



PROJETO DE GRADUAÇÃO

Estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência - RFID

Por,
Alessandro de Souza Oliveira
Milene Franco Pereira

Brasília, 12 de dezembro de 2006

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

Estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência - RFID

POR,

Alessandro de Souza Oliveira
Milene Franco Pereira

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista.

Banca Examinadora

Antonio José Martins Soares UnB/ ENE (Orientador) _____

Plínio Ricardo Ganime Alves UnB/ ENM _____

Marco Antonio Brasil Terada UnB/ ENM _____

Brasília, 12 de dezembro de 2006

Dedicatória(s)

Ao meu pai Walkir, minha mãe Marlene e minhas irmãs Giselle e Tatiana, que são verdadeiros presentes de Deus na minha vida, sempre ao meu lado apoiando em todos os momentos.

Milene Franco Pereira

Ao meu pai Audálio, minha Mãe Rosilei, meus irmãos Leandro e Danillo e minha noiva Raquel, que sempre me apoiaram durante este tempo em que passei na Universidade de Brasília e em todas etapas importantes da minha vida.

Alessandro de Souza Oliveira

Agradecimentos

À minha família, pela motivação sempre me estimulando a crescer cientificamente e pessoalmente. Gostaria de agradecer aos professores e mestres, que com prazer e dedicação alimentaram meus conhecimentos, grande parte do que está demonstrado nesse projeto e ainda o que é mais importante, me ensinaram a aprender sozinho. Agradeço aos amigos por terem contribuído em anos de estudo compartilhando sugestões e experiências as quais foram de suma importância para o meu crescimento profissional e pessoal.

Alessandro de Souza Oliveira

Agradeço a meu pai Walkir por me oferecer todas as condições para que fosse possível eu alcançar meus objetivos. Sempre foi meu companheiro nas madrugadas, eu lendo ou estudando, e ele lendo ou trabalhando. Acredito que fui influenciada por ele a escolher engenharia como área de estudo, uma vez que, quando pequena, frequentava seu lugar de trabalho e ele me encorajava a perguntar “como funciona, pai?”. Devo também a ele a oportunidade que tive de morar em diversos lugares diferentes, o que me ajudou a acumular uma experiência ímpar, que, com certeza, continuará sendo um diferencial para o resto da minha vida.

Agradeço muito também à minha mãe Marlene, que sempre me apoiou em todos os momentos, das decisões mais triviais às mais sérias. Ela sempre falava o que eu precisava ouvir. Suas palavras de incentivo também sempre me ajudaram muito, oferecendo valores de liderança, humildade e perseverança. Tantos anos de engenharia e ela ainda não se acostumou em me ver estudando em horários ou dias tão incomuns, sempre preocupada com minha saúde e bem-estar, porém sem nunca deixar de estar ao meu lado.

Minhas irmãs Giselle e Tatiana, quanta diferença fazem para mim. Giselle que muitas vezes acompanhou de perto minha jornada pela engenharia, mesmo não fazendo o mesmo curso. E a Tati, que com muita compreensão e carinho, aos 5 anos, disse uma vez algo que eu nunca vou esquecer: “Mi, no dia depois desse dia tudo vai ser diferente”, e essas palavras até hoje me dão incentivo para continuar quando tudo parece estar ficando difícil demais.

Não poderia deixar de agradecer também ao Vinícius, que é a prova maior de que nem sempre é preciso estar perto para estar presente, e assim fazer a diferença.

Aos meus professores, que foram, sem dúvida alguma, muito importantes na minha formação, compartilhando o conhecimento, incentivando o “querer saber” e mostrando que somos capazes de mais do que imaginamos. E considero nosso orientador, professor Martins, um ótimo exemplo de domínio do conhecimento, didática e incentivo.

E por fim, aos meus amigos da Elétrica que fizeram parte dessa conquista. O apoio mútuo foi sempre muito importante tanto nas horas de estudo quanto de descontração, para que não perdêssemos a certeza de que todo o esforço vale a pena quando se faz o que se gosta. Não posso deixar de destacar o meu parceiro de projeto Alessandro, que foi muito parceiro e amigo durante todo o trabalho. Destaque também para Lea e Aguiar, que tiveram um papel importante representando para mim mais que colegas de classe em situações diversas.

Milene Franco Pereira

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência, RFID. São discutidos os componentes do sistema, transponder, dispositivo de leitura e servidor de aplicação. Esse trabalho também explica os princípios de funcionamento para cada tipo de sistema RFID, seja ele 1-bit ou n-bit transponder. Além do estudo tecnológico, também são apresentadas questões de padronização do sistema, que, por ser ainda recente e estar em grande expansão, são fundamentais. Os smart cards também são analisados e seus principais aspectos tecnológicos e tipos são evidenciados. Por fim, é utilizado um kit RFID para melhor compreensão de todos os aspectos estudados anteriormente.

ABSTRACT

This work presents a study of the radio frequency identification technology, RFID. The components of the system, transponder, reader and host are discussed here. This work also explains the principles of functioning for each type of RFID system, either it 1-bit or n-bit transponder. In addition to the technological study, also issues about the standardization of the system are presented, which, for it being a still recent technology in great expansion, are very important. Smart cards are also analyzed and their main technological aspects and types are evidenced. Finally, a RFID kit is used for better understanding of all the previously studied aspects.

Índice

Índice de ilustrações.....	iii
1. Introdução	1
1.1 Descrição do sistema RFID.....	1
1.2 Justificativa do estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência.....	2
2. Tecnologias RFID	4
2.1 Introdução.....	4
2.2 Evolução dos sistemas RFID.....	5
2.3 Aplicações da tecnologia RFID.....	7
2.3.1 Área automotiva	8
2.3.2 Identificação de animais.....	8
2.3.3 Saúde	9
2.3.4 Rastreamento de mercadorias e correspondências	9
2.3.5 Controle de acesso de pessoal	10
2.4 Comparação entre métodos automáticos de identificação	10
2.4.1 Código de barras.....	10
2.4.2 Cartão de memória	13
2.5 Vantagens do uso da tecnologia RFID.....	16
3. Princípios de funcionamento	17
3.1 Introdução.....	17
3.2 Sistemas 1-bit transponder	18
3.2.1 Sistema de 1-bit por radiofrequência	18
3.2.2 Sistema de 1-bit por microondas	21
3.2.3 Sistema 1-bit transponder por divisão da frequência	23
3.2.4 Sistema 1-bit transponder por efeito eletromagnético.....	23
3.2.5 Sistema 1-bit transponder por efeito acústico-magnético	25
3.3 Sistemas n-bit transponder	25
3.3.1 Sistema n-bit transponder por acoplamento indutivo.....	26
3.3.2 Sistema n-bit transponder por acoplamento eletromagnético	29
3.3.3 Sistema n-bit transponder por acoplamento magnético (sistemas de proximidade) ..	30
3.3.4 Sistema n-bit transponder por acoplamento elétrico	32
3.4 Sistemas RFID seqüenciais	34
3.4.1 Sistemas seqüenciais por acoplamento indutivo	34
3.4.2 Sistema seqüencial SAW (<i>surface acoustic wave</i>)	36
4. Padronização	39
4.1 Introdução.....	39
4.2 Faixas de frequências utilizadas pelos sistemas RFID.....	41
4.3 Frequência apropriada para sistemas de RFID por acoplamento indutivo.....	46
4.4 Regulamentação e padronização na Europa.....	48
4.4.1 Dispositivos de curto alcance não específicos.	49
4.4.2 Dispositivos para aplicações em transportes ferroviários e rodoviários	49
4.4.3 Dispositivos de acoplamento indutivo	51
4.5 Regulamentação e padronização no Brasil.....	51
5. Cartões inteligentes (<i>Smart Cards</i>)	54
5.1 Introdução.....	54
5.2 Classificação dos smart cards.....	54
5.3 Padronização ISO para smart cards.....	56

5.4 Smart card de contato metálico	57
5.4.1 Cartão com memória	58
5.4.2 Cartões microprocessados	59
5.5 Smart card sem contato	60
5.5.1 Smart Card por acoplamento indutivo de contato (CICC).....	62
5.5.2 Smart Card por acoplamento indutivo de proximidade (PICC).....	63
5.5.3 Smart Card por acoplamento indutivo de vizinhança (VICC)	63
5.5.4 Smart card por acoplamento indutivo para longas distâncias (RICC)	64
5.6 Smart cards híbridos.....	64
5.6 Vantagens e aplicações do smart card:.....	65
6. Estudo de Caso	67
6.1 Introdução.....	67
6.2 Descrição técnica da operação do kit RFID por meio do SMRFID	68
6.2.1 Modos de operação do dispositivo de leitura	70
6.2.2 Modulação utilizada no sistema RFID da Sonmicro para 125 kHz	72
6.2.3 Consumo de energia do dispositivo de leitura	73
6.2.4 Modo de leitura: Quantidade de blocos a serem lidos	74
6.2.5 Modo de leitura: Quantidade de leituras	74
6.2.6 Rastreamento de bytes (Byte track)	75
6.2.7 Sequência de término	75
6.2.8 Seleção das opções EM4100/02 e EM4100/02 (decodificado).....	75
6.2.9 AOR / Password	76
6.3 Características do transponder Q5B / T5555	76
6.4 Como programar parâmetros.....	78
6.4.1 Parâmetros de programação (programming parameters)	79
6.4.2 Parâmetros amplificadores internos (<i>internal amplifier parameters</i>).....	79
6.4.3 Parâmetros gerais do sistema (<i>general system parameters</i>).....	80
6.6 Testes e resultados.....	81
7. Conclusões	83
Referências	84

Índice de ilustrações

Figura 1.1 Composição básica de um sistema RFID	1
Figura 2.1 Desenvolvimento dos sistemas de identificação por radiofrequência [7].....	5
Figura 2.2 Evolução dos sistemas de identificação por radiofrequência [7].....	6
Figura 2.3 Evolução das aplicações RFID no comércio e na prestação de serviços [7].	6
Figura 2.4 Estrutura do código de barras EAN.	11
Figura 2.5 - Exemplo de código de barras EAN-8	12
Figura 2.6 Codificação EAN-8.....	12
Figura 2.7 Arquitetura típica de um cartão de memória com lógica de segurança.	14
Figura 2.8 Relação tempo versus benefício para a utilização da tecnologia RFID [6].	17
Figura 3.1 Classificação dos sistemas RFID quanto ao princípio de funcionamento.	18
Figura 3.2 Princípio de operação de um sistema 1-bit transponder por radiofrequência [6].	19
Figura 3.3 Variação na impedância Z_1 entre os terminais da bobina do dispositivo de leitura para o sistema 1-bit transponder por radiofrequência. ($Q=90$, $k=1\%$).....	20
Figura 3.4 Modelo do circuito elétrico para o sistema 1-bit transponder por radiofrequência. ...	21
Figura 3.5 Princípio de funcionamento de um sistema 1-bit transponder por microondas [6]. ...	22
Figura 3.6 Exemplo de um sistema de loja de departamentos utilizando 1-bit transponder por microondas [6].....	22
Figura 3.7 – Sistema de 1-bit transponder por divisão na frequência [6].	23
Figura 3.8 Curva típica de histerese de um material ferromagnético [6].	24
Figura 3.9 Sistema 1-bit transponder por efeito acústico–magnético [6].	25
Figura 3.10 Representação da transmissão <i>full duplex</i> , <i>half duplex</i> e seqüencial [6].	26
Figura 3.11 Sistema n-bit transponder por acoplamento indutivo [6].....	27
Figura 3.12 Resultado da modulação de carga [6].	28
Figura 3.13 Sistema n-bit transponder, modulação de carga com sub-portadora.	29
Figura 3.14 Princípio de operação do sistema n-bit transponder por <i>backscatter</i> . [6].....	30
Figura 3.15 Sistema n-bit transponder por acoplamento magnético (sistema de proximidade) [6].	31
Figura 3.16 Sistema n-bit transponder por acoplamento elétrico (sistema de proximidade) [6]. 32	
Figura 3.17 Sistema n-bit transponder por acoplamento elétrico (campo eletromagnético transferindo dados e energia) [6].....	33
Figura 3.18 Circuito equivalente do funcionamento do sistema (leitor + meio + transponder) para acoplamento elétrico [6].	34
Figura 3.19 Fases de operação do sistema seqüencial (período de carga, leitura e descarga). ...	35
Figura 3.20 Diagrama de blocos do transponder seqüencial da <i>Texas Instruments</i> [6].	36
Figura 3.21 Sistema seqüencial SAW (construção do transponder) [6].	37
Figura 3.21 Modelo do transponder SAW [6].....	39
Figura 3.23 Gráfico da resposta emitida pelo transponder SAW [6]	39
Figura 4.1 Faixas de frequências utilizadas por sistemas RFID [6].....	42
Figura 4.2 Distribuição do mercado de transponders por faixas de frequências.[6].....	43
Figura 4.3 Comportamento da intensidade de campo em função da distância para a frequência de 13,65 MHz [6]	47
Figura 4.4 Comportamento do campo magnético para as frequências 125 kHz, 6,75MHz e 27,125MHz [6].	47
Figura 4.5 Alcance do transponder em função da frequência de operação, e para $H=105$ dB $\mu A/m$	48
Figura 5.1 Classificação dos <i>smart cards</i>	55

Figura 5.2 Tipos de interface dos <i>smart cards</i> . (a) contato. (b) sem contato. (c) híbrido.	56
Figura 5.3 Divisão da família dos <i>smart cards</i> [13].	57
Figura 5.4 Características físicas do <i>smart card</i> por contato metálico[6].	58
Figura 5.5 Diagrama de blocos para uma arquitetura típica de cartões com memória por contato metálico [13].	59
Figura 5.6 Diagrama de blocos para uma arquitetura típica de cartões com microprocessador por contato metálico [13].	60
Figura 5.7 Diagrama de blocos para uma arquitetura típica de smart card sem contato utilizando lógica de segurança, memória EEPROM e a ROM [13].	61
Figura 5.8 Diagrama de blocos para arquitetura de smart cards sem contato utilizando microprocessador [13].	61
Figura 5.9 Posição de elementos acopladores capacitivos (E1-E4) e indutivos (H1-H4) em um CCIC [13].	62
Figura 5.10 Smart card híbrido com transmissão de RF e contato metálico [13].	65
Figura 6.1 Composição básica do sistema RFID	67
Figura-6.2 Tela principal do programa SMRFID da SONMICRO ELECTRONICS.	68
Figura 6.3 Layout da placa do dispositivo de leitura	69
Figura 6.4 Parâmetros de configuração do dispositivo de leitura	70
Figura 6.5 Janela de programação do transponder	72
Figura 6.6 Transições entre os estados binários	73
Figura 6.7 Codificação Manchester utilizando a definição da Figura 6.6a.	73
Figura 6.8 Diagrama de blocos do transponder Q5B/T55XX.	77
Figura 6.9 Mapa da memória do transponder tipo Q5B/T55XX	78
Figura 6.10 Parâmetros de programação (<i>Programming Parameters</i>).	79
Figura 6.11 Espectro de radiofrequência retirado diretamente do dispositivo de leitura.	82

1. Introdução

RFID (*Radio Frequency Identification*) é uma tecnologia que utiliza ondas eletromagnéticas para identificar objetos, pessoas e animais. O sistema RFID surgiu pouco antes da II Guerra Mundial, quando os aliados utilizaram essa tecnologia para distinguir seus próprios aviões dos aviões inimigos. A partir dos anos 80 o Instituto de Tecnologia de Massachussetts (MIT), em conjunto com outros centros de pesquisa, iniciou estudo de uma arquitetura que utilizasse os recursos das tecnologias baseadas em radiofrequência, para servir como modelo de referência ao desenvolvimento de novas aplicações de rastreamento e localização de produtos [1][5]. Desse estudo, nasceu o Código Eletrônico de Produtos - EPC (*Electronic Product Code*). O EPC define uma arquitetura de identificação de produtos que utiliza os recursos proporcionados pelos sinais de radiofrequência.

1.1 Descrição do sistema RFID

O sistema RFID é composto basicamente por três componentes: dispositivo de leitura, transponder e computador, que estão arrançados conforme a Figura 1.1. Nos capítulos posteriores serão abordadas as possíveis aplicações, princípios de funcionamento, padronização e detalhamento dos cartões inteligentes (*smart cards*). Também será apresentado o estudo de um kit de desenvolvimento para fins acadêmicos do fabricante SONMICRO ELECTRONICS.



Figura 1.1 Composição básica de um sistema RFID

O dispositivo de leitura é responsável pela emissão de um campo eletromagnético que alimenta o transponder, que, por sua vez, responde ao dispositivo de leitura com o conteúdo de sua memória. Os dados provenientes do transponder são encaminhados para o computador, onde é realizado o processamento de acordo com a aplicação em questão.

O transponder, também conhecido como *tag*, é um dispositivo que contém a informação (seja ela, 1 bit ou n bit). O transponder funciona como uma carteira de identidade, porém faz uso de dispositivos eletrônicos (memória, processador, resistores, capacitores e indutores) para guardar uma informação ou gerar um sinal. Atualmente, os transponders estão disponíveis em diversos formatos, tais como cartões, pastilhas e argolas, e em materiais como plástico, vidro, epóxi etc. Eles estão classificados em duas categorias:

- Ativos, que fazem uso de fonte de alimentação própria.
- Passivos, que utilizam a energia proveniente do dispositivo de leitura para o seu funcionamento.

O capítulo 3 deste trabalho trata dos princípios de funcionamento da tecnologia RFID. Nesse capítulo serão abordados as particularidades e os princípios básicos de funcionamento para os principais sistemas RFID no mercado, bem como as respectivas faixas de frequência. Os sistemas de RFID também são classificados, de acordo com a faixa de frequência, em sistemas de baixa frequência (30 kHz a 500 kHz) e de alta frequência (850 MHz a 2,5 GHz).

Os sistemas de baixa frequência geralmente são utilizados em controles de acesso, identificação de animais ou objetos, rastreabilidade de produtos etc., por possuírem baixo custo e curto alcance. Os sistemas de alta frequência (850 kHz a 2,5 GHz) são utilizados para identificação de objetos em movimento e permitem distâncias de leitura classificadas entre média e longa [6].

1.2 Justificativa do estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência

A justificativa do estudo da tecnologia de RFID deve-se à possibilidade de rastreamento de produtos, pessoas e animais, com eficiência, além de possibilitar novos horizontes de serviços ao longo da cadeia de abastecimento. Algumas empresas estão investindo maciçamente nessa tecnologia. A empresa norte-americana Gillette encomendou cerca de 500 milhões de transponders, a Boeing e a Airbus – as duas maiores fabricantes de aviões do planeta – exigiram de seus fornecedores a identificação de peças de aviões e motores utilizando essa tecnologia. A rede de supermercados Wal-Mart também solicitou de seus fornecedores a identificação de produtos por meio dessa tecnologia [1]. A Microsoft está entrando no mercado com o anúncio de que pretende desenvolver softwares e serviços para suportar o uso de RFID nos setores industrial e de varejo [2] [3].

