



Artigo disponibilizado *on-line*

Revista Ilha Digital

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



DESENVOLVIMENTO DE COMPUTADOR DE TELEMETRIA COM FOCO NA REDUÇÃO DE EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS CONDUZIDAS E RADIADAS

Tiago Pasqualotto¹, Dr. Luis Carlos Martinhago Schlichting²

Resumo: Este artigo relata o processo de desenvolvimento de um produto eletrônico, tendo em vista requisitos relacionados a sua adequação ao ambiente eletromagnético onde estará inserido. Os requisitos aqui tratados estão diretamente relacionados a temática de compatibilidade eletromagnética e também ao processo de certificação de produtos exigido pela Agência Nacional de Telecomunicações. O foco será dado a questões relacionadas a emissão de radiação eletromagnética tanto na forma radiada quanto na forma conduzida. Será apresentada uma pequena revisão teórica dos conceitos de compatibilidade eletromagnética relacionados ao projeto. Uma breve descrição do produto e de suas funcionalidades assim como das normas e da legislação aplicável também está contemplada. Os ciclos de desenvolvimento realizados serão descritos de forma a demonstrar como se deu o projeto do produto e como foram planejados e realizados os ensaios de verificação. Uma maior ênfase será dada aos problemas encontrados durante o projeto, os métodos utilizados para identificar suas causas e as soluções propostas para mitiga-los. Ao final apresentar-se-ão os resultados obtidos até a apresentação deste artigo assim como as ações previstas para a finalização do projeto.

Palavras-chave: Compatibilidade eletromagnética. Certificação de produto. Emissão eletromagnética. Desenvolvimento de produto.

Abstract: *This article reports the development process of an electronic product, considering requirements related to its suitability to the electromagnetic environment where it will be inserted. The requirements here are directly related to the subject of electromagnetic compatibility and also to the product certification process required by the National Telecommunications Agency. The focus will be given to issues related to the emission of electromagnetic radiation in both the radiated form and the conducted form. A small theoretical review of the concepts of electromagnetic compatibility related to the project will be presented. A brief description of the product and its features as well as the applicable standards and legislation is also provided. The development cycles will be described in order to demonstrate how the product design took place and how verification tests were planned and carried out. A greater emphasis will be given to the problems encountered during the project, the methods used to identify the causes, and the proposed solutions to mitigate them. At the end, the results obtained until the presentation of this article will be presented as well as the actions planned for the finalization of the project.*

Keywords: *Electromagnetic compatibility. Electromagnetic emission. Product certification. Product design.*

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

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

1 INTRODUÇÃO

O projeto de um produto eletrônico vai muito além de suas funcionalidades, é preciso que ele seja pensado também para manter essas funcionalidades nos diversos ambientes onde ele poderá ser utilizado. O ambiente eletromagnético ao qual um

produto poderá ser submetido costuma ser negligenciado e até mesmo esquecido durante as etapas de desenvolvimento.

Aspectos básicos de compatibilidade eletromagnética (*Electromagnetic Compatibility - EMC*) devem ser levados em consideração para garantir que o produto não gere interferência em

outros produtos e que seja imune a interferências externas.

Today's equipment designers need to do more than just make their systems operate under ideal conditions in the laboratory. Besides that obvious task, products must be designed to work in the "real world," with other equipment nearby, and to comply with government electromagnetic compatibility (EMC) regulations. This means that the equipment should not be affected by external electromagnetic sources and should not itself be a source of electromagnetic noise that can pollute the environment. Electromagnetic compatibility should be a major design objective. (OTT, 2009, p.3)

Outro aspecto bastante importante é que produtos que são irradiadores intencionais devem obedecer a uma legislação, já que o uso do espectro eletromagnético é regulamentado em todo o mundo. No Brasil, produtos eletrônicos que estarão conectados a redes de comunicação, cabeadas ou não, ou que fazem uso do espectro eletromagnético devem, obrigatoriamente, ser certificados pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). A ANATEL é responsável por definir os critérios mínimos que cada produto precisa cumprir para chegar ao mercado.

Designing for EMC is not only important for the desired functional performance; the device must also meet legal requirements in virtually all countries of the world before it can be sold. (PAUL, 2006, p.2)

Serão estes os aspectos tratados neste trabalho, buscando ao final ter um produto apto ao ambiente eletromagnético pretendido como também a legislação vigente.

Para que o processo de desenvolvimento de um produto seja conduzido de maneira mais assertiva, é preciso conhecer a legislação vigente e as portarias aplicáveis ao produto. Adicionando requisitos ao projeto o quanto antes para que não haja surpresas ao chegar-se a um processo de certificação, onde uma reprovação e a necessidade de alterações no projeto aumentará muito os custos de desenvolvimento.

A system designed with complete disregard for EMC will almost always have problems when testing begins. Analysis at that time, to find which of the many possible noise path combinations are contributing to the problem, may not be simple or obvious. Solutions at this late stage usually involve the addition of extra components that are not integral parts of the circuit. Penalties paid include the added engineering and testing costs, as well as the cost of the mitigation components and their

installation. There also may be size, weight, and power dissipation penalties. (OTT, 2009, p.5)

Como a legislação vigente aponta para um grande número de normas a serem consideradas na certificação do produto e a temática de EMC é bastante abrangente, este trabalho estará focado apenas nos aspectos relacionados as emissões do produto, tanto conduzidas como radiadas.

O objetivo geral do trabalho é deixar o produto apto a ser aprovado no processo de certificação ANATEL. Para que isso seja possível alguns objetivos específicos precisam ser alcançados: o estudo da legislação e normas aplicáveis, o enquadramento do produto em desenvolvimento dentro da legislação vigente, o planejamento e a realização dos ensaios para verificação e validação para garantir que os objetivos propostos foram atingidos e realizar as adequações necessárias para que o produto esteja apto a ser certificado.

O trabalho nasce de uma obrigação legal que é a certificação compulsória juntamente com uma exigência de mercado por produtos confiáveis e de qualidade. Para que estes sejam atendidos é necessário que todo o processo de desenvolvimento do produto seja também orientado a questões relacionadas à EMC.

