

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Relatório de Estágio Supervisionado
Laboratório de Metrologia (LabMet) – UFCG

Larissa da Silva Brito

Campina Grande - PB

Agosto de 2024

Larissa da Silva Brito

Relatório de Estágio Supervisionado
Laboratório de Metrologia (LabMet) – UFCG

Relatório de Estágio Supervisionado apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande.

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE
Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica - CGEE

Edmar Candeira Gurjão, Dr.
(Orientador)

Campina Grande - PB
Agosto de 2024

Larissa da Silva Brito

Relatório de Estágio Supervisionado
Laboratório de Metrologia (LabMet) – UFCG

Relatório de Estágio Supervisionado apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande.

Aprovado em ____ / ____ / ____

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Edmar Candeira Gurjão

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

Campina Grande - PB

Agosto de 2024

"Dedico este trabalho aos meus pais, Josenildo Rodrigues e Jissandra Saionara , por todo amor, apoio e ensinamentos que me proporcionaram ao longo da vida. Ao meu amado marido, Pedro Eder, pela paciência, compreensão e constante incentivo nos momentos mais desafiadores."

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, fonte inesgotável de sabedoria e amor, por guiar meus passos ao longo desta jornada acadêmica. Sua graça e misericórdia foram luzes que iluminaram meu caminho, proporcionando-me força e determinação para superar os desafios e alcançar a conclusão deste trabalho.

À minha família, expresso minha profunda gratidão. Aos meus pais Josenildo e Jissandra e também ao meu avô Arlindo e sua esposa Fátima, cujo apoio incondicional foi meu alicerce, agradeço por cada sacrifício, pelo investimento emocional e financeiro, e por serem fontes inesgotáveis de inspiração. Ao meu amado marido Pedro Eder, agradeço por sua paciência, compreensão e incentivo constante à distância. Seu apoio foi fundamental para que eu pudesse me dedicar aos meus estudos e ir até o fim.

Aos amigos e colegas que estiveram ao meu lado, compartilhando risos, desafios e momentos memoráveis, meu sincero agradecimento. Em especial Bruno Marques, Samuel Cesarino, Leiry Marques, Eduardo Sátiro, Caio Rodrigues, Gabriel Marques e Nathália. Suas palavras de encorajamento, amizade, trocas de ideias e colaboração foram elementos essenciais ao longo dessa jornada. Cada conversa, cada contribuição, moldou positivamente o meu percurso acadêmico. Também sou grata à Alison e Valber por todo apoio obtido no LabMet.

Agradeço a todos que fazem e fizeram parte do meu desenvolvimento acadêmico, em especial a professora Raquel Aline, por seu carisma e pelos incontáveis momentos de conversas e conselhos. Também sou grato ao meu estimado professor e orientador Edmar Candeia por todo apoio e conhecimento transmitido nas minhas pesquisas e nos trabalhos desenvolvidos oriundos do Lapsi e Labmet.

Enfim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, passaram pela minha vida e contribuíram para que eu pudesse me tornar a pessoa que eu sou hoje.

*“Confia no Senhor de todo o teu coração e não te estribes no teu próprio entendimento.”,
(Provérbios 3.5)*

Resumo

Este relatório de estágio aborda as atividades realizadas durante o período de estágio que majoritariamente consistiram na análise das necessidades e desafios enfrentados pelo Laboratório de Metrologia (LabMet) no cumprimento da norma IEC 61000-4-3, que se refere à compatibilidade eletromagnética (CEM) de equipamentos elétricos e eletrônicos. A investigação incluiu uma avaliação detalhada dos equipamentos disponíveis no laboratório, destacando a importância de um ambiente de teste adequadamente estruturado para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados. Durante o estágio, foram identificadas algumas lacunas importantes, como a ausência de adaptadores para sensores isotrópicos e a necessidade de uma câmara para monitoramento na câmara semi-anecoica. Além disso, problemas técnicos com o analisador de espectro foram observados, afetando a capacidade do laboratório de realizar testes de forma integrada.

Palavras-chave: Compatibilidade Eletromagnética (CEM), IEC 61000-4-3, Câmara Semi-Anecoica, Equipamentos, Ambiente de Teste, Testes de Imunidade Eletromagnética.

Abstract

This internship report addresses the activities carried out during the internship period, which mainly consisted of analyzing the needs and challenges faced by the Metrology Laboratory (LabMet) in complying with the IEC 61000-4-3 standard, which refers to electromagnetic compatibility (EMC) of electrical and electronic equipment. The investigation included a detailed assessment of the equipment available in the laboratory, highlighting the importance of an appropriately structured testing environment to ensure the accuracy and reliability of results. During the internship, some important gaps were identified, such as the absence of adapters for isotropic sensors and the need for a camera for monitoring in the semi-anechoic chamber. Additionally, technical issues with the spectrum analyzer were observed, affecting the laboratory's ability to perform tests in an integrated manner.

Keywords: Electromagnetic Compatibility (EMC), IEC 61000-4-3, Semi-Anechoic Chamber, Equipment, Test Environment, Electromagnetic Immunity Tests.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Interior de uma câmara semi anecoica automotiva	4
Figura 2 – Parte externa da câmara Semi-aneecóica	10
Figura 3 – Parte interna da câmara Semi-aneecóica	11
Figura 4 – TS9982 EMS Test <i>System</i> (rack)	13
Figura 5 – Conexões do rack com a câmara	14
Figura 6 – Controlador de Posicionamento Multidispositivo Modelo 2090.	15
Figura 7 – Painel frontal do modelo 2090.	16
Figura 8 – Analisador de Espectro ESPI7.	19
Figura 9 – Visão frontal do Analisador de Espectro ESPI7.	20
Figura 10 – Visão traseira do Analisador de Espectro ESPI7.	20
Figura 11 – Painel frontal do Gerador de Sinais R&S SMB100A	24
Figura 12 – O gerador de sinais entrega um sinal de teste ao dispositivo sob teste (DUT) para avaliar sua funcionalidade.	24
Figura 13 – Teclas de utilidades.	25
Figura 14 – Tecla ON/STANDBY.	25
Figura 15 – Botões do painel frontal do instrumento.	27
Figura 16 – Teclas para entrada de dados.	29
Figura 17 – Botões do painel frontal do instrumento.	30
Figura 18 – Botões do painel frontal do instrumento.	31
Figura 19 – Conectores do painel traseiro do instrumento R&S SMB100A.	32
Figura 20 – Amplificador de Potência	35
Figura 21 – Amplificador de Potência	37
Figura 22 – Visualização de Funções do Amplificador de Potência	37
Figura 23 – Amplificador de Potência	38
Figura 24 – LISN presente no LabMet do DEE/UFMG	41
Figura 25 – LISN presente no LabMet do DEE/UFMG	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Descrição das teclas de entrada de dados	29
---	----

Lista de abreviaturas e siglas

CISPR - Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques

EN - European Norm

ETS - European Telecommunication Standard

FCC - Federal Communications Commission

ANSI - American National Standards Institute

VCCI - Voluntary Control Council for Interference

VDE - Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik

EMI - Interferência Eletromagnética

EMC - Compatibilidade Eletromagnética

EUT - Equipamento sob Teste

IEC - International Electrotechnical Commission

CEM - Compatibilidade Eletromagnética

RAM - *Random Access Memory*

RTC - *Real Time Clock*

RF - Radiofrequência

UFA - Área de Campo Uniforme (*Uniform Field Area*)

DUT - Dispositivo sob Teste (*Device Under Test*)

LISN - *Line Impedance Stabilization Network*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Ambiente do Estágio	1
1.2	Objetivos	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1	Compatibilidade e Interferência Eletromagnética	3
2.2	A Norma IEC 61000-4-3	5
2.2.1	Estrutura da Norma IEC 61000-4-3	5
2.2.1.1	Termos e Definições	6
2.2.2	Procedimentos de Teste	7
2.2.2.1	Condições de Referência do Laboratório	7
2.2.2.2	Execução do Teste	7
2.2.2.3	Calibração e Verificação	8
2.2.2.4	Orientações para o Teste	8
2.2.3	Avaliação dos Resultados	9
2.2.3.1	Classificação dos Resultados	9
3	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	10
3.1	Descrição dos Equipamentos	10
3.1.1	Câmara Semi-anecóica SpaceSaver PC	10
3.1.2	TS9982 EMS Test System	13
3.1.3	Controlador de Posicionamento Multidispositivo	14
3.1.4	Analizador de Espectro / Receptor de Teste ESPI7	18
3.1.5	Gerador de Sinais R&S SMB100A	23
3.1.6	Amplificador de de banda dupla	35
3.1.7	R&S OSP (<i>Open Switch and Control Platform</i>)	36
3.1.8	Amplificador de banda dupla	38
3.1.9	Estabilizador de Impedância de Linha (LISN)	40
3.2	Análise das Necessidades do Laboratório	46
3.2.1	Ausência de um trabalho de descrição dos equipamentos	46
3.2.2	Desafios Relacionados aos Equipamentos de Teste no LabMet	47
3.2.2.1	Adaptadores para Sensores Isotrópicos	47
3.2.2.2	Analizador de Espectro	47
3.2.2.3	Câmera na Câmara Semi-Anecoica	48
4	CONCLUSÕES	49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
-----------------------------------	-----------

1 Introdução

O presente relatório descreve as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado realizado no Laboratório de Metrologia (Labmet) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O estágio, com duração de 180 horas, foi realizado entre 7 de julho e 13 de agosto, sob a supervisão do professor Edmar Candeia Gujão. As atividades realizadas focaram no aprendizado e na familiarização com os equipamentos que operam em conjunto com a câmara anecoica para medições e testes de compatibilidade eletromagnética. Além disso, buscou-se conhecer os equipamentos do rack, como geradores de sinais e amplificadores de potência, e compreender as necessidades atuais do Labmet. Este relatório apresenta uma descrição detalhada dessas atividades, bem como as conclusões obtidas e sugestões para futuras melhorias no laboratório.

1.1 Ambiente do Estágio

O Laboratório de Metrologia (LabMet) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) é equipado com tecnologia que permite a realização de testes de emissão e medições de Compatibilidade Eletromagnética (CEM). Essa infraestrutura oferece aos estagiários uma oportunidade única de aprendizado e prática, uma vez que apenas um seleto número de universidades e centros de pesquisa no país possui instalações tão especializadas para realizar testes de conformidade em CEM. Este ambiente propicia não apenas a aplicação de teorias aprendidas em sala de aula, mas também o desenvolvimento de habilidades técnicas em um campo que é essencial para garantir a segurança e a eficácia de dispositivos eletrônicos em um mundo cada vez mais interconectado.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estágio é desenvolver uma compreensão aprofundada dos equipamentos e normas utilizadas no contexto de testes de Compatibilidade Eletromagnética (EMC) no Laboratório de Metrologia (LabMet) da Universidade Federal de Campina Grande. Como forma de mapear e organizar as etapas necessárias para atingir o objetivo geral proposto, as atividades foram divididas da seguinte forma:

- Descrever as características técnicas dos equipamentos usados para testes EMC, incluindo suas funcionalidades, teclas e comandos principais;
- Identificar as aplicações práticas dos equipamentos no contexto de medições de Compatibilidade Eletromagnética;

-
- Estudar a norma IEC 61000-4-3 para compreender seus requisitos e aplicações em testes de imunidade radiada, preparando o laboratório para futuras implementações;
 - Desenvolver recomendações para melhorias e atualizações no laboratório, baseadas na análise das práticas atuais e nas necessidades identificadas.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Compatibilidade e Interferência Eletromagnética

O ambiente eletromagnético em que vivemos é composto por uma variedade de fontes de radiação eletromagnética, como transmissores de rádio e televisão, telefones celulares, dispositivos de comunicação sem fio e equipamentos industriais. Estes campos eletromagnéticos podem interferir no funcionamento de dispositivos eletrônicos, causando falhas ou mau funcionamento. É essencial que esses dispositivos sejam testados para garantir que possam operar de forma confiável em diferentes condições de exposição eletromagnética. Neste contexto, surge a importância da Compatibilidade Eletromagnética (CEM), que assegura a coexistência harmoniosa dos dispositivos em um ambiente repleto de emissões eletromagnéticas.

