



Artigo disponibilizado *on-line*

Revista Ilha Digital

Endereço eletrônico:
<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/>



CERTIFICAÇÃO CE DE SWITCH ETHERNET GERENCIÁVEL PARA SUBESTAÇÃO DIGITAL, COM DIRETIVA DE EMC

Dayanne Nayara Telles de Proença Diogo¹, Luis Carlos Martinhago Schlichting²

Resumo: Este artigo considera a análise da compatibilidade eletromagnética em um *switch ethernet* gerenciável padrão 61850 visando à certificação CE do equipamento, que possibilita sua comercialização no mercado europeu. Desse modo, foram estudadas as normas aplicáveis para esse tipo de equipamento, realizados os testes de tipo (EMC) e os resultados analisados para verificar a aprovação ou não do produto para a norma. Neste projeto, no desenvolvimento do produto, foram consideradas técnicas de EMC, como filtros, supressores, layout, escolha de componentes e aterramento da carcaça, o que contribuiu para que o produto fosse aprovado em quase todos os requisitos em seu primeiro teste. Também é apresentada uma avaliação financeira que envolve, como um todo, os custos relacionados a uma certificação voltada à compatibilidade eletromagnética, demonstrando a importância de incluir técnicas de EMC na fase de desenvolvimento do produto, facilitando sua certificação e diminuindo possíveis gastos e atrasos no projeto. Por fim, são apresentados os resultados obtidos nos testes finais, a análise dos resultados e adequação de projeto para garantir a certificação CE do produto.

Palavras-chave: Compatibilidade eletromagnética. Desenvolvimento de produto. Certificação. Switch ethernet gerenciável.

Abstract: *This article considers the analysis of electromagnetic compatibility for a management switch 61850 standards for the CE Mark certification, which is required to European product marketing. For that reason, it has been studied the applicable standards for this equipment model and type tests were carried out as required by it, the test results were analyzed to verify product compliant to be approval or non-approval for standard criteria. In this project, EMC design techniques such as filters, suppressors, layout, component selection and case grounding were considered in the product development, which contributed to the product approval of almost all first type test performed. Moreover, it presents financial assessment about EMC certification, and demonstrates EMC design importance in product development phase schedule, this way make easy the equipment certification and possible reducing the project budget. Finally, it presents the final tests results, their corrections and results analysis, that guarantee the CE certification of the product.*

Keywords: Electromagnetic compatibility. Product design. Certification. Product design. Managed Ethernet Switch.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis, <dnproenca@gmail.com>

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis, <schlicht@ifsc.edu.br>

1 INTRODUÇÃO

A tendência tecnológica das redes inteligentes (Smart Grid) exige que as subestações de energia elétrica apresentem um sofisticado sistema de automação que garanta a integridade das informações e segurança ao operador (MME, 2010). Subestações com esses sistemas configuram uma subestação digital. Subestações digitais apresentam um avanço nos seus sistemas de controle e proteção.

A comunicação entre os equipamentos utilizados na subestação digital está condicionada à conformidade com as normas da família IEC 61850 - *Power Utility Automation*. Desta forma, o cabeamento tradicional e os equipamentos primários como transformadores de potencial (TP) e de corrente (TC), são substituídos por dispositivos de medição inteligentes como *merging units*, que se comunicam por fibra óptica, um meio de comunicação eficiente e confiável.

A necessidade do mercado por equipamentos que atendam à norma IEC 61850, para serem utilizados em subestações digitais, motivaram o desenvolvimento deste trabalho. Para tanto, será realizada a avaliação do switch ethernet gerenciável, equipamento responsável pelo gerenciamento e distribuição de dados dentro de uma subestação. Dessa forma, será avaliado o índice de adequação deste tipo de equipamento ao mercado, visando avaliar as normativas referentes à compatibilidade eletromagnética (EMC - *Electromagnetic Compatibility*) aplicáveis a este tipo de produto e testar a conformidade do produto com estas normas. Tal aspecto compreende uma etapa vital para o lançamento do produto no mercado consumidor.

Atualmente, a Interferência Eletromagnética (EMI - *Electromagnetic Interference*) se apresenta como um problema crítico aos projetistas de eletrônicos e a tendência é que isso se agrave. O grande número de aparelhos eletrônicos de uso comum e a utilização de circuitos integrados em larga escala contribuem para esta tendência (OTT, 2009). A redução massiva das dimensões dos componentes eletrônicos faz com que um maior número de circuitos seja alocado em espaços cada vez mais reduzidos. Desta forma, a tendência é que se eleve a probabilidade de causarem interferências e estarem suscetíveis a ela. Assim, justifica-se a importância do estudo da compatibilidade eletromagnética no projeto de equipamentos.

A marca CE é uma chancela necessária para que um produto seja comercializado no mercado europeu. Ela representa que o produto está de acordo com os requisitos exigidos para seu tipo de aplicação e os testes aplicáveis devem ser realizados em laboratórios acreditados, o que assegura a confiabilidade dos resultados.

1.1 SWITCH ETHERNET GERENCIÁVEL PADRÃO 61850

O Switch Ethernet Gerenciável padrão IEC 61850 é um equipamento desenvolvido para trabalhar com comunicação em instalações e subestações de geração de energia. A norma IEC 61850 tem por objetivo padronizar a integração de toda a proteção, controle, medição e funções de monitoramento dentro de uma subestação, determinando quais são as características, protocolos e funções que os equipamentos devem ter para integrar uma subestação digital.

Dispositivos em conformidade com a IEC 61850 possuem interoperabilidade entre IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) de diferentes fornecedores. Isso é possível graças ao fato de a norma possuir uma linguagem comum, a *Substation Configuration Language* (SCL), que deve ser usada

para trocar informações (AUTOMATION.COM, 2016).