Esta temática exige de um profissional, além de todo o seu arcabouço teórico, conhecimentos em diversas áreas como, por exemplo: o projeto de circuitos elétricos/eletrônicos, projeto de placas de circuito impresso, seleção de componentes e materiais, métodos de ensaio, normas, entre outros. Profissionais competentes com esse perfil são raros e caros e a oportunidade de se capacitar nesta área é bastante valiosa.

É da confluência dos fatores apresentados (desenvolvimento do produto eletrônico, cumprimento de requisitos e obrigações legais entre outros) que surge este trabalho, das necessidades (ter o produto que deseja apto a ser comercializado) e obrigações (legais e contratuais) das empresas envolvidas e da oportunidade de capacitação (trabalho de conclusão da pós-graduação).

Além disso é importante citar a chance de promover a parceria entre empresa e escola, trazendo um pouco do conhecimento acadêmico para o processo de desenvolvimento de produto e de disseminar o resultado deste trabalho através do artigo a ser escrito.

O trabalho tem como grande meta que o computador de telemetria esteja apto a ser aprovado no processo de certificação. Como meta menor, mas não menos importante está um produto mais robusto do ponto de vista de emissões e susceptibilidade conduzidas e radiadas.

Atingindo os objetivos do trabalho ter-se-á um produto mais robusto e confiável com conseqüentes maior tempo de vida e menor taxa de retorno. Estas características têm impactos ambientais (baixo índice de descarte e menor ruído eletromagnético) e econômicos (vida mais longa e menor índice de falhas). Haverá também impactos sociais da cooperação entre empresa e o Instituto Federal Santa Catarina (IFSC) com o compartilhamento do aprendizado e dos resultados do projeto através do artigo escrito.

O projeto como um todo está inserido num ambiente fortemente influenciado pela metodologia de engenharia simultânea, mas no caso das atividades a serem desenvolvidas para este trabalho, teremos uma metodologia simplificada com um encadeamento praticamente linear das atividades.

O trabalho inicia-se com uma pesquisa de produto e mercado, a partir da qual serão levantados os requisitos de projeto e também os requisitos legais e normativos.

A próximas três etapas do projeto são ciclos que estão previstos para acontecer três vezes, esses ciclos são compostos por quatro etapas distintas: revisão de projeto; planejamento de ensaios de verificação/validação; execução dos ensaios de verificação/validação e avaliação dos resultados. A definição de realizar até três ciclos se deu para permitir ciclos de verificação e correção do projeto, mas por questões de prazo e custo, limitou-se estes ciclos a no máximo três.

Ao final dos três ciclos de projeto, espera-se entregar o produto final apto a passar pelo processo de certificação ANATEL.

Por questões de sigilo e de uso das marcas, o nome dos laboratórios onde o produto foi ensaiado e as marcas de componentes do produto adquiridos de terceiros serão substituídos por nomes genéricos.

2 INTRODUÇÃO TEÓRICA

O primeiro passo é definir o que é compatibilidade eletromagnética, que é a capacidade de um sistema eletrônico funcionar adequadamente no ambiente eletromagnético para o qual foi projetado e não ser fonte de poluição para este mesmo ambiente (MONTROSE, 2000; OTT, 2009; PAUL, 2006; WILLIAMS, 2001). Desta maneira um sistema pode ser considerado eletromagneticamente compatível com o seu ambiente de uso se satisfizer as seguintes condições:

- não causar interferência nele mesmo;
- não causar interferência em outros sistemas;
- não ser susceptível as emissões geradas por outros sistemas (PAUL, 2006, p.2).

Conhecendo a definição de compatibilidade eletromagnética, é possível definir interferência eletromagnética (*Electromagnetic Interference – EMI*), de acordo com Montrose (2000, p1), simplesmente como a ausência de EMC ou de maneira mais completa como o processo pelo qual energia eletromagnética é transmitida de um sistema eletrônico para outro causando problemas em seu funcionamento.

Problemas de interferência eletromagnética podem, segundo Montrose (2000, p 4) e Paul (2006, p 3), ser tratados através de um modelo simplificado contendo apenas três elementos:

- 1) uma fonte de energia eletromagnética (um emissor);
- 2) um meio de transmissão; e
- 3) um receptor,

como mostrado na Figura 1.



Figura 1 - Modelo Simplificado para Problemas de EMI

Com base neste modelo Paul (2006, p.4) afirma que existem três meios para prevenir problemas de EMI:

- 1) suprimir a emissão na sua fonte;
- 2) tornar o meio de transmissão o mais ineficiente possível;
- 3) tornar o receptor menos susceptível a emissões.

Como o escopo deste trabalho se limita a problemas de emissão, foco será dado aos dois primeiros blocos do modelo e conseqüentemente aos dois primeiros meios de prevenção de problemas.

Suprimir a emissão de um componente, circuito ou sistema não significa necessariamente fazer com que ela deixe de existir, muitas vezes suprimir pode significar diminuir a níveis aceitáveis.

A redução de problemas de emissão de energia eletromagnética pode ser relacionada diretamente a duas questões: diminuição da frequência de chaveamento de sinais e diminuição dos tempos de subida e descida de sinais digitais. Estas duas características de sinais no domínio do tempo estão diretamente ligadas a geração de conteúdos espectrais de alta-frequência no domínio da frequência.

The higher the frequency, the greater the efficiency of a radiated coupling path; the lower the frequency, the greater the efficiency that a conducted coupling path will cause EMI. The extent of coupling depends on the frequency of the circuit and edge rate transition of digital components switching logic states and transfer mechanism. (MONTROSE, 2000, p. 4)

Aqui se fazem necessárias outras duas definições a respeito das maneiras como a energia eletromagnética pode se propagar pelos diferentes meios. As emissões são classificadas de duas maneiras:

- 1) radiada e;
- 2) conduzida.

Emissões radiadas são aquelas que se propagam pelo meio como ondas eletromagnéticas, geralmente pelo ar. Emissões conduzidas são aquelas transmitidas através de um meio eletricamente condutivo como os cabos e trilhas das placas de circuito impresso.