A Compatibilidade Eletromagnética (CEM) refere-se à habilidade de um dispositivo ou sistema de operar eficientemente dentro de um ambiente eletromagnético sem causar ou sofrer interferências prejudiciais de outros dispositivos. Segundo a *International Electrotechnical Commission* (IEC), um equipamento é considerado compatível eletromagneticamente se:

- O nível de ruído eletromagnético emitido não interfere no funcionamento de outros dispositivos elétricos ou eletrônicos;
- O dispositivo não causa interferência em seu próprio funcionamento;
- O equipamento não é suscetível a interferências provenientes de outras fontes de ruído eletromagnético.

Interferência Eletromagnética

A Interferência Eletromagnética (IEM) refere-se a distúrbios eletromagnéticos que podem se propagar pelo ar ou através de outros meios, como linhas de distribuição de energia elétrica. Esses distúrbios podem comprometer o desempenho dos dispositivos eletrônicos. De modo geral, os circuitos eletrônicos geram campos eletromagnéticos ao seu redor, o que leva à transferência de energia entre o dispositivo que origina o distúrbio (a fonte) e aquele que é afetado por ele (a vítima). Essa transferência pode ocorrer por meio de indução, irradiação, condução ou por uma combinação desses mecanismos. Em todos os cenários, há uma fonte de energia eletromagnética, um dispositivo que reage a essa energia e um meio de transmissão que permite a transferência de energia entre os dispositivos.

A IEM é responsável por uma variedade de problemas em dispositivos eletrônicos, como interrupções na comunicação entre componentes de uma rede de computadores, acionamento inesperado de alarmes, falhas intermitentes e aleatórias, e danos em circuitos eletrônicos (PAUL, 1992).

A Câmara Semi-anecoica

Uma câmara semi-anecoica é um ambiente projetado para isolar ruídos externos, com paredes blindadas e aterradas, revestidas por materiais que absorvem radiofrequências. Essa configuração cria condições ideais para evitar que influências externas comprometam os resultados de experimentos, como testes de interferência e susceptibilidade eletromagnética, que normalmente seriam realizados em campo aberto.

No interior da câmara semi-anecoica, as reflexões de ondas eletromagnéticas são minimizadas por meio de revestimentos especiais chamados absorvedores. Esses absorvedores são compostos de espuma emborrachada, impregnada com misturas específicas de carbono e ferro, garantindo que o material não seja nem um bom condutor nem um bom isolante. Isso é importante, pois tanto condutores quanto isolantes puros não absorveriam adequadamente a energia eletromagnética.

Para aumentar a eficiência da câmara semi-anecoica, os absorvedores devem ter formato piramidal, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Interior de uma câmara semi anecoica automotiva



Fonte: Emc Fastpass

As pontas dessas estruturas são voltadas para dentro do ambiente, o que maximiza o número de reflexões das ondas dentro da estrutura e reduz sua intensidade. No entanto, para garantir a longevidade desses absorvedores, é necessário manter a temperatura e a umidade dentro de certos limites (WEINZIERL, 2004).

2.2 A Norma IEC 61000-4-3

A Norma IEC 61000-4-3 faz parte de uma série de normas internacionais desenvolvidas para garantir a compatibilidade eletromagnética (EMC) de equipamentos elétricos e eletrônicos. O objetivo principal desta norma é estabelecer um método consistente para testar a imunidade de equipamentos a campos eletromagnéticos irradiados de radiofrequência (RF), assegurando que esses dispositivos funcionem corretamente mesmo quando expostos a esses campos.

A norma estabelece os níveis de teste e os procedimentos necessários para avaliar a imunidade de equipamentos elétricos e eletrônicos a campos eletromagnéticos irradiados. O objetivo é fornecer uma referência comum para fabricantes e engenheiros para avaliar a capacidade dos dispositivos de resistirem a interferências eletromagnéticas, garantindo assim a confiabilidade e a segurança no uso desses equipamentos. Assim sendo, seguir a Norma IEC 61000-4-3 é crucial para garantir a compatibilidade eletromagnética dos dispositivos, prevenindo interferências que poderiam causar falhas em equipamentos críticos, como dispositivos médicos, sistemas de comunicação e controles industriais.

A IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional) é a organização responsável pela criação e manutenção desta norma. A IEC é composta por comitês nacionais de diversos países, que colaboram para desenvolver normas que promovem a padronização internacional nos campos elétrico e eletrônico. Fabricantes, engenheiros de produto, laboratórios de teste e organismos de certificação seguem a IEC 61000-4-3 para garantir que seus produtos sejam compatíveis com os requisitos de EMC ([INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2010](#)).

2.2.1 Estrutura da Norma IEC 61000-4-3

A norma IEC 61000-4-3 é uma parte crucial da série de normas IEC 61000, que trata da compatibilidade eletromagnética (EMC) de equipamentos elétricos e eletrônicos. Esta norma específica foca nos testes de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados de radiofrequência. Abaixo estão as principais seções que compõem a norma:

- **Escopo:** A norma aplica-se aos requisitos de imunidade de equipamentos elétricos e eletrônicos à energia eletromagnética irradiada. Ela estabelece os níveis de teste e os procedimentos necessários para garantir a imunidade dos dispositivos a campos de radiofrequência.
- **Objetivo:** O principal objetivo da IEC 61000-4-3 é fornecer um referencial comum para avaliar a imunidade de equipamentos quando submetidos a campos eletromagnéticos irradiados. Isso assegura que os equipamentos possam operar corretamente mesmo em ambientes com alta exposição a radiofrequências.

2.2.1.1 Termos e Definições

Esta seção define termos importantes usados ao longo da norma, como modulação de amplitude, câmara anecoica, antena, campo eletromagnético, campo distante, intensidade do campo, polarização, entre outros. Esses termos estabelecem uma compreensão comum necessária para a aplicação adequada dos testes.

Níveis de Teste

- A norma especifica diferentes níveis de intensidade de campo que devem ser utilizados durante os testes, variando de 1 V/m a 30 V/m. Os níveis de teste são associados a diferentes tipos de dispositivos e suas aplicações.
- Há uma distinção entre os níveis de teste para propósitos gerais e aqueles destinados à proteção contra emissões de radiofrequência de dispositivos emissores intencionais, como telefones móveis.

Equipamentos de Teste

Detalha os tipos de equipamentos recomendados para os testes, incluindo câmaras anecoicas, filtros EMI, geradores de sinal RF, amplificadores de potência, antenas geradoras de campo, e sensores de campo isotrópicos. A seção também discute a importância de garantir que o equipamento auxiliar seja imune ao campo gerado para não afetar os resultados do teste.

Procedimentos de Teste

Explica o procedimento passo a passo para a execução dos testes de imunidade, desde a verificação das condições de referência do laboratório até a avaliação dos resultados dos testes. Enfatiza a necessidade de realizar testes em condições que simulem o uso real do equipamento e a importância de documentar o processo detalhadamente.

Avaliação dos Resultados

A norma sugere a classificação dos resultados dos testes em termos de perda de função ou degradação do desempenho do equipamento, ajudando a determinar se o equipamento atende aos critérios de desempenho estabelecidos pelo fabricante ou pela norma do produto.

Relatório de Teste

Define os requisitos para a documentação dos testes realizados, garantindo que todas as informações necessárias para reproduzir o teste sejam registradas, incluindo

detalhes sobre o EUT, as condições de teste e os critérios de desempenho.

2.2.2 Procedimentos de Teste

Os procedimentos de teste estabelecidos pela norma IEC 61000-4-3 são fundamentais para garantir a uniformidade e a precisão dos resultados obtidos. Esses procedimentos visam avaliar a imunidade de equipamentos elétricos e eletrônicos a campos eletromagnéticos irradiados. A seguir, são descritos os principais passos do procedimento de teste:

2.2.2.1 Condições de Referência do Laboratório

Para minimizar o impacto de parâmetros ambientais nos resultados dos testes, estes devem ser conduzidos sob condições climáticas e eletromagnéticas de referência.

Condições Climáticas

- As condições climáticas no laboratório devem estar dentro dos limites especificados para a operação do EUT (Equipamento sob Teste) e dos equipamentos de teste por seus respectivos fabricantes.
- Os testes não devem ser realizados se a umidade relativa for tão alta a ponto de causar condensação no EUT ou nos equipamentos de teste.

Condições Eletromagnéticas

As condições eletromagnéticas do laboratório devem garantir a operação correta do EUT, de modo a não influenciar os resultados do teste.

2.2.2.2 Execução do Teste

O teste deve ser realizado com base em um plano de teste que inclua a verificação do desempenho do EUT conforme definido na especificação técnica. O EUT deve ser testado em condições normais de operação.

- **Plano de Teste:** O plano deve especificar o tamanho do EUT, as condições operacionais representativas, se o EUT será testado como equipamento de mesa ou de chão, ou uma combinação dos dois.
- **Configuração de Teste:** Deve incluir a altura do suporte para equipamentos de chão, o tipo de instalação de teste a ser usada, a posição das antenas irradiadoras e o tipo de antenas a serem usadas.
- **Faixa de Frequência:** Detalha a faixa de frequência, o tempo de permanência e os passos de frequência.

- **Área de Campo Uniforme:** Determina o tamanho e a forma da área de campo uniforme (UFA) e se alguma iluminação parcial é usada.
- **Nível de Teste:** Define o nível de teste a ser aplicado, os tipos e número de fios de interconexão usados e a porta de interface do EUT à qual eles serão conectados.
- **Critérios de Desempenho:** Especifica os critérios de desempenho aceitáveis e descreve o método usado para exercitar o EUT.

2.2.2.3 Calibração e Verificação

Antes do teste, a intensidade do campo calibrado deve ser verificada para garantir que o equipamento/sistema de teste esteja operando corretamente. Após a verificação da calibração, o campo de teste pode ser gerado usando os valores obtidos da calibração.

2.2.2.4 Orientações para o Teste

- O EUT é inicialmente colocado com uma face coincidindo com o plano de calibração. A face do EUT a ser iluminada deve estar contida dentro da UFA, a menos que seja aplicada iluminação parcial.
- As faixas de frequência a serem consideradas são varridas com o sinal modulado conforme as seções anteriores, ajustando o nível do sinal RF ou alternando os osciladores e antenas conforme necessário.
- O tempo de permanência do portador modulado em amplitude em cada frequência não deve ser inferior ao tempo necessário para o EUT ser exercitado e responder, mas não deve ser inferior a 0,5 segundos.
- O teste deve ser realizado normalmente com a antena geradora voltada para cada lado do EUT. A polarização do campo gerado por cada antena requer que cada lado selecionado seja testado duas vezes, uma com a antena posicionada verticalmente e outra horizontalmente.
- Durante os testes, tentativas devem ser feitas para exercitar completamente o EUT e interrogar todos os modos críticos de exercício selecionados para o teste de imunidade. Recomenda-se o uso de programas de exercício especiais.

Este procedimento observado na norma visa garantir a repetibilidade dos resultados em diferentes instalações de teste e a análise qualitativa dos efeitos da radiação eletromagnética no equipamento testado.

2.2.3 Avaliação dos Resultados

A avaliação dos resultados dos testes de imunidade eletromagnética é um processo crítico que visa determinar o impacto dos campos eletromagnéticos irradiados no desempenho do equipamento sob teste (EUT). A norma IEC 61000-4-3 fornece diretrizes para classificar os efeitos observados durante o teste, permitindo a identificação de possíveis problemas e garantindo que o equipamento opere conforme esperado em seu ambiente de uso.