As principais características de um Switch Ethernet Gerenciável padrão IEC 61850 são (Oliviera et al., 2016):

- a) Suporte para protocolos IPv4 e IPv6, com controle e detecção de Storm (Multicast, Unicast e Broadcast);
- b) O tráfego do switch ethernet e monitoramento das portas é realizado utilizando o protocolo SNMP;
- c) Detecção automática e controle para os anéis usando protocolos de redundância STP, RSTP e MSTP (IEEE 802.1D);
- d) Priorização de tráfego utilizando Qualidade de Serviço (QoS – IEEE 802.1Q);
- e) Funções de proteção e detecção de loop sem protocolos de spanning-tree;
- f) Suporte ao protocolo de sincronização IEEE 1588v2 - Precision Time Protocol (PTP);
- g) Operar como Transparent Clock (TC, P2P or E2E mecanismos de cálculo de atraso) ou Boundary Clock (BC)
- h) Realizar segregação de tráfego utilizando LANs virtuais (VLANs).
- i) Possuir sinalização de eventos externa através de um relé de contato seco.
- j) Suporte de mensagens Sample Values (IEC61850-9-2LE) e mensagens GOOSE (IEC61850).

A Figura 1 representa o diagrama de blocos do Switch Ethernet Gerenciável, objeto de estudo deste artigo.

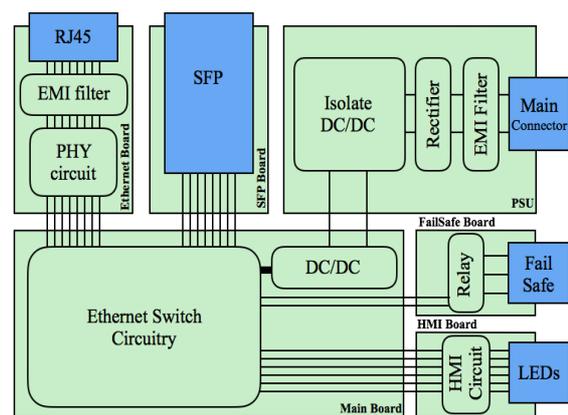


Figura 1 – Diagrama de blocos do produto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma perturbação eletromagnética é um fenômeno eletromagnético que pode degradar o desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema, sendo proveniente de um ruído eletromagnético, um sinal elétrico indesejável ou

uma alteração do próprio meio de propagação do sinal (KODALI, 2001).

De acordo com (KRAUSS; FLEISH, 1999), para que ocorra um problema de interferência eletromagnética, deve haver:

- Fonte de interferência (ex. radiofrequência);
- Meio de propagação (ex. ar)
- Receptor da interferência (ex. microprocessadores);

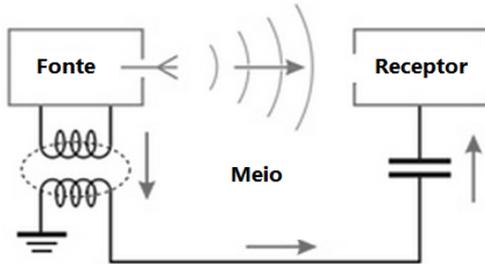


Figura 2 – Diagrama sobre um problema de EMI.

As fontes de EMI podem ser naturais (ex.: descargas atmosféricas) ou artificiais (ex.: chaveamento), intencionais (ex.: rádio) ou não intencionais (ex.: ressonância), internas do circuito (ex.: layout) ou externas a este (ex.: linha de transmissão).

Segundo Paul (2006), um sistema eletromagneticamente compatível com o seu ambiente deve satisfazer três critérios:

- Não causar interferência significativa em outros sistemas;
- Não ser susceptível às emissões de outros sistemas;
- Não causar interferência significativa a si mesmo;

O autor também afirma que há três maneiras para evitar a interferência:

- Suprimir a emissão na sua fonte;
- Fazer o caminho de acoplamento o mais eficiente possível;
- Fazer o receptor menos suscetível a emissão;

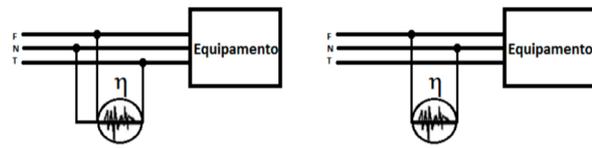
A propagação da perturbação eletromagnética pode ser do tipo conduzida e radiada.

A interferência conduzida se propaga através de um meio físico (ex. cabos, planos, trilhas) e pode ser de modo comum ou de modo diferencial.

O ruído de modo diferencial acopla no circuito de modo normal a condução de corrente do circuito, ou seja, entre linhas de sinais e seus retornos, como por exemplo os sinais de fase e neutro. (SCHNEIDER ELECTRIC, 2016)

Quando se tem um ruído em relação ao terra, caracteriza-se como ruído de modo comum. Os sinais de radiofrequência são fontes comuns de ruído de modo-comum. O ruído em modo-comum é

o maior problema em cabos devido à impedância comum entre o sinal e seu retorno.



(a) Modo Comum

(b) Modo Diferencial

Figura 3 – Representação de ruído modo comum e diferencial.

O conceito básico por trás do equilíbrio nos sinais Ethernet é a aplicação de modo diferencial aos dois condutores de um par como tensões positivas e negativas opostas, mais conhecido como fora de fase. No modo diferencial, os dois sinais se referenciam mutuamente. Isto difere do modo comum, em que os sinais estão em fase e são referenciados ao terra (VIVACE INSTRUMENTS, 2016).

A interferência radiada pode ser proveniente de uma fonte radiada intencional (rádio) ou não (osciladores). Neste caso, o ruído se propaga pelo ar, sem que haja meio físico sólido entre o emissor e o receptor.

A Compatibilidade Eletromagnética é importante em qualquer desenvolvimento de produtos eletrônicos e fundamental para a integração de sistemas. Legalmente, os produtos devem cumprir normas de EMC, as quais foram estabelecidas para controlar limites de emissão e estabelecer níveis de compatibilidade que sistemas elétricos e eletrônicos devem ter, assim como critérios de aceitação para serem compatíveis com o ambiente em que serão inseridos.

2.1 NORMAS

Existem diversos aspectos a serem considerados na adoção das normas que devem ser utilizadas na certificação de equipamentos. O primeiro aspecto a ser considerado é o mercado consumidor ao qual se destina e suas exigências. O segundo aspecto é o ambiente onde este será inserido.