A regulamentação de alguns setores de mercado ou de famílias de produtos é uma das formas encontradas por governos e organizações para impor critérios mínimos de qualidade para a chegada de um produto ao mercado. Para o mercado brasileiro, a ANATEL, dentro de suas atribuições, define que:

Art. 2º Constituem princípios gerais dos processos de certificação e de homologação de produtos para telecomunicação:

I - assegurar que os produtos comercializados ou utilizados no País estejam em conformidade com os Regulamentos editados ou com as normas adotadas pela Anatel;

II - assegurar que os fornecedores dos produtos atendam a requisitos mínimos de qualidade para seus produtos;

III - assegurar que os produtos para telecomunicação comercializados no País, em particular aqueles ofertados pelo comércio diretamente ao público, possuam um padrão mínimo de qualidade e adequação aos serviços a que se destinam;

IV - assegurar o atendimento aos requisitos de segurança e de não agressão ao ambiente; (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2000)

Para atingir estes objetivos a ANATEL, além de seus próprios regulamentos também faz uso de normas reconhecidas internacionalmente, como a CISPR 22, que define os limites e métodos de medição de características de rádio perturbação para equipamentos de tecnologia da informação e que em seu capítulo introdutório traz o seguinte texto:

The intention of this publication is to establish uniform requirements for the radio disturbance level of the equipment contained in the scope, to fix limits of disturbance, to describe methods of measurement and to standardize operating conditions and interpretation of results. (IEC, 2008, p.8)

A CISPR 22 é a norma que a ANATEL adota como referência para a verificação dos requisitos de emissão radiada e conduzida. Esta norma separa os equipamentos em duas classes distintas:

Equipamento classe A: equipamento com características próprias para instalação em estações de telecomunicações. Estes equipamentos podem causar problemas de rádio interferência se instalados em ambientes ou áreas residenciais.

Equipamento classe B: Equipamento destinado ao uso em ambiente doméstico ou residencial com características próprias para as instalações do usuário, para a instalação em redes de acesso ou para situações de local não fixo de uso (exemplos: equipamento portátil alimentado por baterias). Estes equipamentos podem ser utilizados em estações de telecomunicações. (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2006)

Para cada uma das classes definidas acima existem limites específicos a serem cumpridos. Em Agência Nacional de Telecomunicações (2006) estão definidos também os limites para emissão radiada e conduzida (idênticos aos valores definidos pela CISPR 22) e na Tabela 1 e na Tabela 2 são apresentados os limites para os equipamentos da classe B, que é como o produto desenvolvido neste trabalho foi classificado e conseqüentemente testado.

Tabela 1 - Limites de perturbação conduzida nas portas de energia elétrica para equipamentos classe B (Agência Nacional de Telecomunicações, 2006)

Faixa de Frequência MHZ	Limites dB (µV)	
	Quase-pico	Médio
0,15 a 0,50	66 a 56 (o limite decresce linearmente com o logaritmo da frequência)	56 a 46 (o limite decresce linearmente com o logaritmo da frequência)
0,50 a 5	56	46
5 a 30	60	50

Tabela 2- Limites para emissão de perturbação radiada de equipamentos classe B (Agência Nacional de Telecomunicações, 2006)

Faixa de Frequência MHZ	Limites quase-pico dB (µV/m)
30 a 230	30
230 a 1000	37

Uma técnica bastante utilizada para mitigar questões relacionadas a EMI é o uso de uma placa multicamada com planos de referência (alimentação e retorno), segundo Montrose (2000, p.21) o uso de planos nas placas de circuito impresso é uma das maneiras mais eficientes de se suprimir emissões geradas na própria placa. A utilização de múltiplas camadas permite um controle maior sobre a impedância da placa evitando que problemas como reflexões e oscilações não desejadas (*ripple*) dos sinais aconteça, conseqüentemente diminuindo possíveis emissões.

Outra vantagem do uso dos planos de referência, é facilitar o uso de capacitores de desacoplamento que além de remover emissões geradas por componentes com chaveamento em alta frequência das trilhas de alimentação também servem como fonte de energia local para estes mesmos componentes, evitando que surtos de corrente se propaguem pela placa. A correta especificação destes capacitores, seu posicionamento e suas conexões aos planos de alimentação e retorno são aspectos importantes para que sejam realmente efetivos em cumprir sua função.

A setorização da placa é outra estratégia bastante empregada para minimizar os efeitos de emissões geradas na própria placa, através de uma melhor distribuição dos componentes, agrupando-os e posicionando-os de acordo com suas funções e sua capacidade de interferir nos circuitos adjacentes. De acordo com Ott (2009, p. 622) o posicionamento adequado dos componentes dentro da placa irá minimizar o comprimento das trilhas, melhorar a qualidade do sinal, minimizar acoplamentos parasitas e reduzir as emissões e a susceptibilidade da placa como um todo.

3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O produto em desenvolvimento é um computador de telemetria, ele recebe informações de sensores de temperatura digitais, conectados através de um barramento do tipo Dallas/Maxim 1-wire, e de outros sensores através de portas do tipo *General Purpose Input/Output* (GPIO), e envia estes sinais a uma solução de software na Internet, através de protocolo Ethernet ou *General Packet Radio Services* (GPRS).

Todo o processamento é realizado por uma placa do tipo *System On a Module* (SOM) que é incorporada ao produto com as seguintes responsabilidades: controlar a comunicação em rede, armazenar internamente as temperaturas durante períodos de desconexão, controlar interface com usuário (display e teclas) e fornecer uma interface remota (*Hypertext Transfer Protocol - HTTP*) para configuração dos periféricos.

O produto é alimentado com 12Vdc, fornecidos por uma fonte externa (conversor AC/DC), este conversor não faz parte do escopo de desenvolvimento do produto e será a princípio um produto de prateleira adquirido de terceiros. Ele também possui uma bateria recarregável que permite a operação contínua durante breves períodos sem energia. O produto possui ainda dispositivos de conectividade e acessórios usualmente encontrados em computadores de telemetria, tais como um relógio de tempo real (*real time clock - RTC*) com bateria (para persistência não-volátil da data e hora), saída RS485 para comunicação com sistemas legados de instrumentação, e um hub USB reservado para expansões futuras.

Na Figura 2 temos o diagrama de blocos com os principais circuitos do produto.