2.2.3.1 Classificação dos Resultados

Os resultados dos testes são classificados de acordo com a resposta do EUT à exposição aos campos eletromagnéticos, considerando o nível de funcionalidade mantido durante e após o teste:

- **Desempenho Normal:** O EUT continua operando dentro dos limites especificados sem qualquer degradação perceptível. Esta classificação indica que o equipamento é capaz de suportar a exposição sem sofrer impactos adversos significativos.
- **Perda Temporária de Função:** O EUT experimenta uma perda temporária de função ou uma degradação no desempenho durante a exposição, mas retorna ao seu estado normal de operação automaticamente assim que a interferência cessa. Esta resposta é aceitável em muitos casos, desde que a recuperação seja rápida e completa.
- **Intervenção Necessária:** O EUT sofre uma perda de função ou degradação no desempenho que requer intervenção manual para restaurar a operação normal. Embora o equipamento não seja danificado permanentemente, a necessidade de intervenção é um fator a ser considerado na avaliação geral da imunidade do dispositivo.
- **Perda Permanente de Função:** O EUT não consegue recuperar a funcionalidade normal após a exposição, devido a danos permanentes em **hardware** ou **software**, ou à perda de dados críticos. Este resultado é inaceitável e indica uma falha na imunidade do equipamento.

3 Atividades Desenvolvidas

3.1 Descrição dos Equipamentos

3.1.1 Câmara Semi-aneecóica SpaceSaver PC

A SpaceSaver PC presente no LabMet (Fig. 2 e Fig. 3) é uma câmara semi-aneecóica projetada para realizar medições de imunidade radiada pré-conformes com as normas ANSI C63.4/CISPR 16-1-4 e IEC 61000-4-3. Além disso, ela pode ser utilizada para pré-varreduras de medições de emissões radiadas pré-conformes com a norma ANSI C63.4, com varredura de altura limitada.

Figura 2 – Parte externa da câmara Semi-aneecóica



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 3 – Parte interna da câmara Semi-aneecóica



Fonte: Elaborado pela autora.

A câmara SpaceSaver PC é classificada como semi-anecoica porque suas paredes, teto e, em alguns casos, o piso, são revestidos com materiais que absorvem ondas eletromagnéticas, como ferrite e absorvedores de espuma. Esses materiais minimizam as reflexões internas, simulando um ambiente de espaço livre. No entanto, o chão é geralmente condutivo e reflete ondas eletromagnéticas de maneira controlada. Essa combinação é crucial para medições de imunidade e emissões radiadas, replicando condições reais de instalação. O design semi-anecoico permite realizar uma ampla gama de testes de compatibilidade eletromagnética, controlando reflexões internas e simulando condições reais de operação (ETS-Lindgren, 2024).

Características Técnicas

- **Faixa de Frequência:** 80 MHz - 40 GHz.
- **Altura de Varredura:** 1 m - 1,5 m.
- **Dimensões Exteriores (com Aço Estrutural):** 6,3 m x 3,3 m x 2,6 m.
- **Dimensões Interiores:** 6,1 m x 3,1 m x 2,4 m.

- **Zona Silenciosa para Teste de Emissão:** 1,2 m x 2,0 m.
- **Uniformidade de Campo:** 0 a 6 dB na área de 1,0 m x 1,0 m.

Funcionalidades e Benefícios

A SpaceSaver PC oferece várias funcionalidades que a tornam ideal para testes EMC para o LabMet:

- **Conformidade com Imunidade Radiada:** Projetada para atender às normas IEC 61000-4-3.
- **Pré-Conformidade com Emissões Radiadas:** Capaz de realizar pré-varreduras de emissões radiadas de acordo com ANSI C63.4/CISPR 16-1-4.
- **Configurações Personalizáveis:** Permite ajustes e personalizações para atender às necessidades específicas do laboratório.

Procedimentos de Instalação e Aplicação

Para a instalação da câmara SpaceSaver PC, é crucial seguir as orientações de segurança e os procedimentos corretos:

1. **Configuração da Blindagem:** A câmara deve ser equipada com uma porta de folha simples operada manualmente, blindada por RF, além de saídas de onda e painéis de conector adequados.
2. **Conexões Elétricas:** É importante garantir a instalação correta dos filtros de linha de alimentação e luminárias de canto, seguindo as especificações elétricas.
3. **Testes de Blindagem:** Deve-se realizar testes de blindagem conforme IEEE-299/MIL-STD 285 para assegurar a eficácia da blindagem contra interferências.

Operação da Câmara SpaceSaver PC

Para a operação da câmara SpaceSaver PC:

1. **Seleção de Linha:** Utiliza-se os conectores e painéis de conector para configurar o equipamento sob teste (EUT) dentro da câmara.
2. **Medição de Imunidade Radiada:** O EUT e os equipamentos de medição devem ser configurados de acordo com as normas IEC 61000-4-3 para realizar testes de imunidade radiada.

3. **Pré-Varredura de Emissões Radiadas:** As pré-varreduras de emissões radiadas devem ser realizadas seguindo as diretrizes da norma ANSI C63.4, ajustando a altura de varredura entre 1 m e 1,5 m.

Manutenção

A manutenção da SpaceSaver PC deve ser realizada regularmente para garantir seu desempenho ideal:

- **Verificação de Conexões e Cabos:** Recomenda-se inspecionar periodicamente todas as conexões e cabos para detectar possíveis desgastes ou danos.
- **Limpeza da Câmara:** É necessário manter a câmara limpa, removendo poeira e detritos que possam afetar a precisão das medições. Recomenda-se a retirada dos calçados para adentrar-se no ambiente interno da câmara.
- **Calibração de Equipamentos:** A calibração regular dos equipamentos de medição é essencial para assegurar a precisão dos resultados.

3.1.2 TS9982 EMS Test System

O TS9982 EMS Test *System* da Rohde & Schwarz é um sistema modular que normalmente é montado em um rack, como o mostrado nas figuras 4 e 5 . O rack acomoda vários equipamentos necessários para conduzir testes de compatibilidade eletromagnética (ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG, 2020).

Figura 4 – TS9982 EMS Test *System* (rack)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 – Conexões do rack com a câmara



Fonte: Elaborado pela autora.

A estrutura em rack permite organizar os diversos instrumentos e componentes necessários para os testes de EMC de forma modular e organizada, onde cada equipamento ocupa uma posição específica, facilitando o acesso e a operação. Além disso, a configuração em rack facilita o gerenciamento de cabos, mantendo-os organizados e minimizando a interferência eletromagnética entre os diferentes componentes.

3.1.3 Controlador de Posicionamento Multidispositivo

O Controlador de Posicionamento Multidispositivo Modelo 2090 da ETS-Lindgren (Fig.6) é um equipamento avançado projetado para controlar diversos dispositivos de posicionamento, como torres de antena, mesas giratórias, pás de reverberação e posicionadores multi-eixo. Este controlador é fundamental para a realização de uma ampla gama de testes, incluindo conformidade de EMC (Compatibilidade Eletromagnética), medições de padrão de antena, entre outros. Sua capacidade de sincronizar e controlar de forma independente dois dispositivos primários, tanto em modos manuais quanto remotos, o torna uma ferramenta indispensável em laboratórios de teste e medição (ETS-Lindgren, 2006).

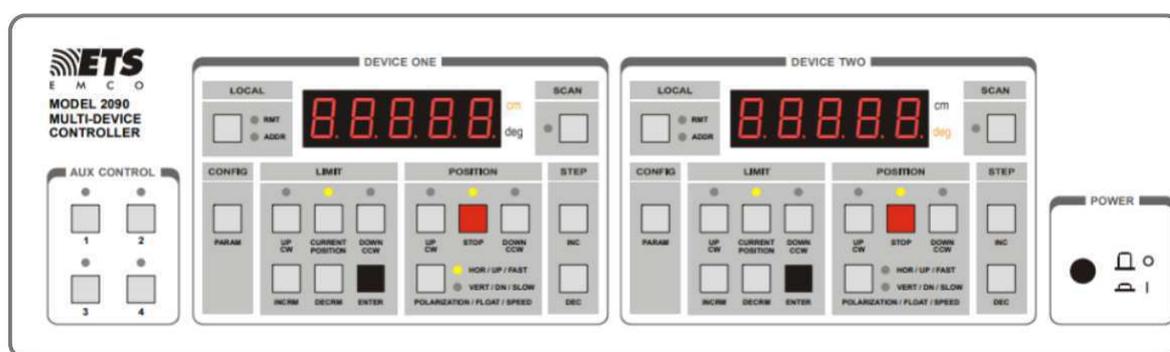
Figura 6 – Controlador de Posicionamento Multidispositivo Modelo 2090.



Fonte: (Atecorp)

O Modelo 2090 é capaz de controlar simultaneamente dois dispositivos primários e até quatro dispositivos auxiliares. Cada dispositivo primário é conectado através de linhas de controle de fibra óptica bidirecionais, eliminando sinais de RF indesejados que poderiam ser conduzidos por cabos de sinal convencionais. As teclas de função permitem ao usuário configurar parâmetros específicos de cada dispositivo, ajustar limites e configurações de posição, e controlar o movimento dos dispositivos. Para o Labmet, o modelo 2090 é utilizado para controlar torres e mesas giratórias da ETS-Lindgren durante testes de emissões radiadas, seja de forma manual ou totalmente automatizada. O controlador pode ajustar a altura da torre e a polarização da antena, além de controlar a rotação da mesa giratória a partir da estação do operador através do painel frontal da Figura 7. Essa funcionalidade é essencial para detectar o máximo sinal emitido pelo equipamento sob teste (EUT) em diferentes ângulos e alturas.

Figura 7 – Painel frontal do modelo 2090.



Fonte: Elaborado pela autora.

Bloco de Controle Auxiliar

Fornece teclas de entrada e indicadores para as quatro portas de controle auxiliar. Pressionar uma tecla alternará a saída auxiliar correspondente e o indicador para ligar ou desligar.

Bloco de Controle do Dispositivo Um

Fornece a interface do usuário para o Dispositivo Primário 1.

- **LOCAL**: Alterna entre controle local e remoto.
- **SCAN**: Inicia ou para o modo de escaneamento.
- **CONFIG (PARAM)**: Acessa e percorre a lista de parâmetros.
- **LIMIT**:
 - **UP/CW**: Define o limite superior ou movimento para cima/horário.
 - **DOWN/CCW**: Define o limite inferior ou movimento para baixo/anti-horário.
 - **CURRENT POSITION**: Mostra a posição atual.
- **POSITION**:
 - **STOP**: Para o movimento do dispositivo.
 - **UP**: Move o dispositivo para cima.
 - **DOWN**: Move o dispositivo para baixo.
 - **POLARIZATION/FLOAT/SPEED**: Alterna entre diferentes modos de operação, como polarização e velocidade.

- **STEP:**
 - **INC:** Aumenta valores ou move para cima/horário.
 - **DEC:** Diminui valores ou move para baixo/anti-horário.

Bloco de Controle do Dispositivo Dois

Fornece a interface do usuário para o Dispositivo Primário 2. As funções são as mesmas do Bloco de Controle do Dispositivo Um.

Bloco de Controle de Energia

Fornece o interruptor de ligar/desligar e o indicador de energia. A energia é ativada com o interruptor pressionado. O indicador de energia deve acender alguns momentos após pressionar o interruptor de energia.

- **POWER:** Liga ou desliga o equipamento.

Indicadores

- **cm:** Exibe medidas em centímetros.
- **deg:** Exibe medidas em graus.
- **HOR/UP/FAST:** Indica movimento para cima/horário ou alta velocidade.
- **VERT/DN/SLOW:** Indica movimento para baixo/anti-horário ou baixa velocidade.
- **SCAN:** Indica quando o modo de escaneamento está ativo.

Exibição Principal

- Exibe informações como posição atual, limites, parâmetros, seleção de velocidade e mensagens de erro.

