



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

Lucas Simões de Oliveira

**Análise de Interferências em Sistemas RFID HF:
Aplicação em um ambiente de cassino**

Campina Grande, Paraíba

Maio 2014

Lucas Simões de Oliveira

Análise de Interferências em Sistemas RFID HF: Aplicação em um ambiente de cassino

Relatório de Estágio Integrado submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Comunicações sem Fio

Orientador: Edmar Candeia Gurjão

Campina Grande, Paraíba

Maio 2014

Lucas Simões de Oliveira

Análise de Interferências em Sistemas RFID HF: Aplicação em um ambiente de cassino

Relatório de Estágio Integrado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.

Edmar Candeia Gurjão
Orientador

Bruno Barbosa Albert
Avaliador

Campina Grande, Paraíba
Maio 2014

A meus pais, que me ensinaram a caminhar.

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, Vicente e Sara, por todo amor, carinho e ensinamentos durante toda minha vida.

Agradeço também a toda minha família, que mesmo com a distância, sempre acompanhou de perto meu crescimento pessoal e profissional.

Meus agradecimentos aos amigos feitos durante a graduação, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade. Vocês fizeram parte da minha formação, e espero que possam continuar presentes em minha vida.

A Carolyn, Eddy, Felipe Maia, Mathew e Maurício, amigos que tive a oportunidade de me aproximar durante o intercâmbio na França e que muito me ajudaram nesta etapa da vida.

Agradeço a Edmar Candeia, meu orientador, pela ajuda dedicada à elaboração deste trabalho além de todas as conversas e orientações profissionais.

E finalmente, gostaria de agradecer ao corpo docente, à direção e à administração por seu trabalho na formação de todos os alunos desta instituição.

*“Viva como se fosse morrer amanhã.
Aprenda como se fosse viver para sempre.”
- Mahatma Gandhi*

Resumo

Neste relatório será feito um estudo de sistemas RFID, especialmente as características da aplicação *gaming*, uma tecnologia que tem recebido muita atenção devido à sua segurança e conveniência. Uma revisão bibliográfica, juntamente com as especificações do sistema, além da teoria básica de RFID e de Compatibilidade Eletromagnética é apresentada, seguidas de uma explicação do circuito de medição desenvolvido, capaz de medir o nível de interferência captada por uma antena do Leitor, além de técnicas que podem reduzir este problema. E para concluir é mostrada uma breve lista de especificações da aplicação desenvolvida na empresa, para a busca de novas tecnologias e possíveis parceiros usando RFID em UHF, juntamente com os resultados de testes realizados com amostras de *tags* no modo near-field.

Palavras-chaves: RFID. Análise de Interferências. *Tags* HF. Near-Field RFID.

Abstract

In this report, an overview of RFID systems is presented, specially the characteristics of the Gaming application, a technology that has recently received attention due to its security and convenience. A review of the system properties, literature, and basic theory of RFID and Electromagnetic Interference is presented, followed by an explanation of the circuit developed to measure the noise read by a reader's antenna and the techniques utilized to reduce this interference. And to conclude a brief list of requirements is presented for the research of new partners using the UHF RFID, followed by test results of standard tags in near-field mode for the gaming application.

Keywords: RFID. Interference Analysis. HF tags. Near-Field RFID.

Lista de ilustrações

Figura 1 – <i>tags</i> passivas de diferentes frequências.	15
Figura 2 – Principais bandas de frequência da RFID.	16
Figura 3 – Sistema RFID em HF.	17
Figura 4 – Antena HF e pilhas de fichas.	18
Figura 5 – Frequência de ressonância para uma ficha.	19
Figura 6 – Frequência de ressonância para uma pilha de 5 fichas.	20
Figura 7 – Decomposição básica de um problema de CEM.	20
Figura 8 – Dois motivos para a aplicação de blindagem.	22
Figura 9 – Técnicas para blindagem de campos magnéticos de baixa frequência.	23
Figura 10 – Diferentes formatos de ferrites.	24
Figura 11 – Representação elétrica simplificada de uma ferrite.	25
Figura 12 – Diferentes materiais e suas frequências de atenuação.	25
Figura 13 – Influência do número de voltas na impedância da ferrite.	26
Figura 14 – Leitor MARS 6.	27
Figura 15 – Antena circular de diâmetro 124mm.	28
Figura 16 – Antena 2D por comutação.	28
Figura 17 – Software padrão Magellan.	29
Figura 18 – Comportamento ideal de um amplificador logarítmico (AD8307).	30
Figura 19 – Configuração não-inversora de um amplificador operacional.	30
Figura 20 – Circuito retificador, constante de tempo de um filtro RC e tensão de saída.	31
Figura 21 – Conexões de um driver LED.	31
Figura 22 – Conexões utilizadas para o conversor AD7819.	32
Figura 23 – Circuito de entrada do leitor.	33
Figura 24 – Placa de circuito do leitor MARS24 e canais de recepção da leitura.	33
Figura 25 – Comando de leitura e resposta de uma <i>tag</i>	34
Figura 26 – Comando de leitura e resposta da antena e leitor na ausência de uma <i>tag</i>	34
Figura 27 – Resposta da antena próxima a uma fonte de alimentação chaveada.	35
Figura 28 – Possível fonte de perturbações no sistema.	35
Figura 29 – Fichas vazias utilizadas para testes.	36
Figura 30 – <i>tags</i> testadas.	37
Figura 31 – Segundo protótipo do circuito desenvolvido.	38
Figura 32 – Antena sem interferências externas e o primeiro protótipo.	39
Figura 33 – Diferentes distâncias entre a antena e um fonte de perturbações.	39

Figura 34 –Distância crítica para o bom funcionamento do sistema.	40
Figura 35 –Sinais do leitor RFID.	41
Figura 36 –Blindagem inadequada de um campo ELF.	41
Figura 37 –Blindagem magnética.	42

Lista de tabelas

Tabela 1 – Características de blindagem de diversos materiais.	23
Tabela 2 – Resultados dos testes para <i>tags</i> não-customizadas.	42
Tabela 3 – Gastos do projeto.	43

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIS	Chip Inventory System
ESISAR	Escola Nacional Superior em Sistemas Avançados e Redes
LCD	Display de cristal líquido.
LED	Diodos Emissores de Luz
LF	Baixa Frequência, do inglês Low Frequency
MARS	Multiple Antenna Reading System
HF	Alta Frequência, do inglês High Frequency
RF	Radio Frequência
RFID	Identificação por radiofrequência
UHF	Ultra Alta Frequência, do inglês Ultra High Frequency
GPI	Gaming Partners International, empresa sede do estágio
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Objetivos do estágio	12
1.1.1	Projeto 1 - Análise de interferências	13
1.1.2	Projeto 2 - Avaliação de novas tecnologias	13
1.2	Apresentação da Empresa	14
2	Fundamentação Teórica	15
2.1	O que é a RFID	15
2.1.1	Bandas de frequência da RFID	16
2.1.2	A RFID em Alta Frequência	17
2.1.3	Aplicação <i>gaming</i>	18
2.2	Compatibilidade Eletromagnética	20
2.2.1	Blindagem Eletromagnética	21
2.2.2	Blindagem Magnética	22
2.2.3	Ferrites	24
3	Material e Métodos	27
3.1	Material	27
3.1.1	Leitor	27
3.1.2	Antenas	27
3.1.3	<i>Software</i>	27
3.1.4	Circuitos e Conversores	29
3.2	Métodos	33
3.2.1	Medição e redução de interferências	33
3.2.2	Comparações entre tecnologias RFID	36
4	Resultados e Análises	38
4.1	Resposta do circuito	38
4.2	Redução de interferências	40
4.3	<i>tags</i> e chips testados	42
4.4	Análise financeira	43
5	Conclusão	44
	Referências	45

1 Introdução

Os fundamentos dos sistemas de Identificação por radiofrequência (*Radio-frequency identification*, RFID) são conhecidos desde a segunda guerra mundial, mas só com a recente miniaturização e redução de consumo dos chips, com os avanços nos diferentes materiais e a criação de diversos padrões internacionais o RFID tornou-se popular e teve uma redução drástica no custo, permitindo assim uma gama de aplicações cada vez maiores, como sistemas de antirroubo, sistemas de controle de acesso, facilitaram o rastreamento de bagagens em aeroportos, a gestão de estoques e inventários, entre muitos outros.

Com uma grande gama de frequências, que vão da LF (125 kHz) até a UHF (2,45 GHz) as características de transferência de energia, a influência de diferentes materiais e a geometria das antenas mudam bastante de uma banda de frequências para outra, devido à relação entre o comprimento de onda do sinal do leitor e o tamanho do circuito.

Cada banda de frequência possui suas vantagens e desvantagens, para realizar uma escolha adequada é necessário efetuar um estudo detalhado da aplicação desejada. A aplicação *gaming* apresenta uma série de imposições que limitam o desempenho e a implementação de um sistema RFID padrão, como por exemplo o processo de fabricação que utiliza altas temperaturas, podendo danificar o chip, partículas metálicas que compõem as fichas podem absorver ou refletir o sinal do Leitor, ou ainda mudar as características da antena.

Em um ambiente de casino, a presença de um grande número de aparelhos eletrônicos, *displays*, cabos e fontes de alimentação, computadores, máquinas, contribui consideravelmente para a problemática das interferências. Assim, a compreensão dos fenômenos que envolvem a interferência eletromagnética, como as fontes emissoras, a propagação, os receptores e métodos para mitigar os danos em sistemas RFID se faz necessária para melhorar as respostas do Leitor neste meio.

Neste contexto foi desenvolvido este estágio integrado, visando responder à problemas encontrados pela empresa, e ajudar nos desafios engenharia que são encontrados pelos grupos de P&D, além de obter uma experiência com o ambiente, organização e modo de funcionamento do setor do estágio.

1.1 Objetivos do estágio

O objetivo deste estágio foi de auxiliar no desenvolvimento de dois projetos de P&D da empresa. O primeiro trata do estudo dos efeitos das interferências eletromagnéticas

juntamente com possíveis formas de medição e atenuação das mesmas, visando otimizar o desempenho do sistema de leitores RFID da empresa. No segundo projeto foi realizado um estudo de possíveis novos fornecedores e suas *tags* e leitores aplicáveis ao uso da companhia.

1.1.1 Projeto 1 - Análise de interferências

A tecnologia RFID quando usada em um cassino sofre com as interações dos diversos campos de antenas, e com ruídos, que trazem um efeito negativo sobre a confiabilidade e velocidade das leituras. Em um primeiro momento, foi feito um estudo das documentações dos equipamentos utilizados, bem como as particularidades da aplicação.

Em seguida, usando o conhecimento do sistema utilizado foi iniciada uma fase de testes, visando encontrar possíveis formas de quantificar e reduzir as interferências. As proposições foram implementadas em um meio que possua um comportamento elétrico similar ao encontrado em cassinos, para a validação das soluções obtidas bem como a escolha da mais eficaz.