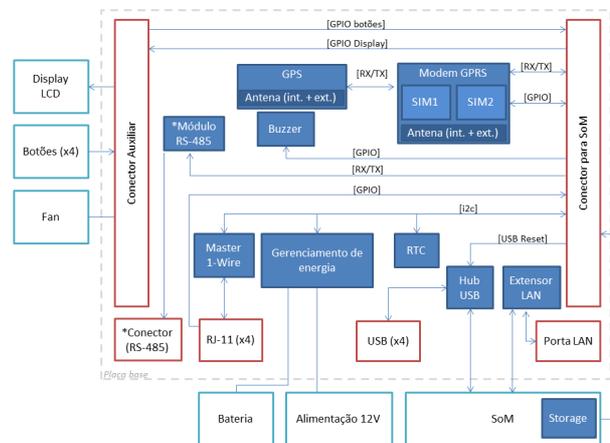


Figura 2- Diagrama Blocos do Produto

Um diagrama físico do produto é apresentado na Figura 3, mostrando os principais elementos que o compõe. Todo o trabalho desenvolvido neste projeto foi em cima apenas da placa base.

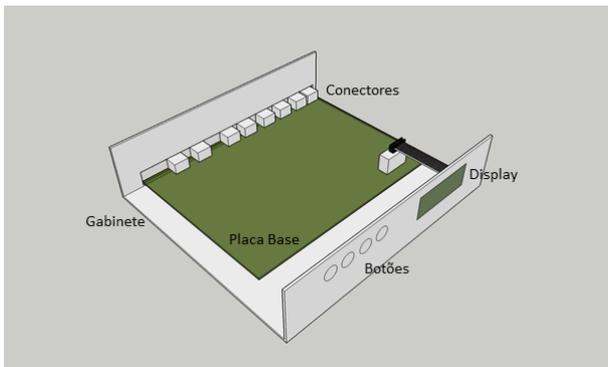


Figura 3- Diagrama Físico Produto

3.1 Identificação das Portarias e Normas Aplicáveis

A primeira etapa do projeto foi estudar como funcionava o processo de certificação de produtos da ANATEL. A segunda foi buscar através de benchmarking com produtos com tecnologias similares e consultas a base de dados da ANATEL disponível na internet quais seriam as portarias e normas aplicáveis ao produto em desenvolvimento.

Após essa etapa inicial de estudo optou-se então pela utilização dos dois primeiros passos do processo formal de certificação descrito em Agência Nacional de Telecomunicações (2017), que são: contatar um organismo de certificação designado (OCD), enviar a eles a documentação do produto e aguardar a análise do OCD sobre o produto para determinação dos padrões e ensaios a serem aplicados.

Com a análise realizada pelo OCD em mãos, ficou definido a necessidade de adequação do produto frente a três diferentes portarias e dentro destas a uma série de artigos e suas normas associadas. Tendo em vista o objetivo do trabalho, será dado foco ao artigo sexto da resolução nº442 da Agência Nacional de Telecomunicações, que trata dos requisitos de emissão de perturbações eletromagnéticas. Este artigo define os limites de emissões permitidos e aponta para a norma CISPR 22 como referência.

Importante ressaltar que o produto em desenvolvimento foi classificado pela OCD como sendo um equipamento classe B.

4 CICLOS DE DESENVOLVIMENTO

4.1 Primeiro Ciclo de Desenvolvimento – Protótipo Alfa

4.1.1. Adequação do projeto eletrônico

A primeira versão do projeto eletrônico do produto (esquemático) foi recebida do cliente, e as alterações realizadas neste primeiro momento foram relacionadas apenas ao projeto da placa de circuito

impresso (PCI). As principais alterações realizadas visando melhorar o desempenho em questões de EMC foram:

- Aumento do número de camadas da placa de 2 para 4 – esta medida foi tomada pela presença de trilhas de impedância controlada no projeto (portas USB e saídas das antenas do GPS e GPRS). Consequente criação de planos de alimentação e de retorno melhorando sua distribuição e buscando evitar possíveis loops de corrente;
- Separação dos circuitos ruidosos dos circuitos mais sensíveis – os circuitos conversores de tensão (todos chaveados) foram alocados em pontos periféricos da placa afastando-os principalmente dos circuitos relacionados ao circuito de GPRS;
- Cuidado ao traçar trilhas de impedância controlada – projeto do stackup da placa e do cálculo da largura e distância entre as trilhas, buscando traça-las sobre um único plano de referência;
- Seguiu-se as recomendações dos fabricantes de componentes críticos (módulo GPRS, circuitos de conversão de tensão e módulo SOM).

Com a fabricação e montagem dos primeiros protótipos, pode-se iniciar a fase de verificação e validação do projeto eletrônico através de testes funcionais em bancada. Alguns problemas funcionais foram identificados nos primeiros protótipos, mas não foram considerados impeditivos para realização dos primeiros ensaios de EMC.

4.1.2. Planejamento dos ensaios

Para a realização dos primeiros ensaios em laboratório especializado, foram definidas algumas ações prévias para permitir uma avaliação melhor do produto e garantir uma boa utilização do tempo de laboratório. As principais ações foram:

- Preparação do firmware para simulação de modos representativos de uso;
- Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento do produto, para verificação das suas funcionalidades durante os ensaios;
- 4 conversores AC/DC diferentes para teste;
- Presença do responsável pelo hardware/firmware durante os ensaios.

Os conversores AC/DC selecionados para o ensaio foram adquiridos no mercado nacional, utilizando não apenas os requisitos elétricos necessários, mas também verificando as marcações e normas atendidas por cada um deles. Foram escolhidos quatro modelos/fabricantes diferentes por entender-se que dois produtos, mesmo tendo sido certificados individualmente, não necessariamente atenderão as mesmas normas ao serem testados em conjunto.

Por ser o primeiro ensaio optou-se por realizá-los em laboratório próximo pela possibilidade de presença de mais pessoas envolvidas no projeto e para, em caso de problemas, ter fácil acesso a outras amostras, ferramentas e componentes. A grande limitação era a não existência de equipamento para simular a conexão do equipamento com a rede de celular.

Para a execução dos ensaios o produto estaria configurado com o adaptador USB para rede sem fio (IEEE 802.11), módulo GPS, antena GPRS externa, dois sensores de temperatura Dallas 1-Wire e a fonte de alimentação AC/DC. Esta configuração foi utilizada por ser a versão completa do produto.