Teclas de Passo

- **INC (INCREASE)** – Esta tecla tem duas funções:
 - a. Pressionar esta tecla enquanto visualiza informações de posição comandará o dispositivo primário associado a se mover na direção PARA CIMA ou HORÁRIA até que a tecla seja liberada. O movimento real dependerá do estado atual do dispositivo e do controlador.

- b. Pressionar esta tecla enquanto visualiza a lista de parâmetros moverá a lista de parâmetros para cima por uma entrada, permitindo que o usuário percorra a lista de parâmetros.
- **DEC (DECREASE)** – Esta tecla tem duas funções:
 - a. Pressionar esta tecla enquanto visualiza informações de posição comandará o dispositivo primário associado a se mover na direção PARA BAIXO ou ANTI-HORÁRIA até que a tecla seja liberada. O movimento real dependerá do estado atual do dispositivo e do controlador.
 - b. Pressionar esta tecla enquanto visualiza a lista de parâmetros moverá a lista de parâmetros para baixo por uma entrada, permitindo que o usuário percorra a lista de parâmetros (igual a pressionar a tecla *PARAM*).

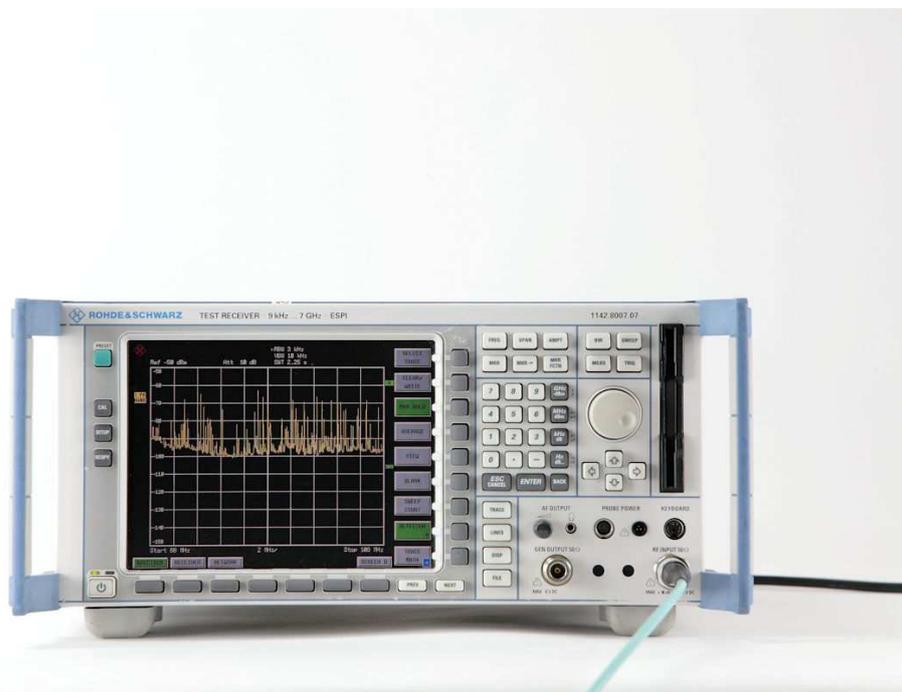
Tecla e Indicador de Escaneamento

- **SCAN** – Esta tecla alterna o modo de escaneamento ligado ou desligado. Quando ativado, o dispositivo primário associado se moverá entre os limites superior/horário e inferior/anti-horário pelo número de ciclos especificado pelo parâmetro do ciclo de escaneamento, *PJ*. Veja a "LISTA DE PARÂMETROS DO MODELO 2090" para mais informações.
- **SCAN** – Este indicador fica aceso enquanto o modo de escaneamento estiver ativado.

3.1.4 Analisador de Espectro / Receptor de Teste ESPI7

Os analisadores de espectro são ferramentas essenciais na engenharia elétrica e eletrônica, permitindo a medição e análise de sinais de frequência em uma ampla variedade de aplicações, desde o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos até a garantia de conformidade com normas de interferência eletromagnética (EMI). Entre os analisadores de espectro de destaque no mercado, o modelo ESPI7 da Rohde & Schwarz (Fig.9) se destaca por suas capacidades avançadas e versatilidade, tornando-se uma escolha preferida para medições de pré-conformidade e diagnósticos de EMC (compatibilidade eletromagnética) (ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG, 2009).

Figura 8 – Analisador de Espectro ESPI7.



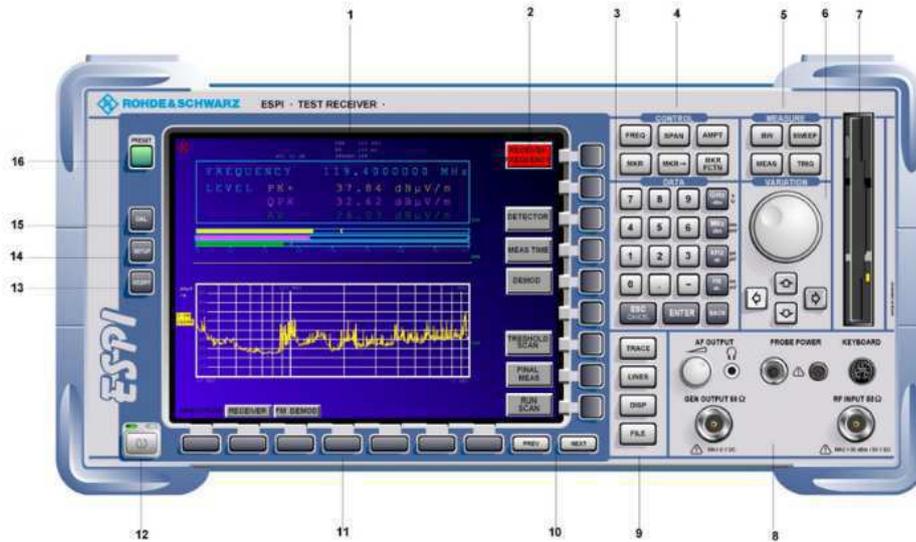
Fonte: (Emchire.co.uk)

O analisador de espectro é uma ferramenta avançada usada para medir e analisar a distribuição de frequências de sinais elétricos. Suas funções básicas incluem a capacidade de detectar e exibir níveis de potência em diferentes frequências, identificar e medir sinais de interferência eletromagnética (EMI), e verificar a conformidade com normas regulatórias. Ele possui múltiplos detectores e diferentes larguras de banda de medição, permitindo uma análise detalhada e precisa. Com uma cobertura de frequência que vai de 9 kHz a 7 GHz, o instrumento é adequado para uma ampla gama de aplicações, incluindo a conformidade com normas como CISPR, EN, ETS, FCC, ANSI C63.4, VCCI e VDE.

Teclas e Conectores do Painel Frontal do Instrumento

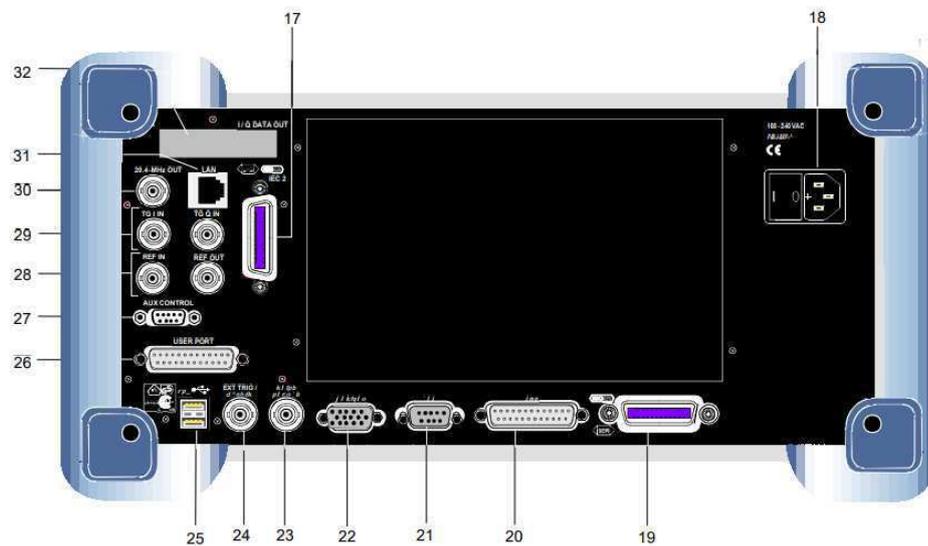
O analisador de espectro Rohde & Schwarz ESPI possui um design funcional com interfaces frontal e traseira cuidadosamente organizadas para otimizar a operação do usuário. Na vista frontal (Figura 9), destaca-se a tela de exibição, que apresenta resultados de medições e menus de configuração. Ao redor da tela, há teclas de função programáveis e um teclado numérico que facilitam a inserção de dados e ajustes rápidos de configurações como frequência e amplitude. Além disso, estão disponíveis conectores essenciais para entrada de RF e saída de áudio. Na parte traseira (Figura 10), o equipamento conta com uma série de portas e conectores, incluindo interfaces para comunicação externa via barramento IEC/IEEE, LPT, e USB, além de entradas e saídas para referências e triggers externos. e o ESPI se integra eficientemente em diversos ambientes de teste e aplicações.

Figura 9 – Visão frontal do Analisador de Espectro ESPI7.



Fonte: (*Operating Manual*, Volume 1)

Figura 10 – Visão traseira do Analisador de Espectro ESPI7.



Fonte: (*Operating Manual*, Volume 1)

Visão Frontal

1. **Tela de Exibição:** Mostra a interface do usuário, resultados de medições e menus.

2. **Teclas de Função (Softkeys):** Teclas programáveis que correspondem às funções exibidas na tela. As funções mudam de acordo com o menu atual.
3. **Teclado para Entrada de Dados:**
 - **Números 0-9:** Para inserção de valores numéricos.
 - **Ponto Decimal (.):** Para entrada de números fracionários.
 - **Mudança de Sinal (-):** Para alterar o sinal do valor inserido.
 - **ESC:** Fecha o campo de entrada sem salvar alterações.
 - **CANCEL:** Apaga a entrada atual.
 - **BACK:** Apaga o último caractere inserido.
 - **ENTER:** Confirma a entrada.
 - **Unidades (GHz, MHz, kHz, Hz, dBm, etc.):** Fecha a entrada de dados e define as unidades para o valor inserido.
4. **Teclas de Função (FCTN):**
 - **FREQ:** Ajusta o eixo de frequência.
 - **SPAN:** Ajusta a faixa de frequência.
 - **AMPT:** Configura os níveis de entrada RF.
 - **MKR:** Seleciona e define funções de marcador.
 - **MKR->:** Permite alterações via marcadores.
 - **FCTN:** Funções adicionais de marcador.
5. **Teclas de Medição e Trigger (MEAS, TRIG):**
 - **BW:** Ajusta largura de banda e tempo de varredura.
 - **SWEEP:** Configura parâmetros de varredura e varredura.
 - **MEAS:** Seleciona medições de potência e configurações de detector.
 - **TRIG:** Ajusta fontes de trigger.
6. **Teclas de Cursor e Roll:**
 - **Teclas de Cursor:** Navegam dentro de campos de entrada e menus.
 - **Tecla Roll:** Ajusta valores, move marcadores e confirma entrada (ENTER).
7. **Drive de Disquete:** Drive de 3 1/2" para disquetes de 1.44 MByte.
8. **Conectores:**
 - **GEN OUTPUT:** Saída do gerador (opcional).

- **AF OUTPUT:** Saída de frequência de áudio.
- **PROBE POWER:** Fonte de alimentação para sondas.
- **KEYBOARD:** Conexão para teclado externo.
- **RF INPUT:** Entrada de sinal RF.

9. **Teclas de Traço, Linhas, Display, Arquivo:**

- **TRACE:** Ativa traços e detectores.
- **LINES:** Ajusta linhas de limite.
- **DISP:** Configura o display.
- **FILE:** Gerencia armazenamento e recuperação de dados.