O exemplo mais recente do uso da tecnologia RFID é o Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos (Siniav), a ser implantado na cidade de São Paulo para planejar e executar ações de combate ao roubo e furto de veículos e cargas, bem como gerir o controle do tráfego [4].

O sistema Octopus é outro exemplo muito interessante da utilidade do sistema RFID. O cartão Octopus é um cartão sem contato, recarregável, que armazena determinados valores em dinheiro para realização de pagamentos eletrônicos em sistemas *online* ou *offline* de Hong Kong, China. Esse sistema foi lançado originalmente em setembro de 1997 como sistema de pagamento de tarifas no transporte público [23][24]. Atualmente o sistema de cartões Octopus tem crescido como sistema de dinheiro eletrônico largamente utilizado não apenas no transporte público, mas também para realização de pagamentos em lojas de conveniência, supermercados, lanchonetes, parquímetros, estacionamentos e muitos outros pontos de vendas, incluindo máquinas de venda de refrigerante [23][24]. Além disso, o sistema Octopus é usado para controle de acesso em escritórios, escolas e apartamentos. Esse cartão pode ser utilizado até para doar dinheiro para instituições de caridade. Para utilizar o cartão, basta aproximá-lo a um dispositivo de leitura Octopus. Esses cartões podem ser recarregados com dinheiro em máquinas de recarga ou em balcões de lojas diversas, ou até mesmo através de cartões de créditos e contas de banco. O sistema de cartões Octopus tem se tornado um dos sistemas de dinheiro eletrônico mais bem-sucedidos do mundo, contando com mais de 13 milhões de cartões em circulação (aproximadamente duas vezes a população de Hong Kong) e mais de 9 milhões de transações por dia, com aproximadamente 300 pontos de venda (dados janeiro de 2006). O responsável pelo sistema Octopus, Octopus Cards Limited, é uma parceria entre MTR Corporation e outras companhias de transporte de Hong Kong como KCR, KMB e Citybus. O segmento internacional da empresa, a Octopus Knowledge Limited, fechou contrato para estender o sistema para a Holanda [23][24].

Atualmente, o transponder mais barato custa, nos EUA, cerca de 25 centavos de dólar a unidade na compra de um milhão de transponders. No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Automação, esse custo sobe para 80 centavos até 1 dólar a unidade [5] [3]. Esse valor é barato em comparação ao custo de um laptop, ou seja, ao utilizar o transponder para identificar um laptop o custo do transponder é muito baixo em comparação ao custo do laptop, porém, extremamente caro se for contabilizada a existência de um transponder em cada caixa de leite ou garrafa de refrigerante. Mesmo assim a tecnologia RFID está ficando mais acessível devido ao desenvolvimento da indústria eletrônica, que a cada dia melhora o desempenho e reduz o custo de componentes necessários para a construção desse sistema de identificação.

2. Tecnologias RFID

2.1 Introdução

Acompanhando os processos evolutivos das telecomunicações, a tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) vem despontando como a nova geração de sistemas de identificação, em substituição aos códigos de barra, cartões de crédito com leitura magnética, crachás de identificação, entre outros. As vantagens da tecnologia RFID incluem menor tempo para identificação, menor ocorrência de falhas e maior controle na segurança e nos fluxos de informação.

Tal como aconteceu com a Internet, que teve início com os sistemas intranet nas grandes organizações e hoje atinge dimensão global, ou, ainda, com os telefones móveis, que eram utilizados nos automóveis e atualmente estão nos bolsos de cada usuário, também tem-se forte tendência da radiofrequência se tornar imprescindível na cadeia logística.

O desenvolvimento dessa solução, até agora condicionado por uma série de barreiras de ordem física, estrutural e financeira, vem sendo direcionado para novos patamares com os processos de padronização e uniformização. Essas medidas permitem o uso de RFID em escala global, além da diminuição do custo da tecnologia. A radiofrequência não é apenas mais uma forma de processar informação ou de armazenar e controlar dados. As diversas dimensões que oferece vão muito além da simples identificação, com a possibilidade de conhecer e analisar informações sobre a localização, estado e condição de pessoas, bens e processos, e colocar à disposição dos gestores logísticos um novo nível de controle da cadeia de abastecimento [6].

Sucedendo os códigos de barras, as etiquetas RFID estão sendo demandadas por pesos-pesados de diversos mercados como, por exemplo, a Boeing e a rede de supermercados Wal-Mart, ou mesmo instituições como o Pentágono e a *Food and Drug Administration* (FDA)[3]. Essas empresas e instituições estão incentivando os seus fornecedores para que substituam as antigas codificações pelos novos identificadores, que emitem ondas de rádio para leitores computadorizados. Segundo a empresa norte-americana de consultoria Aberdeen Group, pesquisas indicam que, na aplicação de logística, é possível movimentar os bens identificados com etiquetas RFID com velocidade dez vezes maior em comparação ao que seria possível com produtos que utilizam os códigos de barras. Estimativas apontam que essa tecnologia pode aumentar, em função da área de negócio, entre 10% e 30% os ganhos das empresas, por causa da diminuição dos custos com estoques e das vantagens em nível da eficiência e segurança [6].

2.2 Evolução dos sistemas RFID

A Figura 2.1 ilustra o desenvolvimento dos sistemas de identificação por radiofrequência. Em 1937, pouco antes do início da segunda guerra mundial, as forças armadas norte-americanas, de face ao problema na identificação dos alvos terrestres, aéreos e marítimos, desenvolveram o método de identificação Friend-or-Foe (IFF) que permitia distinguir as aeronaves aliadas das aeronaves inimigas [7]. Essa tecnologia veio a ser a base dos sistemas de controle de tráfego aéreo atual.

Em função do alto custo, o uso da radiofrequência, até pouco tempo, se restringia apenas às aplicações militares, laboratórios e grandes empresas comerciais. Com o avanço da eletrônica e do desenvolvimento de componentes em grande escala, vem diminuindo o custo final de vários dispositivos e, assim, permitindo o uso comercial para a grande massa global.

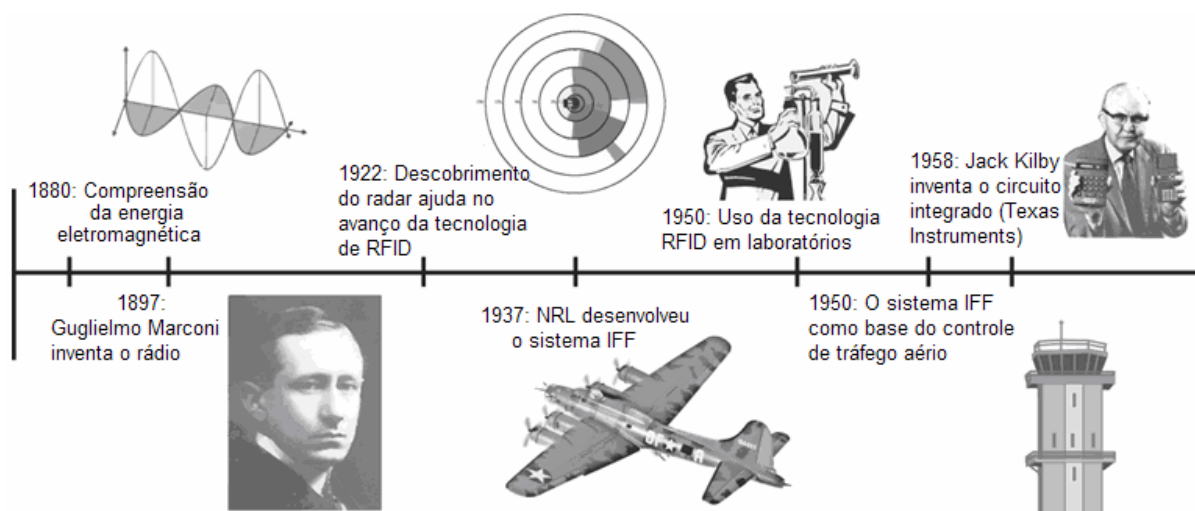


Figura 2.1 Desenvolvimento dos sistemas de identificação por radiofrequência [7].

As indústrias de manufatura, estocagem e transporte vêm desenvolvendo, desde 1970, projetos de automação, identificação animal, rastreamento de veículos, entre outras, baseadas na tecnologia de RFID. Com o avanço tecnológico, os sistemas RFID vêm ganhando velocidade de processamento, distâncias de leituras cada vez maiores, novas funções, além da miniaturização dos dispositivos, o que permite criar uma série de aplicações novas, como o controle de acervo em bibliotecas. Na Figura 2.2, que mostra a evolução das aplicações de radiofrequência entre 1960 e 1990, é possível verificar que até esse momento a tecnologia era usada apenas por grandes empresas, as quais movimentavam um grande volume de produtos, com o objetivo de compensar o custo. Em 1990, a tecnologia RFID ganha popularidade global, com aplicações comerciais, controle de acesso e a sua integração em meios de pagamento.

Desde então, há um esforço por parte de autoridades governamentais e não governamentais, bem como de grandes fabricantes, em promover a padronização da tecnologia nos atributos de frequência de operação e protocolos de comunicação.

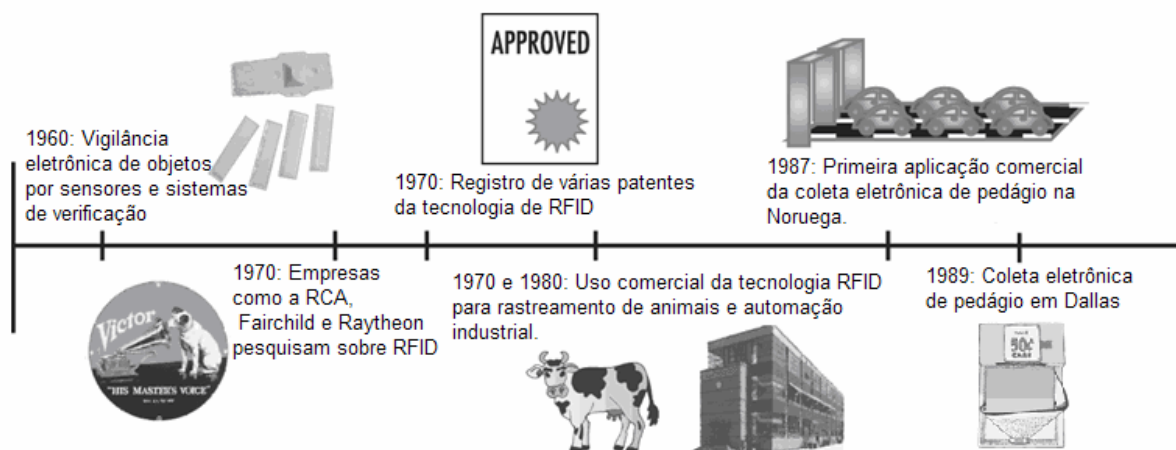


Figura 2.2 Evolução dos sistemas de identificação por radiofrequência [7].

O RFID cada vez mais vem ganhando força e adeptos, fato que se deve, principalmente, à redução de custos de implantação da tecnologia e do tempo do controle da produção (controle de estoques, linha de montagem, entre outros). A filosofia *Just in Time* tem grande parcela de influência sobre a decisão de usar ou não o RFID. Na Figura 2.3, tem-se mais uma etapa da evolução das aplicações, estendendo o uso da tecnologia tanto no comércio como na prestação de serviços [6][7].

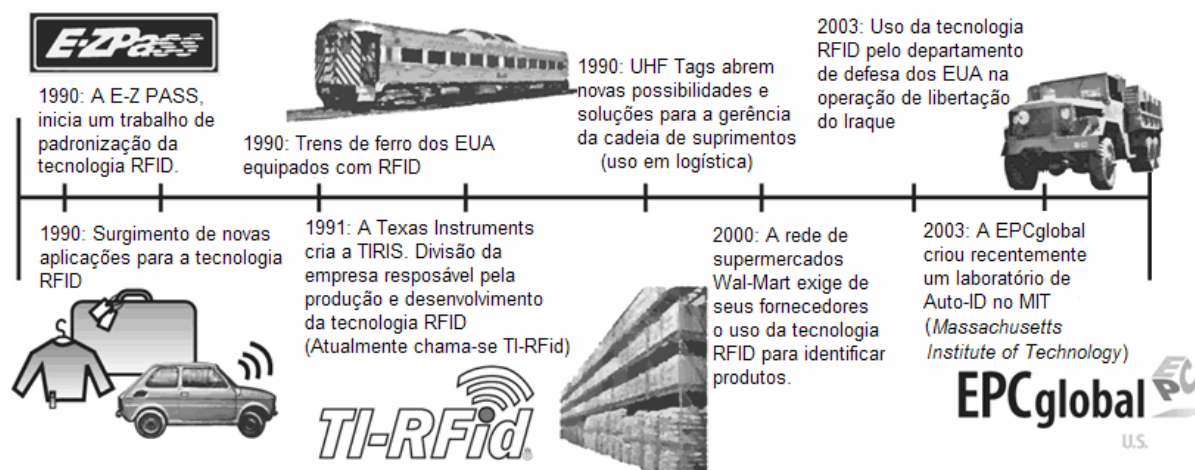


Figura 2.3 Evolução das aplicações RFID no comércio e na prestação de serviços [7].

2.3 Aplicações da tecnologia RFID

A identificação por radiofrequência é uma tecnologia presente no mercado e pode ser encontrada em diversas áreas como controle de acesso, controle de tráfego de veículos, lavanderia, indústrias, controle de containeres, monitoração de pacientes, identificação de animais, monitoração de bagagem e passageiros nos aeroportos, e aplicações em ambientes hostis como processo de pintura industrial e lubrificação de partes ou produtos identificados com transponders de RFID. A Tabela 2.1 apresenta as aplicações mais comuns da tecnologia de RFID, que serão comentadas a seguir.

Tabela 2.1 Aplicações mais comuns da tecnologia de RFID [6].

Controle de acesso	Identificação de animais
	
Controle de bagagens em aeroportos	Financeiras
	 <div>Pagamentos/Compras: -Tickets Alimentação -Cartões de crédito -Passagens de transporte coletivo urbano etc.</div>
Sistemas anti-furto e pedágio	Lojas de souvenirs
	
Rastreamento de documentos e produtos	Esportes
	

2.3.1 Área automotiva

As aplicações na área automotiva consistem, em sua maioria, nos sistemas anti-furto para automóveis. Dispositivos passivos empregados nos veículos vêm sendo desenvolvidos desde 1993. Como exemplo, tem-se o imobilizador eletrônico, um transponder que é empregado como chaveiro, ou inserido na parte plástica da chave do veículo. Nesse transponder, podem ser armazenados dados relativos a cada chave, quantas chaves foram acrescentadas ao sistema e até mesmo informações sobre o proprietário em caso de veículo por encomenda ou personalizado. Nos veículos em que o transponder é instalado, quando o motorista coloca a chave no contato, um microleitor recebe o código encriptado do transponder e a partida é liberada somente após a confirmação desse código.

Ainda nesse contexto, encontra-se a aplicação de controle de acesso a condomínios residenciais ou empresas, as quais fazem uso de transponders ativos colocados no pára-brisa do automóvel. Quando o carro se aproxima, o código do transponder é enviado a um dispositivo de leitura que o encaminha para um computador a fim de verificar se abre ou não a garagem. Nos estacionamentos comerciais essa tecnologia é a mais adequada por reduzir custos operacionais, ter baixo custo, eliminar congestionamentos, permitir o monitoramento do tráfego, da capacidade de atendimento e do tempo de ocupação, além de oferecer informações específicas sobre cada veículo.

Pode-se, ainda, fazer uso da tecnologia de RFID para controlar o abastecimento de frotas de ônibus ou transportadoras, o que é feito fixando-se um transponder passivo ou ativo na entrada do tanque de combustível de cada veículo, cujo número serial é único e identificado por um dispositivo de leitura instalado no bico da bomba de combustível, que libera o abastecimento. Nos pedágios, costuma-se adotar um transponder ativo com capacidade de leitura e escrita, possibilitando um sistema de créditos onde, a cada passagem pela cabine de cobrança do pedágio, são debitados créditos do transponder do respectivo automóvel.

2.3.2 Identificação de animais

Neste tipo de aplicação, é usado o dispositivo passivo por várias razões. Os transponders passivos não necessitam de fonte de alimentação, portanto, uma vez implantado, não há custo de manutenção com o mesmo. Os transponders subcutâneos, quando passivos, representam um menor risco de infecção e rejeição pelo organismo do animal. No caso de transponders

externos, se o mesmo for passivo, sua aplicação é muito simples possibilitando um reaproveitamento do transponder de modo a baixar ainda mais o custo operacional da tecnologia.

2.3.3 Saúde

Embora seja possível o implante, em seres humanos, de transponders de RFID, que são muito pequenos e projetados especificamente para inclusão subcutânea, eles não foram liberados para uso, a não ser nos Estados Unidos a título de pesquisa e obrigatoriamente na saúde como se fosse um prontuário do paciente. Ainda há muita discussão por autoridades governamentais e não governamentais e instituições acadêmicas sobre o uso de etiquetas RFID em seres humanos com a finalidade comercial ou financeira. Usando um dispositivo de leitura especial, os médicos e a equipe de funcionários do hospital podem buscar a informação das etiquetas implantadas, tais como a identidade do paciente, tipo do sangue e detalhes de sua condição, e se há alguma reação alérgica a determinado medicamento.

2.3.4 Rastreamento de mercadorias e correspondências

A tecnologia RFID permite o monitoramento remoto de encomendas e correspondências corporativas, oferecendo maior agilidade e segurança à administração tanto dos fabricantes como das empresas de entrega expressa. A etiqueta padrão é integrada a uma *smart-label*, ou etiqueta inteligente, com número serial único, na qual são programadas informações como remetente e receptor, destino final e código de barras.

A tecnologia, que por enquanto é híbrida, contendo o código RFID e um código de barras, agiliza a obtenção das informações contidas no container ou lote de produtos sem a necessidade de abrir o mesmo para verificação, mesmo em trânsito, e permitindo o redirecionamento das mercadorias ou correspondências para o devido lugar em caso de erro por parte da transportadora. Nesse tipo de aplicação, faz-se uso de transponders passivos nas mercadorias individuais e um leitor de múltiplos acessos para fazer uma leitura rápida e segura de todos os tags no lote ou container, acelerando o processo de distribuição com total confiabilidade.

No caso de documentos, os arquivos podem conter parâmetros como data de vencimento, movimentação permitida e pessoas autorizadas a terem acesso aos mesmos. Com

essas informações, o banco de dados pode construir uma auditoria de manipulação de cada documento que passa a ser facilmente localizado pelos funcionários.