1.1.2 Projeto 2 - Avaliação de novas tecnologias

Para o caso particular da utilização de *tags* em cassinos, deve-se fazer uma pesquisa e avaliação de novas tecnologias RFID no mercado que possam responder às especificações previstas para a integração em fichas.

As etapas traçadas foram:

- Desenvolver as especificações para a aplicação das *tags* RFID nas fichas de cassino
- Determinar fatores limitantes no processo de fabricação (tratamentos térmicos, impactos mecânicos, dimensões da tag)
- Contactar fabricantes de chips e fornecedores que possam atender os requerimentos, analisar os parâmetros dos chips, eficiência, velocidade e custos
- Testar as *tags* em fichas experimentais em condições ótimas e em condições reais.
- Avaliar as tecnologias que já haviam sido estudadas pela empresa e observar a evolução dos fabricantes com relação à proposta da aplicação desenvolvida pela Gaming Partners International (GPI), empresa sede do estágio.

1.2 Apresentação da Empresa

A sociedade Gaming Partners International SAS, filial da Gaming Partners International Corporation, foi criada em Beaune, França e é conhecida mundialmente pelo nome dos seus fundadores, os senhores Bourgogne e Grasset.

A missão da GPI é de fornecer as melhores fichas e placas, trabalhando com conjunto com seus clientes para garantir um ótimo nível de segurança. Na verdade o fator segurança foi a razão principal para a criação da empresa, pois após um caso de falsificação ocorrido nos cassinos de Monte-Carlo em 1925, onde 600.000 Francos foram falsificados, o litografo Mr. Etienne Bourgogne e o engenheiro Mr. Claudius Grasset vislumbraram a oportunidade de utilizar suas técnicas de impressão em plástico para desenvolver um produto que garantisse maior segurança aos cassinos.

Atualmente a empresa é um dos principais fabricantes e fornecedores de materiais de cassino no mundo, com um portfólio que compreende o dinheiro de cassino (fichas e placas), a tecnologia RFID, os feltros, dados e cartas de baralho, além de todo o mobiliário e acessórios de roletas americanas e francesas. A empresa conta com mais de 750 empregados divididos nas sedes dos Estados Unidos, França, México e Macau.

Os sistemas RFID são uma das soluções propostas pela GPI, sendo aplicados a fichas, mesas e aos caixas, permitindo assim uma contagem precisa, além de facilitar o controle de estoque do cassino. Este sistema visa antes de tudo adicionar uma nova camada de segurança e proteção para o cassino, já que cada ficha possui seu próprio código de identificação que está armazenado no banco de dados do cassino. O primeiro produto RFID da empresa foi desenvolvido no ano de 1994 em parceria com a Phillips Semiconductors (atual NXP), utilizando um chip especificamente desenvolvido para a aplicação GPI, denominado Hitag Vegas que operava em 125kHz. Hoje são oferecidas soluções tanto em LF quanto HF, compatíveis com os mais diversos padrões internacionais.

O setor de P&D, juntamente com os desenvolvedores de software são responsáveis pela criação e o acompanhamento dos projetos, desde os primeiros protótipos até a versão final entregue ao cliente.

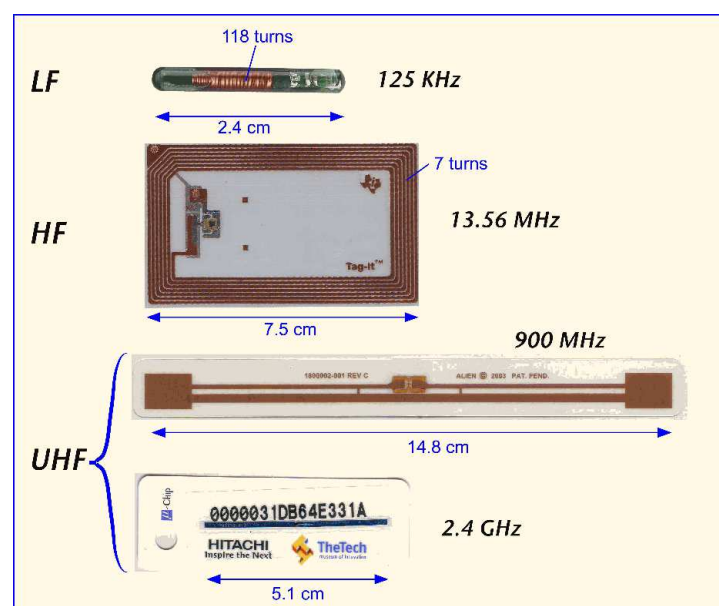
2 Fundamentação Teórica

2.1 O que é a RFID

A Identificação por Rádio-Frequência, do inglês, *Radio Frequency IDentification* é uma tecnologia que utiliza um método de identificação por sinais de rádio a fim de receber e armazenar dados à distância, através de dispositivos denominados *tags* (etiquetas) RFID. A tag é posicionada sobre o objeto a ser identificado e normalmente é composta de uma antena e um chip, e podem ser divididas em três grupos:

- Passivas: Não possuem fontes próprias de energia, dependendo da energia do campo gerado pela antena do leitor. As *tags* passivas possuem como vantagens o baixo custo e dimensões e possuem a desvantagem da distância de leitura limitada.
- Semi-passivas: Possuem uma pequena bateria para alimentar apenas o circuito interno, porém sua energia não é utilizada para gerar a resposta da tag.
- Ativas: Dispõem de uma bateria que é responsável por gerar o sinal de resposta da tag para uma interrogação. As *tags* ativas possuem a vantagem de uma grande distância de leitura, porém possuem custos elevados.

Figura 1 – *tags* passivas de diferentes frequências.



Fonte: (DOBKIN, 2007).

Os transmissores/receptores são chamados denominados Leitores ou *Readers* e são responsáveis por enviar um sinal ao tag e ler sua resposta. Os leitores geralmente transmitem seus dados a um computador para a apresentação de resultados através de um programa *RFID middleware*.

O leitor envia um sinal de rádio para interrogar a tag, ao receber o sinal que lhe corresponde, a tag responde com suas informações de identificação. A informação de uma tag é armazenada em uma memória não-volátil (que pode reter dados mesmo sem a presença de uma fonte de alimentação). Esta informação pode ser seu número de série, dia de produção, valor ou informações escritas pelo cliente na tag.

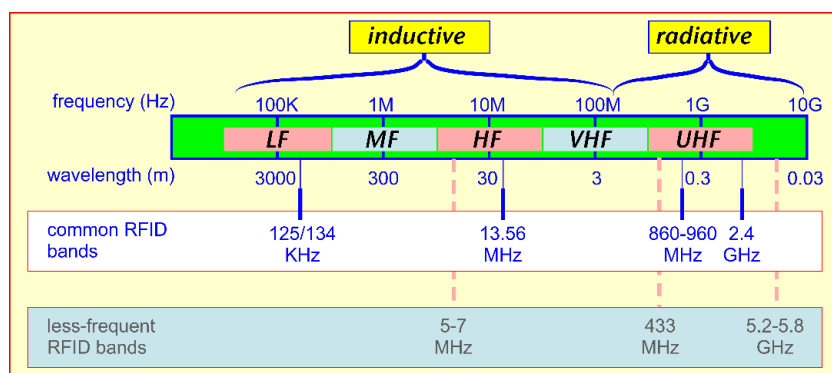
Pelo fato das *tags* passivas não possuírem baterias seu custo é menor que o das ativas, entretanto é necessário que elas estejam relativamente próximas do leitor para que consigam captar energia do campo suficiente para alimentar o seu chip.

2.1.1 Bandas de frequência da RFID

Os sistemas de RFID utilizam frequências que podem variar de um fator de 20.000, pois possuem frequências da ordem de 100kHz até mais de 5GHz, conforme representado na Figura 2. Entretanto eles não operam em todo este espectro de frequências e existem limitações para cada país. As principais bandas de frequência são 125kHz, 13,56MHz, 860-960MHz e 2,4-2,45GHz.

Desta maneira, o sistema que opera na zona de 125kHz é comumente conhecido como LF (*Low Frequency*), *tags* e leitores que trabalham em 13,56MHz são denominados HF (*High Frequency*), a região de 860-960MHz e 2,4-2,45GHz está localizada sob a banda UHF (*Ultra High Frequency*), sendo feita a distinção de UHF para a primeira e Micro-onda para a segunda.

Figura 2 – Principais bandas de frequência da RFID.



Fonte: (DOBKIN, 2007).

Uma outra forma possível de classificação pode ser pela relação entre o comprimento de onda com relação ao tamanho da antena, utilizando como base a Equação 2.1:

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (2.1)$$

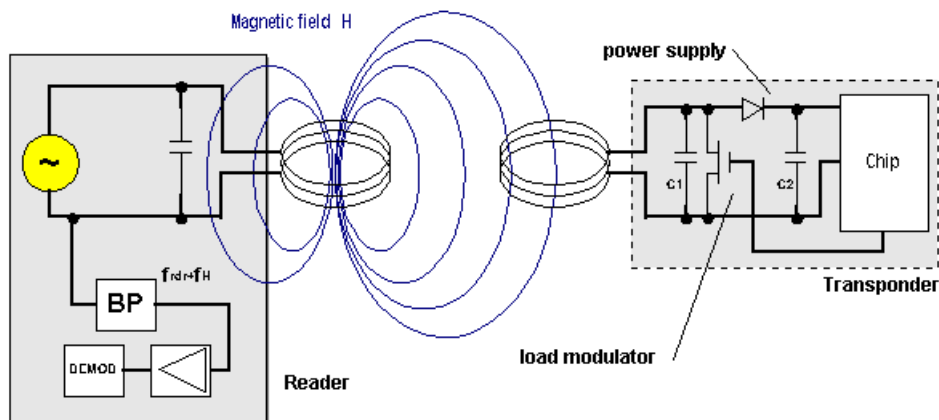
Nos sistemas em que o comprimento de onda é muito maior que a antena são encontrados acoplamentos indutivos, ou seja, praticamente toda a energia disponível da antena do leitor é limitada à vizinhança e diminui com o cubo da distância entre a tag e a antena.

Já nos sistemas em que o tamanho da antena é próximo do comprimento de onda do sinal, o acoplamento é baseado na radiação do sinal entre o leitor e a tag. A antena envia uma onda eletromagnética com potência que diminui com o quadrado da distância, em seguida a onda interage com a tag e uma sinal é enviado em direção ao leitor através da retro-modulação (*backscattering*).

2.1.2 A RFID em Alta Frequência

As *tags* que funcionam em LF e HF estão, em termos de comprimento de onda, muito próximas da antena do leitor (a uma distância menor que comprimento de onda λ). Nesta região de campo próximo, a tag está fortemente acoplada eletricamente à antena do leitor, e assim, mudanças na antena da tag provocam mudanças na impedância da antena do leitor, agindo como um transformador magnético onde o material de acoplamento é o ar. O acoplamento é feito entre a corrente da antena do leitor e a tensão sobre os terminais da tag, conforme representado na Figura 3.