10. **Teclas de Mudança de Menu (PREV, NEXT):**

- **NEXT:** Avança para o próximo menu.
- **PREV:** Retorna ao menu anterior.

11. **Teclas de Atalho:** Acesso rápido a funções frequentes.

12. **Interruptor ON/STANDBY:** Liga o dispositivo ou coloca em modo de espera.

13. **HCOPY:** Configura e inicia uma impressão.

14. **SETUP:** Define configurações gerais do dispositivo.

15. **CAL:** Registra dados de correção.

16. **PRESET:** Restaura as configurações padrão.

Visão Traseira

17. **Conector de Barramento IEC/IEEE:** Para conexão de gerador externo (opcional).

18. **Interruptor de Alimentação e Conector de Energia AC:** Entrada de energia principal e interruptor.

19. **SCPI:** Conector de barramento IEC/IEEE para comunicação do dispositivo.

20. **LPT:** Conector de interface paralela para impressoras.

21. **COM:** Conector de interface serial (9 pinos).

22. **MONITOR:** Conector para monitor externo.

23. **NOISE SOURCE**: Saída para uma fonte de ruído externa.
24. **EXT TRIG / GATE IN**: Entrada para trigger ou sinal de gate externo.
25. **Interface USB**: Para conexão de dispositivos e periféricos USB.
26. **USER PORT**: Porta de entrada/saída com níveis TTL e alimentação interna de +5 V.
27. **AUX CONTROL**: Conexões de controle auxiliar.
28. **REF IN / REF OUT**:
 - **REF IN**: Entrada de referência externa (10 MHz).
 - **REF OUT**: Saída de referência interna (10 MHz).
29. **TG I IN / TG Q IN**:
 - **TG I IN**: Entrada para o canal I do gerador de rastreamento.
 - **TG Q IN**: Entrada para o canal Q do gerador de rastreamento.
30. **20.4 MHz OUT**: Conector de saída para frequência intermediária de 20.4 MHz.
31. **Interface LAN**: Conexão de rede.
32. **Reservado para Opções**: Espaço para módulos e recursos opcionais.

3.1.5 Gerador de Sinais R&S SMB100A

O Gerador de Sinais R&S SMF100A (Fig.11) é um equipamento de alta precisão utilizado para gerar sinais de micro-ondas com excepcional pureza espectral. O instrumento é amplamente reconhecido por sua confiabilidade, versatilidade e desempenho superior em aplicações que exigem sinais de micro-ondas de alta qualidade. O R&S SMF100A é um gerador de sinais de micro-ondas que oferece uma ampla faixa de frequências e níveis de sinal, atendendo às necessidades de testes rigorosos e desenvolvimento de sistemas de comunicação, radares, componentes RF e outras tecnologias avançadas. Este equipamento é essencial em ambientes de pesquisa e desenvolvimento, bem como em laboratórios de testes de produção (ROHDE & SCHWARZ, 2012).

Figura 11 – Painel frontal do Gerador de Sinais R&S SMB100A



Fonte: (R&S SMB100A - Manual de Operação, 2021).

Funções gerais do instrumento

O gerador de sinais é um dispositivo essencial na geração de sinais elétricos com características específicas de tempo, abrangendo formas de onda simples, como senoidais e quadradas, até sinais modulados analogicamente e digitalmente complexos, utilizados em diversas tecnologias de comunicação. Sua principal função é alimentar módulos de RF durante testes, permitindo a análise e verificação do desempenho desses componentes eletrônicos. A capacidade de ajustar a frequência e amplitude com precisão, adicionar ruído e simular condições de propagação complexas torna este equipamento indispensável no desenvolvimento e produção de módulos e sistemas eletrônicos, garantindo que eles operem conforme esperado em condições reais.

Na Figura 12, o gerador de sinais é mostrado enviando um sinal de teste para um dispositivo que está sendo testado, conhecido como DUT (Dispositivo Sob Teste). Este processo é crucial para avaliar como o DUT responde ao sinal gerado.

Figura 12 – O gerador de sinais entrega um sinal de teste ao dispositivo sob teste (DUT) para avaliar sua funcionalidade.



Fonte: Elaborado pela autora.

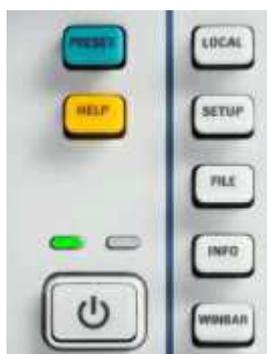
O sinal de teste pode ser ajustado para ter diferentes frequências, amplitudes e modulações para simular condições reais de operação. Em seguida, o desempenho do DUT é analisado por meio de instrumentos de medição, como analisadores de espectro ou osciloscópios, para verificar se o dispositivo está funcionando conforme esperado. Este tipo de teste ajuda a identificar quaisquer problemas ou falhas no dispositivo, garantindo que ele atenda aos padrões de qualidade e desempenho necessários antes de ser utilizado ou comercializado.

Teclas e Conectores do Painel Frontal do Instrumento

Teclas de Utilidades

As teclas localizadas à esquerda do display do R&S SMB na figura 13 têm funções específicas que ajudam a retornar o instrumento a um estado definido e a fornecer informações úteis (ROHDE & SCHWARZ, 2012). A seguir, descreve-se o propósito de cada tecla:

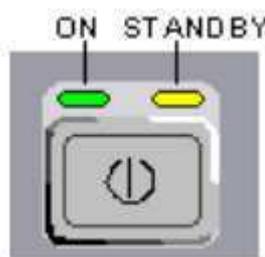
Figura 13 – Teclas de utilidades.



Fonte: Adaptado de R&S SMB100A - Operating Manual, 2021

A tecla [ON/STANDBY] na figura 14 alterna o instrumento entre os estados de standby e pronto (indicados pelos LEDs de standby).

Figura 14 – Tecla ON/STANDBY.



Fonte: Adaptado de R&S SMB100A - Operating Manual, 2021

Os LEDs de standby indicam os estados do instrumento da seguinte forma:

- O LED verde (à esquerda) está aceso quando o instrumento está pronto para operação.
- O LED amarelo (à direita) está aceso no modo de *standby*.
- **PRESET**
 - Define o instrumento para um estado predefinido.
- **LOCAL**
 - Alterna do controle remoto para o controle local (manual).
- **SETUP**
 - Abre o diálogo de configuração para ajustes de predefinições.
- **File**
 - Ativa o menu para armazenar ou carregar arquivos.
- **INFO**
 - Exibe mensagens de status, mensagens de erro e avisos.
- **WINBAR**
 - Alterna entre o diagrama e os menus ativos.
- **HELP**
 - Exibe texto de ajuda sensível ao contexto.

Teclas para definir parâmetros de exibição

A divisão assume que as teclas mostradas na Figura 15 são utilizadas para definir parâmetros, selecionar visualizações e controlar janelas no instrumento.

Figura 15 – Botões do painel frontal do instrumento.



Fonte: Elaborado pela autora.

Essas teclas oferecem acesso direto às configurações no cabeçalho do instrumento, permitindo um ajuste rápido do sinal RF.

- **FREQ**
 - Ativa a entrada de frequência.
- **LEVEL**
 - Ativa a entrada de nível.
- **ON/OFF TOGGLE**
 - Liga ou desliga elementos destacados ou um bloco de funções.
 - Alterna entre duas ou mais configurações, como itens de listas de seleção. Quando atinge o final da lista, o cursor retorna ao primeiro item.
- **BACKSPACE**
 - Apaga o caractere à esquerda do cursor.

Em seguida as teclas localizadas à direita do botão giratório demarcadas em verde organizam diferentes janelas no display e controlam a ativação do sinal RF e da modulação.

- **DIAGRAM**

- Traz o diagrama de blocos para o primeiro plano, minimizando os menus ativos.

- **ESC**

- A função desta tecla depende da posição atual do cursor.
- Retorna ao próximo nível superior de seleção.
- Fecha a janela aberta sem salvar novas entradas; o valor ou parâmetro anterior é mantido.
- Fecha todos os tipos de caixas de diálogo, se o modo de edição não estiver ativo.
- Sai do modo de edição, se o modo de edição estiver ativo.

- **MOD ON/OFF**

- Liga e desliga as modulações.
- A indicação "MOD OFF" é exibida na linha de informações do cabeçalho ao lado do campo "Level".

- **RF ON/OFF**

- Liga e desliga o sinal RF.
- A indicação "RF OFF" é exibida no cabeçalho ao lado do campo "Frequency".

Teclado de entrada de dados

O teclado de entrada de dados demarcado na Figura 16 é utilizado para inserir dados alfanuméricos e unidades. As teclas de entrada de dados são ativadas somente quando o cursor está posicionado em um campo de entrada de dados em um diálogo. A função das teclas varia de acordo com o tipo de dado do campo de entrada conforme a Tabela 1.

Figura 16 – Teclas para entrada de dados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Teclas	Descrição
0...9/abc	Inserir os números correspondentes (em campos de entrada numérica) ou caracteres (em campos de entrada de caracteres).
.	Inserir um ponto decimal (em campos de entrada numérica) ou ponto (em campos de entrada de caracteres) na posição do cursor. Múltiplos pontos decimais não são permitidos.
Teclas de Unidade	Seleciona uma unidade, determinando assim o valor absoluto, ou altera a unidade, acionando um recálculo sem alterar o valor absoluto. A função depende do momento em que a tecla [Unit] é usada durante a entrada do parâmetro. Para valores sem unidade, a tecla [x1] é equivalente a [ENTER]. Ela confirma a entrada anterior e desativa o campo de entrada.
_	Adiciona um espaço em um campo de entrada de caracteres.
*... #	Inserir caracteres especiais. Alterna entre os caracteres disponíveis se a tecla for pressionada várias vezes consecutivamente.
A <-> a	Alterna entre caracteres maiúsculos e minúsculos.
A, B, C, D, E, F	Inserir valores hexadecimais. As letras atribuídas às teclas estão automaticamente ativas quando um campo de entrada com valor hexadecimal está ativo.

Tabela 1 – Descrição das teclas de entrada de dados

Botão Giratório e as teclas de seta

O botão rotativo no painel do instrumento (Figura 17) oferece uma funcionalidade versátil, permitindo ajustes precisos de valores numéricos ao girar no sentido horário para aumentar ou anti-horário para diminuir. Além disso, facilita a navegação ao mover o cursor para diferentes blocos de função no diagrama, rolar listas e tabelas, e agir como a tecla

[ENTER] quando pressionado. Esse botão também permite a movimentação da barra de seleção em áreas focadas durante a edição.

Figura 17 – Botões do painel frontal do instrumento.



Fonte: Elaborado pela autora.

As teclas de navegação, compostas por setas direcionais, fornecem uma alternativa ao botão rotativo. As setas para cima e para baixo ajustam parâmetros numéricos e rolam verticalmente em listas e caixas de diálogo, enquanto as setas para esquerda e direita movem o cursor em campos de texto e rolam horizontalmente em tabelas e janelas.

Conectores do painel frontal

Os conectores de saída RF e LF, assim como um conector para sinais de modulação externos, estão localizados no painel frontal do instrumento. A Figura 18 apresenta esses conectores.

Figura 18 – Botões do painel frontal do instrumento.