4.1.3. Avaliação dos resultados

O primeiro ensaio realizado foi o de emissão radiada segundo o Art. 6º - § 2º, da portaria nº442 da ANATEL. Para isto foi utilizada uma célula *GTEM* (*Gigahertz Transverse Electromagnetic*) simulando uma antena a 10 metros.

O produto foi testado inicialmente com uma das fontes AC/DC adquiridas pelo cliente, que será identificada como Fonte 1. Na Figura 4, é possível observar o resultado das medições com o produto completo, e também verificar que o mesmo foi reprovado nesta primeira medição.

Na tentativa de identificar a fonte das emissões acima do limite da norma, a primeira providência tomada foi a de repetir o ensaio com o produto funcionando alimentado apenas pela sua bateria interna, sem a presença da fonte de alimentação AC/DC. Importante salientar que nessa configuração o circuito de carregamento da bateria interna do produto permanece desligado, e sendo este um circuito chaveado, é também suspeito de ser fonte de emissões e de consequentemente contribuir para que o produto esteja com emissões acima do limite da norma.

Como se pode ver na Figura 5, nessa configuração o produto foi aprovado.

É importante salientar que apesar da aprovação, o produto continua com emissões consideráveis nas mesmas faixas de frequência (60 a 65 MHz e 100 a 110 MHz).

Apesar de terem sido selecionadas quatro diferentes fontes AC/DC e de todas estarem no

laboratório no momento da realização destes ensaios, não houve tempo hábil para a repetição dos ensaios de emissão com cada uma das fontes.

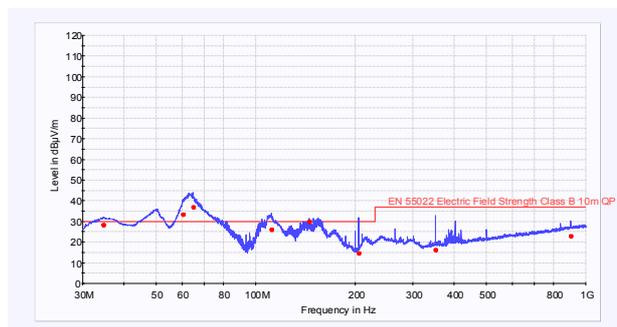


Figura 4- Ensaio Emissão Radiada - Produto Completo

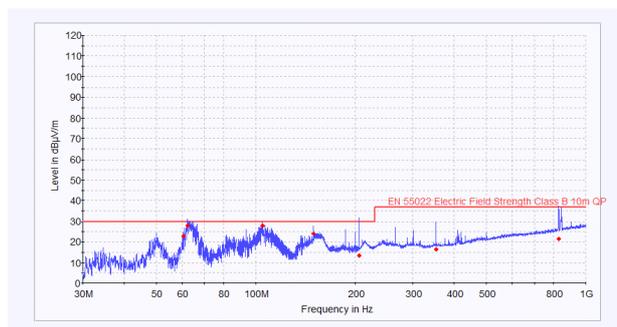


Figura 5- Ensaio Emissão Radiada - Produto alimentado pela Bateria Interna

O segundo ensaio realizado foi o de emissão conduzida segundo o Art. 6º - § 1º, da portaria nº442 da ANATEL.

Neste ensaio o produto foi testado com quatro conversores AC/DC diferentes, sendo reprovado com todos eles.

Com os resultados ruins obtidos nos ensaios realizados em laboratório, iniciou-se uma análise exploratória sobre o produto, tentando identificar os elementos irradiadores principalmente no caso de emissões conduzidas.

Com medições realizadas em bancada, utilizando-se um osciloscópio e uma sonda de corrente foi possível identificar que uma frequência da ordem de 150kHz estava chegando até a entrada de corrente alternada do produto.

Analisando o projeto do produto, foram identificados dois circuitos de conversão de tensão que utilizam frequência de chaveamento idênticas as encontradas na entrada de energia do produto.

Foram realizadas algumas modificações na primeira versão do produto, de maneira a tentar melhorar o seu desempenho principalmente nos ensaios de emissão conduzida. As alterações realizadas foram: substituição dos capacitores de entrada e saída dos reguladores de tensão 12V–3.3V e 12V–5V, por capacitores com resistência e indutância série equivalente (do inglês, ESR e ESL)

menores. Os dois circuitos possuem topologias idênticas e a Figura 6 mostra o esquemático destes e indica os componentes substituídos.

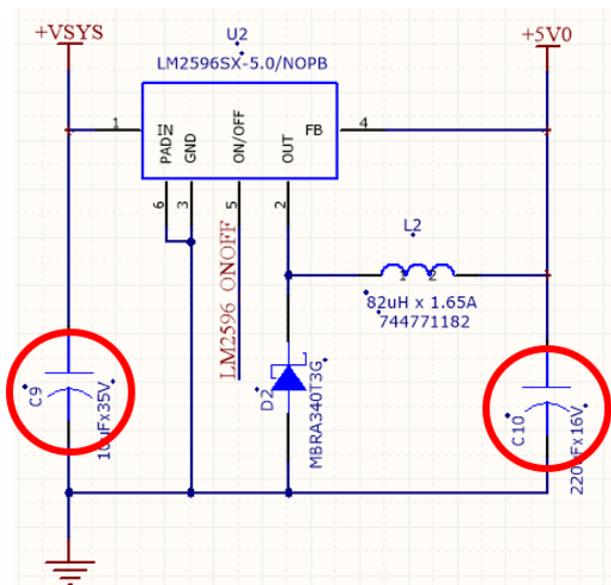


Figura 6 - Esquemático dos Reguladores de Tensão Modificados

Também foi adicionado um filtro para frequências de 150 kHz (frequência de chaveamento dos reguladores 12V – 3.3V e 12V – 5V). Este filtro foi posicionado bastante próximo da entrada 12V dos dois circuitos para evitar que o ruído pudesse se propagar por outros pontos da placa.

