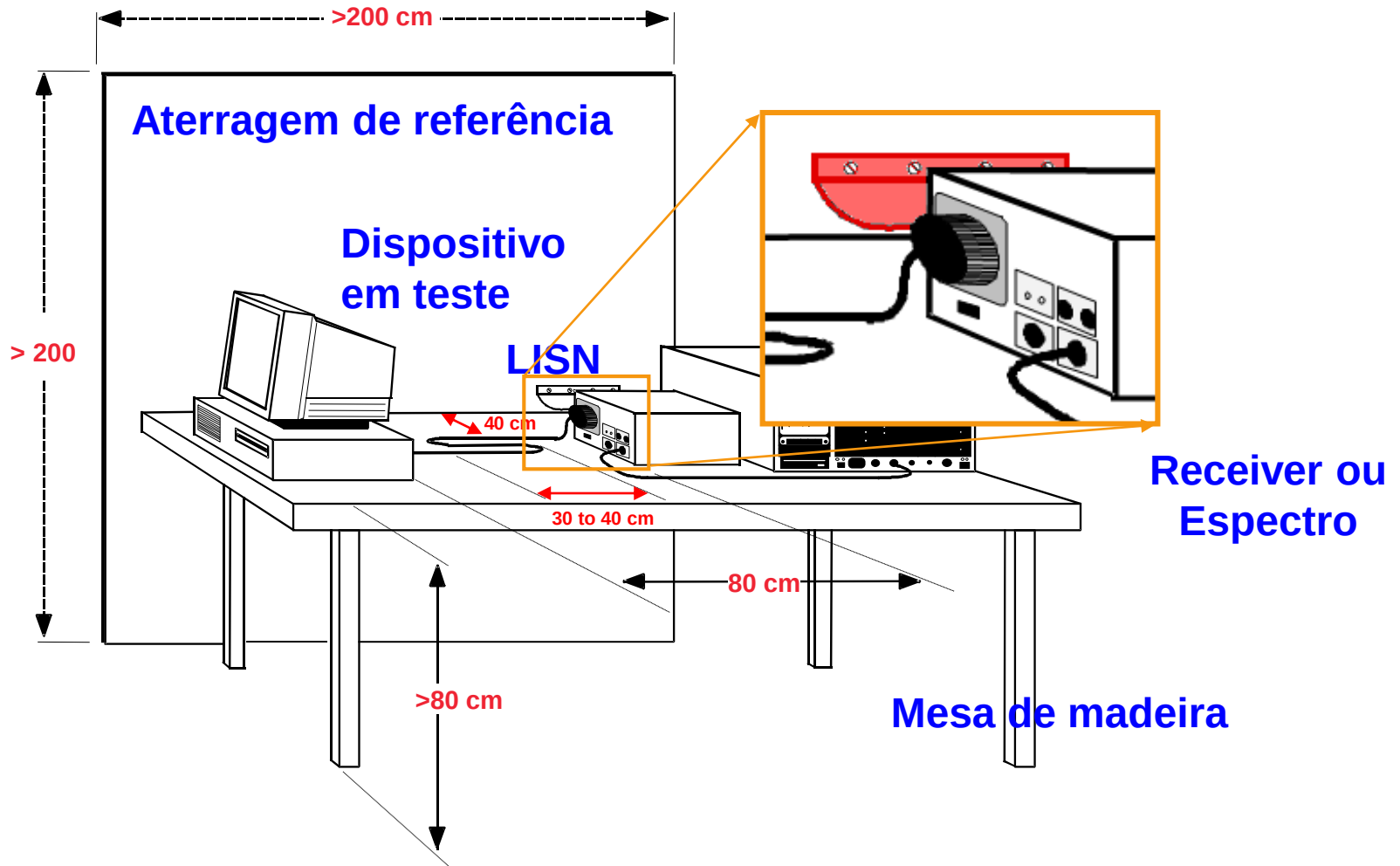
- Novo Approach com conversão digital para baixa frequência e sobreposição de FFT;
- Funções adicionais de medição;
- Alta velocidade de processamento em combinação com persistência no display provê impressão de espectro ao vivo;



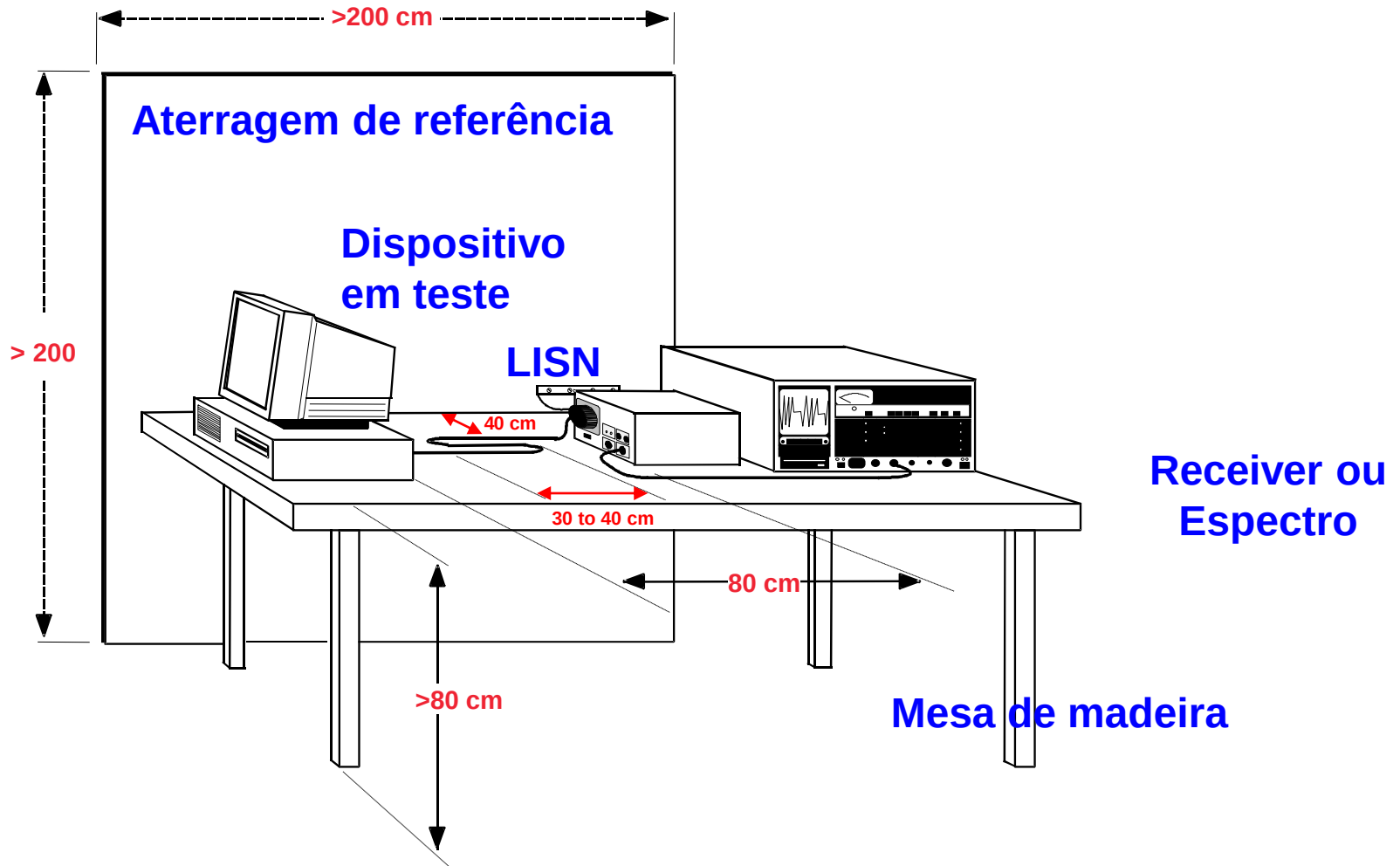
Conclusão:

- ⇒ FFT no RTO é muito poderosa
- ⇒ Approach de implementação e ferramentas padrão faz do RTO um osciloscópio único no mundo, tornando-o uma alternativa excelente na montagem de um Setup de EMI Pré-compliance!

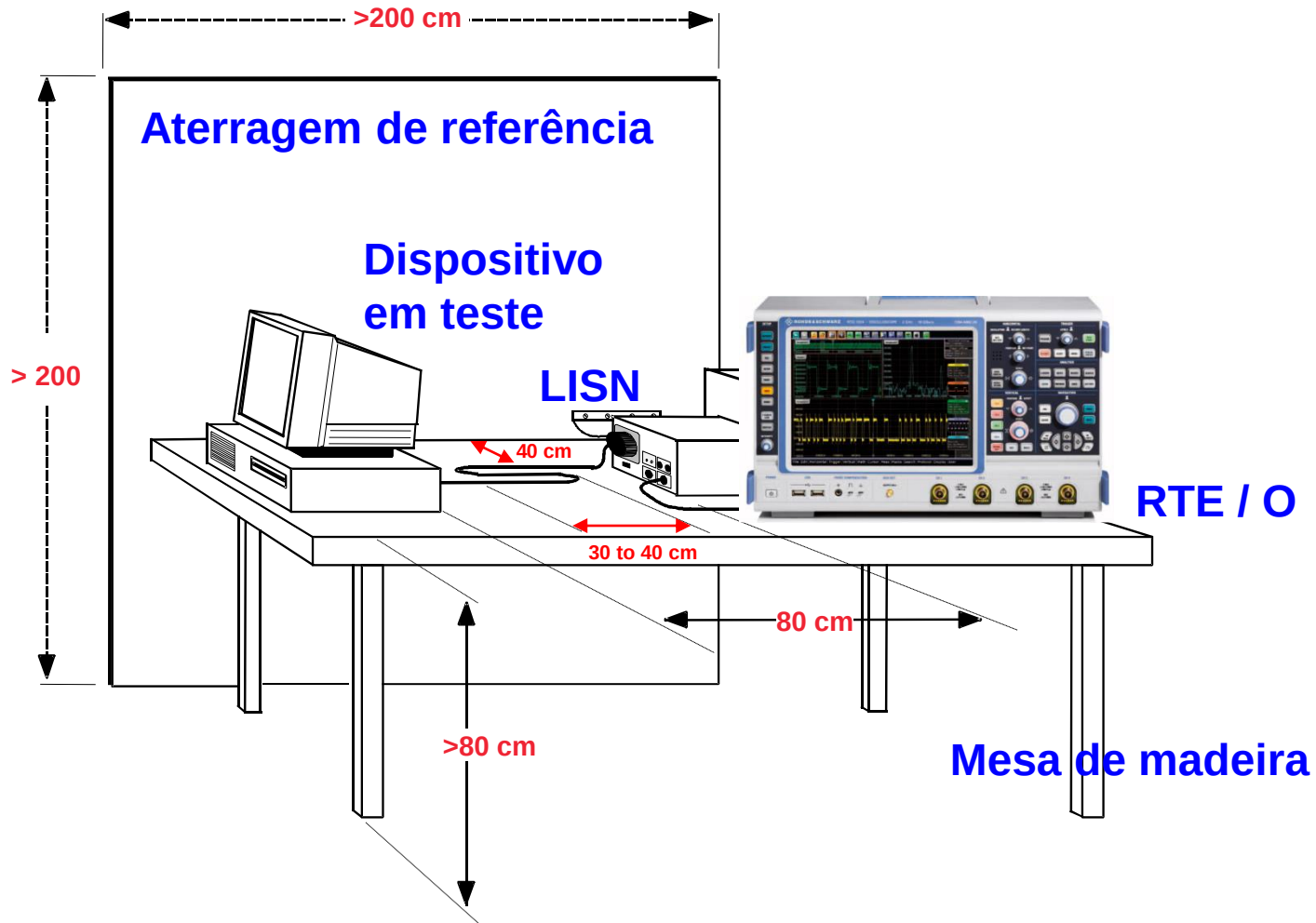
Teste de tensão EMI: Setup básico



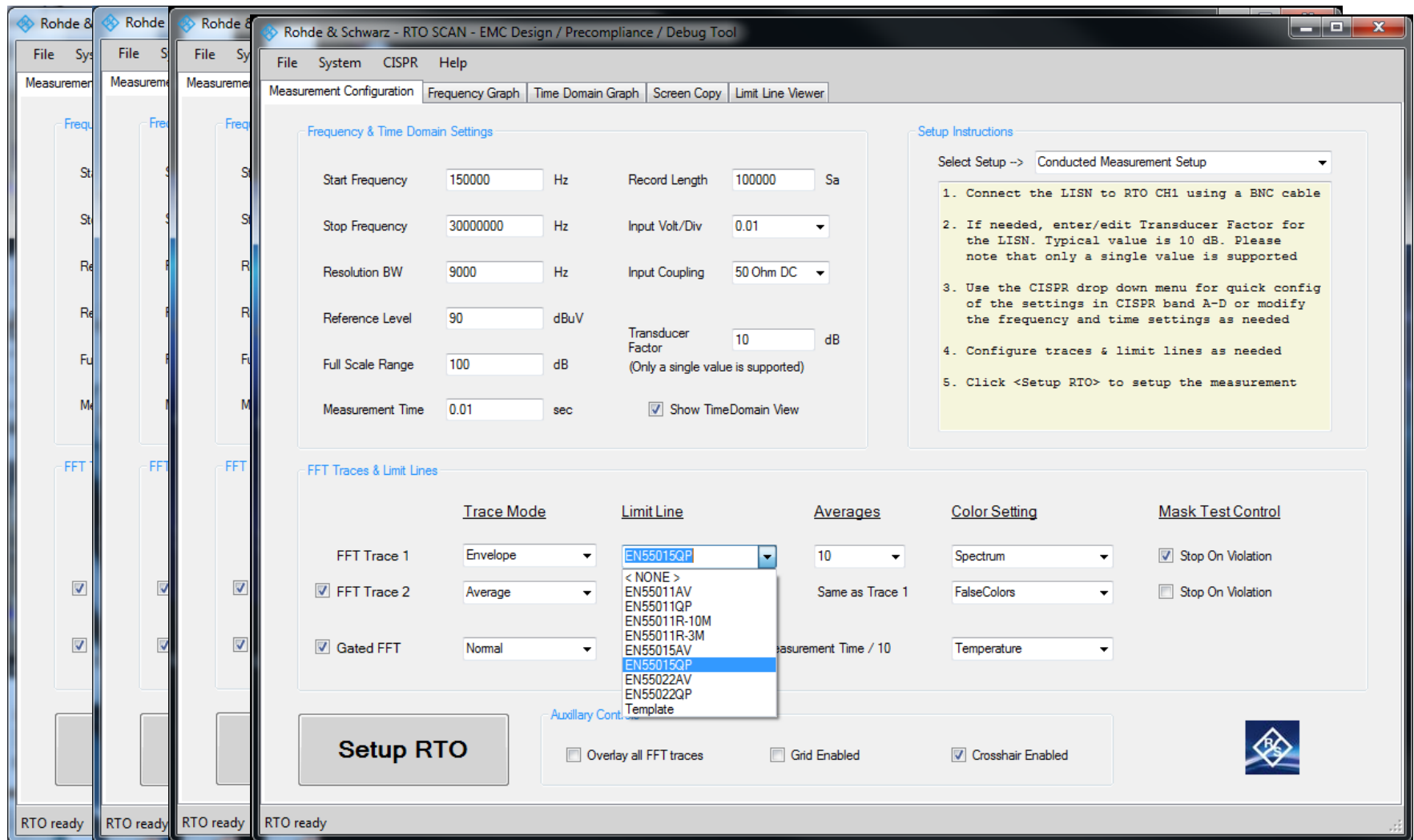
Teste de tensão EMI: Setup básico



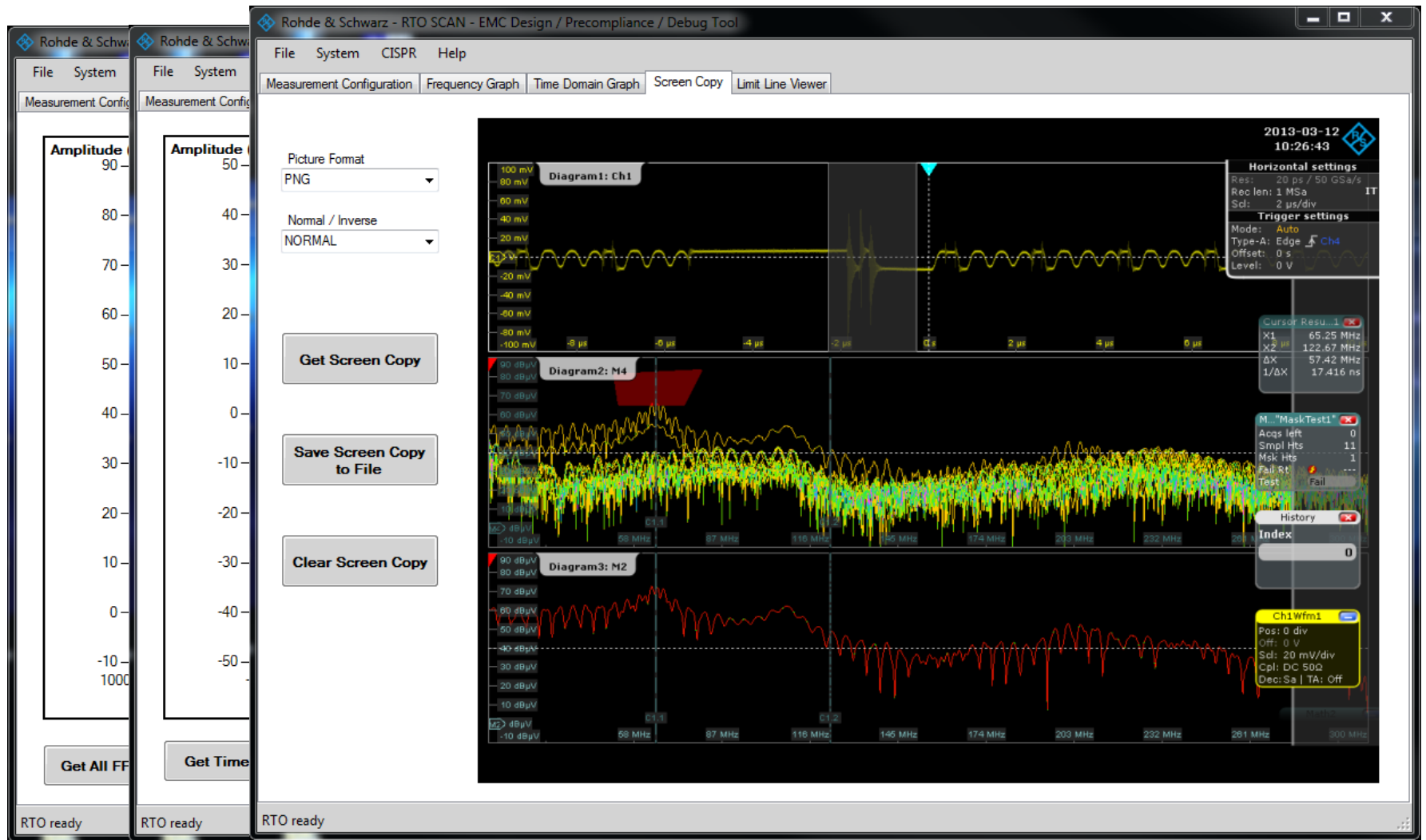
Teste de tensão EMI: Setup básico