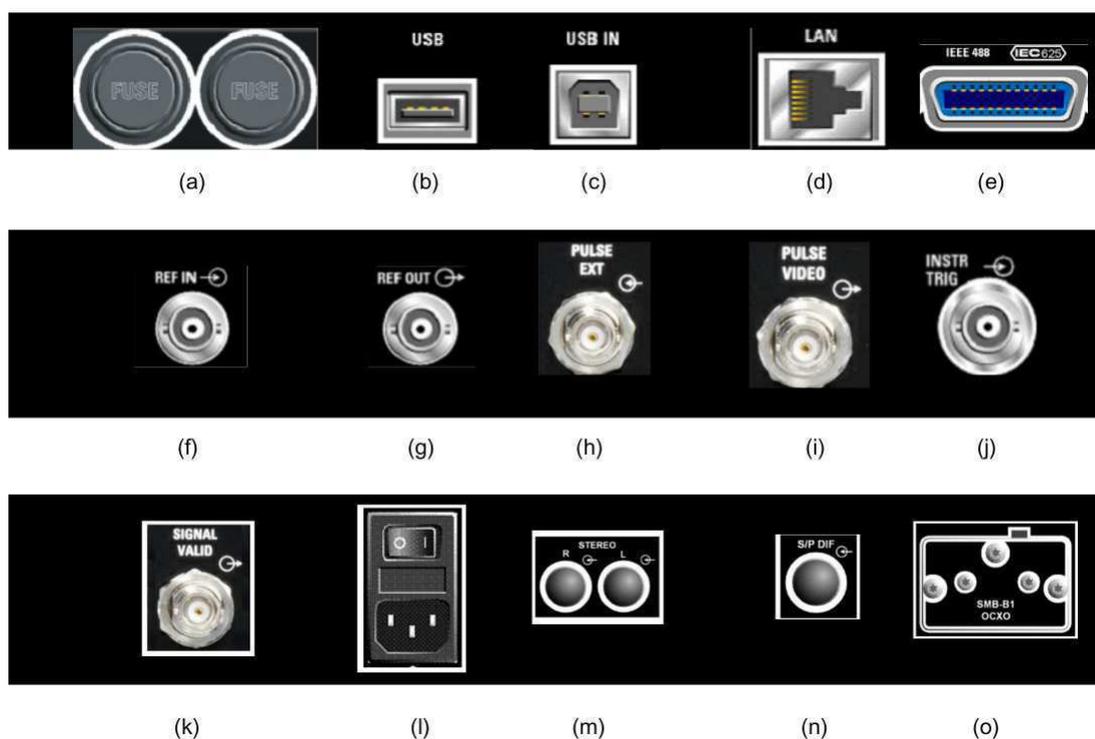
Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 18 de cima para baixo, pode-se observar o conector de entrada para sinais de modulação externa, o conector de saída para o sinal do gerador de modulação LF interno e o conector de saída para o sinal de RF, respectivamente. As teclas de navegação, compostas por setas direcionais, fornecem uma alternativa ao botão rotativo. As setas para cima e para baixo ajustam parâmetros numéricos e rolam verticalmente em listas e caixas de diálogo, enquanto as setas para esquerda e direita movem o cursor em campos de texto e rolam horizontalmente em tabelas e janelas.

Conectores do Painel Traseiro do Instrumento

Esta seção oferece uma visão geral dos conectores localizados no painel traseiro do instrumento. A Figura 19 mostra a disposição desses conectores.

Figura 19 – Conectores do painel traseiro do instrumento R&S SMB100A.



Fonte:(Adaptado de R&S SMB100A - Operating Manual, 2021)

Fusíveis: (Figura 11(a)): O R&S SMB é completamente protegido por dois fusíveis do tipo IEC60127-T3.15H/250 V. Os fusíveis estão alojados nos suportes de fusíveis próximos ao conector de alimentação. É importante utilizar apenas fusíveis do tipo mencionado para garantir a segurança e o funcionamento adequado do instrumento.

Conector USB IN: (Figura 11(b)):A interface USB do tipo B funciona como um dispositivo USB. Essa interface é utilizada para controle remoto do instrumento.

Conectores USB tipo A: (Figura 11(c)):As interfaces USB do tipo A atuam como host USB. Elas permitem a conexão de periféricos, como mouse e teclado, e possibilitam a conexão para transmissão de arquivos. Além disso, são usadas para realizar atualizações de *firmware* do dispositivo.

Conector LAN: (Figura 11(d)):A interface *Ethernet* é usada para integrar os geradores de sinal em uma rede, permitindo o controle remoto e o acesso remoto ao gerador de sinal. Além disso, a interface também é utilizada para atualizações de *firmware* do dispositivo.

Conector IEC 625/IEEE 488: (Figura 11(e)):A interface de *IEC-bus* (*IEEE 488*) é utilizada para o controle remoto do instrumento. Para evitar interferência eletromagnética (*EMI*) causada por linhas abertas, é importante sempre terminar qualquer cabo *IEC-bus* conectado com um instrumento ou controlador.

REF IN e REF OUT: (Figuras 11 (f) e (g)):Entrada para sinal de referência externo e saída do sinal de referência interno.

PULSE EXT: (Figuras 11(h)):Entrada de sinal de pulso externo ou entrada external *trigger/gate* para gerador de pulso interno.

PULSE VIDEO: (Figuras 11(i)):Saída de sinal do gerador de pulso interno ou sinal de pulso externo alimentado via conector PULSE EXT (sinal de vídeo).

INSTR TRIG: (Figuras 11(j)):Entrada para gatilho externo para varreduras (sweeps) e modo de lista (list mode).

SIGNAL VALID: (Figuras 11(k)): A saída *SIGNAL VALID* fornece um sinal válido que indica os tempos de sinal válidos, mostrando o nível e a frequência corretos. Este sinal é gerado automaticamente.

Fornecimento de Energia AC e Interruptor de Energia (Figuras 11(l)):Quando o equipamento é conectado ao fornecimento de energia AC, ele automaticamente ajusta-se para a faixa correta de tensão aplicada, conforme indicado no rótulo do tipo. Não é necessário ajustar a tensão manualmente ou trocar fusíveis. O interruptor de energia pode ser configurado em duas posições: na posição 0, o instrumento é desconectado da rede elétrica; na posição I, o instrumento é alimentado e está pronto para operação (*STANDBY*) ou em modo de operação, dependendo da posição do interruptor [*ON/STANDBY*] na frente do instrumento).

Entradas Estéreo R/L: (Figuras 11(m)):Estes conectores servem como entradas para sinais de modulação estéreo analógicos.

Entrada para Sinais Estéreo Digitais: (Figuras 11(n)):A entrada para sinais estéreo digitais permite a modulação estéreo, que está disponível com a opção *R&S SMBB5*.

OCXO: (Figuras 11(o)):O OCXO (oscilador de referência controlado por forno) está disponível em duas opções: o oscilador de referência controlado por forno (R&S SMB-B1) ou o oscilador de referência controlado por forno de alto desempenho (R&S SMB-B1H). O OCXO gera um sinal de referência muito preciso de 10 MHz. Ele precisa de alguns minutos de aquecimento para atingir sua frequência nominal. Consulte a folha de dados para obter informações detalhadas.

Aplicações dos Geradores de Sinal Analógicos

Os geradores de sinal analógicos são dispositivos versáteis e essenciais em diversas aplicações eletrônicas e de telecomunicações. Suas principais funcionalidades incluem:

- **Produção de Sinais de RF de Alta Qualidade:**

- Capazes de gerar sinais com modulações analógicas como AM, FM e ϕ M.

- Podem produzir sinais pulsados precisos.
- Suportam frequências que se estendem até a faixa de micro-ondas.
- **Referência Estável:**
 - Utilizados como sinal de referência estável em medições de ruído de fase.
 - Servem como fonte de oscilador local e referência de calibração.
- **Medições Universais:**
 - Permitem medir parâmetros como ganho, linearidade e largura de banda.
- **Desenvolvimento e Teste de Chips:**
 - Essenciais no desenvolvimento e teste de chips de RF e semicondutores, como conversores A/D.
- **Testes de Receptores:**
 - Usados em testes de dois tons e na geração de sinais interferentes e de bloqueio.
- **Testes de Compatibilidade Eletromagnética (EMC):**
 - Utilizados para assegurar que os dispositivos não causem interferência eletromagnética em outros equipamentos.
- **Equipamento de Teste Automático (ATE) na Produção:**
 - Integrados em sistemas de teste automáticos para verificar qualidade e desempenho durante a produção.
- **Aplicações em Aviação:**
 - Utilizados em sistemas de navegação aérea como VOR (VHF *Omnidirectional Range*) e ILS (*Instrument Landing System*).
- **Testes de Radar:**
 - Essenciais para garantir o funcionamento correto e eficiente dos sistemas de radar.
- **Aplicações Militares:**
 - Empregados em várias funções militares onde precisão e confiabilidade são cruciais.

Além dessas funcionalidades, os geradores de sinal analógicos possuem características que os tornam ideais para aplicações rigorosas:

- Alta pureza espectral com baixíssimas distorções harmônicas (não harmônicas), por exemplo, -100 dBc;
- Baixo ruído de banda larga intrínseco, por exemplo, -160 dBc;
- Baixo ruído de fase SSB, tipicamente -140 dBc/Hz (a 10 kHz de espaçamento da portadora, $f = 1$ GHz, largura de banda de medição de 1 Hz).

3.1.6 Amplificador de de banda dupla

O equipamento mostrado na Fig. Fig.20 é um amplificador de potência da BONN Elektronik, modelo BSA 0110-150/060D. Este tipo de amplificador é fundamental em testes de compatibilidade eletromagnética (EMC), especificamente na avaliação da imunidade de dispositivos eletrônicos a interferências eletromagnéticas.

Figura 20 – Amplificador de Potência



Fonte: Elaborado pela autora.

O amplificador de potência é utilizado para aumentar a intensidade dos sinais de teste durante os ensaios de imunidade eletromagnética. Ele amplifica os sinais gerados por outros equipamentos de teste, permitindo que atinjam níveis de potência necessários para simular condições de interferência eletromagnética severa (POWER AMPLIFIERS, 2013).

Características Técnicas

- **Modelo e Especificações:**
 - **Modelo:** BSA 0110-150/060D.
 - **Faixa de Frequência:** 10 kHz - 150 MHz.

- **Potência de Saída:** 150 W.
- **Componentes e Interfaces:**
 - **Painel Frontal:**
 - * **Indicador de Falha (Fault):** Indica a presença de problemas no funcionamento do amplificador.
 - * **Controles de Banda (Band) e Amplificador (Amplifier):** Permitem ajustar e monitorar a operação do amplificador.
 - * **Interruptor Principal:** Liga e desliga o equipamento.
 - * **Ventilação:** Sistema de ventilação para dissipação de calor, garantindo o funcionamento seguro e contínuo do amplificador.

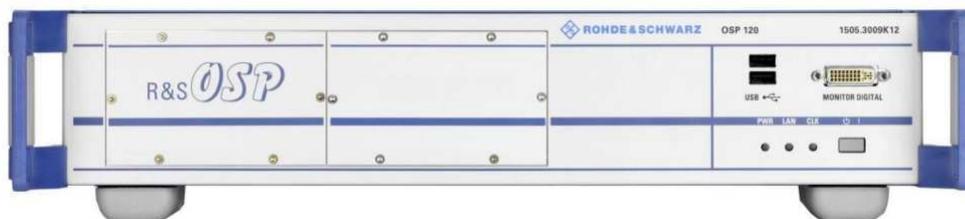
Função e Aplicações

- **Função Principal:**
 - O amplificador de potência é utilizado para aumentar a intensidade dos sinais de teste durante os ensaios de imunidade eletromagnética. Ele amplifica os sinais gerados por outros equipamentos de teste, permitindo que atinjam níveis de potência necessários para simular condições de interferência eletromagnética severa.
- **Aplicações para o LabMet:**
 - **Testes de Imunidade a RF:** Avaliação da resposta de dispositivos eletrônicos a diferentes níveis de interferência de radiofrequência;
 - **Ensaio em Laboratórios de EMC:** Utilizado em laboratórios que realizam testes para certificação de conformidade com normas internacionais de EMC;
 - **Desenvolvimento e Pesquisa:** Aplicado em ambientes de pesquisa para desenvolver e validar novos dispositivos e tecnologias eletrônicas.