4.1.4. Ensaios com amostras alteradas

Para que fosse possível uma nova rodada de ensaios sem o custo de uma nova alteração do projeto da PCI (projeto, fabricação e montagem) os capacitores foram substituídos diretamente na PCI antiga e o filtro foi montado sobre uma placa padrão e conectado a placa através de jumpers. O circuito foi aberto num ponto próximo dos circuitos de conversão de tensão e o filtro adicionado como um elemento externo.

As medições realizadas em bancada indicavam que o problema havia sido resolvido, dessa maneira optou-se por voltar a um laboratório de compatibilidade eletromagnética para repetir os ensaios de emissões conduzida e radiada.

Foram realizados novos ensaios de emissão conduzida e radiada utilizando a amostra com a adição do filtro e a substituição dos capacitores dos conversores de tensão. As três fontes utilizadas neste ensaio são as mesmas utilizadas no primeiro, tendo sido excluída a Fonte 1. Importante salientar que estes ensaios foram realizados em um segundo laboratório onde os ensaios de emissão conduzida foram realizados de maneira idêntica ao do primeiro

laboratório enquanto os ensaios de emissão radiada foram realizados em uma câmara semi anecóica com antena a 3 metros.

Como se pode ver na Figura 7 (Fonte 2) e na Figura 8 (Fonte 3) os resultados dos ensaios de emissão conduzida foram bastante positivos, onde o produto foi considerado aprovado com duas das três fontes testadas. A Fonte 4, como se pode ver na Figura 9, teve um resultado bastante ruim.

Nos ensaios de emissão radiada os problemas encontrados no primeiro teste permaneceram os mesmos e precisaram ser tratados no ciclo de desenvolvimento seguinte. Importante salientar que as alterações realizadas tinham por objetivo solucionar os problemas de emissões conduzidas e os ensaios de emissão radiada tinham mais o objetivo de testar os conversores AC/DC que não puderam ser testados no primeiro ensaio e também verificar se o produto não teve nenhuma alteração muito grande de comportamento devido as alterações realizadas.

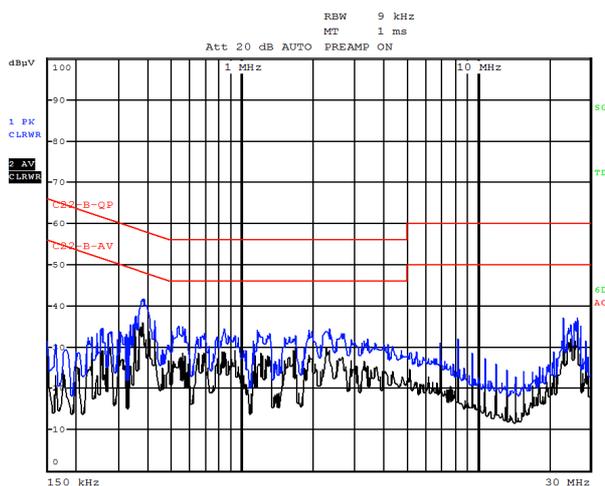


Figura 7 - Ensaio de Emissão Conduzida com a Fonte 2

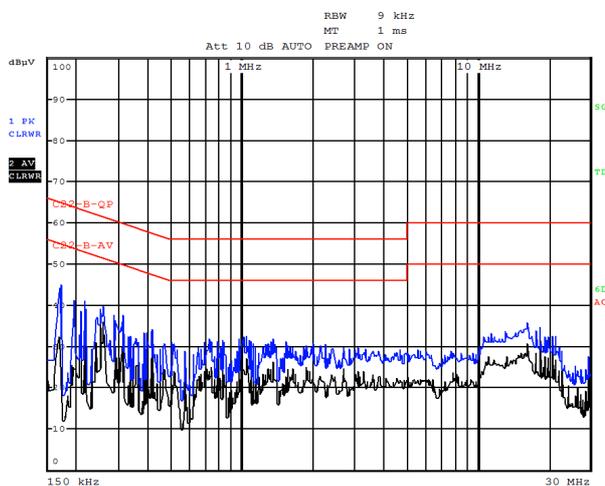


Figura 8 - Ensaio de Emissão Conduzida com a Fonte 3

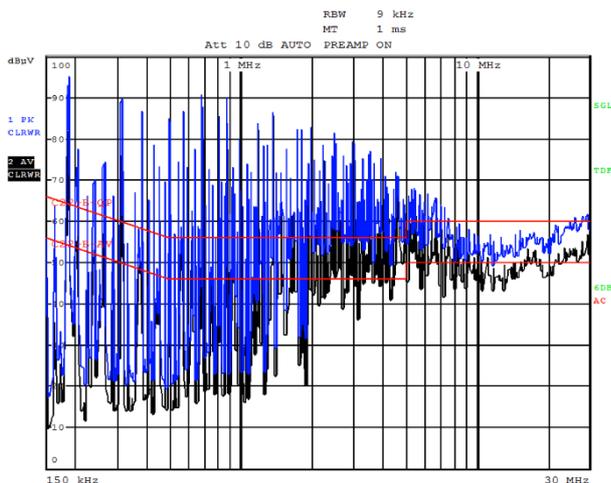


Figura 9 – Ensaio de Emissão Conduzida com a Fonte 4

- Aumento das dimensões da placa de circuito impresso para comportar uma melhor a setorização dos circuitos.

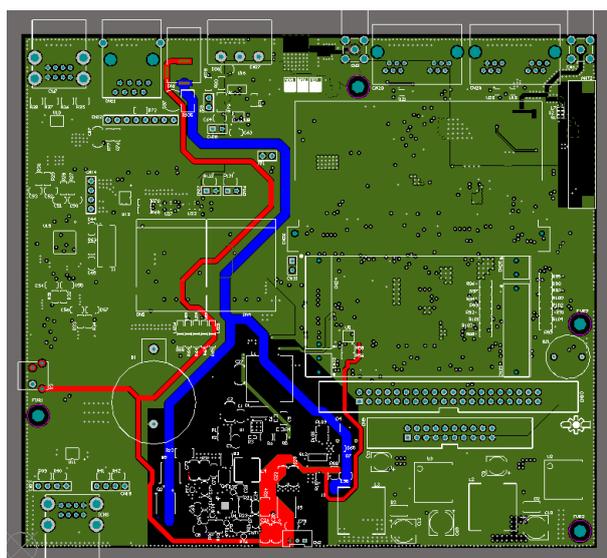


Figura 10 - Placa Alfa - Entrada de Energia

4.2 Segundo Ciclo de Desenvolvimento – Protótipo Beta

4.2.1. Adequação do projeto eletrônico

Para este ciclo de desenvolvimento foram realizadas diversas alterações de projeto, muitas delas relacionadas a aspectos funcionais do produto além da adição de diversas proteções contra surtos, descargas eletrostáticas, afundamentos de tensão entre outras. Foram também incorporados ao projeto o filtro e as alterações dos capacitores testados no ciclo de desenvolvimento anterior.