2.3.5 Controle de acesso de pessoal

Aplicada nas corporações, o cartão de identificação é uma poderosa ferramenta, sem risco de fraudes, para melhorar o gerenciamento de colaboradores e pessoal autorizado a transitar nas dependências da empresa por meio de controle de entrada e saída de funcionários, cálculo automático de horas-extras e horas trabalhadas. O cartão pode, também, ser programado para gravar informações sobre a utilização de equipamentos, uso de vale refeição, exames médicos, viagens, participação em programas de treinamento, acesso a determinadas salas da empresa e várias outras atividades. Em geral, para esse tipo de aplicação, faz-se uso de transponder passivos de proximidade, ou seja, sua leitura se restringe a poucos centímetros de distância do dispositivo de leitura. Também conhecido como crachá de acesso, os transponders, além da informação armazenada na sua memória, têm adesivos com informações visuais, como foto, nome, matrícula e função do respectivo colaborador, o que agrega valor à aplicação de controle de acesso.

2.4 Comparação entre métodos automáticos de identificação

O uso da tecnologia automática de identificação (auto-ID) vem crescendo desde a metade do século passado e está se tornando uma parte indispensável de nossa vida diária. O código de barras foi a base para as tecnologias de auto-identificação. Encontra-se código de barras em toda parte, desde produtos à prestação de serviços. Embora RFID seja aparentemente novo, não está substituindo o código de barras ou outra tecnologia de identificação, ao menos por enquanto. Cada tecnologia de auto-identificação tem suas vantagens e desvantagens como discutido a seguir.

2.4.1 Código de barras

O sistema de identificação de produtos conhecido por código de barras teve origem nos EUA, em 1973, com o código UPC (*universal product code*) e, em 1977, esse sistema foi

expandido para a Europa através do EAN (*European Article Numerical Association*). É um código binário que compreende barras em preto e aberturas em branco arranjadas em uma configuração paralela de acordo com um padrão predeterminado e representam os elementos de dados que referenciam a um símbolo associado. A sequência, composta de barras largas e estreitas e de aberturas, pode ser interpretada alfanumérica e numericamente. Sua leitura é feita pela exploração óptica do laser, isto é, pela reflexão diferente de um feixe de laser das barras do preto e das aberturas brancas. Entretanto, apesar de seu princípio físico permanecer o mesmo até hoje, há algumas diferenças consideráveis entre as disposições do código nos aproximadamente dez tipos diferentes de códigos de barra atualmente em uso.

O código de barras mais popular é o EAN, que foi projetado especificamente para cumprir as exigências da indústria de mantimentos. O código EAN, que representa um desenvolvimento do UPC dos EUA, é composto por 13 dígitos: o identificador do país, o identificador da companhia, o número do artigo do fabricante e um dígito de verificação, conforme a Figura 2.4.

Identificador do país		Identificador da empresa					Numero de série do produto					CD
4	0	1	2	3	4	5	0	8	1	5	0	9
FGR		Nome da empresa ex.: Nestle LTDA					Ex.: Barra de chocolate de 100g					

Figura 2.4 Estrutura do código de barras EAN.

O código EAN-8 é um tipo de código de barras comumente utilizado no Brasil em embalagens que dispõem de espaço restrito, Figura 2.5. No Brasil, os três primeiros dígitos representam o prefixo EAN/UCC (*European Article Numbering / Uniform Code Council*) licenciado pela GS1, organização responsável pelo modelo e implementação de padrões globais relacionados à cadeia de suprimentos. Os quatro dígitos seguintes referenciam o item e são determinados também pela organização GS1. O último dígito é um dígito verificador.



Figura 2.5 - Exemplo de código de barras EAN-8

O código de barras EAN-8 consiste em uma seqüência de barras pretas e brancas que representam o código do produto. Cada dígito é representado por 7 barras pretas ou brancas que são decodificadas de acordo com a Figura 2.6. A Figura 2.5 mostra o arranjo das barras para o dígito 5, de acordo com a Figura 2.6a. Para dígitos à esquerda das barras centrais, utiliza-se a Figura 2.6a, e à direita, utiliza-se a Figura 2.6b. Cada barra branca representa o bit 0 e cada barra preta o bit 1. As três barras iniciais (lado esquerdo), cinco barras do centro e as três barras do final representam barras de guarda.

Codificação EAN-8 (lado esquerdo)							
0	0001101						
1	0011001						
2	0010011						
3	0111101						
4	0100011						
5	0110001						
6	0101111						
7	0111011						
8	0110111						
9	0001011						

a

Codificação EAN-8 (lado direito)							
0	1110010						
1	1100110						
2	1101100						
3	1000010						
4	1011100						
5	1001110						
6	1010000						
7	1000100						
8	1001000						
9	1110100						

b

Figura 2.6 Codificação EAN-8

Um dos problemas com o código de barras é que pode-se fazer a varredura de apenas um objeto de cada vez. Além disso, uma quantidade limitada de dados é armazenada no código deixando de lado informações importantes como número de série original, data de expiração ou validade, ou outra informação pertinente. O leitor de código de barras necessariamente tem que

estar em visada com o código para efetuar sua leitura, logo, ocorrem erros de leitura caso o artigo codificado esteja empoeirado, sujo ou com algum defeito em sua etiqueta de identificação. Uma grande vantagem é o baixo custo de implementação e manutenção, bastando a impressão das etiquetas codificadas e um dispositivo de leitura. Atualmente, tem-se uma boa infra-estrutura para essa aplicação.

Quanto à leitura óptica, tem-se, ainda, o OCR (*optical character recognition*) que foi usado primeiramente, nos anos de 1960, com o objetivo de criar ou reconhecer caracteres de modo que pudessem ser lidos de maneira normal por uma pessoa ou de modo automático por uma máquina. Como exemplo de aplicação do OCR, tem-se a ferramenta disponibilizada nos *scanners* que reconhecem os caracteres de texto e os enviam para um editor de texto. Uma importante vantagem do OCR é sua elevada densidade de informação e possibilidade de leitura dos dados de modo visual em regime de emergência, no caso de problemas com a leitura óptica.

Hoje, o OCR é usado na produção, em atividades administrativas e também nos bancos para o registro dos cheques (os dados pessoais, como número do cheque e nome do cliente, são impressos na linha inferior de um cheque do tipo OCR). Entretanto, os sistemas de OCR não se tornaram universalmente aplicáveis devido ao elevado custo e complexidade dos dispositivos de leitura.

2.4.2 Cartão de memória

Em cartões de memória (*memory cards*), geralmente usa-se uma EEPROM (*Electronic Erasable Programmable Memory*), que é acessada usando uma lógica seqüencial (máquinas de estado), Figura 2.7. É também possível incorporar algoritmos simples de segurança. A funcionalidade da memória pode ser otimizada para uma aplicação específica e a flexibilidade da aplicação é altamente limitada, mas, por outro lado, os cartões de memória possuem uma boa relação custo-benefício.

Os cartões microprocessados são muito usados em aplicações que necessitam de uma maior segurança, como os smart-cards para telefones móveis GSM e os cartões de crédito com *chip*. A opção de programar os cartões microprocessados facilita a adaptação rápida às novas aplicações que vêm surgindo a cada dia, o que representa uma grande vantagem devido a sua flexibilização mesmo com um custo relativamente alto, pois seu tempo de vida é longo.

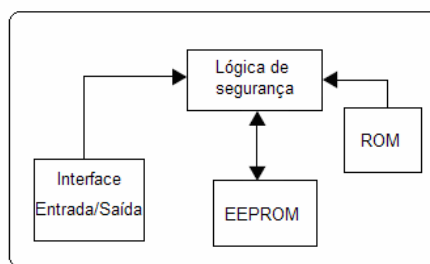


Figura 2.7 Arquitetura típica de um cartão de memória com lógica de segurança.

Na Tabela 2.2, mostra-se uma comparação entre os principais métodos de auto-identificação com relação à quantidade de dados que podem ser armazenados, segurança da aplicação, custo, vida útil e interferências do meio. Na Tabela 2.3, tem-se um resumo dos atributos qualitativos e quantitativos de algumas tecnologias de auto-ID.


Tabela 2.2 Principais parâmetros para comparação entre tecnologias de auto-identificação [6].

Parâmetros de comparação	Código de Barras	Cartão de contato	RFID - Passivo	RFID - Ativo
Modificação dos dados	Não	Sim	Sim	Sim
Segurança dos dados	Baixa	Alta	Variável (Baixo – Alto)	Alta
Quantidade de dados	- linear: 8-30 caracteres - 2D: 7.200 caracteres	Acima de 8 MB	Acima de 64 kB	Acima de 8 MB
Custo	Poucos centavos de dólar ou fração de centavo por item	Pouco mais de US\$1,00 por item	Médio, pouco menos de 25 centavos de dólar por item.	Muito alto, de US\$10,00 a US\$100,00 por item.
Padronização	Estável e padronizado	Proprietário e não padronizado	Não proprietário e evoluindo para uma padronização	Proprietário e evoluindo para um padrão aberto.
Tempo de Vida	Pequeno	Longo	Indefinido (depende da qualidade do <i>tag</i>)	3-5 anos dependendo da bateria de alimentação
Interferência	Barreira óptica - sujeira ou objetos obstruindo a visada do laser	Bloqueio do contato	O meio ambiente pode afetar os campos e a transmissão das ondas de	Barreiras ilimitadas desde que o sinal do <i>tag</i> seja forte e livre de ruído.

			rádio	
--	--	--	-------	--

Tabela 2.3 Comparação entre tecnologias de auto-identificação [6].

Controle de acesso / identificação	Vantagens	Desvantagens
Chave metálica		
	Não necessita de energia para seu funcionamento. Muito simples de usar.	Pode ser copiada facilmente.
Chave de Combinação		
	A combinação pode ser alterada facilmente. Não há chave para ser perdida ou roubada.	Custo mais alto em relação a chave metálica.
Cartão perfurado		
	Não é fácil de ser copiado como a chave metálica.	Tecnologia antiga e com baixa flexibilidade. Pode ser copiado.
Cartão magnético		
	Difícil de ser copiado. Disponibilidade de leitores no mercado com baixo custo.	Pode ser danificado com o uso, é necessária a instalação de uma infraestrutura para esta aplicação.
Contact Smart-Card		
	Possibilidade de aplicar o mesmo cartão em várias atividades. Maior segurança quando comparado a fitas magnéticas.	Custo mais alto que um cartão magnético.
RFID TAGs		

	<p>Todas as vantagens dos <i>contact smart cards</i>, porém com a vantagem de não necessitar de contato físico.</p> <p>O chip fica embutido e protegido garantindo maior vida útil.</p>	<p>Possui o custo mais alto entre os mecanismos citados.</p>
---	---	--

2.5 Vantagens do uso da tecnologia RFID

Os benefícios da tecnologia RFID podem ser categorizados quanto ao tempo (curto prazo versus longo prazo) ou quanto à tangibilidade (direta versus indireta). Em alguns casos, como etiquetar gado ou etiquetar uma cadeia de suprimentos, deve-se considerar o efeito de rede, ou seja, o custo da implementação de um sistema RFID pode ser mínimo quando se considera um sistema fechado (criadores de gado ou distribuidores de suprimentos desenvolvem seu próprio sistema RFID). Entretanto, o custo aumenta significativamente quando se considera um sistema aberto, ou seja, vários criadores ou distribuidores de suprimentos fazem uso de um sistema comum. Na Figura 2.8, verificam-se as vantagens diretas e indiretas relacionadas no período de tempo. Essa comparação é muito importante na tomada de decisão de implementar o uso desta tecnologia no mercado ou indústria.

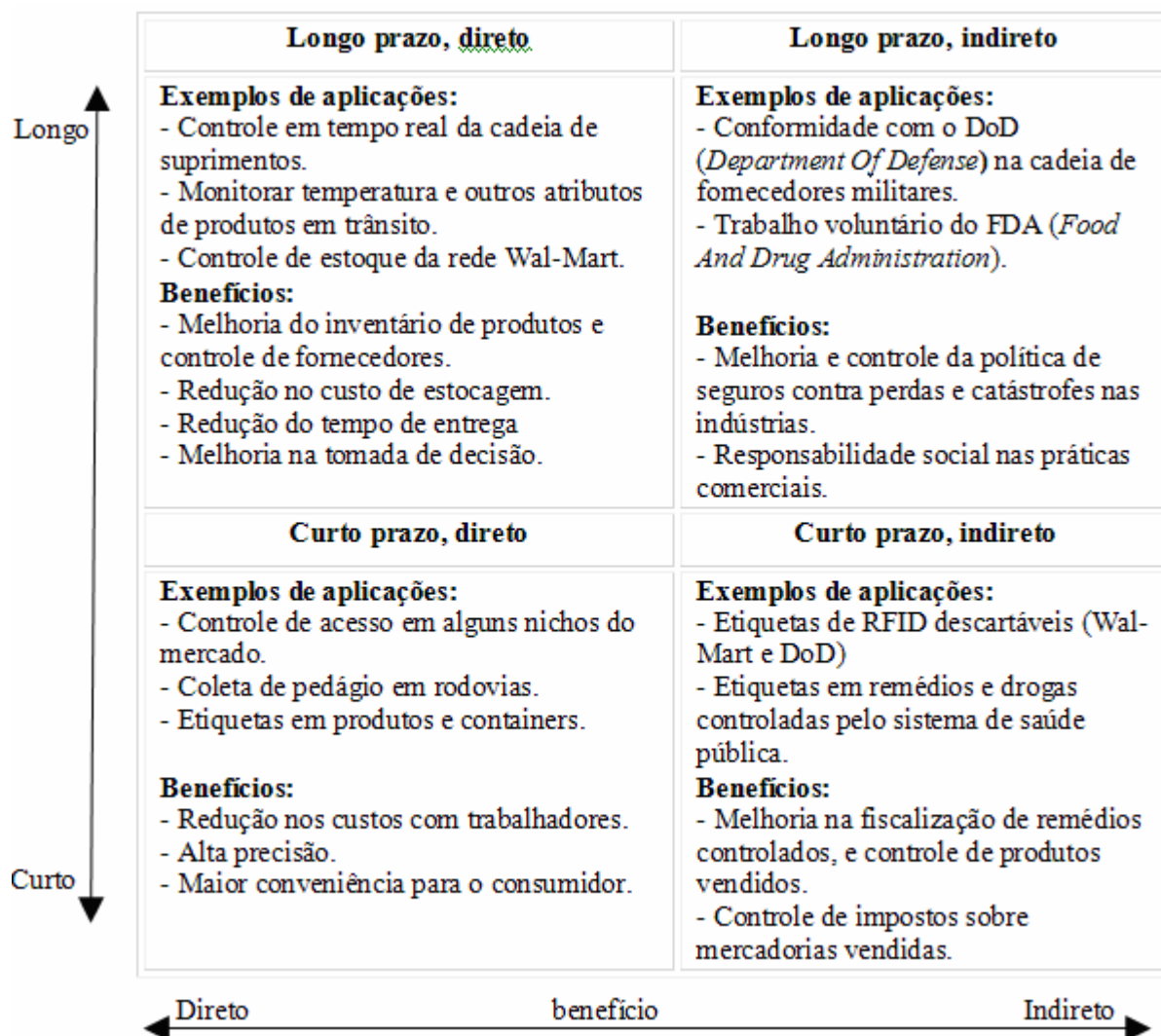


Figura 2.8 Relação tempo versus benefício para a utilização da tecnologia RFID [6].

3. Princípios de funcionamento

3.1 Introdução

Os sistemas RFID são classificados em duas principais categorias: 1-bit transponder e n-bit transponder. Os sistemas 1-bit funcionam, basicamente, por meio de fenômenos físicos e se subdividem em 5 categorias. Os sistemas n-bit são subdivididos conforme o mecanismo de transmissão de dados; neste tipo de sistema há, de fato, um fluxo de dados entre o transponder e o dispositivo de leitura. A Figura 3.1 apresenta a classificação dos diferentes tipos de RFID. Nessa figura, também estão indicadas as seções deste capítulo que tratam de cada um dos tipos de RFID [6].

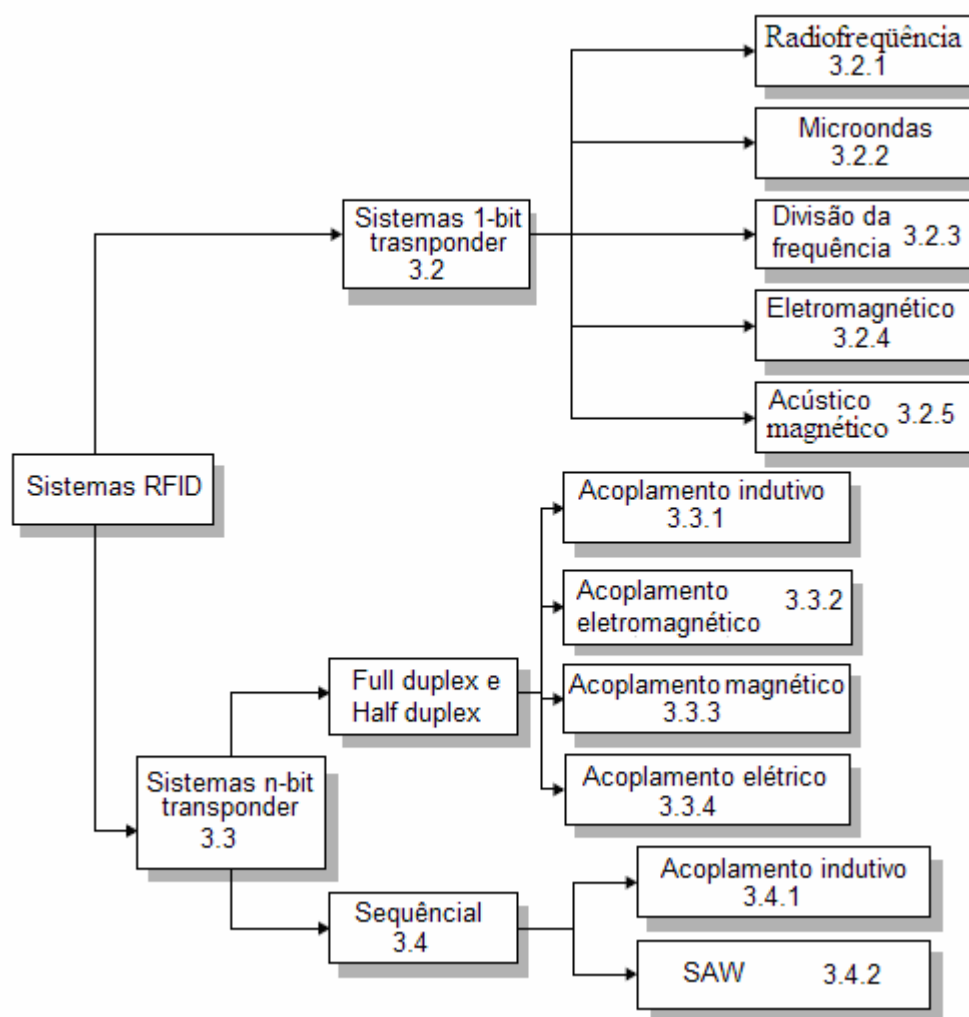


Figura 3.1 Classificação dos sistemas RFID quanto ao princípio de funcionamento.