Figura 3 – Sistema RFID em HF.



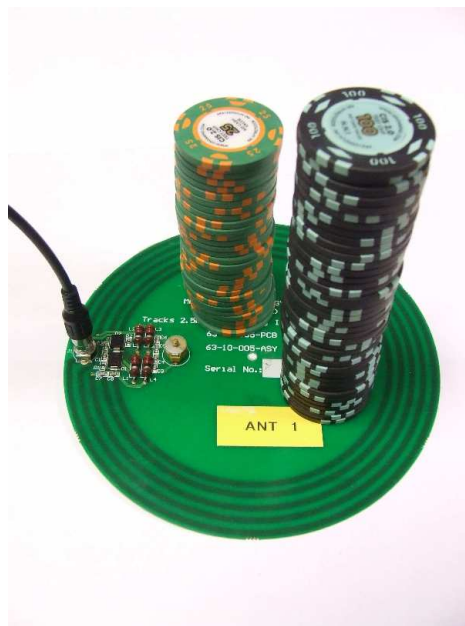
Fonte: (FINKENZELLER, 2003).

A distinção entre acoplamento indutivo e eletromagnético possui implicações importantes no comportamento das *tags* RFID. A distância de leitura de um *tag* indutivo é comparável à dimensão física da antena do leitor e dependente da posição relativa entre *tag* e antena do leitor.

2.1.3 Aplicação *gaming*

Uma ficha de cassino pode ser descrita com um disco circular de aproximadamente 40mm de diâmetro e 3mm de espessura. A introdução das *tags* RFID dentro das fichas trás consigo desafios, dentre eles: a grande variação do número de *tags* lidas em uma antena (de apenas uma a centenas de *tags*) e a presença de diversas antenas em uma mesma mesa. Assim, o controle preciso das zonas de leitura é fundamental para o funcionamento adequado de sistemas RFID na aplicação *gaming*, já que não pode haver erros de leitura do valor da ficha e da zona em que ela se encontra (zona de posse do jogador, zona de apostas, zona de caixa da mesa). São ilustradas na Figura 4 fichas uma das antenas fornecidas pela companhia.

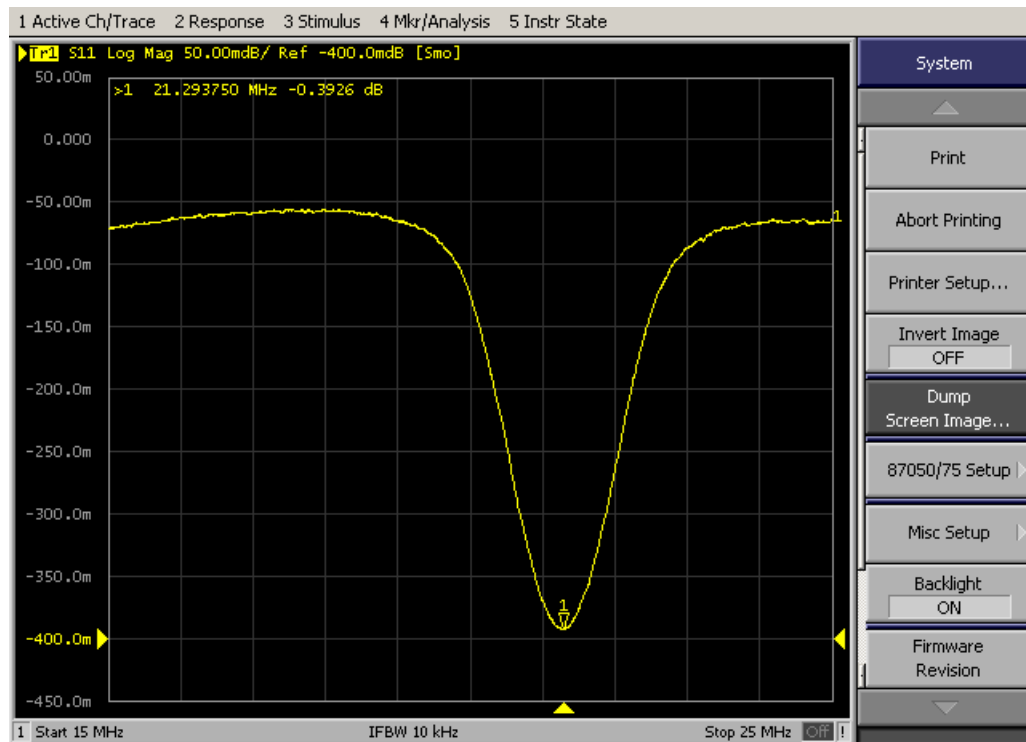
Figura 4 – Antena HF e pilhas de fichas.



No caso particular deste tipo de aplicação é comum haver uma pilha de *tags*. Neste tipo de arranjo, as fichas estão muito próximas e centralizadas umas das outras, deste modo, haverá um efeito indesejável de acoplamento entre as *tags* o que irá alterar sua resposta em frequência, alterando sua frequência de ressonância.

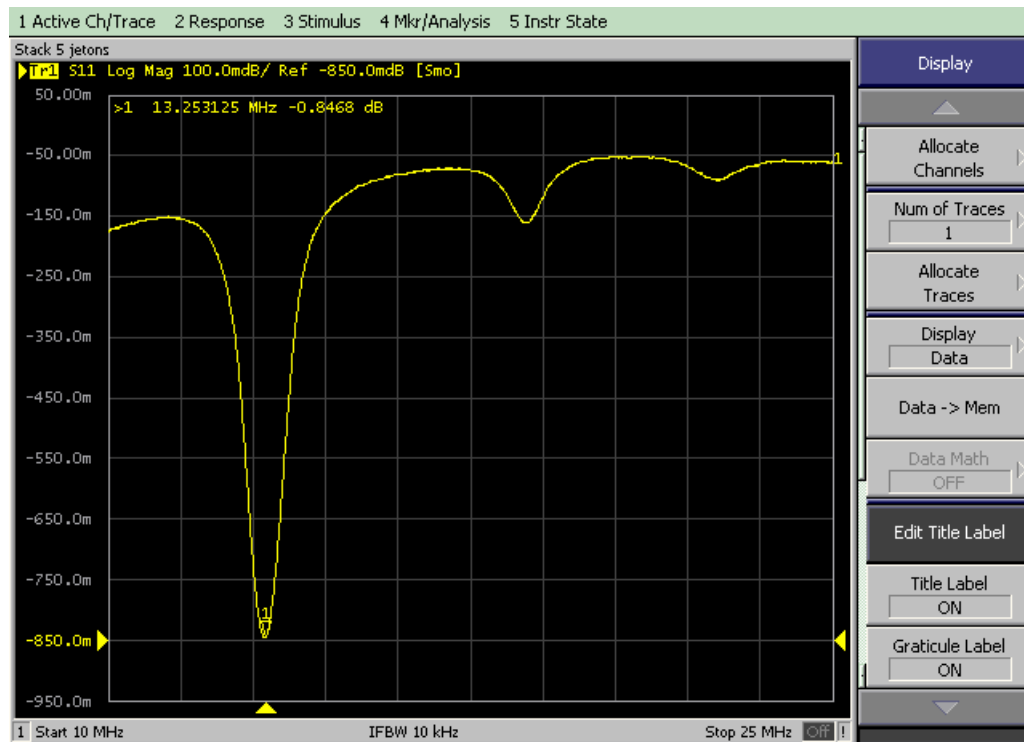
Deste modo, deve-se ponderar a distância de leitura de uma ficha sozinha e a leitura de uma pilha de fichas, pois conforme é mostrado na Figura 5 a frequência de ressonância

Figura 5 – Frequência de ressonância para uma ficha.



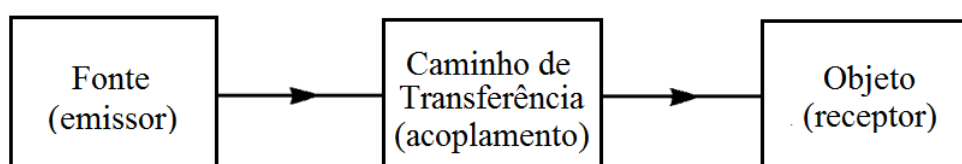
de uma *tag* é superior a do leitor (21,29 MHz nesta amostra), porém quando um grupo de *tags* está junto há uma redução da frequência, que se aproxima dos 13,56MHz do leitor, conforme representado na Figura 6.

Um outro fator importante é o tempo de leitura, que deve ser imperceptível para o usuário final (jogador). Assim, uma leitura confiável e rápida de grandes quantidades de fichas mesmo em superfícies de leitura relativamente pequenas é vital para a viabilidade da tecnologia RFID em cassinos. Deste modo um estudo detalhado do ambiente e das possíveis interferências e erros é necessário para um produto confiável, estável e competitivo.

Figura 6 – Frequência de ressonância para uma pilha de 5 fichas.

2.2 Compatibilidade Eletromagnética

A compatibilidade eletromagnética (CEM) estuda a geração, transmissão e recepção de energia eletromagnética indesejada. O objetivo de um estudo de CEM é redução e eliminação de efeitos que possam prejudicar o desempenho de determinado equipamento (Interferência Eletromagnética - EMI). De acordo com a Figura 7 é possível fazer um modelo de um problema de CEM em três partes. Uma fonte (ou emissor) que é responsável por produzir a emissão, um caminho de transferência (ou acoplamento) que transfere a energia da emissão para um objeto de estudo (ou receptor), onde a mesma é processada, podendo resultar em um comportamento indesejado.

Figura 7 – Decomposição básica de um problema de CEM.

Fonte: Adaptação (PAUL, 2006).

Esta transferência de energia eletromagnética é normalmente produzida por aco-

plamentos involuntários. Entretanto a transferência involuntária de energia provoca interferências somente se a energia recebida é suficientemente grande em amplitude e/ou em conteúdo espectral na entrada do receptor para causar um comportamento inadequado. Frequentemente é difícil determinar *a priori* se um sinal incidente sobre um receptor pode provocar interferências neste receptor.

Assim, a redução de interferências pode ser abordada de três maneiras:

- Suprimir a emissão na fonte;
- Tornar o caminho de transferência o mais ineficaz possível;
- Tornar o receptor menos sensível às emissões;

De acordo com Paul (2006), existem quatro mecanismos básicos de acoplamento: condutivo, indutivo, capacitivo e radiativo. Qualquer acoplamento pode ser decomposto em uma combinação de um ou mais mecanismos.