Buscando mitigar os problemas de emissão radiada, foram realizadas apenas modificações no projeto da placa de circuito impresso.

As principais alterações realizadas nesta etapa foram:

- Deslocamento dos circuitos de conversão de tensão para próximo do conector de entrada, evitando que ruídos provenientes de circuitos externos (fonte de alimentação por exemplo) circulem pela placa (alteração mostrada na Figura 10 e na Figura 11);
- Agrupamento dos circuitos de conversão de tensão, tentando separar os elementos geradores de ruído dos circuitos mais sensíveis (melhoria do trabalho realizado na primeira versão da PCI);
- Melhoria no posicionamento dos componentes dos circuitos de conversão de tensão para diminuição de possíveis loops de corrente;
- Melhoria nos planos de alimentação e retorno – aumento da área total e diminuição nas quebras.

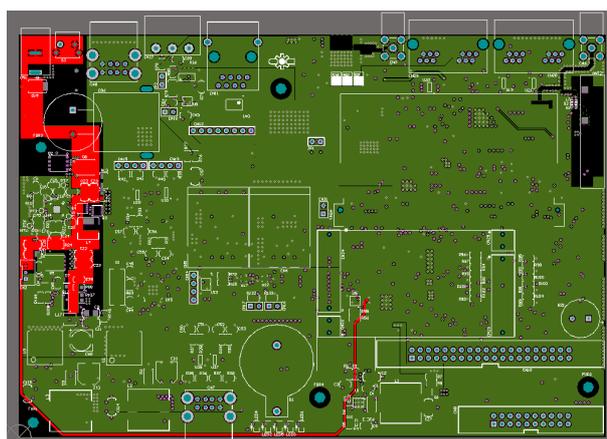


Figura 11 - Placa Beta – Entrada Energia

4.2.2 Planejamento dos Ensaios

Para esta terceira rodada de ensaios, apesar da experiência adquirida nas rodadas anteriores, existiram fatores que a diferenciaram das demais:

- Terceiro laboratório diferente utilizado durante o projeto;
- Disponibilidade de equipamento para simulação de conexão com a rede celular (GPRS);
- Janela de ensaios bastante restrita.

Apesar dos ensaios terem sido realizados num terceiro laboratório, e pela primeira vez ter sido possível a utilização de equipamento para simulação de conexão com a rede celular o planejamento realizado para as primeiras rodadas de ensaios se manteve praticamente o mesmo.

Por ser um laboratório distante, foram necessários a preparação e o envio de um número maior de amostras além de diversos outros componentes para substituição, como por exemplo, módulos de processamento (SOM), caixa do produto, cartões SIM entre outros.

Para a execução dos ensaios o produto estaria configurado com o adaptador USB para rede sem fio (IEEE 802.11), módulo GPS, antena GPRS externa, dois sensores de temperatura Dallas 1-Wire e a fonte de alimentação AC/DC.

4.2.3 Avaliação dos resultados

Assim como na rodada intermediária de ensaios, o produto foi aprovado nos testes de emissão conduzida. A Figura 12 apresenta o resultado do ensaio de emissão conduzida.

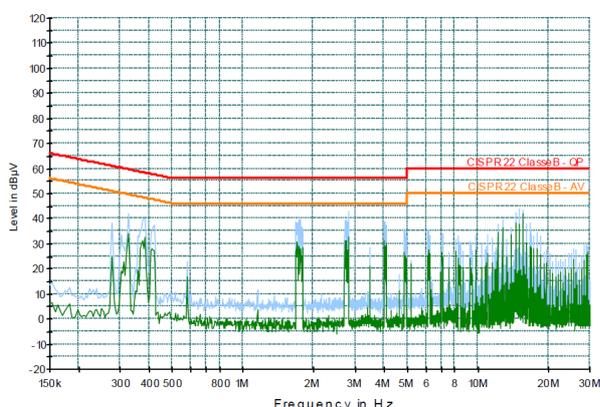


Figura 12 - Ensaio de Emissão Conduzida Fonte 2

Nos ensaios de emissão radiada, o produto foi ensaiado numa câmara semi anecoica com antena a 10 metros de distância e mais uma vez o produto foi reprovado, como mostra a Figura 13. Importante citar que a emissão acima do limite da norma que aparece no gráfico, em 850MHz, é uma emissão intencional (frequência de transmissão do GPRS) e, portanto, é permitida.

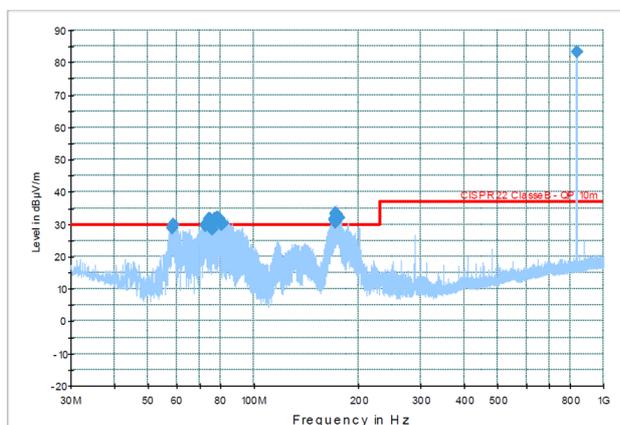


Figura 13 - Ensaio de Emissão Radiada - Produto Completo

Desta vez foi possível realizar algumas mudanças no produto, buscando identificar as fontes das emissões, para que numa etapa posterior seja mais fácil atacá-las para resolver os problemas.