3.2 Sistemas 1-bit transponder

Os sistemas 1-bit transponder trabalham com apenas dois estados: ativado ou desativado. O estado ativado significa que o tag encontra-se na zona de leitura do receptor e, no estado desativado, não há presença do tag na zona de leitura. Todos os 5 tipos de sistemas de 1-bit seguem essa mesma idéia de identificação por estados.

3.2.1 Sistema de 1-bit por radiofrequência

Este mecanismo é baseado em circuitos ressonantes, contidos nos transponders passivos. O dispositivo de leitura gera um campo magnético alternado na faixa de radiofrequência em torno de 8,2 MHz conforme a Figura 3.2 [6]. A região de atuação do campo é controlada por meio da potência fornecida à bobina do dispositivo de leitura. Se o transponder estiver na região de atuação do dispositivo de leitura, a energia proveniente do campo alternado gerado pelo

dispositivo de leitura induz uma corrente no circuito LC do transponder. Se a frequência do dispositivo de leitura combinar com a frequência de ressonância do circuito LC contido no transponder, o sistema ressonante responde com uma pequena mudança na tensão entre os terminais da bobina (antena) do dispositivo de leitura (gerador) [6].

A magnitude dessa queda de tensão depende da separação entre as bobinas do dispositivo de leitura e do transponder, e do fator de qualidade Q do circuito ressonante formado pelo sistema (gerador e transponder) [6].

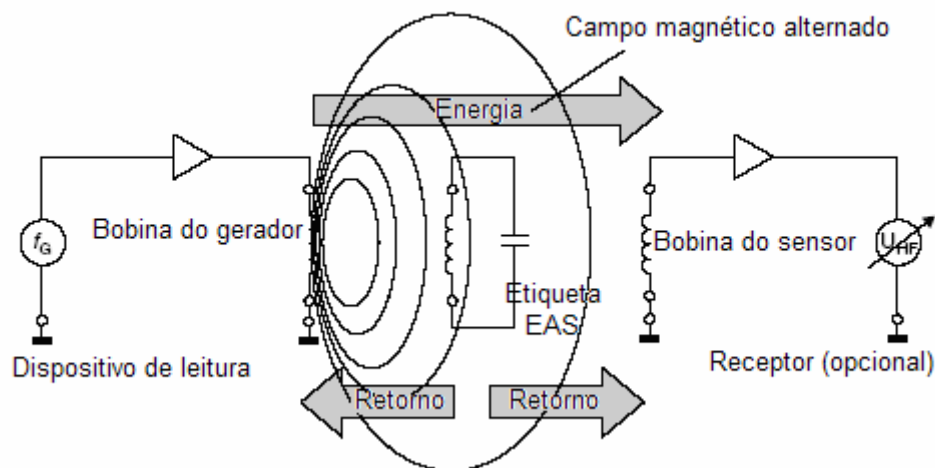


Figura 3.2 Princípio de operação de um sistema 1-bit transponder por radiofrequência [6].

Como as variações na tensão das bobinas do dispositivo de leitura ou do sensor são geralmente baixas e, portanto, difícil de serem detectadas, o sinal deve ser livre de interferência. Nesse caso, a frequência do campo gerado varia entre um valor mínimo e um valor máximo. O sistema começa a oscilar sempre que a frequência varrida pelo gerador corresponde a frequência de ressonância do transponder, produzindo uma queda de tensão nas bobinas do gerador e do sensor, se este for utilizado.

Tal queda de tensão é percebida e utilizada para sinalizar a presença do transponder na região de leitura. A Figura 3.3 mostra o comportamento da impedância nos terminais da bobina do dispositivo de leitura para esse tipo de sistema, onde a frequência do campo varia entre um valor mínimo e um valor máximo e, no momento em que as frequências se cruzam, ocorre uma variação na impedância da bobina do dispositivo de leitura e, conseqüentemente, uma queda na tensão entre seus terminais [6].

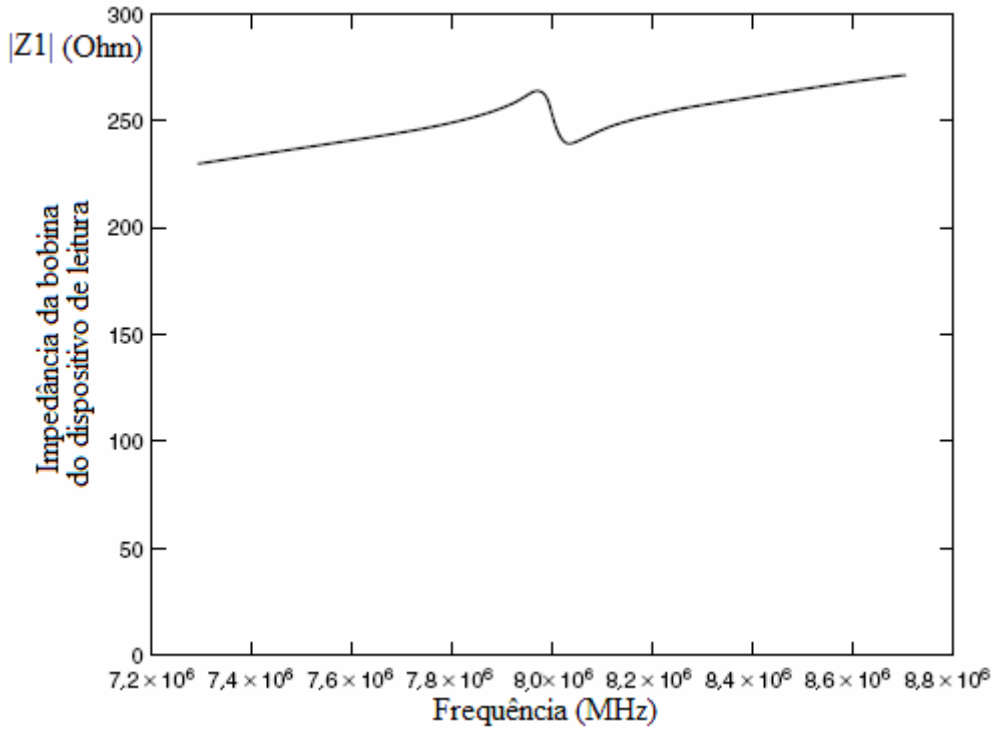


Figura 3.3 Variação na impedância Z_1 entre os terminais da bobina do dispositivo de leitura para o sistema 1-bit transponder por radiofrequência. ($Q=90$, $k=1\%$).

A impedância da bobina do dispositivo de leitura com a presença do transponder em sua área de atuação é dada pela equação 3.1 que é modelada a partir da Figura 3.4 [6].

$$Z_1 = R_1 + j\omega L_1 + Z_T \quad (3.1)$$

onde

$$Z_T = \frac{(\omega k)^2 L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + \frac{R_L}{1 + j\omega L_1 C_2}}$$

- Z_1 é a impedância nos terminais da bobina do dispositivo de leitura.
- R_1 é a resistência do enrolamento da bobina do dispositivo de leitura.
- R_2 é a resistência do enrolamento da bobina do transponder.
- L_1 é a indutância da bobina do dispositivo de leitura.
- L_2 é a indutância da bobina do transponder.
- C_2 é a capacitância contida no circuito do transponder.
- k é o coeficiente de acoplamento.

- ω é a frequência angular gerada no dispositivo de leitura.

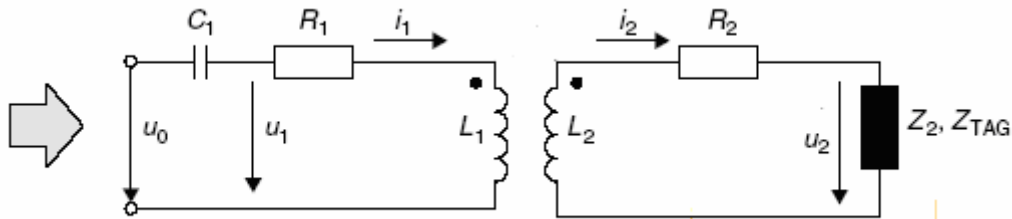


Figura 3.4 Modelo do circuito elétrico para o sistema 1-bit transponder por radiofrequência.

Esse tipo de sistema é muito usado em lojas de departamentos como sistemas anti-furto. Os transponders podem ser destruídos por um campo magnético suficientemente intenso, de modo que a tensão induzida destrua o capacitor contido no transponder.

3.2.2 Sistema de 1-bit por microondas

Este também é um sistema utilizado em lojas de departamento, porém trabalha na faixa de microondas explorando a geração de componentes harmônicas não-lineares. Neste tipo de sistema normalmente são utilizados diodos, devido à sua característica não-linear de armazenar energia. O número e a intensidade das harmônicas dependem da característica do diodo capacitivo utilizado. O layout de um sistema 1-bit transponder por microondas é muito simples: um diodo é conectado a uma antena dipolo projetada para a frequência da portadora, conforme a Figura 3.5. Em geral, a frequência da portadora para sistemas desse tipo é $f_p = 2,45$ GHz e o comprimento do dipolo 6 cm. Também são usadas as frequências de 5,6 GHz e 915 MHz (Europa) como portadoras.

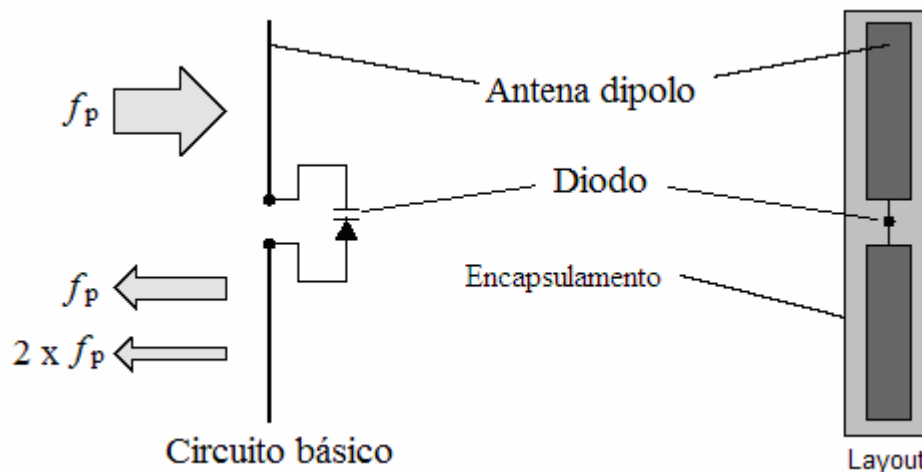


Figura 3.5 Princípio de funcionamento de um sistema 1-bit transponder por microondas [6].

O funcionamento ocorre quando o tag está na zona de leitura e, devido ao campo elétrico alternado, flui uma corrente pelo dipolo até o diodo que, por sua vez, gera e radia, em geral, os 2º e 3º harmônicos da frequência da onda portadora. O dispositivo de leitura é capaz de perceber a frequência dos harmônicos a que foi ajustado. A Figura 3.6 representa esse sistema de identificação. Para garantir maior segurança e precisão ao sistema, faz-se uso da modulação em amplitude ou em frequência (ASK ou FSK) da onda portadora. Assim, as harmônicas terão a mesma modulação, permitindo que o sinal esteja livre de interferência do meio externo.

No exemplo da Figura 3.6, a onda portadora foi modulada em ASK com 1 kHz e a frequência da portadora é $f_p = 2,45$ GHz. Portanto, o segundo harmônico é de 4,9 GHz e o terceiro de 7,35 GHz. Considerando que o dispositivo de leitura esteja ajustado para o segundo harmônico e que o tag esteja na zona de leitura, o alarme é ativado.

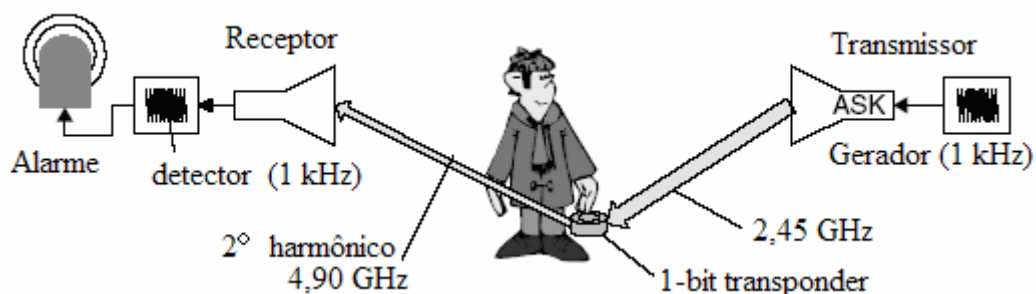


Figura 3.6 Exemplo de um sistema de loja de departamentos utilizando 1-bit transponder por microondas [6].

3.2.3 Sistema 1-bit transponder por divisão da frequência

Este tipo de sistema opera em uma grande faixa de frequência: de 100 Hz a 135,5 kHz. O tag é constituído por uma bobina, um circuito ressonante e um microchip que tem por função dividir por 2 a frequência da portadora e re-emitir o sinal para o dispositivo de leitura que fará a identificação e execução da aplicação. O processo é semelhante ao do sistema anterior, porém com uma redução da frequência da portadora pela metade. Também é usado modulação na amplitude ou na frequência (ASK ou FSK) a fim de melhorar o desempenho do sistema. A Figura 3.7 exemplifica esse tipo de sistema.

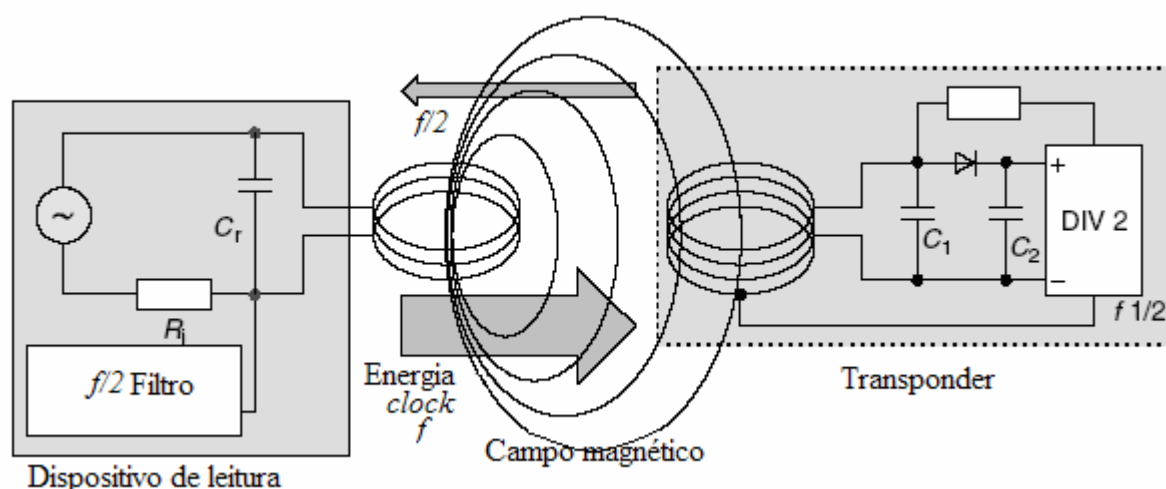


Figura 3.7 – Sistema de 1-bit transponder por divisão na frequência [6].

3.2.4 Sistema 1-bit transponder por efeito eletromagnético

Este tipo de sistema utiliza campos magnéticos na faixa de frequência entre 10 Hz e 20 kHz. Os transponders são constituídos por uma fita delgada de material magnético amorfo, cuja curva típica de histerese deve ser semelhante a da Figura 3.8. A magnetização dessa fita é periodicamente revertida e a saturação magnética ocorre quando a fita é submetida a um intenso campo magnético alternado. A característica não-linear entre o campo magnético H e a densidade de fluxo magnético B , próximo à saturação, mais a mudança repentina da densidade de fluxo magnético B na vizinhança do campo H igual a zero, produz componentes harmônicas na frequência de operação do transponder.

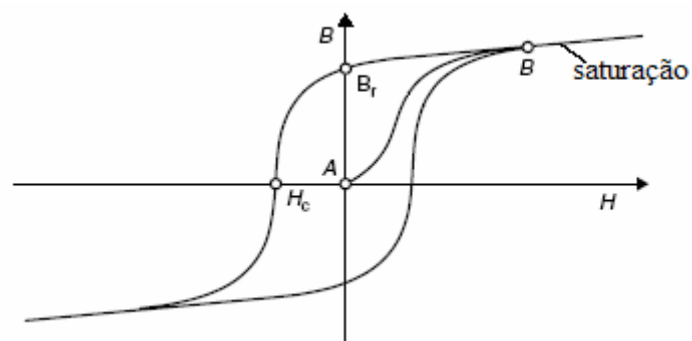


Figura 3.8 Curva típica de histerese de um material ferromagnético [6].

O sistema por efeito eletromagnético pode ser melhorado sobrepondo-se seções adicionais de sinal com frequências mais elevadas sobre o sinal principal, ou seja, a não-linearidade da curva da histerese do material ferromagnético, além dos harmônicos, sinaliza também seções com frequências da soma e da diferença dos sinais fornecidos. Por exemplo, dado um sinal principal com frequência (f_s) de 20 Hz e os sinais adicionais (f_1) de 3,5 kHz e (f_2) de 5,3 kHz são gerados os seguintes sinais de primeira ordem:

$$\begin{aligned} f_1 + f_2 &= 8,80 \text{ kHz} \\ f_2 - f_1 &= 1,80 \text{ kHz} \\ f_s + f_2 &= 1,82 \text{ kHz} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned}$$

Assim, o dispositivo de leitura reagirá com a frequência harmônica básica e também com a soma ou a diferença dos sinais extras, o que garante maior confiabilidade ao sistema. Devido à sua baixa frequência de operação, são os únicos sistemas para produtos que contêm metal, porém há a desvantagem de depender da posição do transponder presente na região de interrogação do dispositivo de leitura. As linhas de campo magnético do transponder devem estar verticalmente arranjadas através da fita de metal amorfo.

Esse tipo de sistema é muito utilizado em loja de departamentos e bibliotecas devido ao baixo custo do dispositivo de leitura e do transponder. O transponder é muito pequeno e, portanto, pode ser escondido dentro da capa de um livro ou atrás da etiqueta de algum produto. Outro fator importante é que esse tipo de transponder pode ser ativado e desativado por inúmeras vezes através da magnetização e desmagnetização.