Com base nesses aspectos, avaliando os requisitos de mercado e normas existentes adota-se a norma IEC 60255-26 como norma responsável por determinar os níveis de aceitação de EMC para a utilização do produto na aplicação proposta.

Entre os aspectos a serem considerados na utilização da norma IEC 60255-26 estão as zonas A e B, que levam em consideração o ambiente em que o equipamento está inserido dentro da subestação, sendo a zona A o patio e a zona B a sala de controle. Neste caso, pode-se afirmar que o switch se enquadra na zona B, dado que este será instalado dentro da sala de controle.

No processo de certificação foram requeridos os testes de emissão e de imunidade. Assim, é necessário apresentar a descrição dos testes realizados:

2.1.1 Testes de Emissão - CISPR 11 E CISPR 22

Foram avaliados dois modos de emissão de ondas eletromagnéticas radiadas e conduzidas, as quais são regidas pelas normas CISPR 22 e CISPR 11. Essas normas determinam o limite aceitável de emissão para determinada faixa de frequências e também o método de medição.

A norma CISPR 11 estabelece a avaliação da emissão de ondas eletromagnéticas radiadas e conduzidas com frequências inferiores a 1 GHz, através de uma antena em uma câmara semi-aneóica com distâncias de 3 ou 10 metros do equipamento. Como o equipamento trabalha com frequências internas superiores a 1 GHz, também se torna necessária a utilização da norma CISPR 22 para emissões radiadas, em uma faixa de frequência de medição de até 6 GHz.

A norma CISPR 22 considera ondas radiadas e conduzidas. Para tanto, estabelece-se que as conduzidas devem ser avaliadas através de uma LISN (*Line Impedance Stabilization Network* – Rede de Estabilização de Impedância da Linha) e as radiadas, acima de 1 GHz, devem ser avaliadas da mesma maneira que a CISPR 11, porém com um tipo diferente de antena. Os parâmetros para realização dos testes são especificados pela norma IEC 60255-26.

2.1.2 Testes de Imunidade

Para os testes de imunidade são simulados fenômenos eletromagnéticos com os quais o equipamento pode sofrer interferência em seu funcionamento. Esta resposta ao fenômeno é avaliada de modo geral conforme os critérios de aceitação apresentados a seguir.

Tabela 1 – Critérios de Aceitação

Critério	Descrição
A	Desempenho normal dentro dos limites especificados pelo fabricante, solicitador ou comprador
B	Perda temporária de função ou degradação de desempenho que cessa após a perturbação acabar, e de que o equipamento em teste recupera o seu desempenho normal, sem intervenção do operador
C	Perda temporária de função ou degradação de desempenho, e a correção do desempenho requer a intervenção do operador
D	Perda de função ou degradação de desempenho que não é recuperável, devido a danos no hardware ou software, ou perda de dados

2.1.3 IEC61000-4-2 - Imunidade a Descarga Eletrostática

Segundo a norma IEC61000-4-2, este ensaio tem por objetivo submeter o equipamento a descargas eletrostáticas que simulam os efeitos provocados pelo corpo humano, que são aplicadas em pontos de acesso ao operador. Os tipos de setup de teste consistem em descarga direta e indireta, por contato e por ar. Para cada tipo de descarga a norma determina que sejam aplicadas 10 descargas perpendicularmente a cada ponto de teste, com intervalo de 1 segundo entre cada descarga de polaridade positiva e negativa.

Na tabela 2 apresenta os parâmetros de teste e seu critério de aceitação.

Tabela 2 – Parâmetros de ESD

Modo	Níveis	Critério de aceitação
Contato	2, 4 e 6 kV	A
Ar	2, 4 e 8 kV	A

2.1.4 IEC61000-4-3 - Imunidade a RF Radiada

Segundo a norma IEC61000-4-3, este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido a campos eletromagnéticos irradiados, que representa campos provenientes de fontes intencionais como sinais de rádio ou não intencionais proveniente da emissão de campos eletromagnéticos de equipamentos não certificados nessa diretiva.

Na tabela 3, apresentam-se os parâmetros de teste, e seu critério de aceitação é definido como A.

Tabela 3 – Parâmetros de RF radiada

Parâmetro	Especificação
Intensidade do campo	10 V/m
Modulação AM	1 kHz, 80%
Faixa de frequência	80 MHz a 1000 MHz 1400 MHz a 2700 MHz
Frequências locais	80 MHz, 160 MHz, 380 MHz, 450 MHz, 900 MHz, 1850 MHz e 2150 MHz

2.1.5 IEC61000-4-4 - Ensaio de imunidade a transientes rápidos (Burst)

Transiente elétrico rápido é o nome dado a distúrbios de transientes conduzidos, produzidos por chaveamento de cargas indutivas através de contatos elétricos.

Segundo a norma IEC61000-4-4, esse ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido a injeções de distúrbios elétricos, ou seja, transientes elétricos de elevada amplitude e alta taxa de repetição, que são aplicados de forma direta nos circuitos de alimentação e indireta no circuito de comunicação.

A tabela 4 apresenta os parâmetros de teste e seu critério de aceitação, considerando o equipamento Zona B.

Tabela 4 – Parâmetros de Burst

Porta	Especificação	Critério de aceitação
Fonte de Alimentação	± 2 kV	B
Comunicação	± 1 kV	B
I/Os	± 2 kV	B

2.1.6 IEC61000-4-5 - Imunidade a Surto

Surtos ocorrem na rede elétrica de alimentação como resultado de operações de comutação na rede elétrica e de queda de raios próximos, tanto diretamente no sistema de distribuição de energia quanto em suas proximidades.

Segundo a norma IEC61000-4-5, esse ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido a injeções de distúrbios elétricos de alta tensão, simulando transientes oriundos de descargas atmosféricas

A tabela 5 apresenta os parâmetros de teste e seu critério de aceitação, considerando o equipamento Zona B.