3.1.7 R&S OSP (*Open Switch and Control Platform*)

O R&S OSP 120 (Fig.21) é um equipamento de comutação e roteamento utilizado em testes de compatibilidade eletromagnética (EMC). Este dispositivo permite a conexão e o controle de múltiplos componentes de teste, facilitando a configuração e a execução de ensaios EMC de maneira eficiente e organizada (ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG, 2018).

Figura 21 – Amplificador de Potência



Fonte: R&S®OSP *Open Switch and Control Unit Operating Manual*

Características Técnicas

Painel Frontal

O painel de controle do R&S OSP permite configurar caminhos de sinal, controlar o roteamento dos sinais e monitorar o estado dos testes EMC. A interface gráfica do usuário facilita a operação do equipamento, oferecendo uma visão clara das funções e estados do sistema. Parte do painel frontal do equipamento pode ser visualizado na Figura Fig.22.

Figura 22 – Visualização de Funções do Amplificador de Potência



Fonte: R&S®OSP *Open Switch and Control Unit Operating Manual*

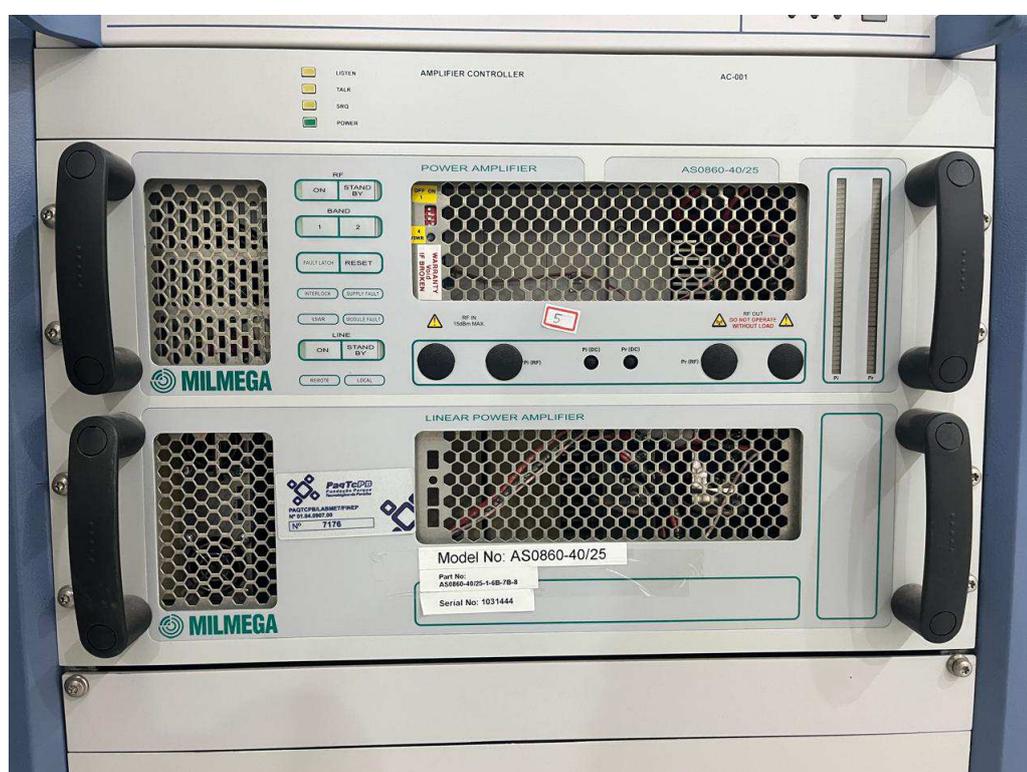
- **Botão de Standby:** Localizado no canto inferior direito do painel frontal, este botão alterna entre os estados de standby (indicado por um LED amarelo) e pronto para uso (indicado por um LED verde).
- **LEDs de Status:** Indicam os diferentes estados do instrumento:
 - **PWR:** Mostra o estado de standby (LED amarelo) e o estado pronto (LED verde).
 - **LAN:** Indica a recepção de dados via rede LAN.
 - **CLK:** Pisca para indicar a transferência de dados via barramento CAN.
- **Conectores USB:** O R&S OSP 120 possui conectores USB tipo A (USB 2.0) para conectar dispositivos como teclado ou pen drive. É recomendado pelo manual da marca o uso de cabos USB de dupla blindagem e não exceder 1 metro de comprimento.

- **Conector de Monitor:** Permite a conexão de um monitor externo com interface digital. É necessário para intervenções manuais, como a configuração da LAN ou acesso ao sistema operacional Linux do instrumento.

3.1.8 Amplificador de banda dupla

O equipamento mostrado na Fig. Fig.23 trata-se de um amplificador de banda dupla da marca Milmega, modelo AS0860-40/25. Desenvolvido para cobrir a faixa de frequência de 0,8 GHz a 6 GHz em duas bandas (0,8 GHz a 2,5 GHz e 2,5 GHz a 6,0 GHz), o equipamento é ideal para testes de compatibilidade eletromagnética (EMC) e imunidade RF (MILMEGA, 2008).

Figura 23 – Amplificador de Potência



Fonte: Elaborado pela autora.

A terminologia "40/25" no modelo do amplificador Milmega, como AS0860-40/25, refere-se à potência de saída do amplificador nas diferentes faixas de frequência. Especificamente, indica que o amplificador pode fornecer 40 watts de potência em uma faixa de frequência e 25 watts em outra. No caso do Milmega AS0860-40/25, esses valores correspondem às duas bandas de operação do amplificador.

Características Técnicas

Faixa de Frequência

- **Faixa de Frequência Instantânea:** 800 MHz a 6 GHz.
- **Sub-Faixas:**
 - 800 MHz a 2,5 GHz
 - 2,5 GHz a 6 GHz

Potência de Saída

- **Potência Nominal de Saída:**
 - 44,7 W mínimo (800 MHz a 2,5 GHz)
 - 28 W mínimo (2,5 GHz a 6 GHz)
- **Potência em Compressão de 1 dB (P1dB):**
 - 40 W mínimo (800 MHz a 2,5 GHz)
 - 25 W mínimo (2,5 GHz a 6 GHz)

Ganho e Estabilidade

- **Ganho:**
 - 42 dB (800 MHz a 2,5 GHz)
 - 39,9 dB (2,5 GHz a 6 GHz)
- **Variação de Ganho com Frequência:**
 - +/- 2,5 dB (800 MHz a 2,5 GHz)
 - +/- 3 dB (2,5 GHz a 6 GHz)
- **Potência Máxima de Entrada (sem danos):** 15 dBm

Impedância e VSWR

- **Tolerância de VSWR de Saída:** Infinito em qualquer fase.
- **Estabilidade:** Incondicional.
- **Impedância de Saída:** 50 Ohm.
- **VSWR de Saída:** 2:1 típico.
- **VSWR de Entrada:** 2:1 máx.

Dados Adicionais de RF

- **Ponto de Intercepção de Terceira Ordem (IP3):** 10 dB > P1dB.
- **Espúrios:** -70 dBc máx (< -80 dBc típico).
- **Figura de Ruído:** 6 dB (800 MHz a 2,5 GHz), 8 dB (2,5 GHz a 6 GHz).
- **Conector de RF:** Tipo N fêmea.

Elétrico e Interfaces

- **Controle Remoto:**
 - RS232 interna, USB e Ethernet ou
 - RS232 e GPIB em unidade externa 1U adicional sem custo adicional.
- **Interlock de Segurança:** Incluído.
- **Tensão de Alimentação (fase única):** 85 a 264 VAC.
- **Frequência de Alimentação:** 50 a 60 Hz.
- **Potência de Alimentação:** <0,5 kVA.

3.1.9 Estabilizador de Impedância de Linha (LISN)

O LISN é projetado para criar um ambiente controlado onde as emissões eletromagnéticas geradas por um equipamento sob teste (EUT) podem ser isoladas e medidas com precisão. Ele atua como um filtro passa-baixa de dois canais, isolando o EUT de uma fonte de energia externa enquanto direciona sinais de radiofrequência (RF) da linha de energia para uma porta de 50 ohms, onde esses sinais podem ser analisados.

Figura 24 – LISN presente no LabMet do DEE/UFCG



Fonte: LISN Manual Model 4810.

O LISN é projetado para criar um ambiente controlado onde as emissões eletromagnéticas geradas por um equipamento sob teste (EUT) podem ser isoladas e medidas com precisão. Ele atua como um filtro passa-baixa de dois canais, isolando o EUT de uma fonte de energia externa enquanto direciona sinais de radiofrequência (RF) da linha de energia para uma porta de 50 ohms, onde esses sinais podem ser analisados (ETS-LINDGREN, 2003).

Funcionalidades com a Câmara Semi-Anecóica

Em conjunto com uma câmara semi-anecóica, o LISN Modelo 4810 (Fig. 24) proporciona um ambiente de teste ideal para medições de EMC. A câmara semi-anecóica é projetada para absorver reflexões de ondas eletromagnéticas, eliminando interferências externas e criando um espaço parcialmente livre de ecos. A combinação do LISN com a câmara semi-anecóica permite:

- Medições de emissões conduzidas e radiadas;
- Isolamento eficaz do EUT, evitando que sinais indesejados interfiram nos resultados dos testes;
- Análise detalhada do comportamento eletromagnético do EUT em um ambiente controlado.

Características Técnicas

O LISN Modelo 4810 apresenta as seguintes especificações técnicas:

- **Faixa de Frequência:** 9 kHz a 30 MHz.
- **Indutância da Rede:** 50 μ H / 250 μ H.
- **Impedância da Rede:** 50 Ω .
- **Classificação de Corrente:** 16 Amperes.
- **Tensão CA Máxima:** 250 VAC.
- **Conectores de Saída:** Tipos NEMA 5-15R, British BS1363, Schuko CEE 7/7, e AS 3112.
- **Conector de Entrada:** Entrada tipo IEC-320 de 3 fios.
- **Dimensões Físicas:**
 - **Altura:** 16.66 cm.
 - **Largura:** 19.50 cm.
 - **Profundidade:** 26.67 cm.
 - **Peso:** 4.26 kg.
- **Condições Ambientais:**
 - **Operação:** Uso interno apenas.
 - **Altitude Máxima:** 4572 m (15000 pés).
 - **Temperatura:** 0°C a 40°C (32°F a 104°F).
 - **Umidade Relativa:** 80% até 31°C (87.8°F), diminuindo linearmente para 50% em 40°C (104°F).

Procedimentos de Instalação e Aplicação

Ao instalar o LISN, é crucial seguir as orientações de segurança:

1. **Aterramento:** Conecte o aterramento protetor integrado ao cabo de alimentação a uma tomada com contato de aterramento protetor. Instale um fio de aterramento suplementar do terminal de aterramento protetor no painel traseiro da LISN a um ponto de aterramento apropriado nas redes elétricas;

2. **Conexões:** Conecte os conectores de entrada e saída às suas linhas de energia e cargas adequadas antes de conectar a porta de monitoramento à instrumentação de medição;
3. **Proteção contra Sobrecorrente:** A LISN deve ser conectada a uma rede elétrica com proteção contra sobrecorrente adequada.

Operação

Para operar o equipamento LISN:

1. **Seleção de Linha:** Use o botão *LINE SELECT* para alternar entre L1 e N (L2).
2. **Conectividade Local/Remota:** Utilize o botão *LOCAL/REMOTE* para alternar entre modos local e remoto. No modo remoto, a seleção de linha é feita através de um conector D subminiatura de 9 pinos no painel traseiro da LISN.
3. **Atenuação:** O botão *ATTEN* aplica um atenuador de 20 dB ao sinal de emissões conduzidas quando movido para a posição IN.
4. **Filtro Passa-Alta:** Ative o filtro passa-alta de 150 kHz para bloquear sinais de baixa frequência que possam saturar a extremidade frontal de um analisador de espectro ou receptor EMI.