3.2.5 Sistema 1-bit transponder por efeito acústico-magnético

Semelhante ao sistema por efeito eletromagnético, o sistema que opera por fenômeno acústico-magnético utiliza duas fitas de material magnético amorfo. Neste caso, porém, o efeito considerado é o da magnetostricção, que é a vibração decorrente das variações inter-atômicas, ou seja, a distância entre os átomos varia com o campo magnético alternado aplicado na direção longitudinal. A amplitude da vibração é alta quando a frequência do campo magnético é igual à frequência de ressonância (acústica) da fita de metal.

A Figura 3.9 mostra o funcionamento deste tipo de sistema. Quando o tag encontra-se na região de leitura do transmissor e do sensor, as fitas de metal começam a oscilar devido a influência do campo magnético. A oscilação na frequência de ressonância do material é facilmente percebida pelo dispositivo de leitura. A vantagem deste sistema em relação ao anterior é que a desmagnetização da fita só pode ser feita por um campo magnético intenso e com um decaimento lento na magnitude do campo magnético aplicado.

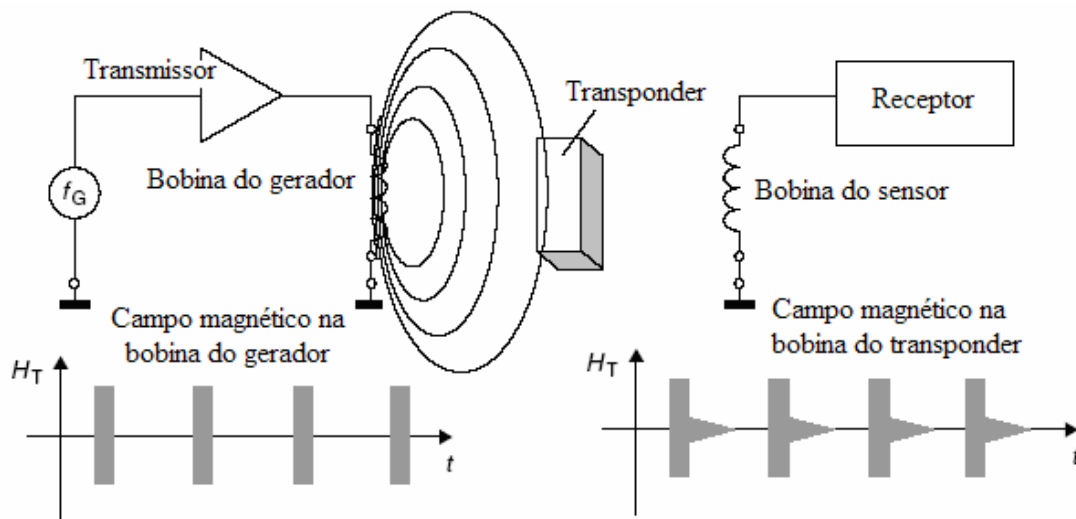


Figura 3.9 Sistema 1-bit transponder por efeito acústico-magnético [6].

3.3 Sistemas n-bit transponder

Nos sistemas n-bit transponder há, de fato, uma comunicação e transmissão de dados entre os dispositivos de leitura e os respectivos transponders. Tais sistemas podem ser passivos ou ativos e a transmissão de dados entre eles pode ser do tipo *full duplex*, *half duplex* ou seqüencial.

Na transmissão de dados *full duplex* (FDX), a informação é enviada nos dois sentidos e de forma simultânea, portanto, não existe perda de tempo com *turn-around* (operação de troca de sentido de transmissão entre os dispositivos). Um canal *full-duplex* pode transmitir mais

informações por unidade de tempo que um canal *half-duplex*, considerando-se a mesma taxa de transmissão de dados. Na transmissão *half duplex* (HDX), a informação é enviada nos dois sentidos, mas não de forma simultânea, ou seja, durante uma transmissão *half-duplex*, um dispositivo A será transmissor em determinado instante, enquanto um dispositivo B será receptor. Em outro instante, os papéis podem se inverter, por exemplo, o dispositivo A poderia transmitir dados que B receberia; em seguida, o sentido da transmissão seria invertido e B transmitiria para A, se os dados foram corretamente recebidos ou se foram detectados erros de transmissão. A operação de troca de sentido de transmissão entre os dispositivos é chamada de *turn-around* e o tempo necessário para os dispositivos chavearem entre as funções de transmissor e receptor é denominado *turn-around time*, Figura 3.10.

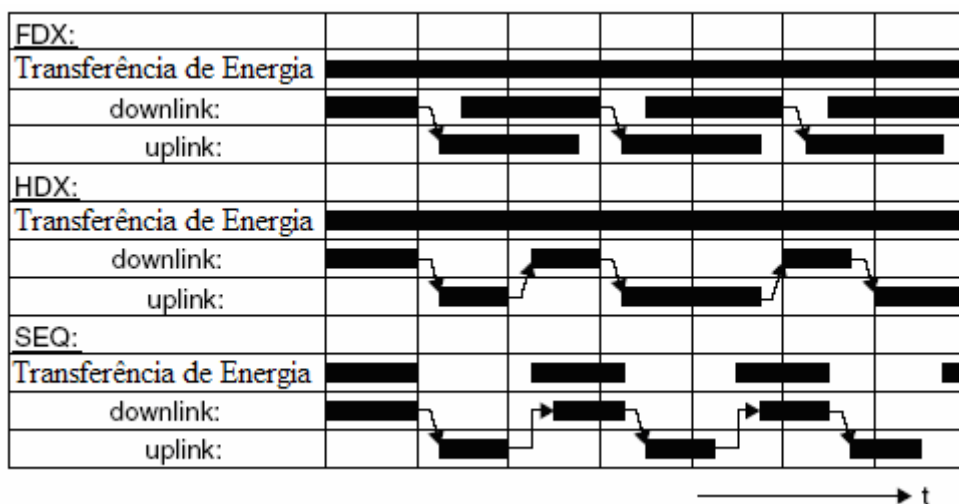


Figura 3.10 Representação da transmissão *full duplex*, *half duplex* e seqüencial [6].

A transmissão de energia entre o leitor e o transponder é contínua para o FDX e para HDX, o que não ocorre para transmissão seqüencial. Na transmissão seqüencial, os dados e a energia não são transmitidos de forma contínua e sim por determinado período de tempo (pulso), Figura 3.10.

3.3.1 Sistema n-bit transponder por acoplamento indutivo

Um transponder por acoplamento indutivo é constituído por um dispositivo eletrônico para armazenar os dados e uma bobina que funciona como antena. Em sua grande maioria, são elementos passivos que recebem a energia para seu funcionamento do dispositivo de leitura. A Figura 3.11 ilustra o princípio de funcionamento de um sistema RFID n-bit transponder por

acoplamento indutivo. O dispositivo de leitura gera um campo eletromagnético nas frequências de 135 kHz ou 13,56 MHz, que penetra na área da bobina do transponder e induz uma tensão que é retificada e utilizada para alimentar o chip, que enviará de volta para o dispositivo de leitura o seu ID (código de identificação).

Na Figura 3.11, é visto que, paralelo à bobina do dispositivo de leitura e paralelo à bobina do transponder, têm-se capacitores cuja finalidade é formar um circuito ressonante ajustado na frequência de operação do dispositivo de leitura. Esse tipo de montagem pode ser comparado a um transformador. O acoplamento entre as duas bobinas do sistema é muito fraco e a eficiência na transmissão de potência entre as duas bobinas depende da frequência de operação, do número de enrolamentos, da área da seção transversal do transponder, do ângulo entre as bobinas e da distância entre a bobina do transponder e a bobina do dispositivo de leitura [1].

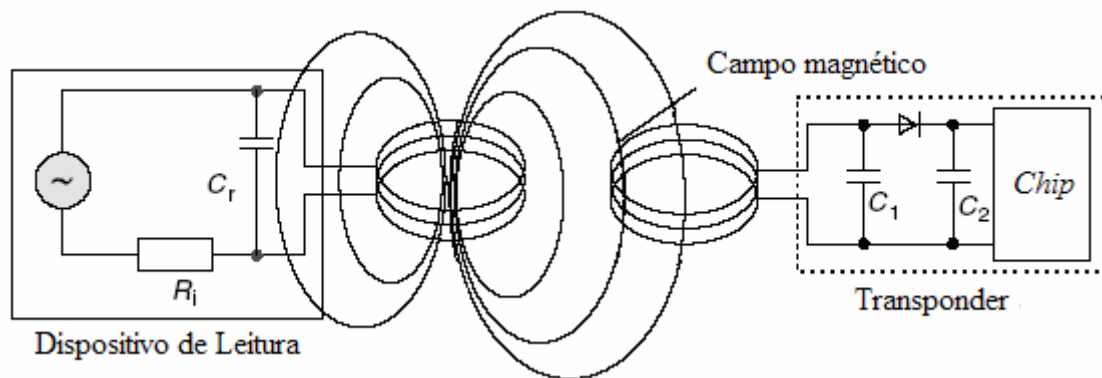


Figura 3.11 Sistema n-bit transponder por acoplamento indutivo [6].

Para o funcionamento desse sistema como transformador de acoplamento, é necessário que a distância entre as bobinas não exceda a $0,16\lambda$ [1]. Devido a essa característica, ele também é conhecido como sistema de proximidade. Seu funcionamento ocorre quando o transponder está na região de leitura (zona de interrogação) e sua frequência de ressonância corresponde à frequência do dispositivo de leitura. A resposta ao sistema de leitura pode ser representada por um transformador de impedância Z_t na bobina (antena) do dispositivo de leitura, ou seja, ligando e desligando uma resistência de carga na bobina do transponder, provoca-se uma alteração na impedância Z_t e, portanto, a tensão V_L no dispositivo de leitura varia. Tal efeito funciona como uma modulação em amplitude da tensão V_L no dispositivo de leitura em função do chaveamento da resistência de carga que é controlado pelos dados contidos no transponder. Este tipo de transferência de dados é conhecido por modulação de carga ou *load modulation*.

Devido ao fraco acoplamento entre a bobina do dispositivo de leitura e a bobina do transponder, as flutuações na tensão da bobina do dispositivo de leitura, que representa o sinal útil, são de magnitudes menores que a tensão de saída do dispositivo de leitura, por exemplo, para sistemas de 13,56 MHz o sinal útil tem uma amplitude de tensão em torno de 10 mV. Para detectar estas pequenas flutuações, é necessário utilizar circuitos eletrônicos complexos e caros. A alternativa para contornar essa situação é utilizar a modulação de carga com sub-portadora (*Load modulation with subcarrier*), Figura 3.12. O processo é feito através da comutação da resistência de carga em uma frequência $f_s = 212$ kHz, o que gera duas linhas espectrais em $f_t \pm f_s$ em torno da frequência central de transmissão $f_t = 13,56$ MHz.

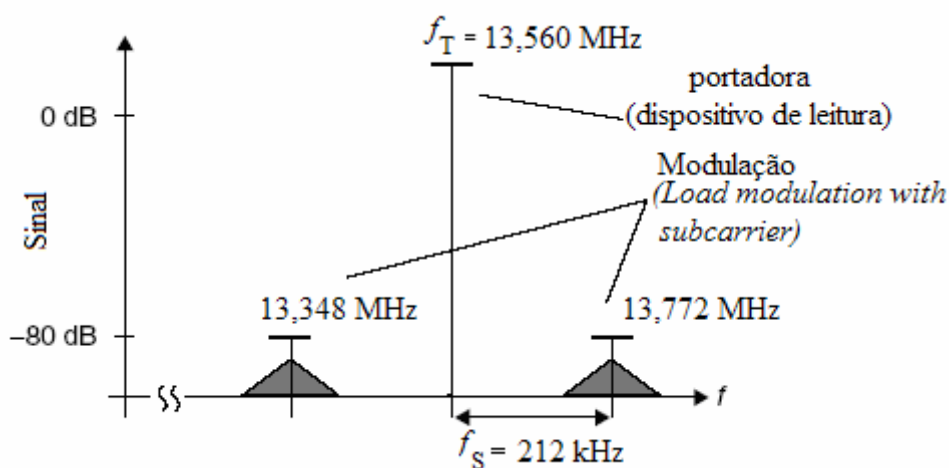


Figura 3.12 Resultado da modulação de carga [6].

A transmissão de dados é feita com modulação ASK, FSK ou PSK ou, ainda, modulando a sub-portadora no tempo através do fluxo dos dados. A Figura 3.12 exemplifica o sistema para geração da modulação de carga conduzida pelo chaveamento da resistência de carga do transponder e a detecção do dispositivo de leitura através de sub-portadora.

A Figura 3.13 mostra o sistema n-bit transponder por acoplamento indutivo, utilizando a modulação de carga com sub-portadora. Nota-se que a comutação da resistência de carga (impedância Z_t composta pela indutância da bobina do transponder, resistência do enrolamento da bobina e as capacitâncias C_1 e C_t) é feita pelo chaveamento do transistor T_1 .

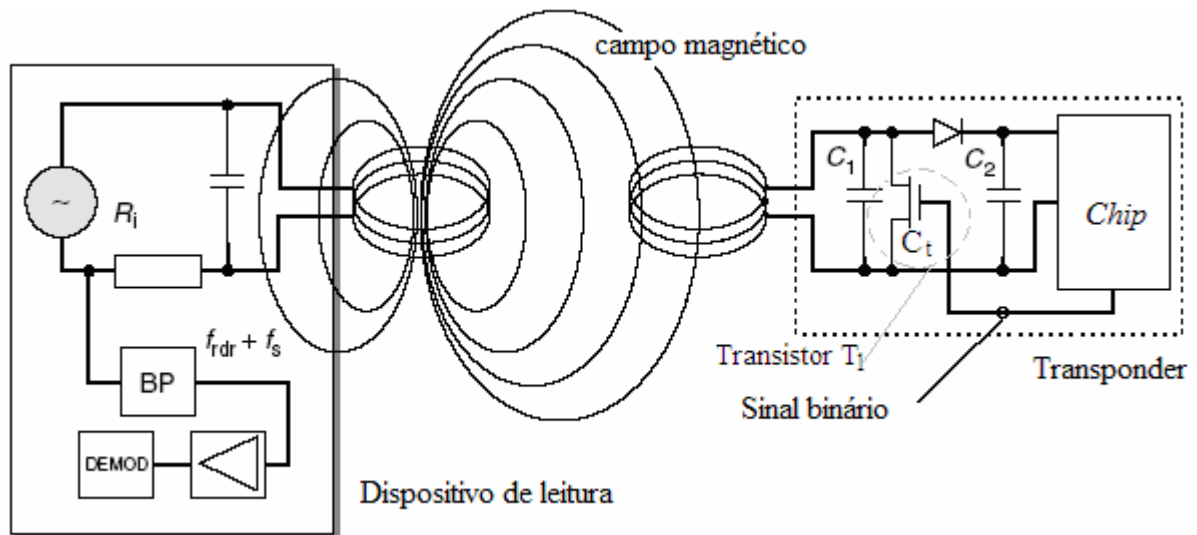


Figura 3-13 Sistema n-bit transponder, modulação de carga com sub-portadora.

3.3.2 Sistema n-bit transponder por acoplamento eletromagnético

Os sistemas por acoplamento eletromagnético (Backscatter) operam na faixa de UHF (868 MHz nos EUA e 915 MHz na Europa) e microondas (2,5 GHz ou 5,8 GHz), possuem longo alcance e, por operarem com comprimentos de onda relativamente curtos, possibilitam o uso de antenas com pequenas dimensões e de boa eficiência.

A potência transferida para o transponder deve ser maior ou igual à perda no espaço livre mais a potência consumida pelo circuito eletrônico do transponder. A perda no espaço livre é dada por [6]

$$P_{meio} (dB) = -147,6 + 20 \log(R) + 20 \log(f) - 10 \log(G_T) - 10 \log(G_R) \quad (3.2)$$

em que R é a distância entre a antena do dispositivo de leitura e a antena (bobina) do transponder, G_T , o ganho da antena do transmissor, G_R , o ganho da antena do transponder (receptor) e f , a frequência de transmissão.

A tecnologia de semicondutores permite a fabricação dos circuitos integrados do transponder com consumo de potência em torno de 50 μW [1]. Porém, para aplicações que exigem distâncias maiores que 15 m ou operam com circuitos integrados com alto consumo de energia, é necessário a utilização de um transponder ativo, ou seja, o uso de fonte de alimentação própria para suprir o consumo dos componentes e circuitos integrados que constituem o transponder a fim de realizar a comunicação entre os dispositivos. Neste caso, faz-

se uso do modo *stand-by*, em que o transponder é ativado somente quando se encontra na região de interrogação. Então o processo de transmissão dos dados contidos no transponder para o dispositivo de leitura ocorre apenas em momentos discretos.

A transmissão de dados do transponder para o dispositivo de leitura ocorre por meio da modulação do sinal refletido pela seção de espalhamento. Da tecnologia do radar, sabe-se que as ondas eletromagnéticas são refletidas por objetos com dimensões maiores que a metade do comprimento de onda. Também, a eficiência com que um objeto reflete ondas eletromagnéticas é descrita pela seção transversal de espalhamento e dos objetos que estão em ressonância com a frente de onda que os atinge. Da potência P_1 , que é emitida pela antena do dispositivo de leitura para o transponder, uma parcela é atenuada no espaço livre e a outra alcança a antena do transponder, Figura 3.14. A tensão no dipolo é retificada pelos diodos D_1 e D_2 e é utilizada para ativar ou desativar o modo *stand-by* do transponder. Essa tensão é usada também como uma fonte de alimentação para transmissão em distâncias curtas.

A parcela da potência que é refletida pela antena, retorna com o valor P_2' , que varia de acordo com as características da reflexão da antena do transponder, as quais são influenciadas pela variação da carga conectada à ela, e chega ao dispositivo de leitura um valor P_2 . A fim de transmitir dados do transponder ao dispositivo de leitura, um resistor R_L , conectado paralelamente à antena, é ligado e desligado conforme os dados contidos na memória do transponder. Portanto, a amplitude da onda refletida do transponder para o dispositivo de leitura é modulada por *backscatter modulation*.

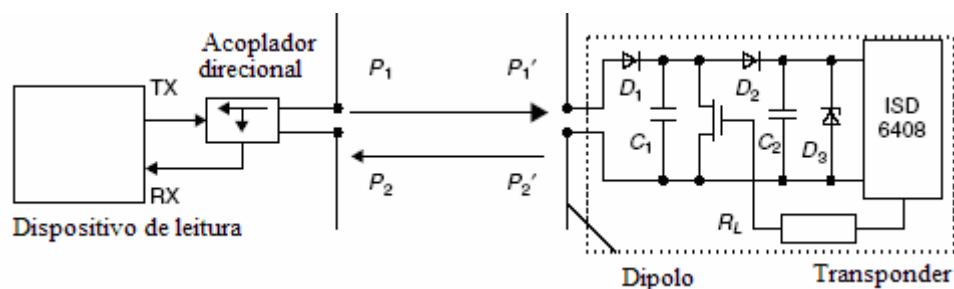


Figura 3.14 Princípio de operação do sistema n-bit transponder por *backscatter*. [6]

3.3.3 Sistema n-bit transponder por acoplamento magnético (sistemas de proximidade)

Nos sistemas de proximidade, projetados para distâncias entre 0,1 cm e 1 cm, o transponder é inserido dentro do dispositivo de leitura. As aplicações que fazem uso deste tipo de sistema são conhecidas como *touch and go*.