Tabela 5 – Parâmetros de Surto

Porta	Modo	Nível	Critério de aceitação
Fonte de Alimentação	Comum	0,5; 1,0; 2,0 kV	B
	Diferencial	0,5; 1,0 kV	
Comunicação	Comum	0,5; 1,0; 2,0 kV	B
I/Os	Comum	0,5; 1,0; 2,0 kV	B
	Diferencial	0,5; 1,0 kV	

2.1.7 IEC61000-4-6 Imunidade a RF Conduzida

Segundo a norma IEC61000-4-6, este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido a campos eletromagnéticos conduzidos, que representa campos provenientes de fontes intencionais como sinais de rádio que são acoplados aos cabos ou partes metálicas que funcionam como antena e a partir daí transmitem o ruído por um meio físico.

A tabela 6 apresenta os parâmetros de teste e a Tabela 7 seu critério de aceitação.

Tabela 6 – Parâmetros de RF conduzida

Parâmetro	Especificação
Intensidade do campo	10 V/m
Modulação AM	1 kHz, 80%
Faixa de frequência	150 kHz a 80 MHz
Frequências locais	27 MHz a 68 MHz

Tabela 7 – Critério de RF conduzida

Porta	Critério de aceitação
Fonte de Alimentação	A
Comunicação	A
I/Os	A
Terra	A

2.1.8 IEC61000-4-8 - Imunidade a Campo Magnético

Segundo a norma IEC61000-4-8, este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do

equipamento quando submetido a campos magnéticos na frequência industrial de 60 Hz aplicados por imersão. O teste busca simular os campos que são gerados próximos de cabos de alta corrente, normalmente presentes em subestações de energia.

Na tabela 8 apresentam-se os parâmetros de teste e seu critério de aceitação.

Tabela 8 – Parâmetros de Campo Magnético

Modo	Especificação	Critério de aceitação
Contínuo	30 A/m	A
1s até 3s	300 A/m	B

2.1.9 IEC61000-4-11 - Imunidade a Interrupções e Variação de tensão

Quedas de tensão e interrupções curtas são causadas por falhas na rede de energia, principalmente por curtos-circuitos ou mudanças bruscas de carga.

Segundo a norma IEC61000-4-11, este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido a este tipo de fenômeno. Quando o equipamento possui um range de tensão nominal, o teste deve ser aplicado à tensão mais baixa declarada no range de tensão.

A tabela 9 apresenta os parâmetros de teste e seu critério de aceitação.

Tabela 9 – Parâmetros de Interrupções e Variação de tensão

Parâmetro	Tempo de Duração	Critério de aceitação
0%	0.5 a 25 ciclos ¹	A
40%	10/12 ciclos ²	C
70%	25/30 ciclos	C
0%	250/300 ciclos	C

¹. Neste caso, o fabricante pode escolher o tempo dentro deste período. ² 10/12 representa 10 ciclos para frequência nominal de 50 Hz e 12 ciclos para 60 Hz.

2.1.10 IEC61000-4-29 - Imunidade a Interrupções e Variação de tensão DC

Quedas de tensão e interrupções curtas são causadas por falhas no fornecimento de energia, principalmente por curtos-circuitos ou mudanças bruscas de carga.

Segundo a norma IEC61000-4-29, este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido a esse tipo de fenômeno. Quando o equipamento possui um range de tensão nominal, o teste deve ser aplicado à tensão mais baixa declarada no range de tensão.

A tabela 10 apresenta os parâmetros de teste e seu critério de aceitação.

Tabela 10 – Parâmetros de Interrupções e Variação de tensão DC

Parâmetro	Tempo de Duração	Critério de aceitação
0%	10 a 1000 ms ¹	A
40%	200ms	C
70%	500ms	C
0%	5 s	C

¹ Neste caso o fabricante pode escolher o tempo dentro deste período.

2.1.11 IEC61000-4-18 - Ensaio de imunidade a Onda oscilatória amortecida

Segundo a norma IEC61000-4-18, este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido aos transientes elétricos produzidos por chaveamento ou desconexão em subestações de média e alta tensão. Essas perturbações são particularmente observadas no chaveamento dos barramentos de alta tensão e em plantas industriais.

A tabela 11 apresenta os parâmetros de teste e seu critério de aceitação.

Tabela 11 – Parâmetros de onda oscilatória amortecida

Porta	Modo	Nível	Critério de aceitação
Fonte de Alimentação	Comum	2,5 kV	B
	Diferencial	1,0 kV	
Comunicação	Comum	1,0 kV	B
I/Os	Comum	2,5 kV	B
	Diferencial	1,0 kV	

2.1.12 IEC61000-4-16 - Imunidade a Power Frequency

Segundo a norma IEC61000-4-16, este ensaio tem por objetivo verificar o desempenho de equipamentos quando submetidos a distúrbios de modo comum conduzidos na faixa de frequência DC a 150 kHz na alimentação, controle, sinal e linhas de comunicação.

A norma IEC60255-26 restringe a aplicação desse teste para apenas entradas binárias. Deste modo, este teste não necessita ser realizado, pois o *switch* em questão não possui esse tipo de porta.

2.1.13 IEC61000-4-17 - Imunidade a Ripple em DC

Segundo a norma IEC61000-4-17, este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do equipamento quando submetido à injeção de corrente alternada sobre uma corrente contínua, representando o *ripple* de um sinal DC. Esse fenômeno está presente nas fontes DC e representam a qualidade do sinal DC.

Na tabela 12, apresentam-se os parâmetros de teste e seu critério de aceitação é definido como A.

Tabela 12 – Parâmetros de Ripple em DC

Parâmetro	Especificação
Nível	15% do range DC
Frequências	100/120 Hz

3 METODOLOGIA

Este trabalho busca a avaliação da conformidade de um *switch* ethernet gerenciável padrão 61850 com normas de EMC para inserção no mercado. Desse modo, foi avaliado primeiramente o mercado e as normas que regem o funcionamento de uma subestação digital e identificadas quais características e normativas o produto deve atender. Definidas as exigências do mercado, para esse tipo de equipamento, pesquisaram-se laboratórios acreditados e custos relativos a realização dos testes.