****Novo**** "RTO Debug"

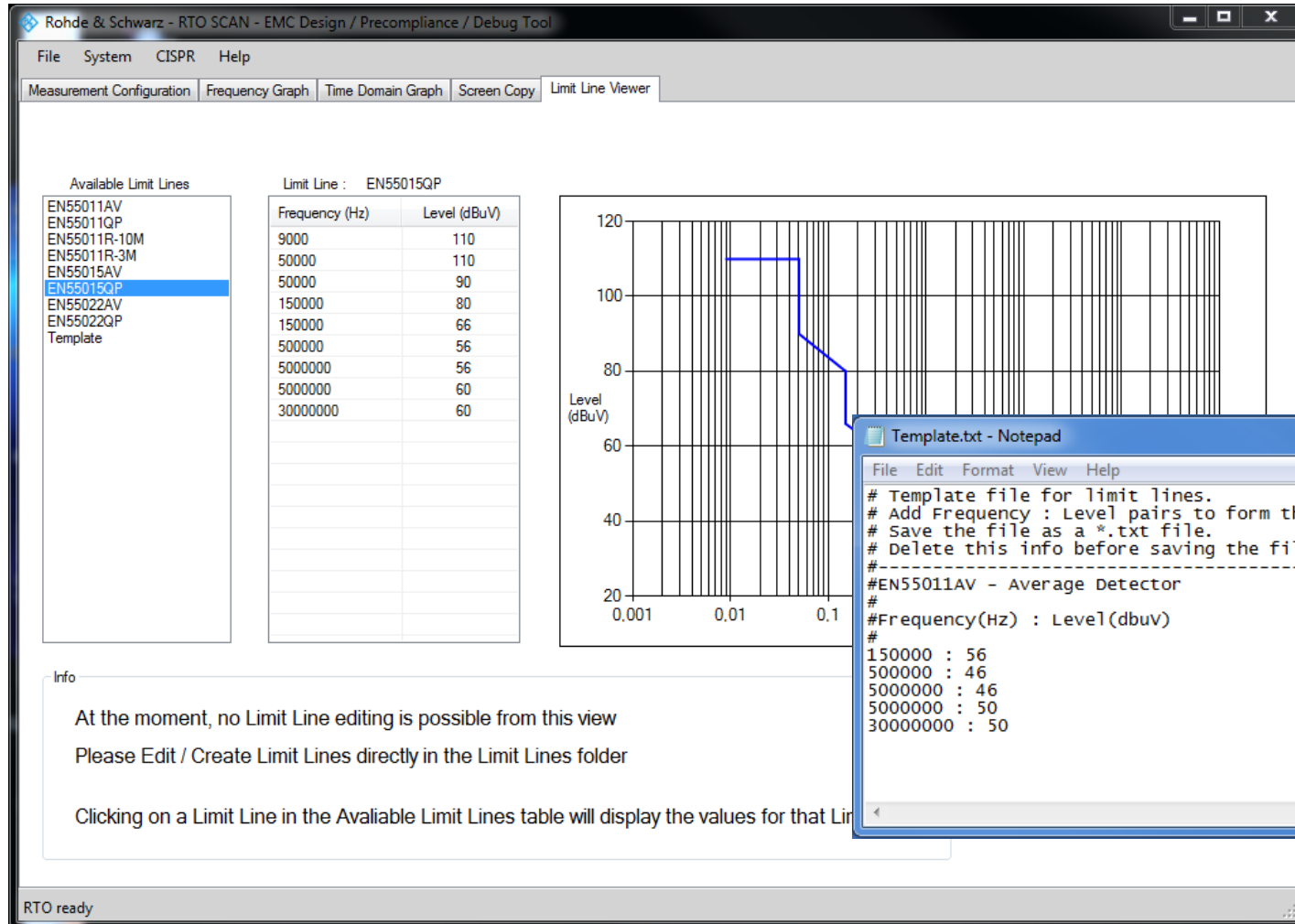


****Novo**** "RTO Debug"



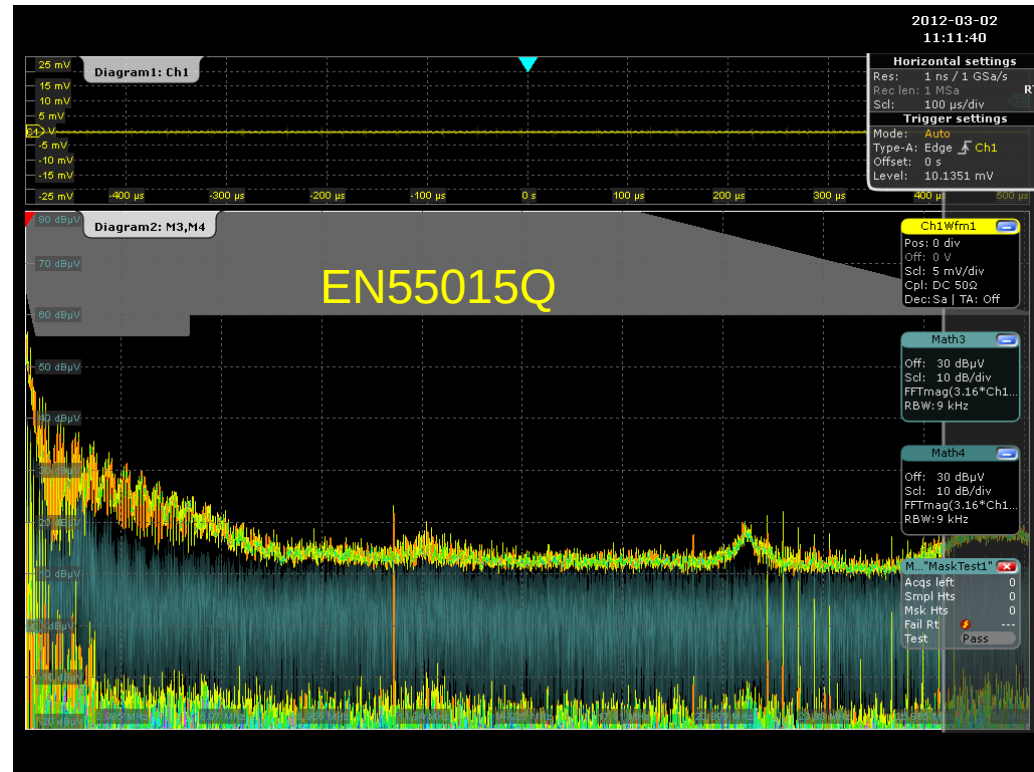
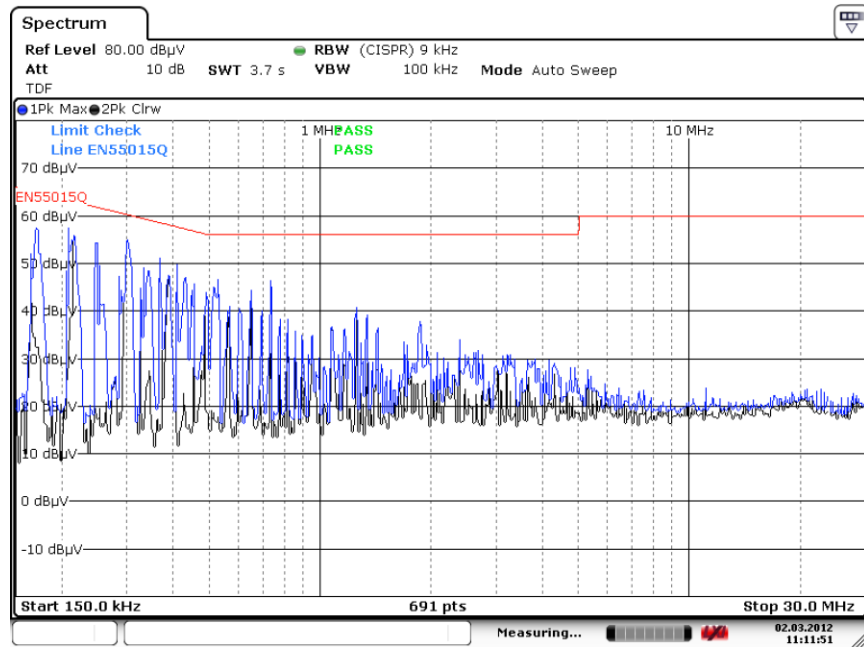
****Novo**** "RTO Debug"