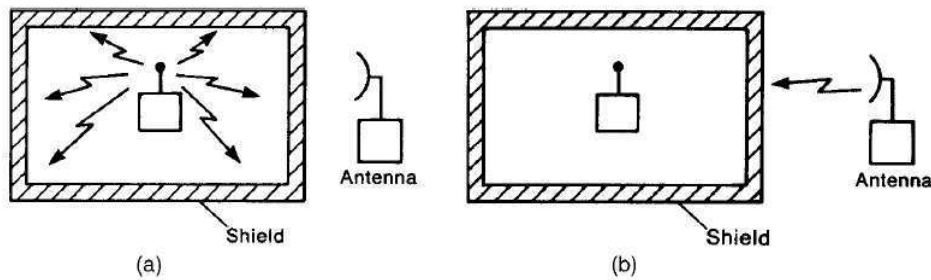
- Acoplamento condutivo - Ocorre quando o caminho de acoplamento entre o emissor e o receptor é formado pelo contato direto com um corpo condutor por exemplo, fio, placa de circuito impresso, linha de transmissão;
- Acoplamento indutivo - Ocorre quando a fonte e o receptor estão separados por uma distância curta (menos que um comprimento de onda) e a mudança de um campo magnético induz uma mudança de tensão no condutor receptor;
- Acoplamento capacitivo - Ocorre quando um campo elétrico variável existente entre dois condutores adjacentes separados por menos que um comprimento de onda induz uma mudança de tensão;
- Acoplamento eletromagnético - Ocorre quando o emissor e o receptor estão separados por uma distância grande (tipicamente mais que um comprimento de onda), e há um comportamento semelhante ao de antenas, onde o emissor emite ou irradia uma onda eletromagnética que se propaga no ar e é captada pelo receptor.

2.2.1 Blindagem Eletromagnética

A blindagem eletromagnética consiste em reduzir o campo eletromagnético na vizinhança de um determinado objeto através da interposição de uma barreira entre a fonte do campo e o objeto a ser protegido. O material desta barreira é, normalmente, um material condutor. Existem dois motivos para se usar uma blindagem, o primeiro é prevenir que as emissões eletromagnéticas de um determinado produto irradiem para o exterior de seus limites, seja para garantir a adequação aos limites de emissões impostos

por instituições regulamentadoras ou para impedir que o produto cause interferências com outros equipamentos eletrônicos, como pode ser visualizado na Figura 8. O segundo objetivo é impedir que as emissões oriundas de fontes externas se acoplem a eletrônica de determinado equipamento.

Figura 8 – Dois motivos para a aplicação de blindagem.



Fonte: (PAUL, 2006).

A eficácia de uma blindagem, em decibels, é definida para o campo elétrico como:

$$SE = 20 \log_{10} \left| \frac{\mathbf{E}_i}{\mathbf{E}_t} \right|. \quad (2.2)$$

Já para o campo magnético:

$$SE = 20 \log_{10} \left| \frac{\mathbf{H}_i}{\mathbf{H}_t} \right|. \quad (2.3)$$

Se o campo incidente for uma onda plana e o meio em cada lado da barreira foi idêntico, então as duas definições são as mesmas; já que os campos elétrico e magnético estão relacionados pela impedância intrínseca do meio para uma onda plana uniforme. Para campos próximos (*near-fields*) e/ou meios diferentes nos lados da barreira as equações não são equivalentes. Entretanto, a definição de eficácia da blindagem é feita por padrão em relação ao campo elétrico, ou seja, usando a Equação 2.2.

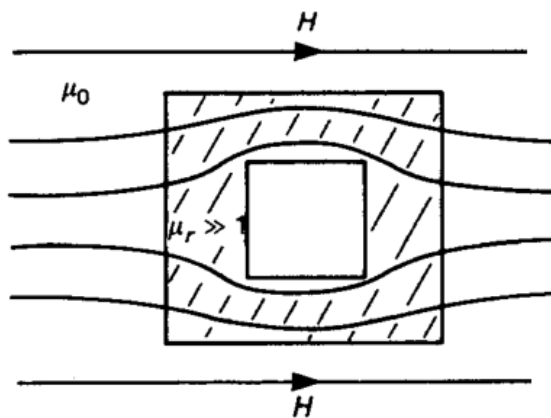
2.2.2 Blindagem Magnética

Algumas vezes os equipamentos exigem uma isolamento de campos magnéticos externos estáticos ou lentamente variáveis, porém blindagem eletromagnética através da gaiola de Faraday se mostra ineficaz para este tipo de campo. Neste caso, pode-se utilizar duas técnicas: A primeira é a blindagem através da dispersão do campo magnético, usando materiais de alta permeabilidade magnética tais como Permalloy ou Mumetal. Já a segunda envolve a geração de um fluxo oposto através do método da volta curto-circuitada, baseado na lei de Faraday.

Tabela 1 – Características de blindagem de diversos materiais.

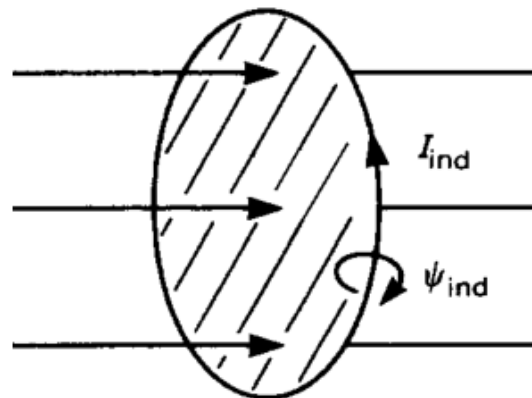
Material	σ_r	μ_r	$A \approx \sigma_r \mu_r$	$R \approx \sigma_r / \mu_r$
Prata	1.05	1	1.05	1,05
Cobre	1	1	1	1
Ouro	0.7	1	0.7	0,7
Alumínio	0.61	1	0.61	0,61
Latão	0.26	1	0.26	0,26
Bronze	0.18	1	0.18	0,18
Estanho	0.15	1	0.15	0,15
Chumbo	0.08	1	0.08	0,08
Níquel	0.2	600	120	$3,3 \cdot 10^{-4}$
Aço Inoxidável (430)	0.02	500	10	$4 \cdot 10^{-5}$
Aço (SAE 1045)	0.1	1000	100	$1 \cdot 10^{-4}$
Mumetal (em 1 kHz)	0.03	30.000	900	$1 \cdot 10^{-6}$
Superpermalloy (em 1 kHz)	0.03	100.000	3000	$3 \cdot 10^{-7}$

(a) Material de alta permeabilidade magnética.



Fonte: (PAUL, 2006).

(b) Volta curto-circuitada.



Fonte: (PAUL, 2006).

Figura 9 – Técnicas para blindagem de campos magnéticos de baixa frequência.

É importante ressaltar que os materiais de alta permeabilidade não "bloqueiam" o campo magnético, como a blindagem elétrica. Pode-se observar na Figura 9a será criado um caminho mais fácil para as linhas de campo ao redor do volume blindado. Assim, a melhor geometria para as blindagens magnéticas é a forma de recipiente fechado, englobando todo o volume a ser protegido. A eficácia deste tipo de blindagem está diretamente relacionada a permeabilidade magnética do material.

Outros métodos para reduzir as interferências causadas por acoplamento magnético são:

- Mudar a orientação do circuito com relação às linhas de campo;

- Cabeamento com par trançado;
- Reduzir possíveis *loops* do receptor;
- Roteamento adequado de cabos.

2.2.3 Ferrites

A ferrite é um componente elétrico passivo utilizado para suprimir interferências de alta frequência em circuitos eletrônicos. As ferrites são essencialmente materiais cerâmicos não condutores que possuem baixas perdas por corrente de Foucault em frequências de até centenas de MHz, diferentemente de outros materiais magnéticos, como o ferro.

Assim, é possível sua utilização para fornecer uma atenuação seletiva de sinais de alta frequência para melhorar a compatibilidade eletromagnética e não afetar os sinais de frequências mais baixas que compõem o sinal funcional.

Figura 10 – Diferentes formatos de ferrites.



Fonte: <http://goo.gl/HqfeA2>.

A corrente circulante pelo fio produz um fluxo magnético em uma direção circunferencial. Este fluxo passa através da ferrite e produz uma indutância interna representada pela Figura 11, esta indutância é proporcional à permeabilidade da ferrite.

$$L = \mu_0 \mu_r K. \quad (2.4)$$

Sendo:

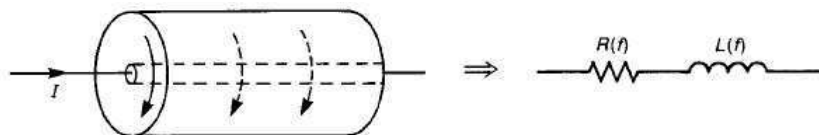
- K - Constante dependente das dimensões da ferrite;
- μ_0 - Permeabilidade magnética do vácuo;
- μ_r - Permeabilidade magnética relativa.

O material é caracterizado pela permeabilidade relativa complexa, que é função da frequência:

$$\mu_r = \mu'_r(f) - j\mu''_r(f). \tag{2.5}$$

A parte real $\mu'_r(f)$ está ligada a energia magnética armazenada dentro da ferrite e a parte imaginária está ligada as perdas dentro do material. A ferrite é efetivamente uma indutância com um fator de qualidade Q muito pequeno, uma vez que o ruído elétrico dentro da zona alvo que se desloca pelo cabo de sinal cria um campo magnético e origina uma força contra-eletromotriz em razão da sua indutância elevada.

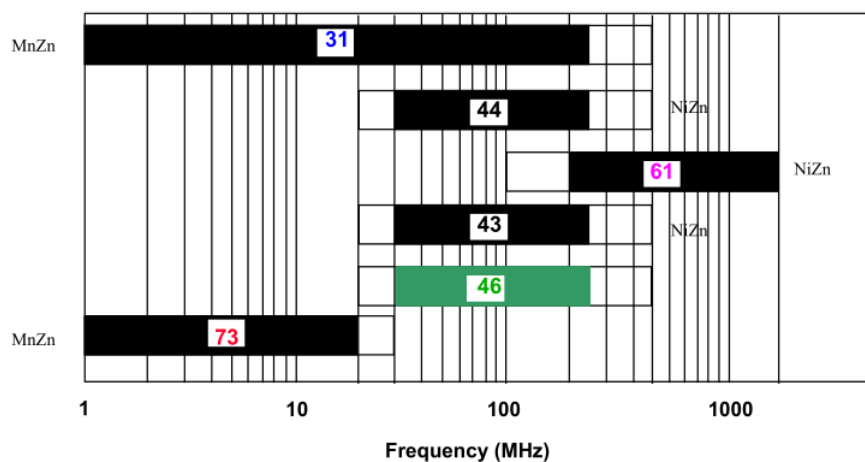
Figura 11 – Representação elétrica simplificada de uma ferrite.



Fonte: <http://goo.gl/HqfeA2>.

Por esta razão, as características específicas do circuito, assim como a banda de frequências do ruído devem ser levadas em conta na hora da escolha de uma ferrite com funcionamento de filtro de ruído. De acordo com a Figura 12, diferentes materiais possuem comportamentos elétricos diferentes e a documentação do fabricante indicará as frequências onde a dissipação é mais elevada.