Concluída a lista de laboratórios, separa-se o material necessário para a realização dos testes e os executa. Obtidos os resultados dos testes, avalia-se quanto à conformidade desses com a norma. Caso o equipamento não esteja dentro do exigido pelo mercado, adequa-se o produto e realiza-se outra rodada de testes até que este esteja adequado às normas. Após o produto estar conforme, em parceria com o laboratório acreditado deve-se emitir uma declaração de conformidade do equipamento quanto às normas de EMC aplicáveis. Finalizado este processo o produto pode ser comercializado nos países da União Europeia com relação a EMC.

4 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para as normas listadas no item anterior foram realizados testes em laboratórios acreditados e os resultados finais utilizados para a certificação são apresentados a seguir.

4.1 CISPR 22 - EMISSÃO CONDUZIDA

O teste de emissão conduzida foi realizado para os valores de tensão nominal do equipamento, sendo eles 127 V e 220 V, considerando os limites estipulados em norma para um equipamento Classe A.

Como setup de teste foi utilizado um computador para enviar e receber informações através do *switch* e para garantir que mais de 80% do produto em funcionamento foram feitos loops entre as portas de comunicação. Com isto foram obtidos os seguintes resultados:

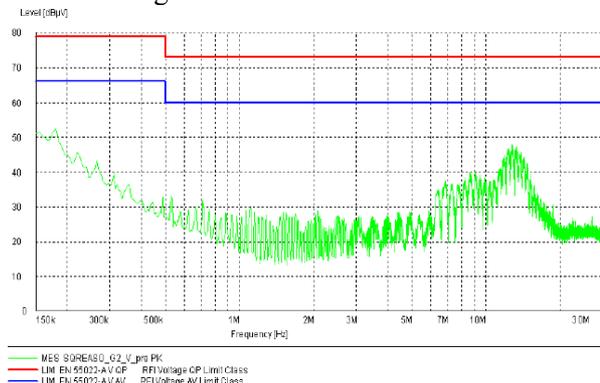


Figura 2 – Emissão conduzida, com alimentação de 220 V

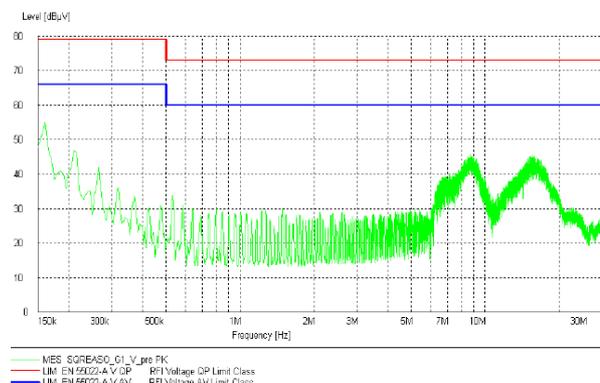


Figura 3 – Emissão conduzida, com alimentação de 127 V

Analisando-se os resultados obtidos tem-se que o equipamento foi aprovado, pois emite ruídos abaixo dos limites estipulados. Dado que o ruído emitido foi muito abaixo do limite da norma, não há a necessidade de fazer as medições de "PK".

4.2 CISPR 11 - EMISSÃO RADIADA

O teste foi realizado considerando os limites estipulados em norma para um equipamento Classe A e como setup de teste foi utilizado um computador para enviar e receber informações através do *switch* e para garantir que mais de 80% do produto estivesse em funcionamento foram feitos loops entre as portas de comunicação.

Com isso, foram obtidos os seguintes resultados:

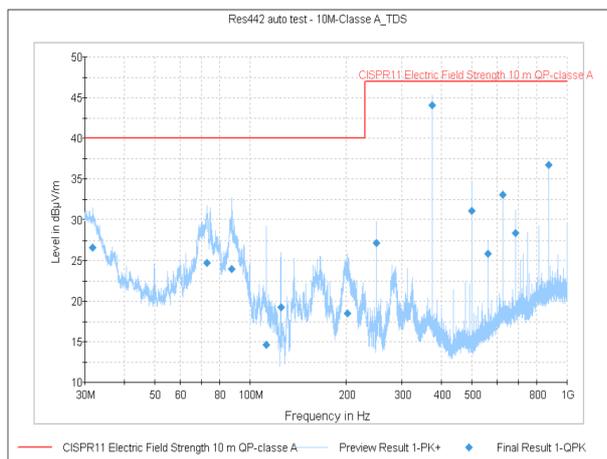


Figura 4 – Emissão radiada 30 M – 1 G

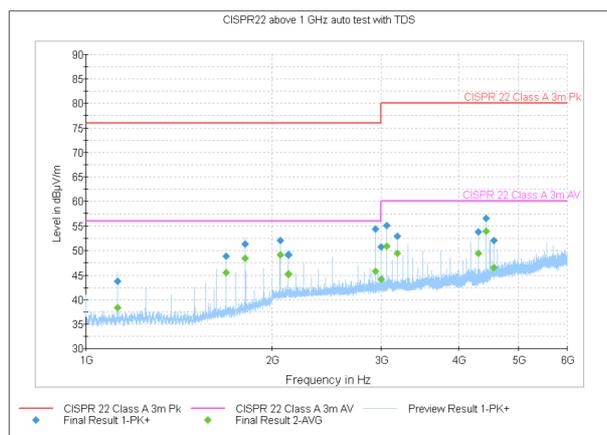


Figura 4 – Emissão radiada 1 G – 6 G

Analisando os resultados obtidos, tem-se que o equipamento foi aprovado, pois emite ruídos abaixo dos limites estipulados.

4.3 IEC61000-4-2 - IMUNIDADE A DESCARGA ELETROSTÁTICA

O teste foi realizado em 9 pontos do equipamento, os quais incluem rasgos, conectores, led pipes como mostra a Figura 8. Com isto, foram obtidos os seguintes resultados.