Explicando detalhadamente as funcionalidades de cada botão no painel frontal disponível na Figura 25.

Figura 25 – LISN presente no LabMet do DEE/UFCG



Fonte: Elaborado pela autora.

• **REMOTE STATUS**

- **NL (N2), L1, REMOTE**: Este conjunto de indicadores LED mostra o status da seleção de linha quando o LISN está operando no modo remoto.
 - * **NL (N2)**: Indica que a linha neutra (N2) está selecionada.
 - * **L1**: Indica que a linha L1 está selecionada.
 - * **REMOTE**: Indica que o equipamento está sendo operado no modo remoto.

• **LINE SELECT**

- **Local / Remote**: Este botão é utilizado para alternar entre os modos de operação local e remoto.
 - * **Local**: Permite a operação manual direta no equipamento.
 - * **Remote**: Permite o controle do equipamento via conexão remota.

• **ATTEN**

- **1 dB, 20 dB**: Este botão de atenuação aplica uma atenuação ao sinal de emissões conduzidas.

- * **1 dB**: Aplica uma atenuação de 1 dB ao sinal.
- * **20 dB**: Aplica uma atenuação de 20 dB ao sinal.
- **150 kHz HIGH PASS FILTER**
 - **In/Out**: Este botão ativa ou desativa o filtro passa-alta de 150 kHz.
 - * **In**: Ativa o filtro passa-alta, bloqueando sinais de baixa frequência que possam saturar a extremidade frontal de um analisador de espectro ou receptor EMI.
 - * **Out**: Desativa o filtro passa-alta.
- **130 dB (μV) LIMITER**
 - **In/Out**: Este botão ativa ou desativa o limitador de 130 dB microvolt.
 - * **In**: Ativa o limitador, protegendo a extremidade frontal de um receptor ou analisador de espectro contra transientes.
 - * **Out**: Desativa o limitador.
- **EARTH LINE CHOKE**
 - **In/Out**: Esta chave seletora controla o choque de linha de terra de 1.6 mH.
 - * **In**: Insere o choque de linha de terra no circuito de aterramento de segurança.
 - * **Out**: Remove o choque de linha de terra do circuito de aterramento de segurança.
- **MONITOR/OUTPUT**
 - **Conector de Saída**: Este conector é utilizado para conectar a saída de monitoramento ao analisador de espectro ou receptor EMI.
- **RF GROUND**
 - **Terminal de Ligação RF**: Este terminal é utilizado para conectar a LISN a um plano de terra durante a operação normal, garantindo um aterramento adequado para medições precisas.
- **Tomada de Energia CA**
 - **Conector de Entrada**: Esta tomada permite a conexão do Equipamento Sob Teste (*EUT*) à LISN. O estilo de tomada é determinado pelo modelo específico da LISN (*NEMA*, *Schuko*, *British Standard*, etc.).
- **Aviso de Alta Tensão**

- **High Voltage Warning:** Este aviso alerta para a presença de tensões perigosas dentro do equipamento, lembrando os usuários de seguir os procedimentos de segurança adequados.

Manutenção

A manutenção do Modelo 4810 é limitada a componentes externos, como cabos ou conectores. Para serviços internos, desconecte toda a energia elétrica antes de começar. Capacitores dentro da unidade podem ainda estar carregados mesmo quando a unidade estiver desconectada da energia.

3.2 Análise das Necessidades do Laboratório

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir de uma avaliação detalhada das necessidades do LabMet, com foco na conformidade com a norma IEC 61000-4-3. A análise abrange a identificação de lacunas e desafios enfrentados pelo laboratório em termos de infraestrutura, equipamentos e procedimentos de teste. O objetivo é fornecer uma visão abrangente das áreas que requerem atenção e melhorias, assegurando que o laboratório esteja totalmente equipado e preparado para conduzir testes de imunidade eletromagnética de forma eficaz e precisa. As subseções seguintes detalham os problemas identificados, suas implicações para o processo de teste e as recomendações para otimizar a capacidade operacional do LabMet.

3.2.1 Ausência de um trabalho de descrição dos equipamentos

A ausência de uma documentação formal e detalhada dos equipamentos presentes no LabMet representa uma lacuna significativa que pode impactar a eficiência e a organização dos processos de teste de imunidade eletromagnética. Embora cada equipamento possua seu próprio manual técnico, a falta de um inventário centralizado pode dificultar a gestão dos recursos disponíveis e a identificação de necessidades futuras.

Atualmente, o laboratório está bem equipado com geradores de sinal, amplificadores de potência, antenas de diferentes tipos e sensores de campo isotrópicos. No entanto, um documento centralizado que funcione como guia, contendo informações sobre especificações técnicas, estado de funcionamento, localização no laboratório e histórico de manutenção de cada dispositivo, poderia otimizar significativamente a execução dos testes.

Um guia centralizado não apenas auxiliaria na execução eficiente dos testes, mas também garantiria que todos os membros da equipe tivessem uma compreensão clara e imediata dos recursos à disposição. Isso facilitaria o treinamento de novos colaboradores e asseguraria a continuidade dos processos mesmo em caso de mudanças na equipe.

Além disso, a centralização das informações seria útil para identificar rapidamente componentes que possam estar temporariamente fora de uso devido a reparos ou ajustes necessários, como os sensores isotrópicos que aguardam um adaptador para os conectores ópticos.

3.2.2 Desafios Relacionados aos Equipamentos de Teste no LabMet

Para garantir a conformidade com a norma IEC 61000-4-3 abordada na seção da Fundamentação Teórica, é necessário que o LabMet resolva algumas questões críticas relacionadas aos equipamentos de teste de imunidade eletromagnética. Neste quesito, três questões foram levantadas como importantes e de extrema necessidade, a saber: os adaptadores para sensores isotrópicos, analisador de espectro e câmera no interior da câmara.

3.2.2.1 Adaptadores para Sensores Isotrópicos

Atualmente, há uma falta de adaptadores necessários para conectar os sensores isotrópicos do interior da câmara ao exterior. Essa ausência impossibilita a medição da uniformidade do campo no fundo da câmara, o que é essencial para garantir que o campo gerado esteja dentro das especificações exigidas pela norma.

3.2.2.2 Analisador de Espectro

O analisador de espectro, que faz parte do *rack* TS9982 EMS Test System, está enfrentando problemas que afetam não apenas suas operações individuais, mas também outros testes realizados na câmara:

- **Bateria do RTC (Real Time Clock) Descarregada:** Devido à bateria descarregada, o dispositivo perde todas as configurações da BIOS ao ser desligado, comprometendo a continuidade e a precisão das medições.

arduino Copiar código

- **Erro de Tela Azul:** Ao iniciar, o aparelho apresenta uma tela azul após o carregamento do Windows. Esse erro parece ser causado por uma falha na memória RAM.

O software instalado no computador do sistema TS9982 realiza uma varredura ao iniciar para verificar o estado de todos os equipamentos. Se qualquer componente, como o analisador de espectro, estiver com problemas, o software impede a inicialização completa e não permite a continuidade dos testes, afetando todos os processos que dependem deste sistema integrado.

3.2.2.3 Câmera na Câmara Semi-Anecoica

Para testes de suscetibilidade, é fundamental a instalação de uma câmera no interior da câmara semi-anechoica. Sem essa câmera, não é possível monitorar adequadamente o funcionamento do equipamento sob teste (EUT) nem verificar se os campos gerados estão uniformes no fundo da câmara, o que pode comprometer a validade dos testes de suscetibilidade.

Esses desafios devem ser abordados rapidamente para garantir que o LabMet possa conduzir testes precisos e confiáveis de acordo com os padrões da IEC 61000-4-3. A resolução desses problemas é essencial para manter a integridade dos processos de teste e assegurar que os dispositivos testados sejam capazes de operar de maneira confiável em ambientes com alta exposição a campos eletromagnéticos.

4 Conclusões

Este trabalho proporcionou uma compreensão abrangente das necessidades e desafios enfrentados pelo LabMet na implementação da norma IEC 61000-4-3, com foco na compatibilidade eletromagnética (CEM) dos equipamentos. A análise realizada ao longo do estágio destacou a importância de um ambiente de teste bem estruturado e de equipamentos adequados para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados.

O estágio evidenciou que, embora o LabMet esteja equipado com uma variedade de dispositivos essenciais, como geradores de sinal, amplificadores de potência e antenas, há lacunas que precisam ser abordadas para maximizar sua eficácia operacional. A ausência de um inventário centralizado de equipamentos e a falta de certos componentes, como adaptadores para sensores isotrópicos e uma câmera para monitoramento na câmara semi-anecoica, foram identificadas como áreas prioritárias para melhorias.

Além disso, os problemas técnicos com o analisador de espectro, que impactam diretamente a capacidade do laboratório de realizar testes integrados, reforçam a necessidade de manutenção regular e atualizações tecnológicas. A implementação de um guia centralizado de equipamentos pode melhorar significativamente a gestão dos recursos do laboratório e a eficiência dos testes, assegurando que a equipe esteja bem informada sobre o estado e a localização dos dispositivos.

A conformidade com a norma IEC 61000-4-3 não é apenas uma exigência técnica, mas também uma oportunidade de aprimorar os processos e aumentar a competitividade do LabMet no cenário de testes de CEM. A resolução dos desafios identificados durante o estágio é essencial para garantir que o laboratório mantenha sua capacidade de realizar testes de alta qualidade e de se adaptar às crescentes demandas do setor.

Referências Bibliográficas

- ETS-LINDGREN. *Model 4810/2 User Manual*. Los Angeles, California, USA, 2003. Document Number or specific details, if available. Citado na página 41.
- ETS-Lindgren. *Model 2090 Series Multi-Device Controller Manual*. Revision g. Cedar Park, Texas, USA, 2006. ©ETS-Lindgren. Citado na página 14.
- ETS-Lindgren. *SpaceSaver PC Chamber Datasheet*. 2024. Accessed: YYYY-MM-DD. Disponível em: <<https://www.ets-lindgren.com/datasheet/chambers/spacesaver-chambers/5005/500503>>. Citado na página 11.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test: Compatibilité électromagnétique (cem) – partie 4-3: Techniques d’essai et de mesure – essai d’immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*. 3.2. ed. Geneva, Switzerland, 2010. Citado na página 5.
- MILMEGA. *Milmega AS0860-50 Operation Manual*. Location, if known, 2008. Available at: <<https://www.manualslib.com/products/Milmega-As0860-50-10547329.html>>. Citado na página 38.
- PAUL, C. R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. USA: John Wiley & Sons Inc, 1992. Citado na página 4.
- POWER AMPLIFIERS. *BSA 0110-150/060D Operation Manual*. Holzgerlingen, Germany, 2013. Model BSA 0110-150/060D, RF Power Amplifier. Citado na página 35.
- ROHDE & SCHWARZ. *R&S® SMF100A Microwave Signal Generator Operating Manual*. 12. ed. Munich, Germany, 2012. (Test & Measurement). Stock no. 1167.2319.02. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG. *R&S® ESPI EMI Test Receiver Operating Manual*. Munich, Germany, 2009. The manual describes R&S® ESPI3, ESPI7, FSP-B6, FSP-B9, FSP-B10, and FSP-B16 models and options. Citado na página 18.
- ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG. *R&S® OSP Open Switch and Control Unit Operating Manual*. Munich, Germany, 2018. Document No. 1505.3896.12 – 17. Disponível em: <<https://www.rohde-schwarz.com/en/firmware/osp>>. Citado na página 36.
- ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG. *Test & Measurement Catalog 2020*. 09.00. ed. Munich, Germany, 2020. Includes information on the TS9982 EMS Test System. Citado na página 13.
- WEINZIERL, D. *Estudo de Câmaras de Teste de Compatibilidade Eletromagnética (CEM) através do Método de Modelagem por Linhas de Transmissão (TLM)*. 133 p. Tese (Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Citado na página 4.