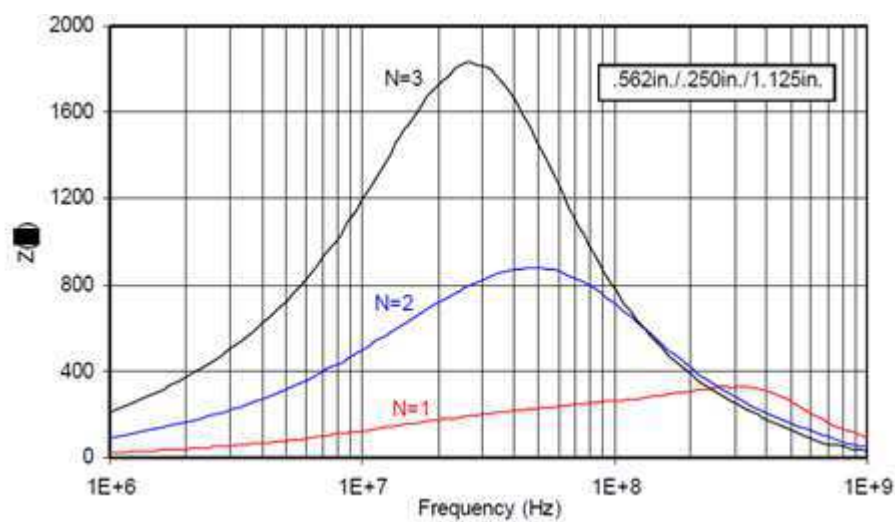
Figura 12 – Diferentes materiais e suas frequências de atenuação.



Fonte: Fair-Rite Products Corp.

As ferrites são uma das soluções mais simples e menos custosas de filtros de interferência a se instalar no cabeamento eletrônico pré-existente. A Figura 13 mostra a relação entre impedância e o número de voltas sobre o núcleo.

Figura 13 – Influência do número de voltas na impedância da ferrite.



Fonte: Fair-Rite Products Corp.

3 Material e Métodos

3.1 Material

O estudo das interferências pode ser aplicado a diversas bandas de frequência e seus efeitos no processamento de diversos leitores, dentre os leitores utilizados pela empresa, foi escolhido o sistema Magellan-GPI, que utiliza leitores de múltiplas vias em 13,56MHz para a multiplexação de antenas. Os principais componentes deste sistema são:

3.1.1 Leitor

O leitor a ser utilizado depende da aplicação desejada, do tamanho da mesa, do tipo de antena utilizada (1D, 2D) e da superfície a ser lida. Os leitores MARS (*Multiple Antenna Reading System*) representados na Figura 14 possuem múltiplas vias (6, 8, 24) que podem ser comutadas, permitindo assim a leitura de várias antenas por um mesmo leitor.

Figura 14 – Leitor MARS 6.

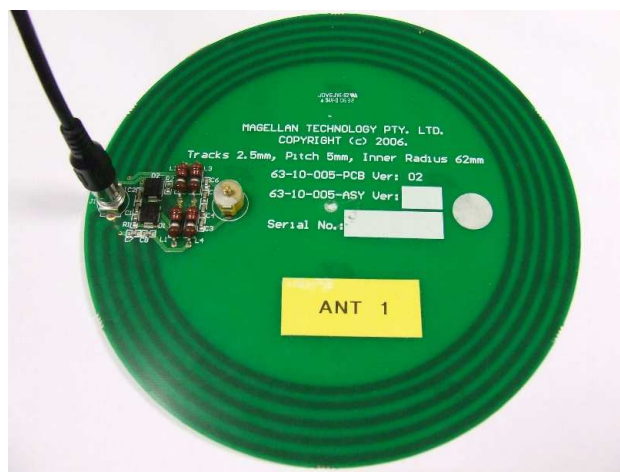
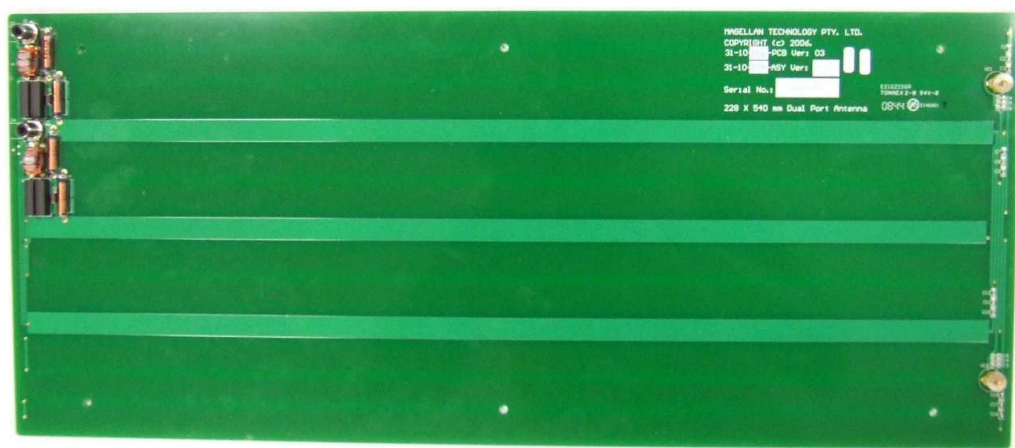


3.1.2 Antenas

Dependendo do local de instalação do sistema são necessárias diferentes geometrias de antenas e diferentes padrões de radiação, para isto a companhia dispõe de diversas antenas fabricadas pela Magellan, conforme a Figura 15 e Figura 16.

3.1.3 Software

O software utilizado para testes, representado na Figura 17 foi disponibilizado pelo fabricante dos leitores e antenas e é capaz de fazer a leitura das antenas que estão conectadas diretamente no leitor ou em outros leitores pertencentes à mesma rede local.

Figura 15 – Antena circular de diâmetro 124mm.**Figura 16** – Antena 2D por comutação.

Usando a documentação fornecida e os comandos de leitura dos padrões das *tags* (ISO/IEC 14443 e MIFARE) a empresa desenvolveu um software próprio denominado CIS - *Chip Inventory System* capaz de gerenciar todos os leitores da rede, controlá-los e configurá-los. O CIS autêntica e pode seguir os movimentos das *tags* em todas as áreas cobertas pelas antenas no cassino em tempo real.

Figura 17 – Software padrão Magellan.



3.1.4 Circuitos e Conversores

3.1.4.1 Amplificador Logarítmico

Como a maior parte das interferências sobre a antena do leitor são causadas por acoplamentos capacitivos e indutivos (interferências por campos próximos) e estes acoplamentos possuem uma variação não linear com a distância entre a antena e a fonte de interferência. Deste modo, decidiu-se utilizar o amplificador logarítmico AD8307, para linearizar a saída do sinal de interferência.

Como pode ser observado na Figura 18 e por 3.1, a saída do amplificador é proporcional ao logaritmo da entrada, desta maneira é possível obter uma relação proporcional entre entrada e saída.

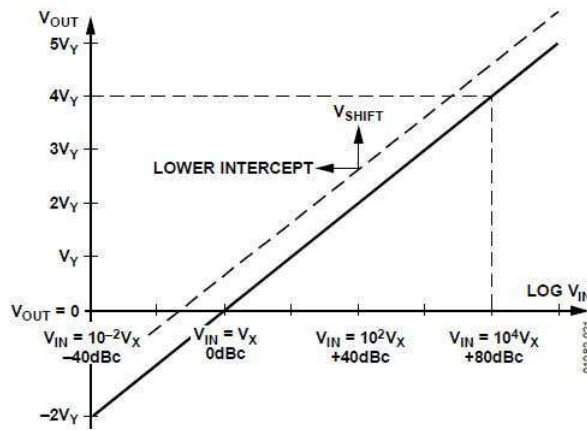
$$V_{out} = V_y \cdot \log\left(\frac{V_{in}}{V_x}\right), \quad (3.1)$$

sendo: V_{out} - tensão de saída; V_y - tensão de inclinação da reta (volts/década); V_{in} - tensão de entrada; V_x - tensão de intersecção;

3.1.4.2 Amplificador Linear

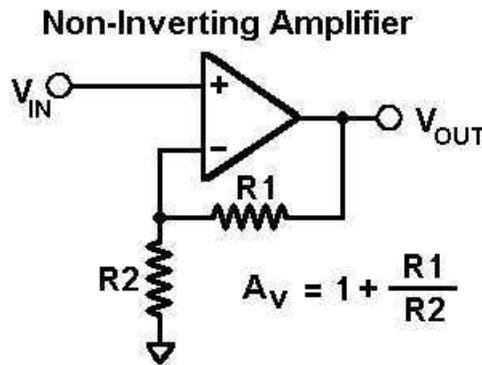
A amplificação linear não-inversora pode ser alcançada usando um circuito extremamente simples, que permite amplificar o sinal de entrada com um fator proporcional à relação entre as resistências, conforme ilustrado na Figura 19. Para aplicações reais é importante verificar as especificações do fabricante para garantir o ganho na faixa de frequência desejada.

Figura 18 – Comportamento ideal de um amplificador logarítmico (AD8307).



Fonte: Datasheet AD8307.

Figura 19 – Configuração não-inversora de um amplificador operacional.



sendo: V_{out} - tensão de saída; V_{in} - tensão de entrada; A_v - ganho do amplificador;

3.1.4.3 Retificação

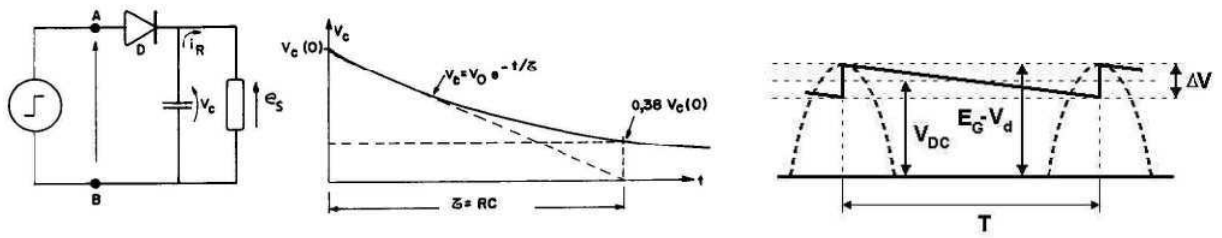
Para obter o valor máximo do nível de interferência em um ciclo de leitura e o representar em uma escala de Diodos Emissores de Luz (*Light-emitting Diode*, LED) é necessário um estágio de retificação, como o representado na Figura 20.

A tensão média de saída V_{dc} é dada por 3.2:

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot R \cdot C \cdot f \cdot (E_G - V_d)}{1 + 2 \cdot R \cdot C \cdot f}. \quad (3.2)$$

Desta maneira o capacitor irá ser carregado com os valores máximos de interferên-

Figura 20 – Circuito retificador, constante de tempo de um filtro RC e tensão de saída.