Visualização de "Limit Line"



Testes de EMI - Emissão Conduzida

- Emissão conduzida usando LISN
- 9 kHz – 30 MHz



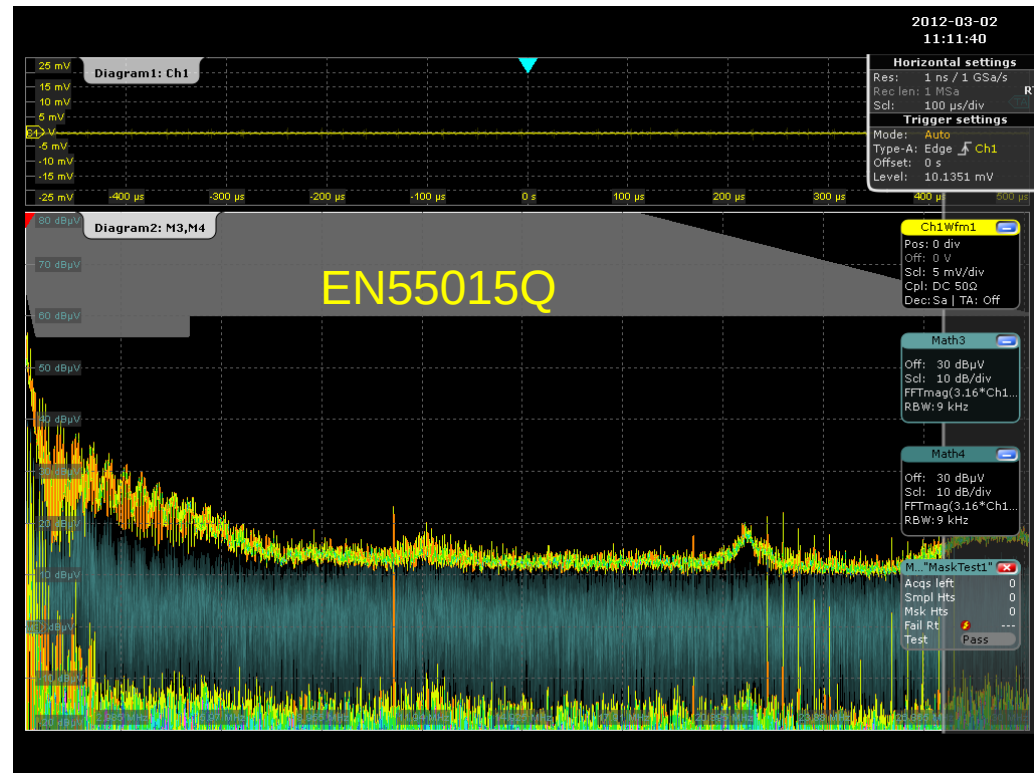
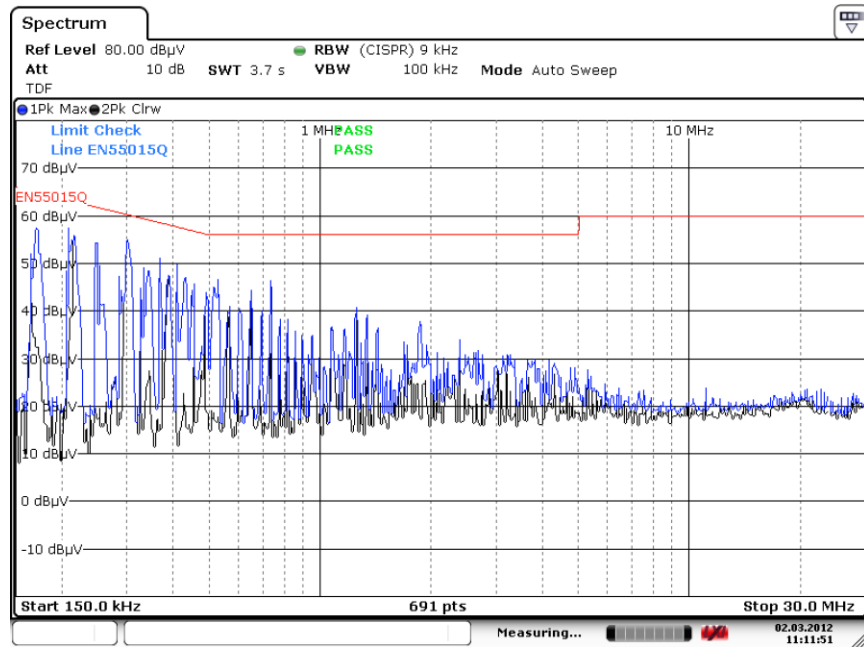
- FSV trace 1 = Max hold / Pos Peak
- FSV trace 2 = Clear Write / Auto Peak