A disposição funcional da bobina do transponder e da bobina do leitor corresponde àquela de um transformador, Figura 3.15, na qual o dispositivo de leitura é representado pelo enrolamento do primário e o enrolamento do secundário representa a bobina do transponder [6]. Ao se introduzir o transponder no dispositivo de leitura, a bobina do transponder é posicionada precisamente na abertura existente no núcleo em forma de U. Uma corrente alternada de alta frequência no enrolamento do primário gera um campo magnético de alta frequência no núcleo e na abertura do arranjo em U. Quando o transponder está presente nesse espaço, conforme a Figura 3.15 mostra, a tensão que é induzida na bobina do transponder é retificada e utilizada como fonte para o funcionamento do transponder.

Devido à tensão induzida na bobina do transponder ser proporcional à frequência da corrente de excitação, a frequência selecionada para transferência de potência deve ser tão elevada quanto possível. Na prática, as frequências de operação estão entre 1 MHz e 10 MHz, a fim de manter-se reduzidas as perdas no transformador. Para isso, é usado um material (ferrite) que seja apropriado para a frequência escolhida. Os sistemas com acoplamento de proximidade são muito utilizados para transponders constituídos com circuitos integrados contendo memória e microprocessador devido possuírem uma boa capacidade de fornecimento de potência sendo, assim, capazes de alimentar tais dispositivos eletrônicos, os quais consomem mais energia.

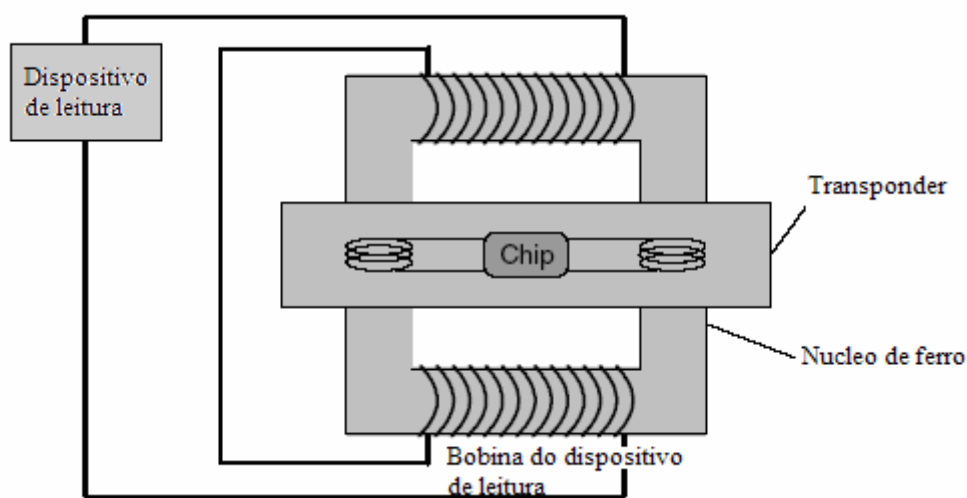


Figura 3.15 Sistema n-bit transponder por acoplamento magnético (sistema de proximidade) [6].

A modulação de carga com sub-portadora também é usada para sistemas de proximidade por acoplamento magnético, como no sistema da Figura 3.15 ou, ainda, para sistemas de proximidade por acoplamento capacitivo, Figura 3.16, devido à pequena distância que existe entre o transponder e o dispositivo de leitura. Este tipo de sistema, muito utilizado em sistemas

que utilizam *smart cards*, tem as características elétricas, mecânicas e de funcionamento descrita pela ISO-10536.

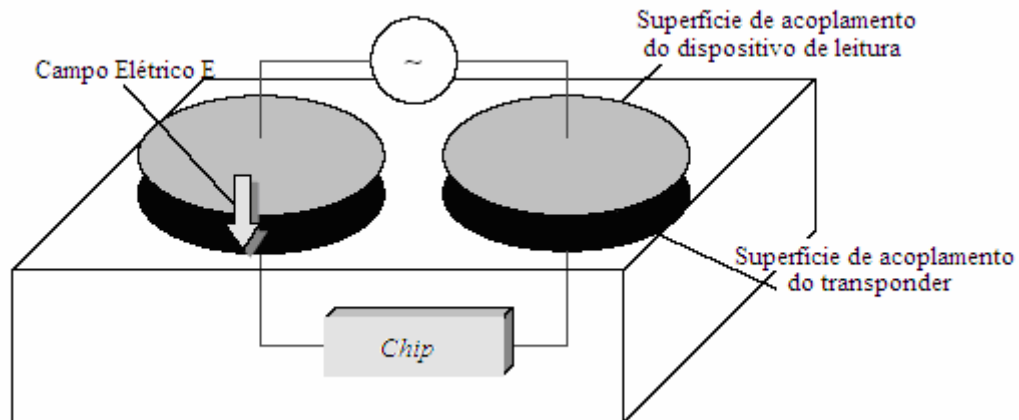


Figura 3.16 Sistema n-bit transponder por acoplamento elétrico (sistema de proximidade) [6].

3.3.4 Sistema n-bit transponder por acoplamento elétrico

Nos sistemas de acoplamento elétrico, o dispositivo de leitura gera um campo elétrico de alta frequência e a sua antena consiste em uma placa condutora (eletrodo de placa plana), Figura 3.17. Quando uma tensão de alta frequência é aplicada ao eletrodo, um campo elétrico de alta frequência se forma entre o eletrodo e o potencial terra. As tensões requeridas para esse sistema variam entre algumas centenas de volts e alguns milhares de volts, as quais são geradas no dispositivo de leitura pela elevação da tensão em um circuito ressonante. A antena do transponder é composta de duas superfícies condutoras que se encontram em um mesmo plano. Se o transponder for colocado no campo elétrico do dispositivo de leitura, uma tensão elétrica é induzida entre os dois eletrodos do transponder, suprindo a energia necessária para alimentação.

O circuito equivalente da Figura 3.18 representa um sistema de acoplamento elétrico em seu modelo simplificado, funcionando como um divisor de tensão entre a capacitância do dispositivo de leitura e o transponder (capacitância C_{RT}) e a resistência de entrada do transponder (R_L) ou, ainda, com a capacitância entre o transponder e o potencial terra (C_{TGND}). As correntes que fluem nas superfícies do eletrodo do transponder são muito pequenas, conseqüentemente, nenhuma exigência particular é imposta para a condutividade do material do eletrodo. Porém, pode-se aumentar a distância de leitura do sistema variando-se a capacitância C_{TGND} .

Ao se colocar um transponder por acoplamento elétrico na zona de interrogação do dispositivo de leitura, a impedância de entrada R_L do transponder em conjunto com a capacitância C_{RT} atua como um circuito ressonante. O amortecimento do circuito ressonante pode ser comutado entre dois valores através do chaveamento do resistor de modulação R_{mod} contido no transponder. Por meio desse chaveamento, é gerada a modulação em amplitude da tensão presente na indutância L_I e da capacitância C_I , conforme o circuito da Figura 3.18.

A modulação (chaveamento) deste resistor é feita de acordo com os dados que serão transmitidos para o dispositivo de leitura, sendo conhecida como modulação de carga (*load modulation*).

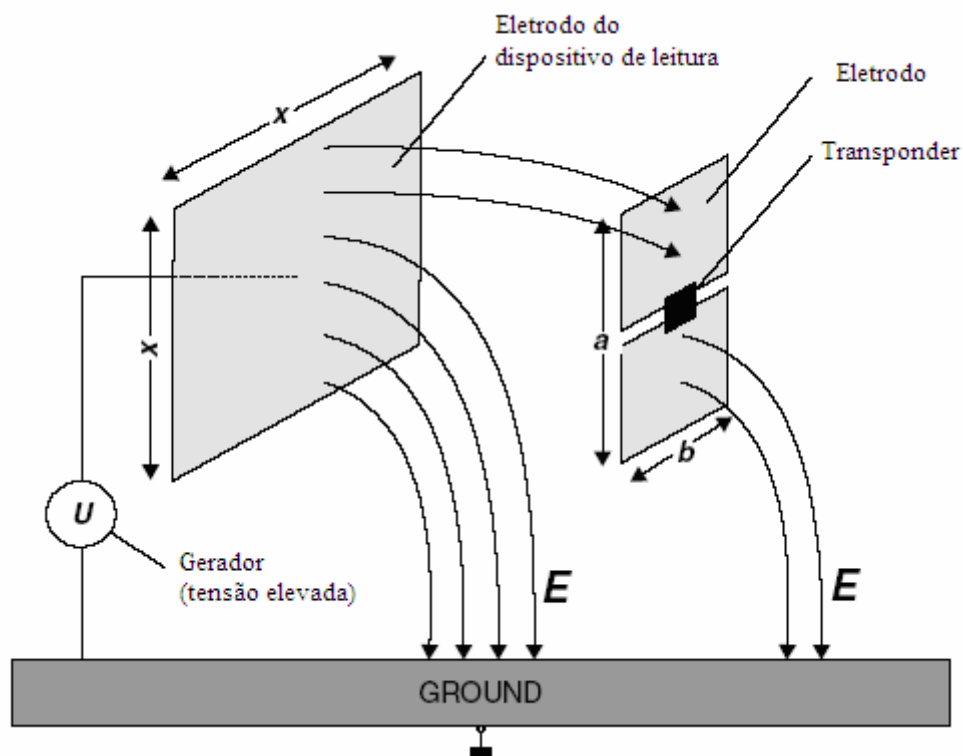


Figura 3.17 Sistema n-bit transponder por acoplamento elétrico (campo eletromagnético transferindo dados e energia) [6].

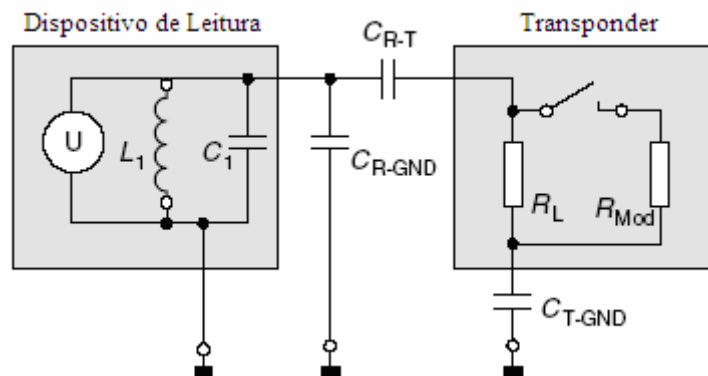


Figura 3.18 Circuito equivalente do funcionamento do sistema (leitor + meio + transponder) para acoplamento elétrico [6].

3.4 Sistemas RFID seqüenciais

Nos sistemas seqüenciais, a transmissão de dados e de energia do dispositivo de leitura para o transponder ocorre de modo alternado. Um sistema seqüencial é um sistema digital no qual a saída em determinado instante t depende do valor da entrada neste e em instantes anteriores [6].

Os sistemas seqüenciais são classificados em síncronos e assíncronos. Os sistemas síncronos são aqueles onde as transições ocorrem em instantes discretos definidos por um sinal de sincronização, conhecido por *clock*. Nos sistemas assíncronos, as transições podem ocorrer em qualquer instante, não existindo um sinal de referência (*clock*).

3.4.1 Sistemas seqüenciais por acoplamento indutivo

Os sistemas seqüenciais por acoplamento indutivo operam com frequências abaixo de 135 kHz, com um acoplamento que é criado entre a bobina do leitor e a bobina do transponder, semelhante ao que ocorre no transformador. A tensão induzida gerada na bobina do transponder pelo efeito do campo magnético alternado do dispositivo de leitura é retificada e pode ser usada como uma fonte de alimentação. A fim de conseguir uma eficiência mais elevada na transferência de dados, a frequência do transponder deve ser igual ou muito próxima da frequência do dispositivo de leitura. Por essa razão, o transponder contém um capacitor *trimming* que serve para compensar as diferenças na tolerância dos componentes elétricos do sistema e na frequência de ressonância.

Ao contrário do que ocorre com os sistemas FDX e HDX, no sistema seqüencial o transmissor do dispositivo de leitura e o transponder não operam de forma contínua. A energia transferida ao transponder pelo dispositivo de leitura é feita em períodos discretos. O funcionamento do sistema consiste em três operações: carga, leitura e descarga, Figura 3.19 [6].

Durante a operação de carga, o dispositivo de leitura alimenta o capacitor do transponder o qual armazena essa energia a fim de utilizá-la posteriormente para a transmissão de dados, ou seja, na operação de leitura.

Na operação de leitura, o transmissor é desligado ficando apenas em *stand-by* para receber as informações que estão sendo enviadas pelo transponder. Após esse período de transmissão do transponder, ocorre o período de descarga, no qual é descarregado o resto da energia armazenada no capacitor. A capacitância mínima do capacitor de carga é calculada conhecendo-se a tensão e a potência mínima exigidas para operação do circuito integrado do transponder por meio da equação

$$C = \frac{q}{V} = \frac{I \cdot t}{V_{\max} - V_{\min}} \quad (3.3)$$

em que V_{\max} e V_{\min} são os valores limites para tensão de operação, I é a corrente de consumo do chip e t o tempo requerido para a transmissão dos dados do transponder para o dispositivo de leitura.

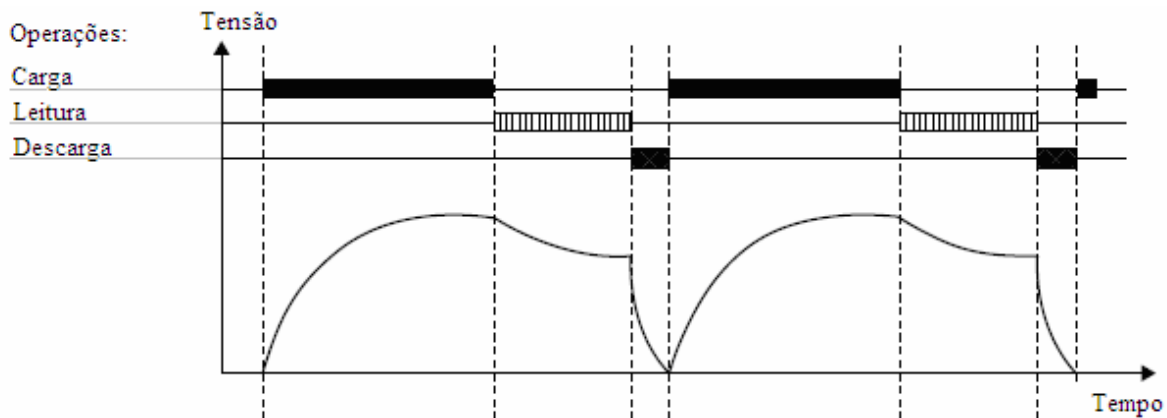


Figura 3.19 Fases de operação do sistema seqüencial (período de carga, leitura e descarga).

Em sistemas seqüenciais, Figura 3.19 e Figura 3.20, um ciclo de leitura completo compreende duas fases: a fase de carregamento do capacitor e a fase de leitura dos dados. O final da operação de carregamento do capacitor é detectado pelo dispositivo *end of burst detector*, que monitora a tensão na bobina do transponder e reconhece o momento em que o campo magnético do dispositivo de leitura é desligado. Ao final dessa fase, um circuito eletrônico oscilador contido no transponder, que utiliza o circuito ressonante formado pela bobina do transponder, determina a sua ativação. O campo magnético alternado gerado pelo transponder é recebido pelo dispositivo de leitura e, embora seja fraco, a relação sinal ruído para o modo seqüencial é melhorada em torno de 20 dB em comparação com a transmissão FDX e HDX [6].

Um pulso elétrico aplicado no barramento do transdutor causa uma deformação mecânica no substrato que, devido ao efeito pizoelétrico entre os eletrodos, gera dispersões em ambos os sentidos na forma de onda de superfície acústica (SAW). Da mesma forma, a onda de superfície acústica que entra no conversor cria um pulso elétrico no barramento do transdutor devido ao efeito pizoelétrico.

Eletrodos individuais são posicionados ao longo do comprimento do transponder SAW. Os eletrodos de borda servem para reflexão de uma parcela das ondas de superfície que entram no substrato. As barras que compõem o refletor normalmente são feitas de alumínio [6].

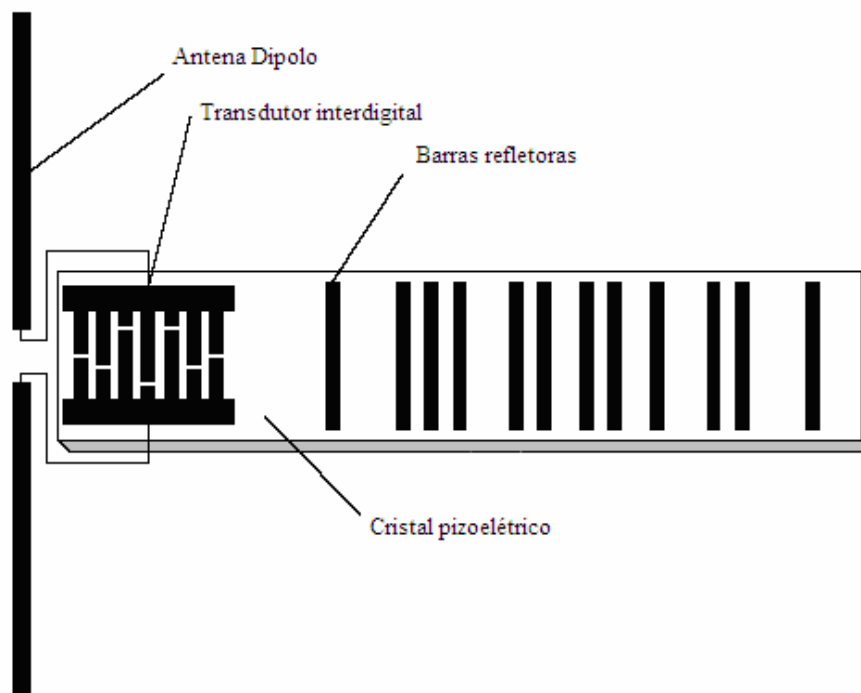


Figura 3.21 Sistema sequencial SAW (construção do transponder) [6].

O funcionamento do sistema ocorre da seguinte forma: um pulso de exploração de alta frequência gerado por um dispositivo de leitura é fornecido para a antena dipolo do transponder. No transdutor interdigital, o sinal elétrico é convertido em uma onda de superfície acústica, a qual percorre o substrato no sentido longitudinal. A frequência da onda de superfície corresponde à frequência da onda produzida pelo pulso de amostragem.