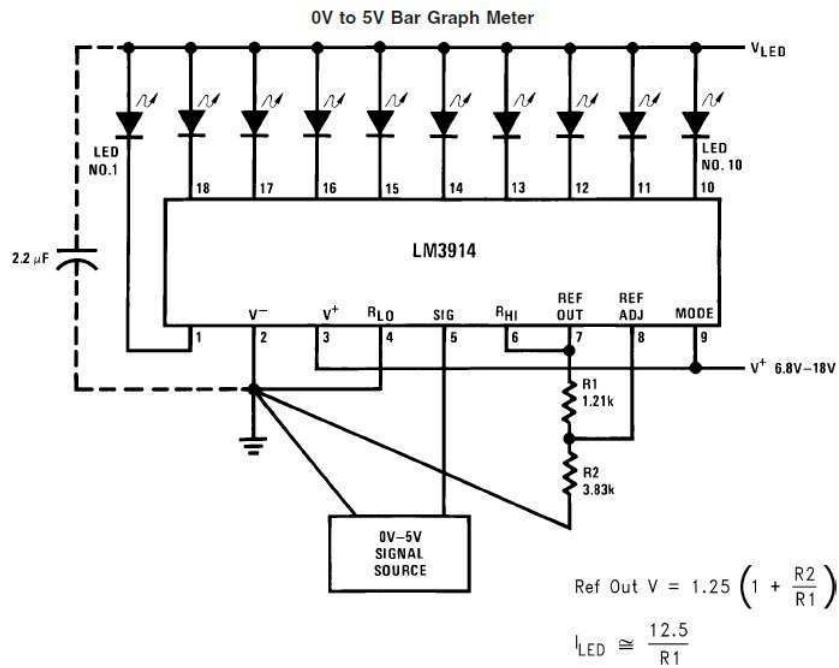


cia durante o tempo de resposta da *tag* e irá se descarregar entre os comandos de leitura (quando o sinal de entrada é zero).

3.1.4.4 Driver

Para representar os diferentes níveis de interferência pode-se utilizar um *driver* LED, ilustrado na Figura 21, que recebe uma tensão de entrada entre 0 e 5 Volts, realiza comparações internas de tensão e controla a saída de até 10 LED's em operação.

Figura 21 – Conexões de um driver LED.



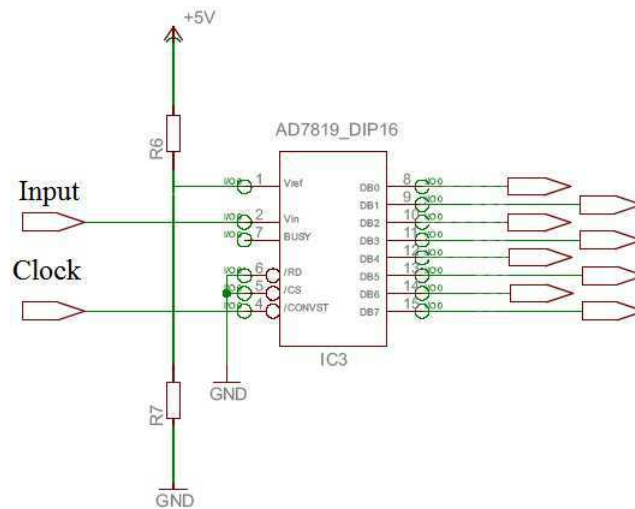
Fonte: Datasheet LM3914.

A resistência R_2 pode ser substituída por um potenciômetro para permitir a mudança da tensão de referência para as comparações, mudança esta que será fundamental para o funcionamento adequado do medidor.

3.1.4.5 Conversor Analógico/Digital

Para uma maior precisão de leitura, uma vez que a escala do *driver* dos LEDs fornece apenas 10 níveis possíveis pode-se utilizar um conversor analógico/digital. Foi decidido que um conversor de 8 bits atendia as necessidades da aplicação. O conversor escolhido foi o AD7819, representado na Figura 22, responsável pela conversão e pelo envio dos bits à entrada do leitor.

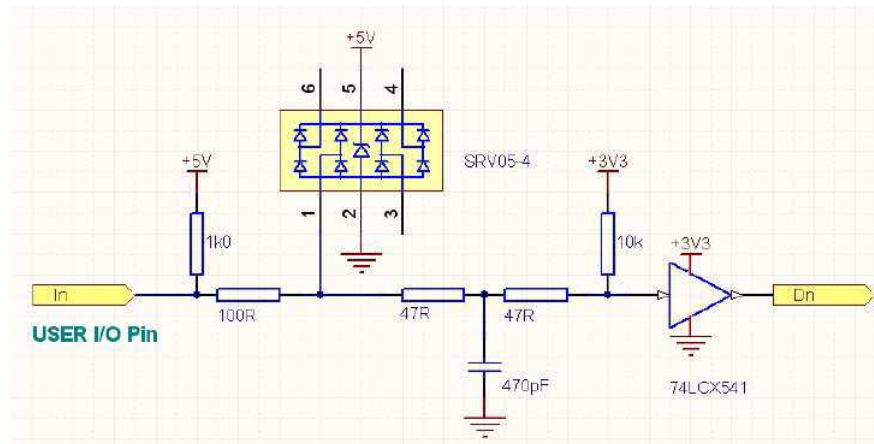
Figura 22 – Conexões utilizadas para o conversor AD7819.



Com 8 bits e uma tensão de referência de +5V, tem-se uma resolução de:

$$Q = \frac{V_{refH} - V_{refL}}{2^M} = \frac{5}{2^8} \approx 19mV. \quad (3.3)$$

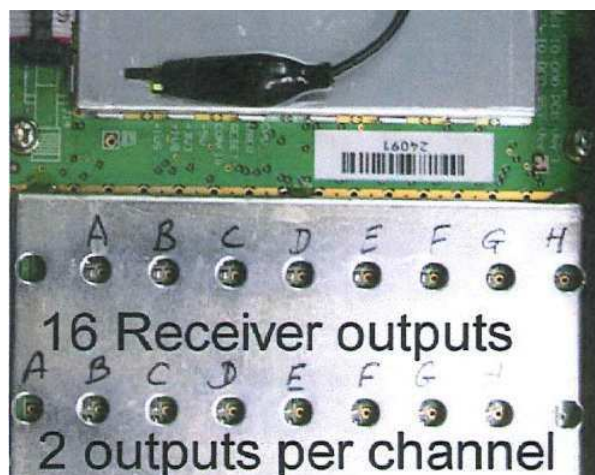
É possível observar na Figura 23 que o circuito de entrada utilizado pelo leitor MARS usa a lógica em +3.3V e não +5V, assim uma adaptação será necessária.

Figura 23 – Circuito de entrada do leitor.

3.2 Métodos

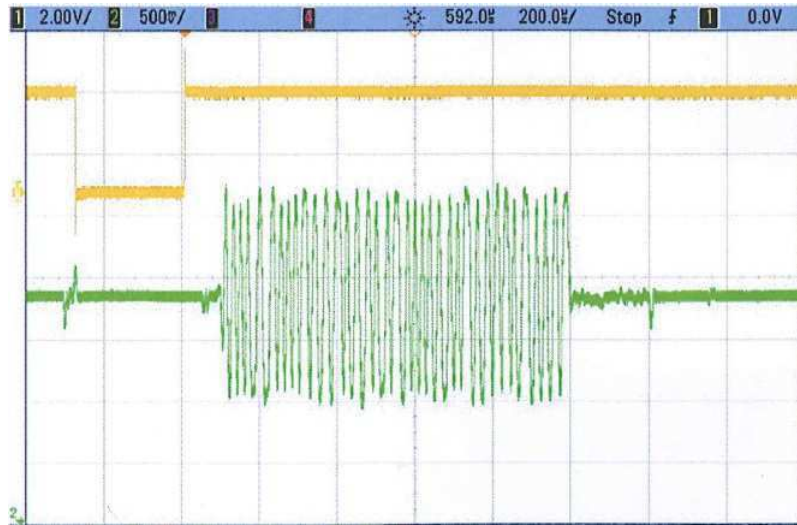
3.2.1 Medição e redução de interferências

Após analisar a documentação do leitor utilizado (MARS24 - 13,56MHz), foi visto que no circuito interno do leitor há a possibilidade de recuperar o sinal de um dos 8 canais de leitura (A - H) da antena, conforme indicado na Figura 24.

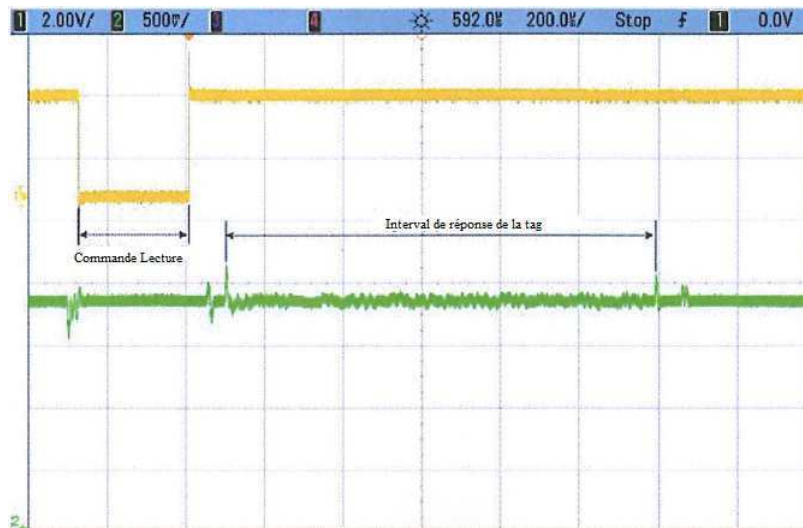
Figura 24 – Placa de circuito do leitor MARS24 e canais de recepção da leitura.

Pode-se observar na Figura 25 o sinal de resposta de uma *tag* (em verde) a um comando de leitura (em amarelo). A *tag* utiliza uma técnica de modulação denominada PJM (*Phase Jitter Modulation*) e o sinal medido possui uma amplitude que pode variar de 0 a 5 Volts (após os ganhos do leitor) dependendo da distância entre a *tag* e a antena.

É possível também fazer uma leitura da antena quando não há nenhuma *tag* presente na zona de leitura. O sinal obtido corresponde ao nível de interferências captadas

Figura 25 – Comando de leitura e resposta de uma *tag*.

pela antena, conforme mostrado na Figura 26, provenientes de equipamentos "perturbadores" como por exemplo: fontes de alimentação chaveadas, cabos de dados ou de energia. Estes sinais irão se acoplar ao sinal de leitura da *tag* e podem comprometer a demodulação correta do sinal da *tag*.

Figura 26 – Comando de leitura e resposta da antena e leitor na ausência de uma *tag*.