RTO FFT1 = Normal mode

RTO FFT2 = Envelope mode

Testes de EMI - Emissão Conduzida

- Emissão conduzida usando LISN
- 9 kHz – 30 MHz



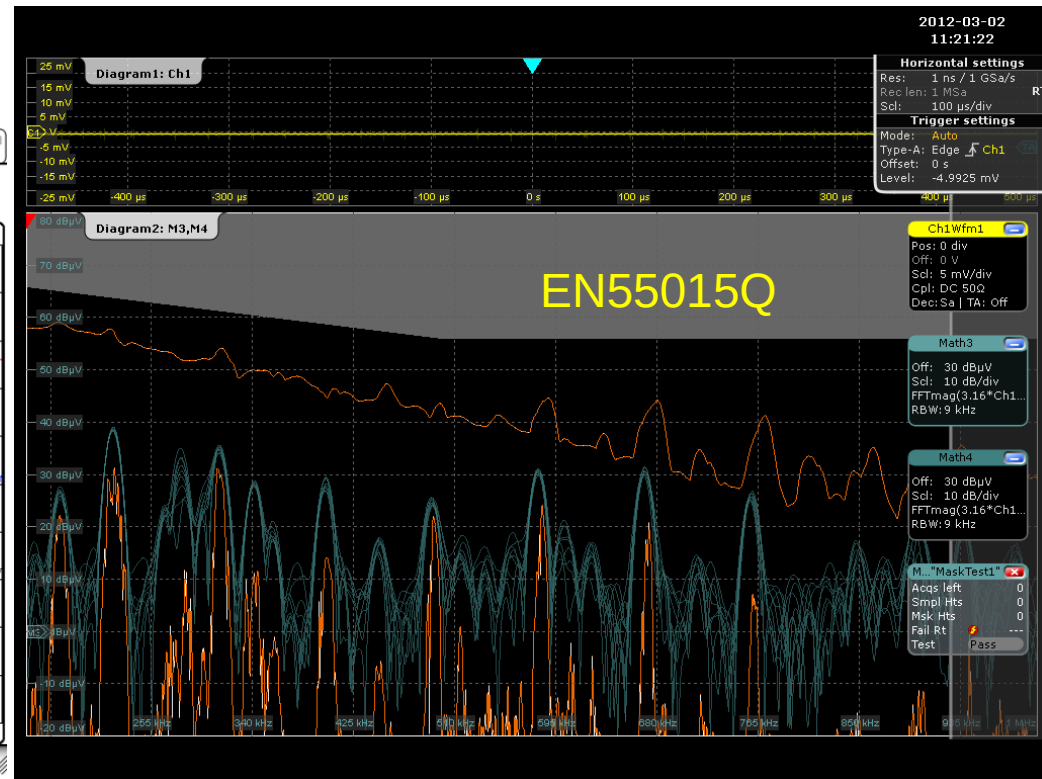
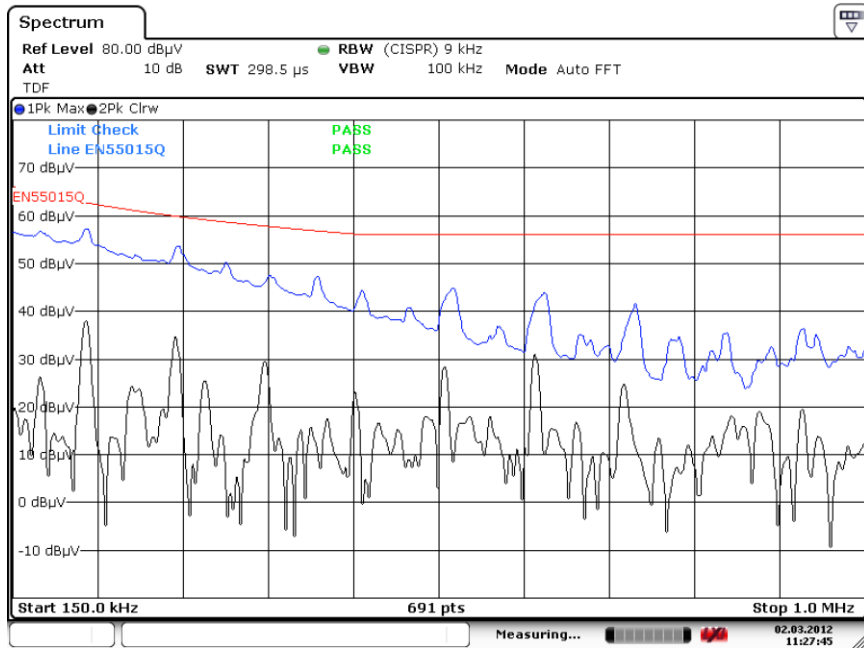
- FSV trace 1 = Max hold / Pos Peak
- FSV trace 2 = Clear Write / Auto Peak

RTO FFT1 = Normal mode

RTO FFT2 = Envelope mode

Testes de EMI - Emissão Conduzida

- Emissões conduzidas usando LISN
- 9 kHz – 1 MHz



- FSV trace 1 = Max hold / Pos Peak
- FSV trace 2 = Clear Write / Auto Peak

RTO FFT1 = Normal mode

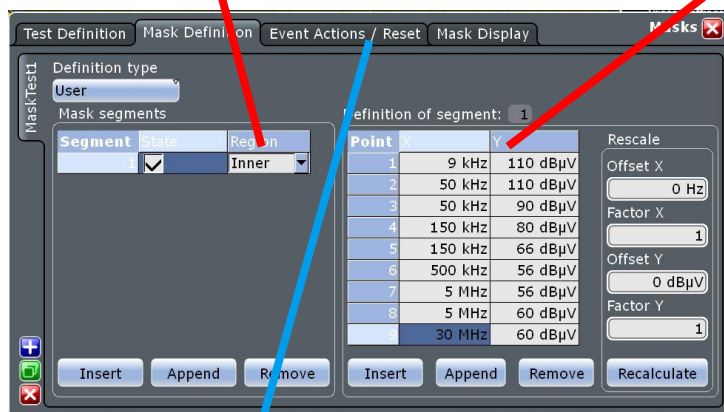
RTO FFT2 = Envelope mode

Testes de EMI - Emissão Conduzida

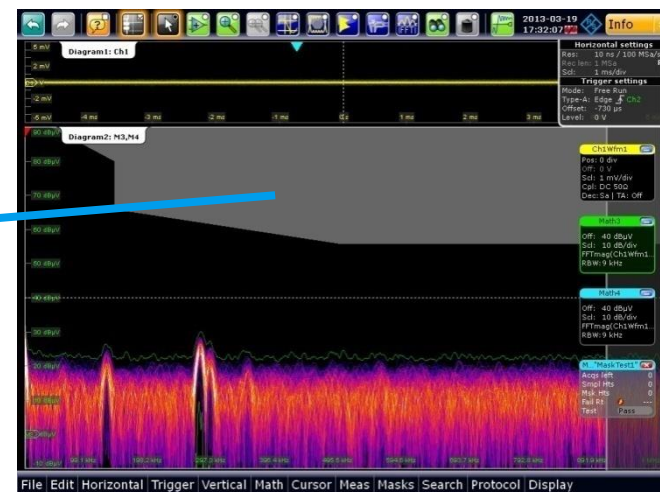
■ Linhas limite → Use a ferramenta de máscara