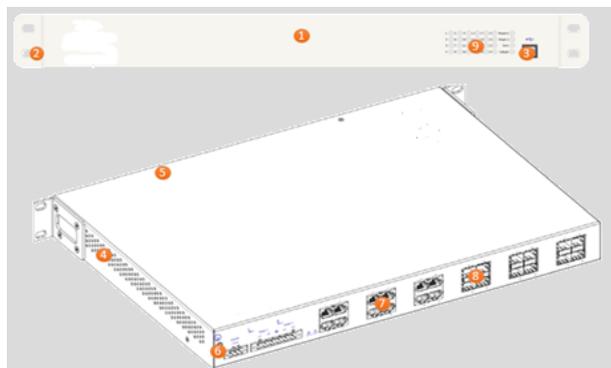


Figura 8 – Pontos de aplicação

Tabela 13 – Aplicação de ESD.

Ponto	Nível de tensão	Modo de aplicação	Ocorrências
01	2 kV, 4 kV e 6 kV	Contato	-
02	2 kV, 4 kV e 6 kV	Contato	-
03	2 kV, 4 kV e 6 kV	Contato	-
04	2 kV, 4 kV e 6 kV	Contato	-
05	2 kV, 4 kV e 6 kV	Contato	-
06	2 kV, 4 kV e 6 kV	Contato	-
07	2 kV, 4 kV e 6 kV	Contato	-
08	2 kV, , 4 kV e 6 kV	Contato	-
09	2 kV, 4 kV e 8 kV	Ar	-

Analisando os resultados obtidos, tem-se que o equipamento foi aprovado, pois seu funcionamento não sofreu interferências durante a realização dos ensaios, recebendo assim o critério A.

4.4 IEC61000-4-3 - IMUNIDADE A RF RADIADA

O teste foi realizado em uma câmara semi-anecoica, considerando como setup de teste um computador que se comunicava com o equipamento e verificava seu funcionamento.

Durante e após o ensaio não foi observada nenhuma anormalidade no funcionamento do equipamento, com isto o equipamento foi aprovado no ensaio, recebendo o critério A.

4.5 IEC61000-4-4 - ENSAIO DE IMUNIDADE A TRANSIENTES RÁPIDOS (BURST)

O teste foi realizado nos circuitos estipulados por norma considerando como setup de teste um computador que se comunicava com o equipamento e verificava seu funcionamento durante o teste. Quando realizado teste na porta de comunicação, a mesma foi utilizada para fazer o monitoramento do funcionamento do equipamento. Assim, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 14 – Aplicação de Burst.

Circuito	Nível de tensão	Ocorrências
Fonte de alimentação	2 kV	-
Comunicação	1 kV	-
I/Os	2 kV	-

Analisando os resultados obtidos, tem-se que o equipamento foi aprovado, pois seu funcionamento não sofreu interferências durante a realização dos ensaios, recebendo assim o critério A, para todos os circuitos.

4.6 IEC61000-4-5 - IMUNIDADE A SURTO

O teste foi realizado nos circuitos estipulados por norma considerando como setup de teste um computador que se comunicava com o equipamento e verificava seu funcionamento durante o teste. Quando realiza do teste na porta de comunicação, a mesma foi utilizada para fazer o monitoramento do funcionamento do equipamento. Foram aplicadas 5 perturbações em cada polaridade, com intervalo de 60 segundos entre cada aplicação. E foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 15 – Aplicação de Surto.

Circuito	Nível	Modo de aplicação	Ocorrência
Fonte de alimentação	0.5 kV, 1 kV, 2 kV e 4 kV	Comum	-
	0.5 kV, 1 kV e 2 kV	Diferencial	-
Comunicação	0.5 kV, 1 kV e 2 kV	Comum	-
I/Os	0.5 kV, 1 kV, 2 kV e 4 kV	Comum	-
	0.5 kV, 1 kV e 2 kV	Diferencial	-

Analisando-se os resultados obtidos tem-se que o equipamento foi aprovado, pois seu funcionamento não sofreu interferências durante a realização dos ensaios, recebendo assim o critério A, para todos os circuitos.

4.7 IEC61000-4-6 - IMUNIDADE A RF CONDUZIDA

O teste foi realizado nos circuitos estipulados por norma, considerando como setup de teste um computador que se comunicava com o equipamento e verificava continuamente seu funcionamento. Quando realizado o teste na porta de comunicação, a mesma foi utilizada para fazer o monitoramento do funcionamento do equipamento.

No primeiro teste realizado, o equipamento apresentou perda de pacotes de dados quando aplicada a interferência na porta de comunicação, assim, foi necessária alteração de projeto para melhorar a integridade de sinais da placa de modo que não ocorresse mais essa perda de pacote quando

a interferência fosse aplicada na porta de comunicação. Após o re-projeto foram refeitos todos os testes relacionados a porta de comunicação, dado que a estrutura do equipamento é modular. Os resultados do teste final estão apresentados a seguir.

Tabela 16 – Aplicação de RF.

Porta	Ocorrências
Fonte de Alimentação	-
Comunicação	-
I/Os	-
Terra	-

4.8 IEC61000-4-8 - IMUNIDADE A CAMPO MAGNÉTICO

O teste foi realizado aplicando o campo em 3 eixos conforme especificado em norma, e como setup de teste foi utilizado um computador que se comunicava com o equipamento e verificava seu funcionamento.

Tabela 17 – Aplicação de Campo Eletromagnético.

Modo	Especificação	Ocorrências
Contínuo	30 A/m	-
1s até 3s	300 A/m	-

Durante e após o ensaio não foi observada nenhuma anormalidade no funcionamento do equipamento e, com isto, o equipamento foi aprovado no ensaio, recebendo assim o critério A.

4.9 IEC61000-4-11 - IMUNIDADE A INTERRUPÇÕES E VARIAÇÃO DE TENSÃO

O teste foi realizado com valores de alimentação de 110 V e 220 V, considerando 50 Hz e 60 Hz e foram obtidos os seguintes resultados.

Tabela 18 – Resultados das variações de tensão.