As pequenas variações vistas na Figura 26 são oriundas de ruídos internos ao leitor e são perfeitamente aceitáveis no desempenho do sistema. Entretanto, é possível ter perturbações extremamente danosas ao sistema como exemplificado na Figura 27, proveniente de fontes externas que são captadas pelo leitor, no caso da figura, a antena está próxima a uma fonte de alimentação chaveada, exibida na Figura 28. São estes níveis de ruídos que serão estudados e medidos.

Figura 27 – Resposta da antena próxima a uma fonte de alimentação chaveada.



Figura 28 – Possível fonte de perturbações no sistema.



Durante a etapa de projeto, foram necessárias decisões quanto ao funcionamento do circuito. Entre elas é importante destacar que através de estudos e medições foi decidido um limiar de tensão de leitura. Este limiar foi escolhido como sendo a tensão máxima proveniente de interferências onde ainda é possível realizar a leitura de 40 fichas empilhadas. Com essa referência, os LEDs podem representar adequadamente a escala de interesse.

A partir destes sinais, foi iniciada a etapa de desenvolvimento de um circuito capaz de apresentar o nível de interferência visto pela antena do leitor. Em seguida, este circuito

foi utilizado para comparar a eficácia das técnicas de compatibilidade eletromagnética na aplicação *gaming*.

Para aplicar as técnicas apresentadas na seção 2.2 foram feitos pedidos dos materiais estudados e foram realizados testes para diferentes fontes de interferências. Os testes ocorreram em uma sala similar às encontradas em cassino disponível na sede da empresa para realizar demonstrações a clientes e testes de produtos. Nesta sala foram testadas as influências de fontes de alimentação chaveadas, cabos de energia, roteadores, cabos de dados e displays de cristal liquido (*Liquid-crystal display*, LCD).

A resposta de cada solução foi avaliada nesta sala, com leitores MARS 13,56 MHz, com o circuito desenvolvido, um osciloscópio e uma antena para buscar possíveis fontes de interferências.

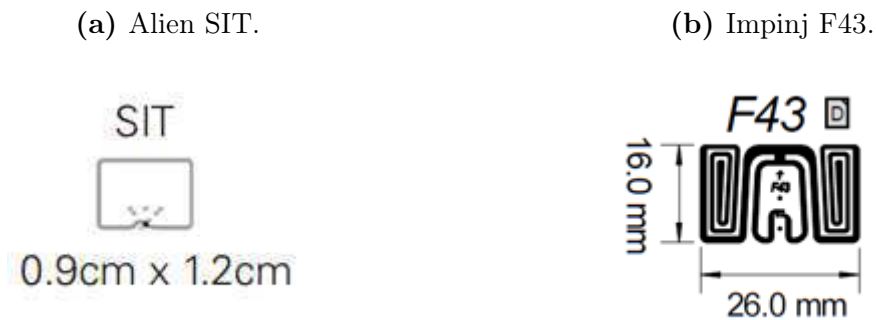
3.2.2 Comparações entre tecnologias RFID

Para a comparação de diferentes tecnologias RFID foram contactados diversos fabricantes de *tags* RFID, e foram discutidos os pontos especificados na subseção 3.2.2.1, em seguida negociou-se as condições de envio e uso das amostras de *tags*. Os leitores utilizados foram um *Impinj Speedway Reader Revolution* de faixa de frequência compatível com as especificações dos Estados Unidos e outro com compatibilidade com a zona Europeia.

Foram utilizadas as antenas *Antenne Brickyard - Near Field* e *Antenne UHF* das empresas Impinj e Sontec e os softwares fornecidos pelo fabricantes. Os procedimentos de medições seguiram uma sequencia pré-estabelecida para todas as amostras. Inicialmente as amostras de *tags* foram colocadas em fichas vazias, representadas na Figura 29, foi medida a distância de leitura vertical para uma única amostra e para uma pilha de fichas. Em seguida foram analisadas as velocidades de leitura, bem como a distância de leitura lateral (fora da zona desejada de leitura) e finalmente foram testadas possíveis reflexões.

Figura 29 – Fichas vazias utilizadas para testes.



Figura 30 – *tags* testadas.

3.2.2.1 Lista de especificações

A primeira etapa na pesquisa de novas tecnologias para a aplicação da empresa é a criação da lista de especificações, onde estarão descritos os requisitos básicos, sejam eles físicos (dimensões, resistência aos processos térmicos de fabricação) ou elétricos (adequação a padrões de comunicação definidos, memória interna do chip).

Os principais pontos da aplicação foram:

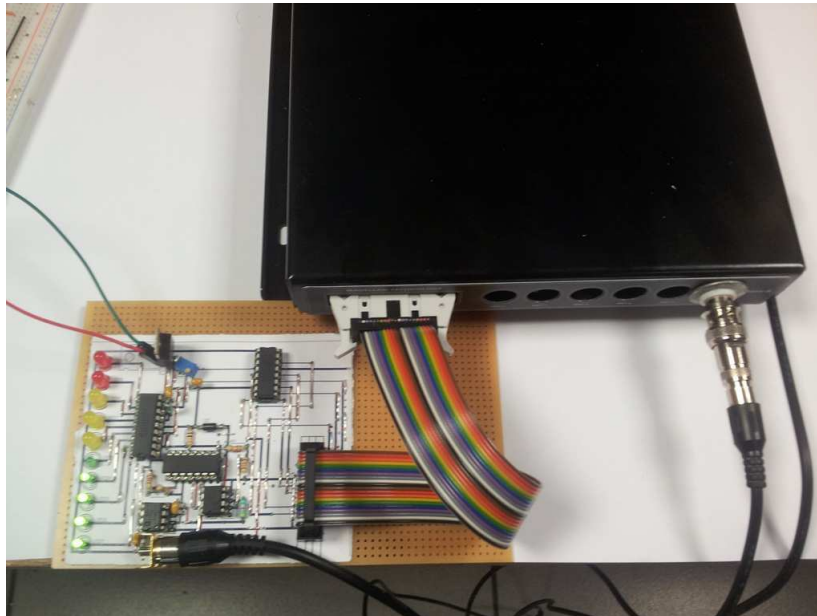
- As fichas de cassino são discos com aproximadamente 40mm de diâmetro e 3mm de espessura.
- O diâmetro máximo da *tag* deve ser inferior a 27,5mm de diâmetro.
- A espessura máxima da *tag* deve ser inferior a 0,4mm.
- A *tag* deve ser passiva.
- No mínimo 256 bits de memória.
- Os blocos de memória devem poder ser configurados para Somente Leitura ou Leitura/Escrita.
- Deve ser possível bloquear certos locais de memória após a programação.
- As *tags* devem ser lidas em pilhas de até 40 fichas.

4 Resultados e Análises

4.1 Resposta do circuito

Após o estudo teórico dos componentes do circuito e da metodologia utilizada para as medições, os protótipos do circuito foram criados, a versão final do circuito foi criada usando o software *Eagle*, onde a empresa de posse do design final irá industrializar o processo, otimizando o espaço das trilhas e utilizando componentes de montagem superficial. O segundo protótipo pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 – Segundo protótipo do circuito desenvolvido.

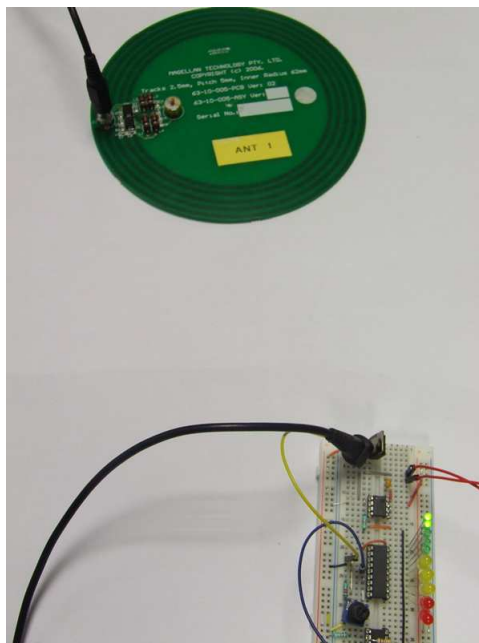


O primeiro protótipo, ainda montado em *protoboard* pode ser observado nas Figuras 32, 33a, 33b e 34, onde é possível ver o comportamento do circuito de acordo com a distância entre a antena e uma fonte de perturbações.

Na Figura 32, há apenas dois LEDs acesos. Este comportamento é devido às perturbações internas ao leitor e não afetam o funcionamento do sistema.

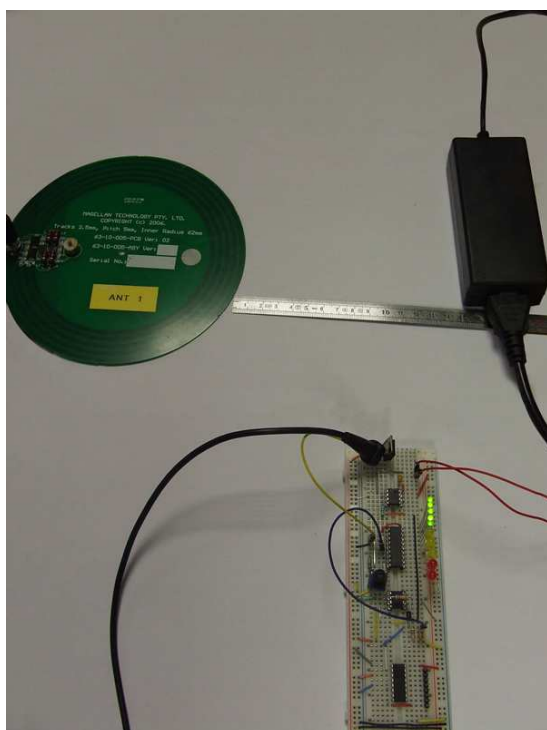
Já na Figura 33a a antena está a 15cm da fonte e os 5 LED's verdes estão acesos, indicando um aumento das interferências, porém insuficiente para comprometer o bom funcionamento do sistema. Na Figura 33b a distância foi reduzida à 10cm e os LEDs amarelos indicam o limite da tensão de interferência.

E finalmente pode-se observar na Figura 34 que o limiar de tensão foi ultrapassado

Figura 32 – Antena sem interferências externas e o primeiro protótipo.**Figura 33** – Diferentes distâncias entre a antena e um fonte de perturbações.

(a) 15 cm.

(b) 10 cm.



e que ao serem posicionadas fichas com *tags* RFID nesta posição de fonte/antena haverá erros de leitura.

Figura 34 – Distância crítica para o bom funcionamento do sistema.

4.2 Redução de interferências

Durante a busca por fontes de interferência foram realizados diversos testes, envolvendo as mais diversas fontes de perturbação e os efeitos de diferentes materiais da resposta do circuito.