Na primeira tentativa a tampa do produto foi retirada, esta contém o display e os botões da interface com o usuário, que são conectadas a placa principal do produto através de um *flat cable*. Como é possível ver na comparação entre a Figura 13 e a Figura 14 as emissões na frequência em torno de 180MHz praticamente cessaram, ficando bem abaixo do limite da norma, indicando que este cabo está servindo de antena para algum ruído que está sendo gerado pelo próprio produto.

A segunda tentativa foi com o produto ainda sem a tampa, testá-lo sendo alimentado apenas por sua bateria interna, ou seja, sem o conversor AC/DC externo e conseqüentemente que o circuito de carregamento da bateria esteja ativo. Como se pode ver na Figura 15, nesta configuração o produto atende aos limites da norma, assim como aconteceu na primeira rodada de ensaios.

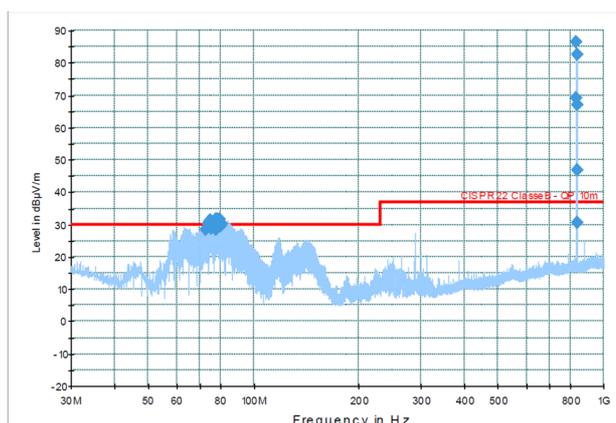


Figura 14 - Ensaio de Emissão Radiada - Flat Cable Desconectado

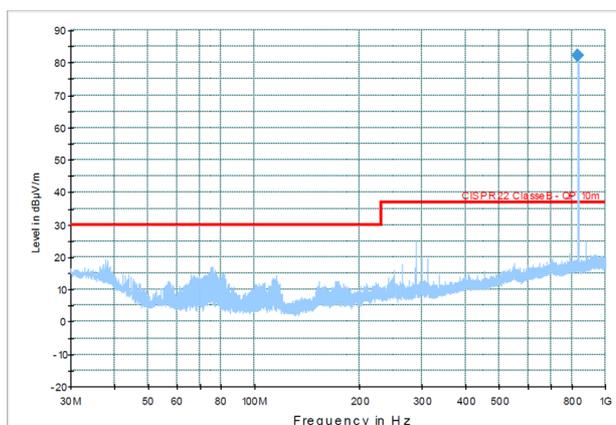


Figura 15 - Ensaio de Emissão Radiada - Produto Operando a Bateria/Flat Cable Desconectado

5 CONCLUSÃO

O projeto de um produto eletrônico, por mais simples que seja, é sempre um desafio bastante grande. Quanto mais camadas de complexidade forem adicionadas ao produto, maior o número de requisitos a serem cumpridos exigindo assim uma quantidade maior de recursos para sua execução e validação. Recursos esses limitados e muitas vezes conflitantes.

A execução deste projeto não foi diferente, algumas premissas assumidas durante o período de planejamento não se provaram verdadeiras exigindo adequações principalmente de escopo e de cronograma.

Apesar das dificuldades inerentes do projeto e da não conclusão do mesmo até o momento em que este artigo foi escrito, foi possível avançar bastante, concluindo dois dos três ciclos de desenvolvimento previstos.

Durante os dois ciclos de desenvolvimento realizados, foi possível testar o produto em desenvolvimento, verificar os problemas existentes, analisá-los e propor algumas soluções.

Os problemas relacionados a emissão conduzida foram bem mapeados e as soluções propostas surtiram o efeito esperado.

Para as questões de emissão radiada, as soluções propostas inicialmente não surtiram o resultado esperado, mas o mapeamento da origem dos problemas realizado durante a terceira rodada de ensaios permite que ações pontuais sejam realizadas sem que sejam necessárias grandes alterações de projeto para resolvê-los. Entre as ações previstas para o terceiro ciclo de desenvolvimento, estão a adição de um ferrite ao *flat cable* e/ou a substituição do mesmo por outra solução mais robusta do ponto de vista de EMC para tentar amenizar as emissões provenientes dele, a diminuição da frequência de chaveamento de um dos circuitos do produto e ainda a substituição da fonte AC/DC.

Uma das grandes lições deste projeto é a necessidade de um planejamento bastante detalhado dos ensaios a serem realizados em laboratórios externos (EMC). Por ser um recurso caro e de acesso restrito, é importante que o tempo dentro destes laboratórios seja muito bem aproveitado. É bastante importante que sejam adicionadas ao processo de desenvolvimento ferramentas de análise do produto tentando não apenas mitigar os problemas relacionados a EMC, mas também que criem dispositivos que facilitem a identificação e os testes das fontes de problema, como por exemplo a possibilidade de desabilitar determinadas partes do circuito.

Como citado anteriormente o projeto ainda não foi finalizado, restando ainda um terceiro ciclo de

desenvolvimento, mais curto e com menos recursos que os anteriores, mas que ainda contemplará horas de laboratório para medição do efeito das soluções implantadas e de identificação de possíveis novos problemas e de algumas horas de engenharia para análise e solução de questões pendentes no produto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resumo do Processo de Certificação e Homologação. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=318093&pub=original&filtro=1&documentoPath=318093.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

AGENCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 242, de 30 de novembro de 2000. Aprova o Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/15-2000/129-resolucao-242>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

AGENCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 442, de 21 de julho de 2006. Regulamento Para Certificação de Equipamentos de Telecomunicações Quanto Aos Aspectos de Compatibilidade Eletromagnética. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2006/352-resolucao-442>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. CISPR 22: Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement. 6 ed. Genebra, 2008.

MONTROSE, Mark I.. Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance: A Handbook for Designers. 2. ed. Nova Iorque: IEEE Press, 2000.

OTT, Henry W.. Electromagnetic Compatibility Engineering. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2009.

PAUL, Clayton R.. Introduction to Electromagnetic Compatibility. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2006.

WILLIAMS, Tim. EMC for Product Designers. 3. ed. Oxford: Newnes, 2001.