Nível de tensão:	Tempo de duração	Ocorrências (110, 220, 50 e 60Hz)
0%	1 ciclo	-
40%	12 ciclos	-
70%	30 ciclos	-
0%	300 ciclos	Desligamento

Analisando-se os resultados obtidos tem-se que o equipamento foi aprovado pois atende aos critérios da norma para cada nível, ou seja, o equipamento desligou durante o teste e se recuperou sozinho, após finalizado o teste, resultando em critério C pela norma para os casos de desligamento e critério A para o caso de não ocorrências.

4.10 IEC61000-4-29 - IMUNIDADE A INTERRUPÇÕES E VARIAÇÃO DE TENSÃO DC

O teste foi realizado com valores de alimentação de 115 VDC e foram obtidos os seguintes resultados.

Tabela 19 – Resultados das variações de tensão.

Nível de tensão:	Tempo de duração	Ocorrências
0%	16 ms	-
40%	200ms	Desligamento
70%	500ms	-
0%	5 s	Desligamento

Analisando-se os resultados obtidos tem-se que o equipamento foi aprovado pois atende aos critérios da norma para cada nível, ou seja, o equipamento desligou durante o teste e se recuperou sozinho, após finalizado o teste, resultando em critério C pela norma para os casos de desligamento e critério A para o caso de não ocorrências.

4.11 IEC61000-4-18 - ENSAIO DE IMUNIDADE A ONDA OSCILATÓRIA AMORTECIDA

O teste foi realizado nos circuitos estipulados por norma considerando como setup de teste um computador que se comunicava com o equipamento e verificava seu funcionamento durante o teste. Quando realizado teste na porta de comunicação, a mesma foi utilizada para fazer o monitoramento do funcionamento do equipamento. E foram obtidos os seguintes resultados.

Tabela 20 – Aplicação de Onda Amortecida.

Circuito	Nível	Modo de aplicação	Ocorrência
Fonte de alimentação	2.5 kV	Comum	-
	1 kV	Diferencial	-
Comunicação	1 kV	Comum	-
	2.5 kV	Comum	-
I/Os	2.5 kV	Comum	-
	1 kV	Diferencial	-

Analisando-se os resultados obtidos tem-se que o equipamento foi aprovado pois seu funcionamento não sofreu interferências durante a realização dos ensaios, recebendo assim o critério A, para todos os circuitos.

4.12 IEC61000-4-17 - IMUNIDADE A RIPPLE EM DC

O teste foi realizado aplicando a interferência na fonte de alimentação DC. Durante e após o ensaio não foi observado nenhuma anormalidade no funcionamento do equipamento, com isto o equipamento foi aprovado no ensaio, recebendo assim o critério A.

5 TÉCNICAS UTILIZADAS

Os aspectos de EMC/EMI devem ser abordados no início projeto, no desenho de placas de circuitos impressos, cases de equipamentos e sistemas, pois tais problemas de EMC geram insatisfações na operação no sistema para o consumidor e correções de problemas de EMI pós-projeto se tornam onerosas (KODALI, 2001).

Neste projeto, algumas técnicas foram utilizadas no desenvolvimento do produto, e elas são:

- **Aterramento da carcaça do equipamento**

Esta técnica melhora a blindagem do equipamento e a aplicação dela pode ser visualizada nos testes de emissão radiada do equipamento, visto que quando a carcaça não está aterrada os níveis de ruído são maiores, e podem ser superiores aos limites permitidos por norma.

- **Componentes e módulos certificados**

Na seleção de componentes foi considerada a análise de *datasheet*, de modo a garantir que eles atendessem aos requisitos este projeto, como níveis de isolamento, aprovação em normas de EMC e segurança e funcionalidade. Um exemplo seria ao módulo da fonte, que já possui certificação nas normas de EMC exigidas, e outro exemplo seria os

capacitores que suportam os níveis de tensão de surto.

- **Layout**

Para garantir a integridade de sinais nas placas foram utilizadas técnicas de layout que colaboram com compatibilidade eletromagnética dentro do equipamento. Dentre as técnicas estão: diminuição do loop de terra, utilização de planos de terra, separação dos circuitos de alta velocidade e potência, casamento de impedância. Para conseguir aplicar essas técnicas as placas possuem entre quatro e seis layers.

- **Supressores**

Nas interfaces que estão sujeitas a testes como ESD e Surto, foram incluídos circuitos de supressores de tensão, TVS, varistores, para garantir que os testes não degradem o circuito, impedindo que o ruído se propague circuito adentro e cause queima ou mau funcionamento da interface.

- **Filtros**

Nas interfaces que estão sujeitas a testes de injeção de ruído modo comum ou diferencial foram inclusos filtros para evitar que o ruído se propague pelo circuito e garantir que a informação transmitida não seja modificada de modo a gerar erros de protocolo de comunicação ou informação. Também em relação ao terra são utilizados ferrites em vários pontos da placa que interconectam o GND da placa e o terra do equipamento de modo a formar um filtro na passagem do ruído para o terra.

6 ANÁLISE FINANCEIRA

Os custos de testes de EMC abordados a seguir foram estimados considerando a média dos orçamentos recebidos por laboratórios acreditados pelo Inmetro e que emitem relatórios de teste em inglês (INMETRO, 2016).

Os laboratórios considerados foram: IPT, CPqD, Labelo, Eldorado e Cientec, para teste de certificação. Esta delimitação é importante, pois os custos variam em caso de testes de desenvolvimento e oficiais e em alguns laboratórios é cobrado por período de utilização ao invés de tipo de teste realizado.

Assim, o custo para a certificação do produto nas normas citadas acima pode variar de R\$ 20.000,00 a R\$ 36.000,00, dependendo do laboratório utilizado para realizar o teste e tempo de teste.

Em geral os testes mais caros são os que envolvem câmara semi-aneóica, em que a média de preço é de R\$ 500,00/h.

Caso o produto não seja aprovado em seu primeiro teste deve ser considerado um novo

orçamento de teste para a interface, custos com desenvolvimento e novos protótipos com as correções para teste.