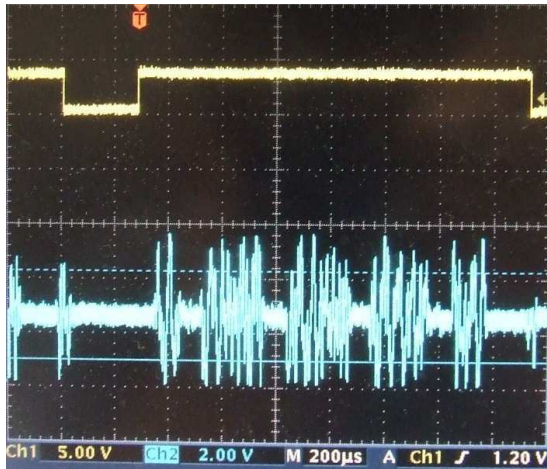
Quando a antena era posicionada próxima a um equipamento que possuía comutação de corrente (fontes de alimentação e displays) era possível observar o aumento do sinal do leitor no osciloscópio e do nível de ruído na escala dos LEDs do circuito. Em seguida, buscou-se blindar as fontes possíveis com os diferentes materiais adquiridos. A blindagem desses tipos de fontes se mostrou eficaz, como mostrado nas Figuras 35a e 35b. Foi possível também perceber um aumento na velocidade de leitura (disponível no software) e uma redução nos erros de leitura.

Já para os cabos de alimentação com correntes elevadas, o efeito da blindagem eletromagnética é praticamente nulo, tendo em vista que o campo gerado por estes sinais é de frequência extremamente baixa, pode-se observar na Figura 36 a ineficácia da blindagem.

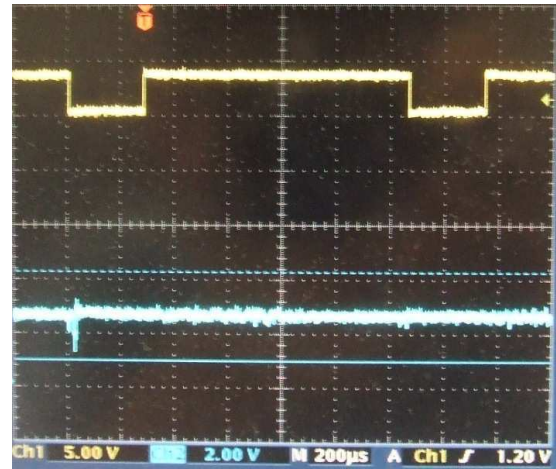
Em seguida, uma folha de mu-metal que é um material de alta permeabilidade

Figura 35 – Sinais do leitor RFID.

(a) Antes da blindagem eletromagnética.



(b) Após a blindagem eletromagnética.



relativa (mais de 20.000 vezes maior que a permeabilidade do ar, conforme a Tabela 1), foi utilizada como forma de blindagem magnética para proteger circuitos de campos magnéticos de baixa frequência. Pode-se perceber nas Figuras 37a e 37b a diferença entre os sinais do leitor.

Durante todas as medições, o osciloscópio e o circuito desenvolvido, descrito na seção 4.1, para verificar e validar o funcionamento do circuito. Os testes de diferentes materiais mostraram que é possível reduzir de forma considerável as interferências, porém é fundamental identificar bem a fonte de perturbação e escolher o material adequado para cada fonte.

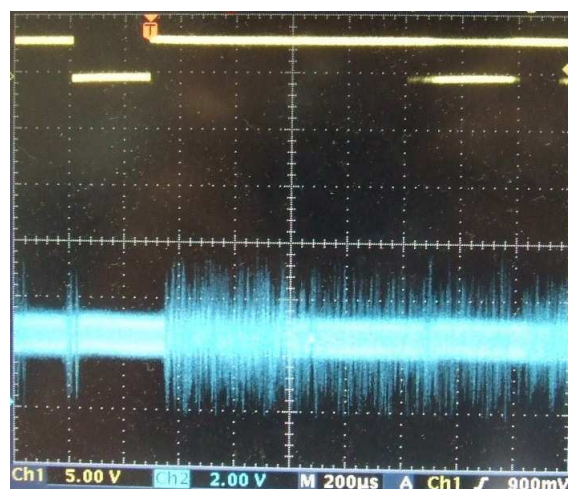
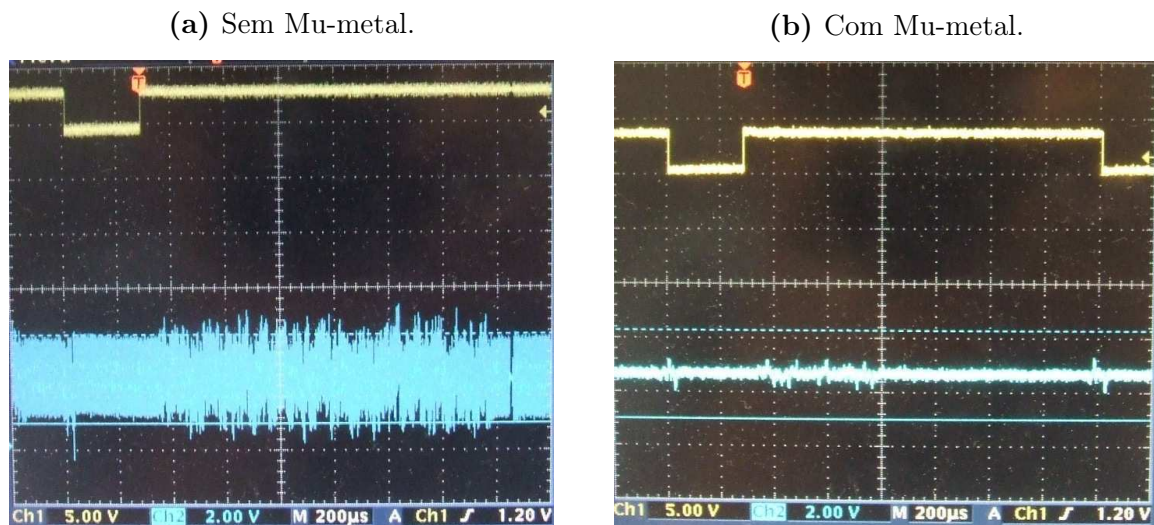
Figura 36 – Blindagem inadequada de um campo ELF.

Figura 37 – Blindagem magnética.

4.3 tags e chips testados

As principais medições realizadas estão representadas na Tabela 2. Durante as medições foi possível observar que as *tags* híbridas possuem uma distância de leitura muito maior que as Near-field e uma melhor resposta ao empilhamento, porém as reflexões e distância de leitura são fatores preocupantes, já que a leitura das fichas dentro dos bolsos de pessoas que estão apenas circulando na proximidade da mesa e leituras inconstantes devido à reflexões podem comprometer a confiabilidade do sistema.

Tabela 2 – Resultados dos testes para *tags* não-customizadas.

Característica	Impinj F43	Alien SIT
Distância de leitura vertical (cm)	+40	25
Pilha (n° de fichas)	32	29
Velocidade de leitura (<i>tags</i> /s)	260	468
Distância de leitura lateral (cm)	+100	1
Reflexões	Sim	Não

Foi observado que nenhuma das *tags* testadas atendeu a todas as especificações requeridas, entretanto pode-se iniciar um projeto de desenvolvimento de *tags* específicas para a aplicação *gaming*. Na época do final deste projeto, discussões sobre um possível projeto com a empresa Impinj haviam sido iniciadas pelo chefe do setor de P&D e a empresa.

Infelizmente devido ao tempo de pesquisa necessário por este projeto, do tempo de discussão das especificações, do tempo de resposta das empresas contactadas e atrasos nos envios de amostras, este trabalho não pôde atingir todas as expectativas iniciais. Entretanto, a lista de especificações, de empresas, a metodologia dos testes ficarão a

disposição da companhia e serão uteis em futuras pesquisas. Além do fato de haver a possibilidade de um projeto customizado para a aplicação em curto prazo.

4.4 Análise financeira

Podem ser observados na Tabela 3 os principais custos do projeto, onde foram utilizadas informações disponíveis pelo setor de P&D empresa e valores usuais de mercado.

Tabela 3 – Gastos do projeto.

Investimento	Valor de compra (€)	Valor por ano¹ (€)	Valor na duração do projeto (€)
Leitor RFID - MARS24	5540,00	1847,00	769,60
Osciloscópio	6680,00	2226,70	927,80
Computador	1100,00	336,70	140,30
Componentes eletrônicos	120,00	-	120,00
Salário do estagiário	436,05	-	2180,25

Nota: ¹ - Amortização de 3 anos.

Assim, é possível analisar esta estimativa financeira em três aspectos:

- O custo do empregado: Salário de 436,05€ em uma jornada de 35 horas semanais.
- O custo de investimento: Os materiais da empresa que foram utilizados durante o estágio: Leitores RFID, osciloscópios, computadores e suas licenças.
- O custo dos produtos (compras): Os materiais que foram adquiridos e utilizados para a prototipagem do circuito e testes de interferências.

Pode-se estimar o custo de desenvolvimento deste projeto em 4137,95€.

5 Conclusão

Este estágio atingiu a maior parte de seus objetivos, tanto na análise de interferências nos sistemas RFID-HF quanto na pesquisa de novos parceiros e de tecnologias. O circuito desenvolvido durante este estágio permitirá a empresa verificar de forma simples e armazenar leituras de níveis de interferências dos locais onde os sistemas serão instalados. O estudo dos materiais e técnicas de compatibilidade eletromagnética descritos neste relatório permitirão melhorar a confiabilidade e velocidade de leitura dos produtos da empresa. Com este projeto foi possível aplicar e aprofundar os conhecimentos adquiridos durante a graduação e o intercâmbio em um problema prático da tecnologia RFID além de permitir uma familiarização com o funcionamento de uma empresa e todas as etapas de um projeto de P&D conhecimento que será útil nos projetos e trabalhos futuros.

Referências

- DOBKIN, D.; WEIGAND, S. Environmental effects on rfid tag antennas. In: *Microwave Symposium Digest, 2005 IEEE MTT-S International*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 4 pp.–. ISSN 01490-645X.
- DOBKIN, D. M. *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*. Newton, MA, USA: Newnes, 2007. ISBN 0750682094, 9780750682091. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- FINKENZELLER, K. *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. 2. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003. ISBN 0470844027. Citado na página 17.
- JAMALI, B.; BATES, B. Emc considerations in deployment of rfid systems. In: *Electromagnetic Compatibility Symposium Adelaide, 2009*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 8–12.
- JOURNAL, T. R. *Frequently asked questions*. 2012. Disponível em: <<http://goo.gl/DP5YXP>>.
- NIKITIN, P.; RAO, K. V. S.; LAZAR, S. An overview of near field uhf rfid. In: *RFID, 2007. IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 167–174.
- PAUL, C. R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. 2nd. ed. [S.l.]: Wiley-Interscience, 2006. 1016 p. ISBN 9780471755005. Citado 4 vezes nas páginas 20, 21, 22 e 23.
- SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. *Microelectronic Circuits Revised Edition*. 5th. ed. New York, NY, USA: Oxford University Press, Inc., 2007. ISBN 0195338839, 9780195338836.