Upper para linhas limite

Definição da *máscara* FFT



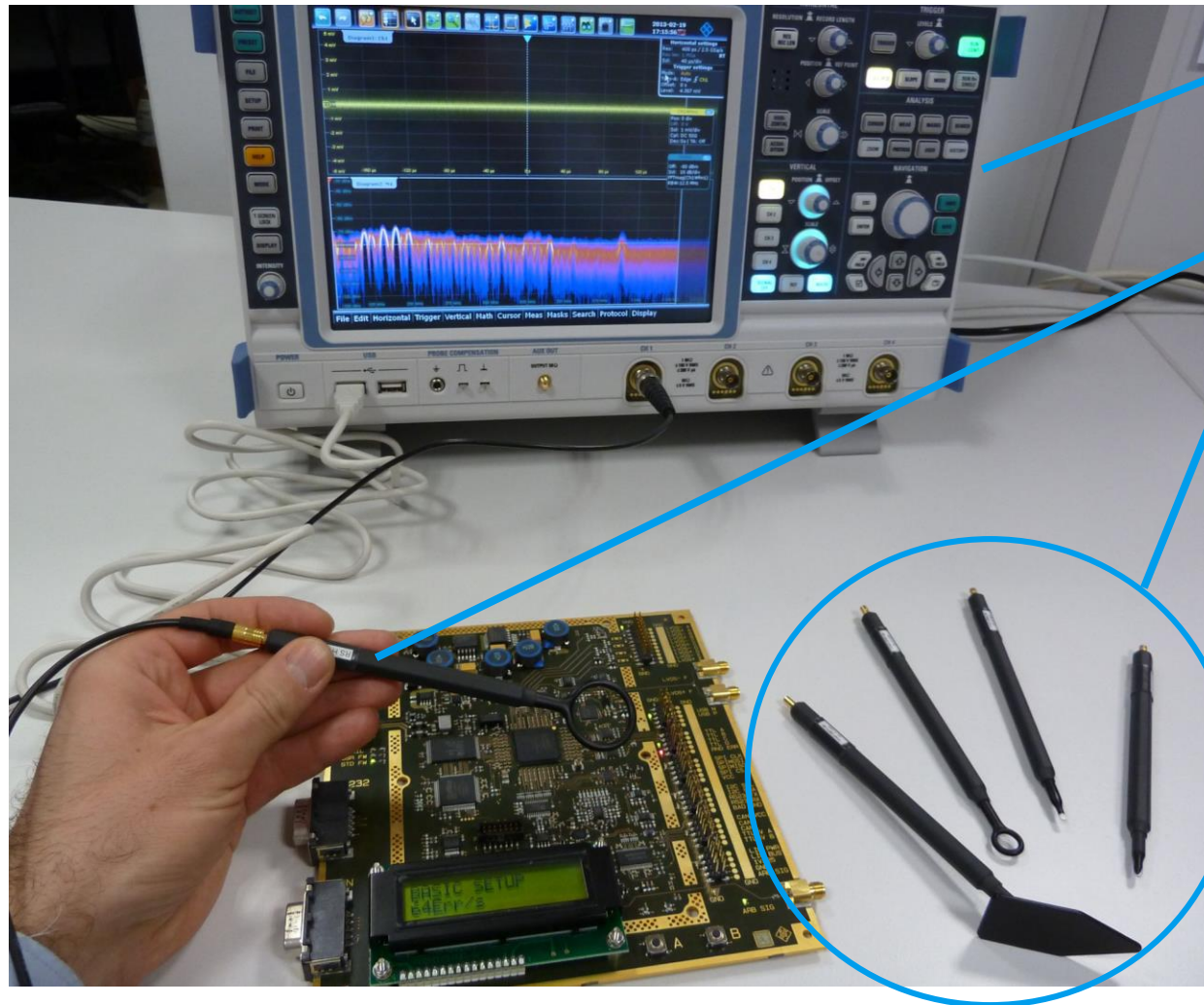
Região superior agindo como linha limite



Parar aquisição na violação é útil!

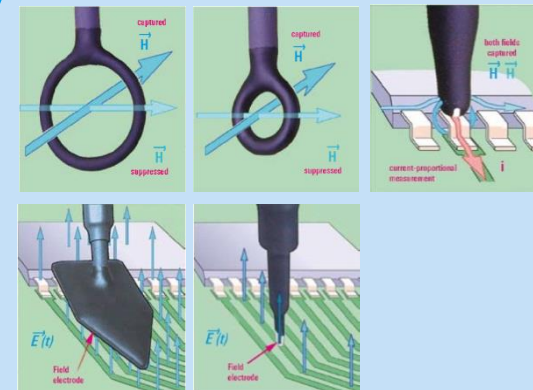
- **Dica:** Utilize a memória interna do RTO para armazenar as máscaras de acordo com as normas da IEC e CISPR. Se preferir utilize a porta USB no painel frontal para armazenar as máscaras em flash drives

Testes de EMI - Emissão Radiada



R&S ® RTO

**Probe de campo
próximo
R&S ® HZ-15**



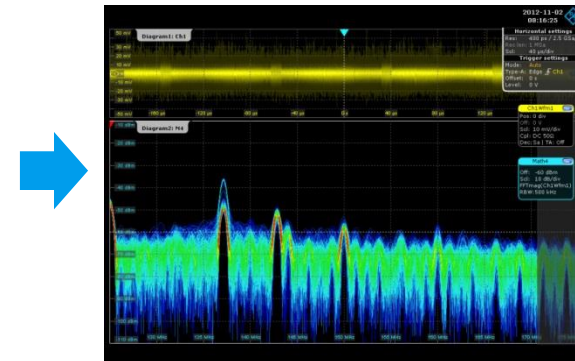
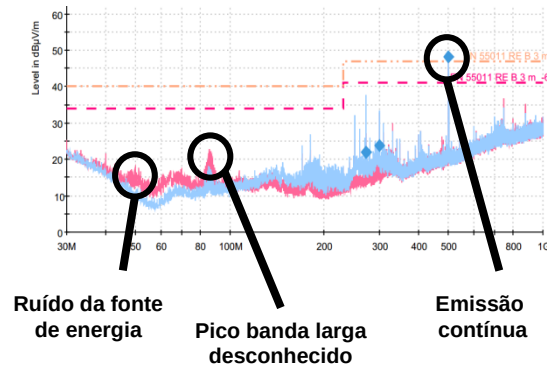
30 MHz – 1 GHz
Pode ser usado até 100 kHz

Opcional:
R&S ® HZ-16
Preamplificador

Testes de EMI - Emissão Radiada

Exemplos:

I A) Problemas durante teste de compliance



- Identificar o local da emissão no circuito
- Entendimento do comportamento do sinal para identificar a fonte

I B) Falhas na blindagem de dispositivos

Problema em teste de compliance



Avalie a blindagem instalada no DUT



Instrumentos para um Setup básico:



Modelos recomendados por aplicação

Apenas emissão **conduzida**:

Modelos a partir de 200MHz

Emissão **radiada** e conduzida:
Modelos de 1GHz

Step 1: choose needed bandwidth and channels		
	2 channels	4 channels
600 MHz	R&S®RTO2002	R&S®RTO2004
1 GHz	R&S®RTO2012	R&S®RTO2014
2 GHz	R&S®RTO2022	R&S®RTO2024
3 GHz	R&S®RTO2032	R&S®RTO2034
4 GHz	—	R&S®RTO2044
6 GHz	—	R&S®RTO2064

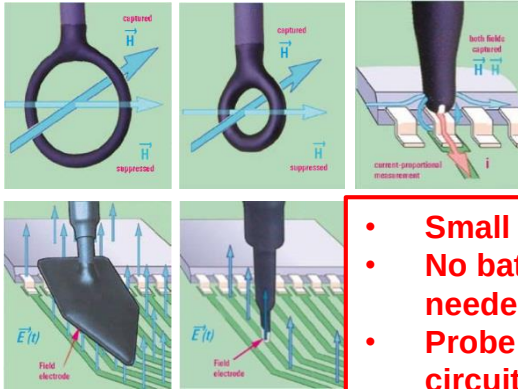
Upgrade de largura de banda disponível!!!