A frequência da portadora da sequência de pulsos refletidos corresponde à frequência da transmissão do pulso de amostragem. Parte da onda de superfície é refletida para fora de cada uma das tiras reflexivas e parte é absorvida na extremidade do substrato. A parcela das ondas que foram refletidas retorna para o transdutor interdigital, onde essas ondas serão convertidas

em uma seqüência de pulsos de alta freqüência e, a seguir, emitidos pela antena dipolo para o dispositivo de leitura.

O número de pulsos recebidos corresponde ao número de tiras reflexivas existentes no substrato e o atraso entre os pulsos é proporcional à distância de separação entre as tiras reflexivas; ou seja, a informação é representada por uma seqüência binária de dígitos semelhante ao código de barras, porém, sua leitura é feita por radiofreqüência ao invés de leitura óptica.

A velocidade de transferência e a capacidade de armazenamento de dados de um transponder SAW dependem do tamanho do substrato e da distância mínima entre as tiras reflexivas existentes no substrato. Na prática, a transferência de dados, codificados entre 16 e 32 bits, ocorre em uma taxa de 500 kbps [6]. A distância de leitura desse sistema depende da potência do pulso de exploração e pode ser estimada através da equação do radar.

$$d = \sqrt[4]{\frac{P_T \cdot G_T^2 \cdot G_R^2 \cdot t_i \cdot \lambda^4}{k \cdot T_0 \cdot F \cdot \left(\frac{S}{N}\right) IL}} \quad (3.4)$$

onde:

- d é alcance do pulso emitido pelo transponder SAW.
- P_T é a potência do pulso emitido pelo dispositivo de leitura.
- G_T é o ganho da antena do dispositivo de leitura.
- G_R é o ganho da antena do transponder.
- λ é o comprimento de onda.
- F é a figura de ruído.
- S/N é a relação sinal ruído.
- IL é a perda de inserção (atenuação adicional).
- T_0 é a temperatura de ruído da antena de recepção.

A Figura 3.22 e a Figura 3.23 ilustram o funcionamento do transponder SAW, onde um único pulso é enviado pelo dispositivo de leitura ao transponder, e devido ao efeito pizoelétrico e aos refletores colocados após o transdutor interdigital, os pulsos retornam após alguns microssegundos em resposta ao pulso de excitação.

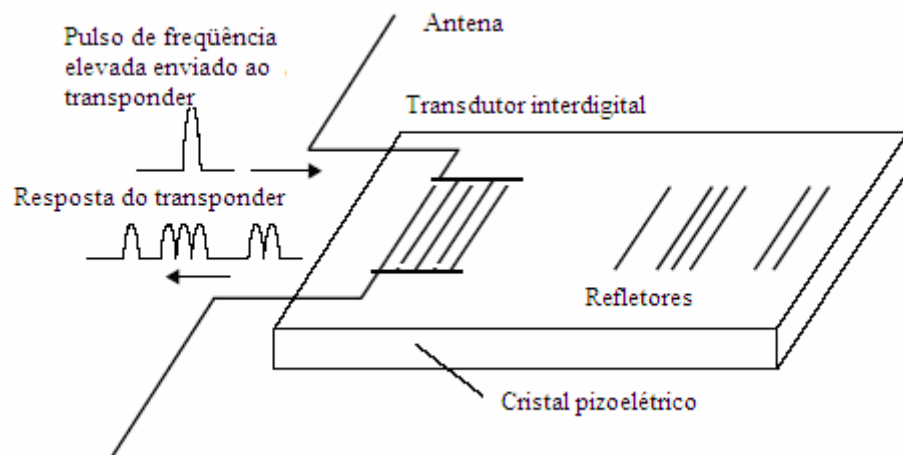


Figura 3.21 Modelo do transponder SAW [6]

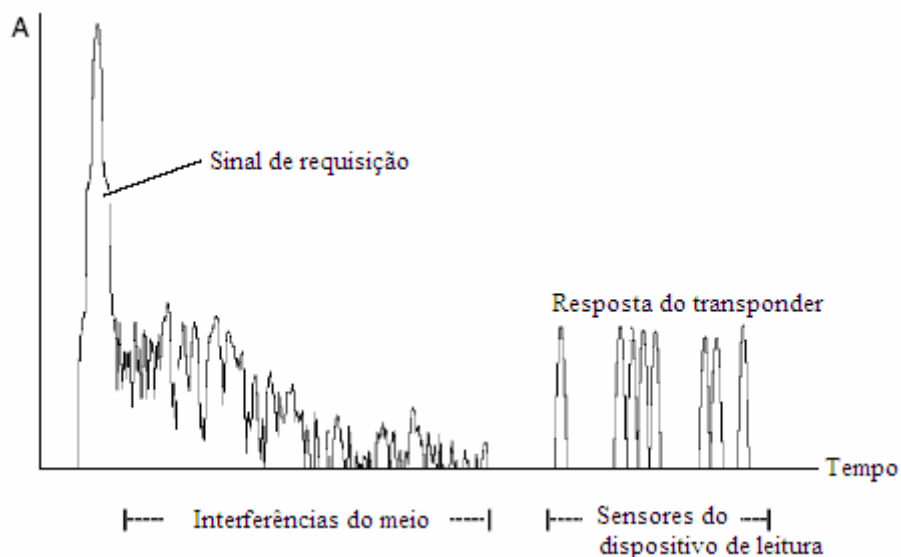


Figura 3.23 Gráfico da resposta emitida pelo transponder SAW [6]

4. Padronização

4.1 Introdução

A finalidade da padronização é definir as características de operação e funcionamento de equipamentos para que fabricantes distintos possam produzir dispositivos com características comuns. Ou seja, é por meio da padronização que várias tecnologias podem sobreviver em um mesmo universo. Os maiores fabricantes de RFID oferecem sistemas proprietários, os quais

resultam numa grande diversidade de protocolos e de sistemas para uma mesma planta industrial.

Existem muitas organizações envolvidas nos projetos de tecnologias RFID, trabalhando em conjunto com vários fabricantes e estudiosos da tecnologia a fim de padronizar protocolos e regras de utilização. Entre as principais organizações e padrões da tecnologia RFID, tem-se a *International Organization for Standardization* (ISO), uma organização internacional que engloba 148 países. A ISO aprova normas internacionais em todos os campos técnicos, exceto na eletricidade e eletrônica, áreas sob a responsabilidade do *International Engineering Consortium* (IEC). A Tabela 4.1 apresenta a relação de padrões publicados pela ISO para a tecnologia RFID [6][8][9].

Há também o EPC (*Electronic Product Code*), ou Código Eletrônico de Produtos, que define uma arquitetura que utiliza recursos oferecidos pela tecnologia de identificação por radiofrequência e serve de referência para o desenvolvimento de novas aplicações. O EPC é uma forma de identificar produtos atribuindo a eles um número único que é inserido desde a linha de manufatura. Por exemplo, cada embalagem de produto ou mesmo o próprio produto tem seu número de identificação EPC. Esta aplicação permitirá que cada companhia rastreie em sua rede logística, incluindo varejistas, os produtos produzidos desde a sua manufatura até a entrega ao respectivo cliente.

A EPCglobal [10] é uma divisão da EAN (*European Article Number International*) e do UCC (*Uniform Code Council*) [11]. Trata-se de uma organização sem fins lucrativos criada para controlar, desenvolver e promover padrões baseados nas especificações do sistema EPC. Seu objetivo é orientar a adoção deste sistema como o padrão mundial para a identificação imediata, automática e precisa de qualquer item da cadeia de suprimentos de qualquer empresa, de qualquer setor e em qualquer lugar do mundo.

Tabela 4.1 Padrões ISO para a tecnologia RFID		
ISO Standard	Título	Status
ISO 11784	RFID para animais – estrutura de código	Publicado em 1996
ISO 11785	RFID para animais – concepção técnica	Publicado em 1996
ISO/IEC 14443	Identificação de cartões – cartões com circuitos integrados sem contato – cartões de proximidade	Publicado em 2000
ISO/IEC 15693	Identificação de cartões – cartões com circuitos integrados sem contato –	Publicado em 2000

	cartões de vizinhança	
ISO/IEC 18001	Tecnologia da Informação – Gerenciamento de Itens de RFID – Perfil de Requisitos de Aplicação	Publicado em 2004
ISO/IEC 18000-1	Parâmetros Gerais para Comunicação por Interface por Ar para Frequências Globalmente Aceitas	Publicado em 2004
ISO/IEC 18000-2	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar abaixo de 135 kHz	Publicado em 2004
ISO/IEC 18000-3	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 13,56 MHz	Publicado em 2004
ISO/IEC 18000-4	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 2,45 GHz	Em Revisão Final
ISO/IEC 18000-6	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 860 a 930 MHz	Publicado em 2004
ISO/IEC 15961	Gerenciamento de Itens de RFID – Protocolo de Dados: Interface de Aplicação	Publicado em 2004
ISO/IEC 15962	Gerenciamento de Itens de RFID – Protocolo: Regras de Codificação de Dados e Funções de Memória Lógica	Publicado em 2004
ISO/IEC 15963	Gerenciamento de Itens de RFID – Identificação única do RF Tag	Em Revisão Final

4.2 Faixas de frequências utilizadas pelos sistemas RFID

Devido ao fato de sistemas RFID produzirem e radiarem ondas eletromagnéticas, eles são classificados como sistemas de radiofrequência (RF). Portanto, é necessária a determinação das faixas do espectro de frequência para que não haja interferências de outros serviços de rádio no sistema RFID. Da mesma forma, o sistema RFID não pode interferir nos sistemas de rádio, celular ou televisão. Na implantação de um sistema de identificação por radiofrequência, é necessário considerar os espectros de frequência dos outros sistemas de rádio, pois estes restringem de forma significativa a operação dos sistemas de RFID disponíveis no mercado, Figura 4.1. Por esta razão, utilizam-se, em geral, frequências que foram reservadas especificamente para aplicações industriais, científicas ou médicas. Tais frequências são conhecidas como faixa de frequência ISM (*Industrial-Scientific-Medical*) as quais também podem ser utilizadas para aplicações em RFID [1].

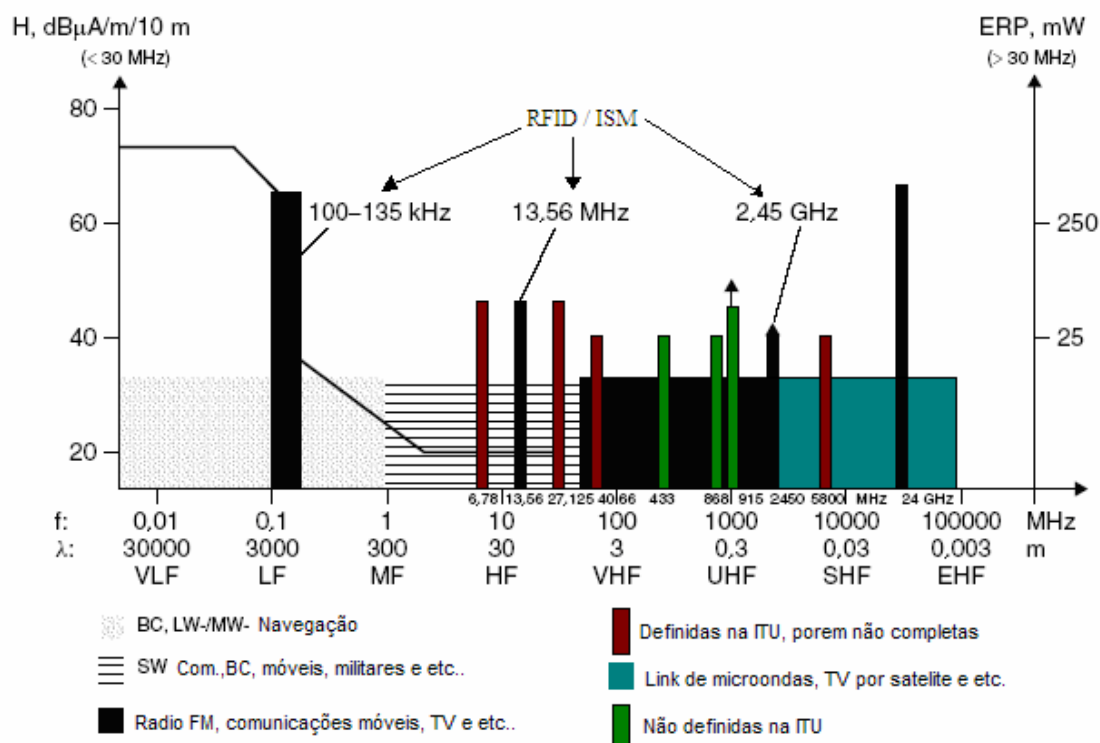


Figura 4.1 Faixas de frequências utilizadas por sistemas RFID [6].

Além das frequências ISM, as frequências abaixo de 135 kHz, na América do Norte, e abaixo de 400 kHz, no Japão, também são utilizadas, pois possibilitam trabalhar com intensidades elevadas de campo magnético, principalmente em sistemas RFID de acoplamento indutivo. As faixas de frequência mais importantes para sistemas RFID estão apresentadas na Tabela 4.2.

A Figura 4.2 mostra a distribuição do mercado global, de 2000 a 2005, para transponders nas várias faixas de frequência, em milhões de unidades. Observa-se um acentuado crescimento no uso da tecnologia de identificação por radiofrequência, em especial nas frequências de 13,56 MHz e nas frequências menores que 135 kHz.

Tabela 4.2 Distribuição das frequências para sistemas RFID	
Frequência	Descrição
9 a 135 kHz	Low Frequency (LF)
6,78 MHz	ISM Frequency
13,56 MHz	High Frequency (HF)
27,125 MHz	High Frequency (HF)
433,92 MHz	Very High Frequency (VHF)
869 MHz	Ultra High Frequency (UHF)

915 MHz	Ultra High Frequency (UHF)
2,45 GHz	Microondas
5,8 GHz	Microondas
24,125 GHz	Super High Frequency (SHF)

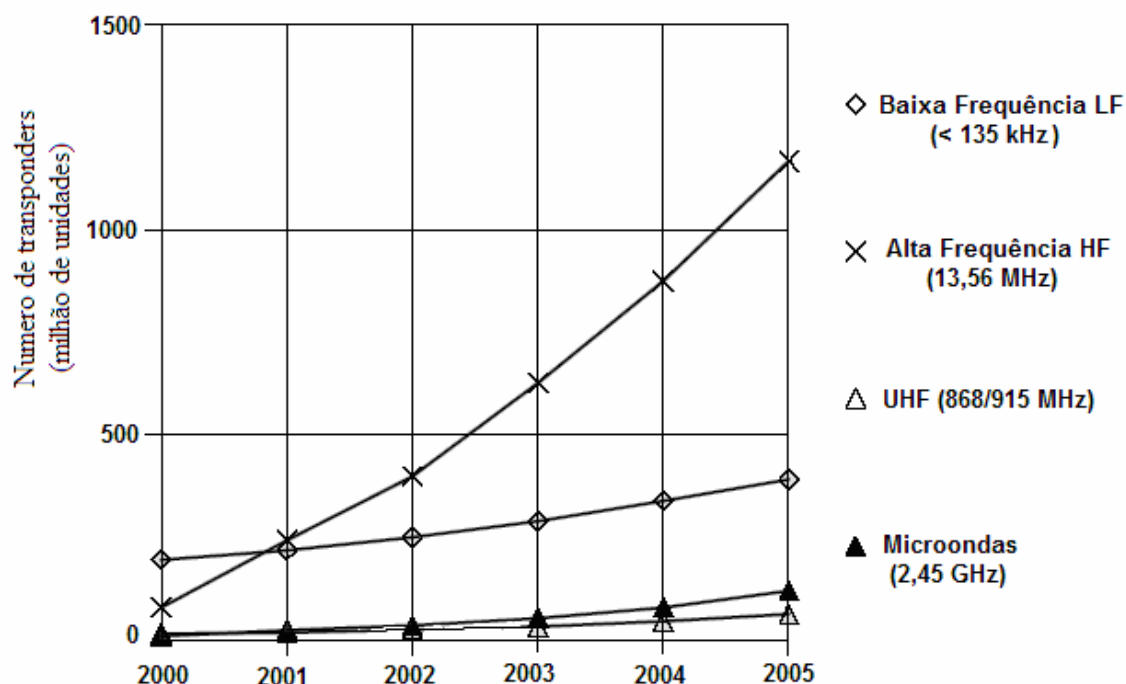


Figura 4.2 Distribuição do mercado de transponders por faixas de frequências.[6]

Faixa de frequência entre 9 kHz e 135 kHz

A faixa de frequência abaixo de 135 kHz é muito utilizada por serviços de radiofrequência porque não foi reservada como faixa de frequência ISM. Além disso, as condições de propagação nessa faixa de frequência permitem que as ondas de rádio alcancem grandes áreas, com raio em torno de 1.000 km, a um custo relativamente baixo. Tais ondas são conhecidas como *Long Waves*. A fim de impedir interferências entre os sistemas de radiofrequência, a Europa definirá uma faixa de frequência destinada a aplicações de RFID entre 70 kHz e 119 kHz. [6]

Faixa de frequência entre 6,765 MHz e 6,795 MHz

A faixa de frequência entre 6,765 MHz e 6,795 MHz está dentro do espectro das ondas curtas cuja distância de propagação é de alguns quilômetros (em torno de 100 km) durante o

dia, e durante a noite, é possível a propagação transcontinental. A faixa de frequência destinada às ondas curtas é utilizada por uma grande quantidade de serviços de rádio.

Faixa de frequência entre 13,553 MHz e 13,567 MHz

Esta faixa de frequência é alocada no meio da faixa de ondas curtas, que variam de 3 MHz a 30 MHz. As condições de propagação nesta faixa de frequência permitem conexões transcontinentais durante qualquer período do dia. Esta faixa também é utilizada por uma variedade de serviços de rádio e telecomunicações ponto a ponto (PTP - *peer to peer*), além de outras aplicações ISM como, por exemplo, sistemas de controle remoto, modelos controlados por rádio e pagers de rádio.

Faixa de frequência entre 26,565 MHz e 27,405 MHz

A faixa de frequência entre 26,565 MHz e 27,405 MHz é alocada para a banda do cidadão (CB - *Citizens' Band*) no continente Europeu, nos EUA, no Canadá e no Brasil onde é regulamentada pelo Decreto-lei N.º 47/2000 [12].

A banda do cidadão é um serviço de radiocomunicação de uso privativo, destinado às comunicações multilaterais de caráter utilitário recreativo ou profissional de titulares de estações de radiocomunicações de pequena potência, que funcionem exclusivamente nessas frequências coletivas.