Além desses custos, também influenciam na análise financeira o cumprimento do prazo de lançamento do produto, que representa uma impossibilidade de venda do produto que pode gerar uma perda na ordem de centenas de milhares de dólares ao mês em vendas. Assim, além dos custos para reprojeto e retestar o produto existe uma perda em lucro para empresa que é substancialmente maior do que os gastos com os testes em si.

Com isto, a importância de considerar os cuidados e técnicas para EMC do desenvolvimento do produto e também possível retrabalho para correção de problemas no cronograma de modo a evitar maiores gastos ou perdas no orçamento.

7 CONCLUSÃO

Para atender a demanda do mercado para *switch* ethernet gerenciável padrão 61850, foi desenvolvido o produto em questão, mas para poder incluí-lo no mercado europeu é necessária a certificação CE, que é uma certificação auto-declaratória, mas para maior credibilidade essa ‘Declaração de conformidade’ é feita por um laboratório terceiro.

Para que essa certificação ocorresse foram verificadas as normas aplicáveis, níveis e testes, que neste trabalho se restringem a abordar os aspectos de EMC.

Analisando-se as normas aplicáveis para o produto foram determinados os testes e os níveis que o equipamento deveria atender, e assim o mesmo foi submetido aos testes. No desenvolvimento do produto foram consideradas técnicas de EMC, como filtros, supressores, layout, escolha de componentes e aterramento da carcaça, o que contribuiu para que o produto fosse aprovado em quase todos os testes de EMC em sua primeira rodada de testes, gerando assim pouco reprojeto e reteste posterior.

Contudo, mesmo com os cuidados com EMC, o primeiro teste de imunidade RF conduzida recebeu um critério inferior ao exigido por norma, o que gerou a necessidade de reprojeto, melhorando a parte de integridade de sinais, e após essa melhoria o equipamento passou por todos os testes relacionados a porta de comunicação e foi aprovado. De modo que todos os testes estivessem aprovados de acordo com a norma, o equipamento pode ser considerado em conformidade com a norma, viabilizando assim a abertura para vendas no mercado europeu.

Neste trabalho também foram avaliados os custos envolvidos no desenvolvimento de um produto que possua normas de EMC aplicáveis a

ele. Essa avaliação apresenta que além dos custos com testes e protótipos para a certificação, também existe um custo relacionado à impossibilidade de mercado devido à falta da certificação.

Portanto, fica explícita a importância da consideração dos cuidados de EMC no projeto de desenvolvimento de produtos, dado que para o mercado europeu essa compatibilidade é uma exigência e o seu não cumprimento impossibilita a venda nessa região, e o custo com correções para atender às normas após o projeto estar finalizado se tornam mais oneroso. Para o *switch* ethernet gerenciável em teste, podemos concluir que ele está apto para ser comercializado na Europa e também atende aos níveis e limites de compatibilidade eletromagnética exigidos para o seu ambiente de aplicação.

REFERÊNCIAS

- AUTOMATION.COM. IEC 61850 Power Communications Standard - Commercial Ethernet switches need not apply! Disponível em: <<http://www.automation.com/library/articles-white-papers/articles-by-bill-lydon/iec-61850-power-communications-standard-commercial-ethernet-switches-need-not-apply>>. Acesso em: 14 dez. 2016.
- CISPR 11 - Industrial, scientific, and medical (ISM) radio-frequency equipment electromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement, 2006.
- CISPR 22 - Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement, 2002.
- IEC. IEC 61000-4-2, Electromagnetic compatibility (EMC)- Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test. 2008.
- IEC. IEC 61000-4-3, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test. 2007.
- IEC. IEC 61000-4-4, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test. 2004.
- IEC. IEC 61000-4-5, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test. 2005.
- IEC. IEC 61000-4-6, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-6: Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields. 2008.
- IEC, IEC 61000-4-8 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-8: Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test, 1997.
- IEC. IEC 61000-4-11, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. 2004.
- IEC, IEC 61000-4-16, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-16: Testing and measurement techniques – Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz. Amendment 2:2009.
- EC, IEC 61000-4-17, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-17: Testing and measurement techniques - Ripple on d.c. input power port immunity test, 2006.
- IEC, IEC 61000-4-18, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-18: Testing and measurement techniques - Damped oscillatory wave immunity test
- IEC, IEC 61000-4-29, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-29: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests, 2000.
- IEC, IEC 60255-26 - Measuring relays and protection equipment - Part 26: Electromagnetic compatibility requirements, 2005.
- INMETRO, Busca de Laboratórios acreditados para EMC. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/lista_laboratorios.asp?sigLab=&codLab=&tituloLab=&uf=&pais=BRASIL&classe_ensao=002&area_atividade=&descr_escopo=&Submit2=BuscarConclusão. Acesso em: 1 nov. 2016.
- OLIVIERA, Lucas B et al. ETHERNET SWITCHES REQUIREMENT OVER IEC 61850 NETWORKS. In: CONFERENCE OF ELECTRIC POWER SUPPLY INDUSTRY (CEPSI), 21., 2016, Tailândia. ETHERNET SWITCHES REQUIREMENT OVER IEC 61850 NETWORKS. p. 1 - 9. Disponível em: <https://www.cepsi2016bangkok.org/pdf/FP_B.5_G_E_Ethernet_Switches_Requirements_over_IEC_61850_Networks.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2016.
- OTT, H. W. Electromagnetic Compatibility Engineering. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2009. 843 p.

PAUL, C. R. Introduction to Electromagnetic Compatibility. Second ed. Canada.: JOHN WILEY & SONS, 2006. 983 p.

MME - Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes Ministério de Minas e Energia. Relatório GT Smart Grid Portaria 440. Brasília, MME, 2010. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157>. Acesso em: 01 nov. 2016.

SCHNEIDER ELECTRIC (Org.). Compatibilidade Eletromagnética. Disponível em:
<https://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/tema10_compatibilidade.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

VIVACE INSTRUMENTS. EMI - INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA em INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS e MUITO MAIS. Disponível em:
<<http://www.vivaceinstruments.com.br/en/article/emi-interferencia-eletromagnetica-em-instalacoes-industriais-e-muito-mais>>. Acesso em: 15 nov. 2016.