Instrumentos para um Setup básico:

Probes de campo próximo

R&S ® HZ-15

Campos E- H



- Small size
- No battery needed
- Probe single circuit lines

30 MHz – 3 GHz

Pode ser usado até 100 kHz

HZ530

Campos E- H



100 kHz – 1 GHz

HZ540/550

Campos E- H



1 MHz – 3 GHz

R&S ENV216



HM 6050-2



LISN

Vantagens de um setup com RTE/O:

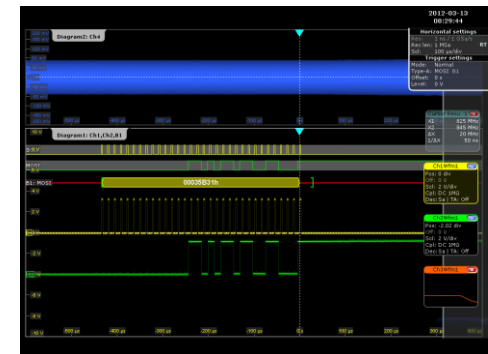
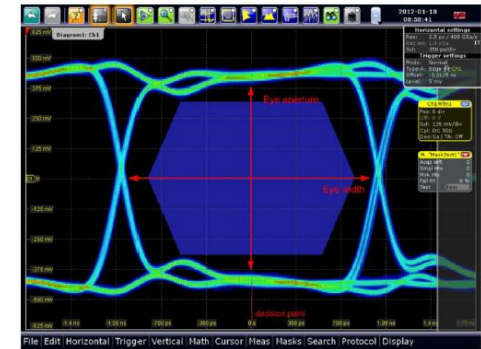
Versatilidade:

O RTE/O podem ser utilizados em outras aplicações

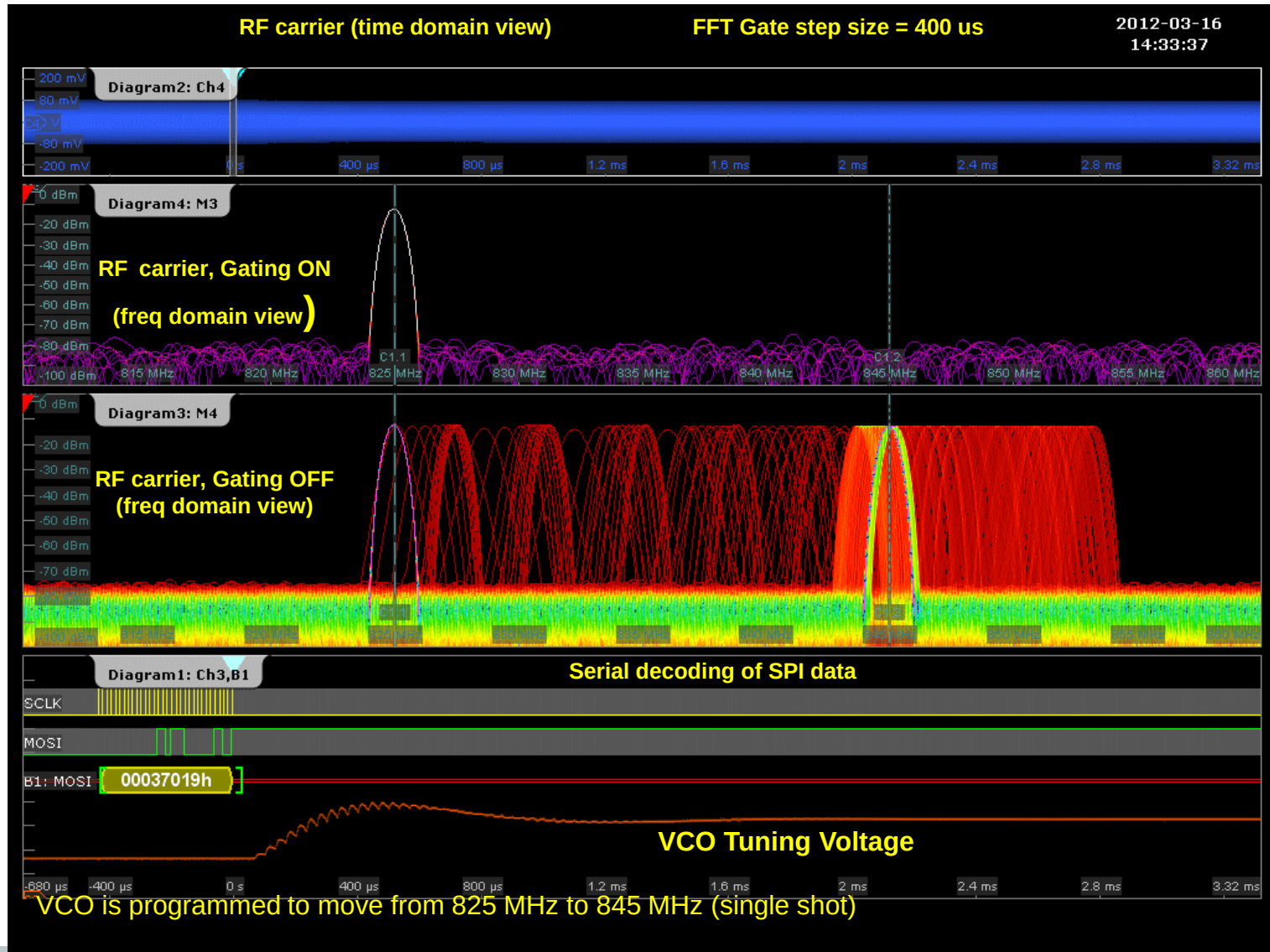
- Debug de protocolos seriais: I2C, SPI, UART/RS232, CAN, LIN, FLEX-RAY, I2S/TDM/LJ/RJ.
- Poderoso MSO com 16 canais digitais, 5GSa/s / 200M pontos por canal;
- USB Compliance Test;
- Análise de Potência;
- Análise de dispositivos com tecnologias NFC / LTE / MIMO;
- Medidas de sinais no domínio do tempo e frequência simultâneos e correlacionados;

Economia:

- Um Setup básico de EMI com o RTE/O fica em média 20% mais econômico que a mesma configuração considerando um Receiver.



Vantagens RTO vs. Receiver:



Osciloscópios Rohde & Schwarz

Desenvolvidos por especialistas em T&M

O mais completo portfólio de produtos para aplicações avançadas



Obrigado!



O verdadeiro Scope-of-the-Art.