Ao instalar sistemas de 27 MHz para aplicações industriais em RFID, deve-se observar todos os equipamentos de alta frequência que estiverem situados na vizinhança do sistema em questão, pois estes equipamentos podem interferir na operação dos sistemas RFID que operam na mesma frequência. Ao planejar sistemas RFID de 27 MHz para hospitais (por exemplo, sistemas de controle de acesso), a consideração deve ser dada a todo o instrumento médico que estiver operando nesta faixa de frequência na vizinhança do dispositivo de leitura.

Faixa de frequência entre 40,660 MHz e 40,700 MHz

Essa faixa de frequência é situada na extremidade mais baixa faixa do VHF. A propagação das ondas é limitada à proximidade da superfície da terra (*Ground Wave*) e a atenuação devido aos edifícios e aos outros obstáculos é menos marcante. A faixa de VHF é ocupada por sistemas móveis de comunicação, transmissão de televisão, telemetria e controle de modelo rádio-controlado. Porém, nenhum sistema RFID opera nessa faixa de frequência,

devido ao sinal, para este tipo de sistema, ser significativamente menor que para sistemas RFID operando em outras frequências. O comprimento de onda de 7,5 m nessa faixa é inadequado para a construção de transponders pequenos e baratos, sendo preferível usar outras frequências que permitem um alcance melhor a um custo mais baixo.

Faixa de frequência entre 430,000 MHz e 440,000 MHz

Esta faixa de frequência está mundialmente destinada para serviços de rádio-amadores na transmissão de voz e dados através de estações de rádio terrestres ou satélites. A propagação das ondas eletromagnéticas na faixa de UHF sofre atenuação e reflexão devido à presença de obstáculos. Dependendo do método e da potência de transmissão, os sistemas utilizados por rádio-amadores conseguem alcançar distâncias entre 30 e 300 quilômetros, sendo que as conexões mundiais podem ser feitas através do uso de satélites localizados no espaço. A faixa de frequência ISM (433,05 - 434,790 MHz) está localizada no meio da faixa destinada aos rádio-amadores. Tal faixa é ocupada por várias aplicações ISM, as quais compreendem os sistemas RFID por espalhamento (*backscatter*), os transmissores de telemetria (para aplicações domésticas, por exemplo, termômetros externos, sensores sem fio etc.), telefones sem fio, *walkie-talkies*, alarmes para veículos e muitas outras aplicações. A interferência mútua entre as várias aplicações de ISM é comum nesta faixa de frequência.

Faixa de frequência entre 2,400 GHz e 2,4835 GHz

Na faixa de microondas, que é utilizada por serviços de transmissão em telecomunicações e radiodifusão (Continente Europeu), ocorrem interferências e sobreposições devido a reflexões em obstáculos. A onda eletromagnética é fortemente atenuada quando penetra em paredes e outros obstáculos. Além dos sistemas RFID por espalhamento (*backscatter*), nesta faixa de frequência tem-se, ainda, algumas aplicações típicas de ISM como transmissores para telemetria e redes sem fio para computadores (*wireless network*).

Faixa de frequência entre 5,725 GHz e 5,875 GHz

Na faixa de frequência entre 5,725–5,875 GHz, de modo semelhante à faixa de frequência 2,400–2,4835 GHz, as aplicações típicas são os sensores de movimento, que podem ser usados para detectar presença e efetuar a abertura de portas (nas lojas de departamento), além de outras aplicações para sistemas RFID.

4.3 Frequência apropriada para sistemas de RFID por acoplamento indutivo

As características das faixas de frequências disponíveis devem ser levadas em consideração na escolha da frequência adequada para se utilizar em um sistema RFID por acoplamento indutivo, pois são importantes na decisão de alguns parâmetros do sistema, como por exemplo, as dimensões da antena.

A Figura 4.3 descreve a transição entre campo próximo e campo distante para a frequência de 13,56 MHz [6]. Percebe-se que a atenuação na intensidade de campo magnético é de 60 dB/década em campo próximo e de 20 dB/década depois da transição para campo distante, que ocorre a uma distância de $\lambda/2\pi$ da antena transmissora. Este comportamento exerce uma forte influência na definição dos sistemas RFID. A regulamentação EN 300330 especifica a intensidade máxima de campo magnético a uma distância de 10 m do dispositivo de leitura.

A Figura 4.4 mostra o comportamento da intensidade de campo para as frequências de 125 kHz, 6,75 MHz e 27,125 MHz na transição de campo próximo para campo distante. Movendo-se do ponto indicado na Figura 4.4 em direção ao dispositivo de leitura, dependendo do comprimento de onda, a intensidade de campo aumenta em 20 dB/década ou 60 dB/década.

Para frequências menores que 135 kHz, as relações são mais favoráveis, devido estar na região de campo próximo. Há um aumento da intensidade de campo H em torno de 60 dB/década, à medida que se aproxima do dispositivo de leitura. Outro fator importante é que para frequências menores que 135 kHz o campo próximo estende-se a 350 m [6].

A Figura 4.5 mostra a relação entre o alcance do transponder em função da frequência para uma intensidade de campo $H = 105 \text{ dB } \mu\text{A/m}$. O alcance máximo ocorre na faixa de frequência em torno de 10 MHz, onde a eficiência na transmissão de potência é maior que para as frequências abaixo de 135 kHz ou acima de 40,68 MHz. Entretanto, esse efeito é compensado pela alta intensidade de campo admissível para frequências abaixo de 135 kHz. Consequentemente, na prática o alcance de sistemas RFID é aproximadamente a mesma para ambas as faixas de frequência.

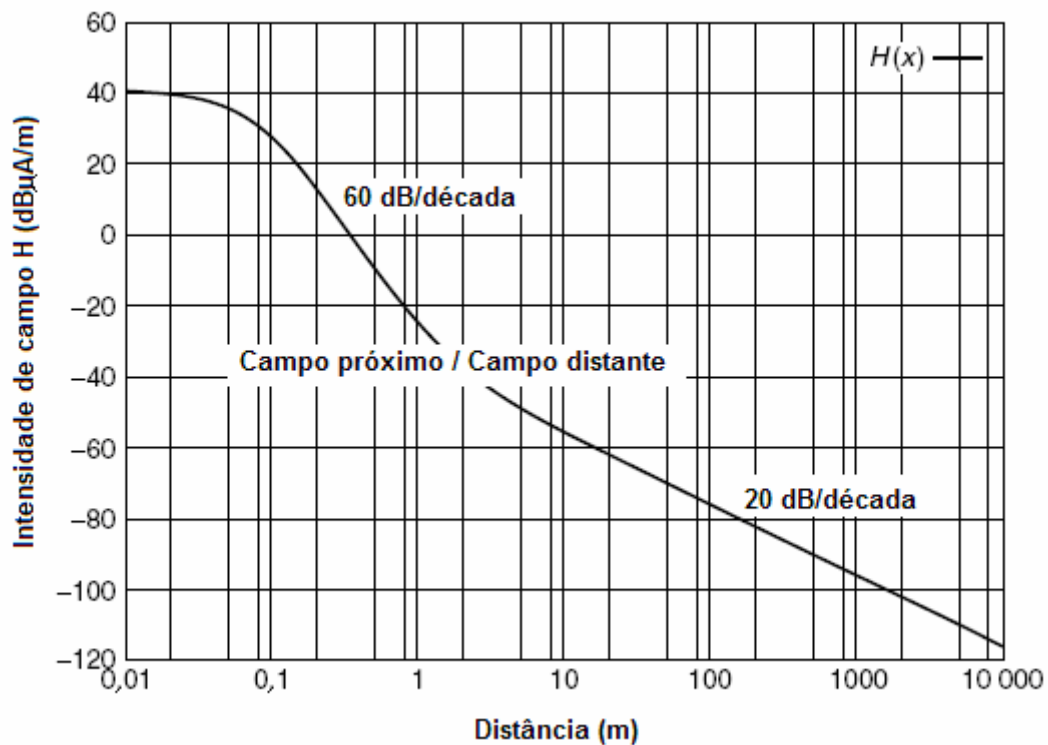


Figura 4.3 Comportamento da intensidade de campo em função da distância para a frequência de 13,65 MHz [6]

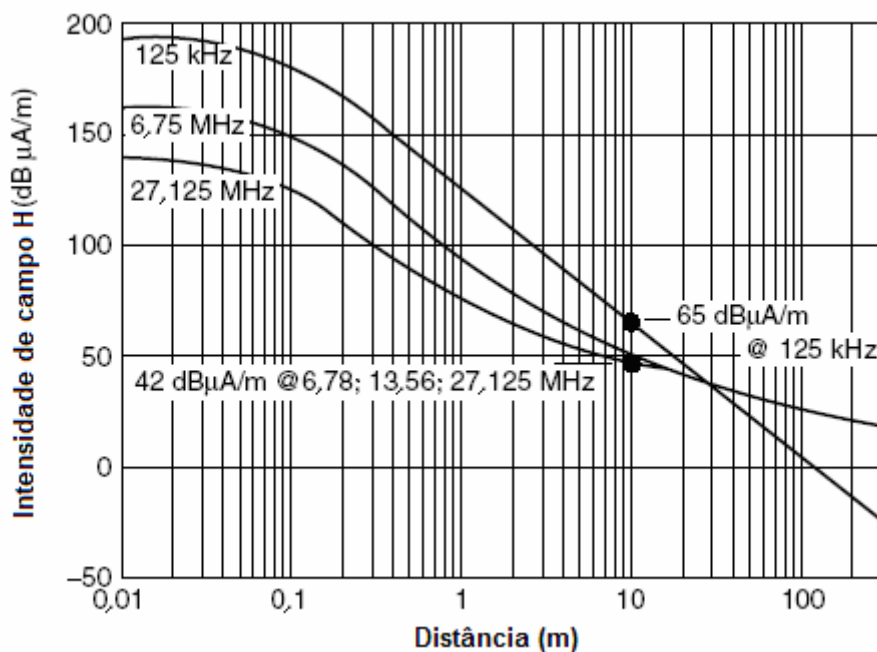


Figura 4.4 Comportamento do campo magnético para as frequências 125 kHz, 6,75MHz e 27,125MHz [6].

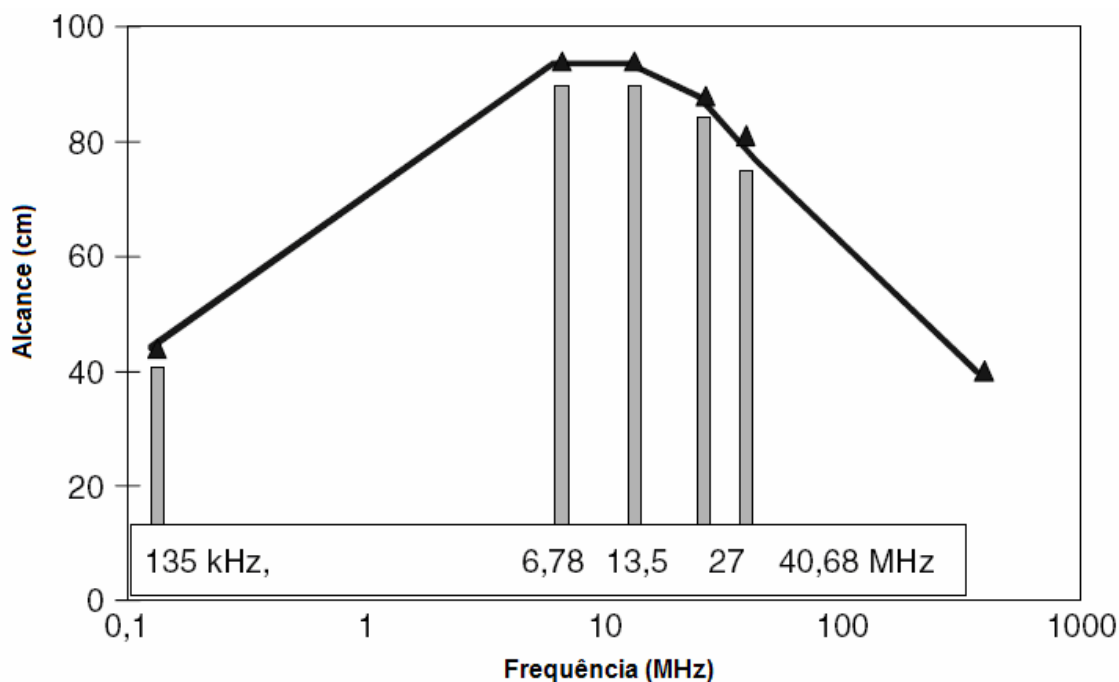


Figura 4.5 Alcance do transponder em função da frequência de operação, e para $H=105$ dB $\mu A/m$.

4.4 Regulamentação e padronização na Europa

A padronização dos sistemas RFID na Europa é realizada pela recomendação CEPT/ERC REC 70-03, que trata do uso de dispositivos de curto alcance. Essa recomendação serve de base para a regulamentação dos estados membros do CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) que foi criada em 1959 por 19 países e hoje abrange 47 países. Suas atividades consistem na cooperação comercial e operacional na área de telecomunicações, bem como na regulamentação e padronização de parâmetros das diversas tecnologias de comunicação em operação no continente Europeu.

A recomendação REC 70-03 especifica a largura de banda, a faixa de frequência, os níveis de potência, o espaçamento de cada canal e a duração do ciclo de transmissão para sistemas de identificação por radiofrequência de curto alcance. A REC 70-03 aborda 13 aplicações de diferentes dispositivos de curto alcance nas várias faixas de frequência, conforme descrito na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Tipos de aplicações descritas na REC 70-03	
Item	Aplicação
1	Dispositivos de curto alcance não específicos
2	Dispositivos para detectar vítimas de avalanche
3	Conexões de redes locais, RLANs and HIPERLANs
4	Identificação automática de veículos para estradas de ferro (AVI)
5	Controle de tráfego e veículos em rodovias (RTTT)
6	Equipamento para detectar movimento
7	Alarmes
8	Modelo rádio-controlado
9	Aplicações por acoplamento indutivo
10	Microfones sem fio
11	RFID
12	Aplicações médicas implantáveis de baixa potência.
13	Aplicações de Áudio sem fio

4.4.1 Dispositivos de curto alcance não específicos.

A Tabela 4.4 apresenta as faixas de frequência e a potência permitida para a transmissão em sistemas de curto alcance, independentemente de ser um sistema RFID. Os dados foram retiradas dos padrões recomendados pelo CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations* [6][15][16][17].

4.4.2 Dispositivos para aplicações em transportes ferroviários e rodoviários

Para aplicação em transporte ferroviário e rodoviário, são definidas potência de transmissão, faixa de frequência e outros parâmetros que também podem ser empregados na utilização de transponders de RFID. A Tabela 4.5 mostra os valores de frequência e potência, bem como uma breve descrição sobre cada aplicação na respectiva faixa de frequência [18][19][20][21].

Tabela 4.4 Dispositivos de curto alcance não específicos.		
Faixa de Frequência	Potência	Observação
6785–6795 kHz	42 dBμA/m a 10 m	
13,553–13,567 MHz	42 dBμA/m a 10 m	
26,957–27,283 MHz	42 dBμA/m	(10 mW ERP)
40,660–40,700 MHz	10 mW ERP	
138,2–138,45 MHz	10 mW ERP	Disponível em apenas alguns países
433,050–434,790 MHz	10 mW ERP	<10% duty cycle
433,050–434,790 MHz	1 mW ERP	Up to 100% duty cycle
868,000–868,600 MHz	25 mW ERP	<1% duty cycle
868,700–869,200 MHz	25 mW ERP	<0,1% duty cycle
869,300–869,400 MHz	10 mW ERP	
869,400–860,650 MHz	500 mW ERP	<10% duty cycle
869,700–870,000 MHz	5 mW ERP	
2400–2483,5 MHz	10 mW EIRP	
5725–5875 MHz	25 mW EIRP	
24,00–24,25 GHz	100 mW	
61,0–61,5 GHz	100 mW EIRP	
122–123 GHz	100 mW EIRP	
244–246 GHz	10 mW EIRP	
ERP – <i>Effective Radiated Power</i> EIRP – <i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>		

Tabela 4.5 Aplicações ferroviárias e rodoviárias		
Linhas ferroviárias		
Faixa de frequência	Potência	Descrição
4,515 kHz	dBμA/m a 10m	Euroloop (spectrum mask available)
27,095 MHz	42 dBμA/m	Eurobalise (5 dBμA/m @ ±200 kHz)
2,446–2,454 MHz	500mW EIRP	Transponder applications (AVI)
Controle de tráfego e identificação de veículos		
Faixa de frequência	Potência	Descrição
5,795–5,815MHz	8W EIRP	Sistemas de pedágio
63–64 GHz		Comunicação entre veículos
76–77 GHz	55 dBm	Sistemas de radar

4.4.3 Dispositivos de acoplamento indutivo

Os itens 9 e 11 da Tabela-4.3 tratam dos parâmetros de operação para dispositivos de acoplamento indutivo incluindo os sistemas RFID e os dispositivos de segurança utilizados em lojas de departamentos. Como exemplo, tem-se o mecanismo de segurança utilizado pela loja C&A, que possui antenas nas portas da loja e, em cada produto, é fixado um tag do tipo 1-bit apenas para garantir que ninguém saia da loja com o produto sem antes passar pelo caixa. A Tabela 4.6 traz alguns parâmetros e valores definidos na REC 70-03 tais como potência de transmissão, faixa de frequência utilizada para esta aplicação bem como as respectivas características [17].

Tabela 4.6 Aplicações por acoplamento indutivo e utilização de RFID		
Acoplamento indutivo de modo geral		
Faixa de frequência	Potência	Descrição
9,000–59,750 kHz	–	72 dB μ A/m at 30 kHz, descending by –3dB/Ok
60,250–70,000 kHz		
119–135 kHz		
59,750–60,250 kHz	42 dB μ A/m a 10m	
70–119 kHz		
6765–6795 kHz 42	dB μ A/m a 10m	
7400–8800 kHz	9 dB μ A/m	EAS systems
13,553–13,567MHz	42 dB μ A/m a 10m	(9 dB μ A/m@ \pm 150 kHz)
26,957–27,283MHz	42 dB μ A/m a 10m	(9 dB μ A/m@ \pm 150 kHz)
Aplicação específica para RFID		
Faixa de frequência	Potência	Descrição
2446–2454MHz	500 mW EIRP	100% duty cycle
	4W EIRP	<15% duty cycle; only within buildings

4.5 Regulamentação e padronização no Brasil

No Brasil não existe regulamentação específica para RFID. Os sistemas de identificação por radiofrequência estão categorizados na regulamentação sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita, o qual está no anexo da Resolução ANATEL N° 365, de 10 de maio de 2004. Este regulamento tem por objetivo caracterizar os equipamentos de radiação restrita e estabelecer as condições de uso da radiofrequência para que os dispositivos

possam ser utilizados com dispensa da licença de funcionamento e a liberação da necessidade de outorga de autorização de uso de radiofrequência.

Os dispositivos de radiofrequência estão classificados conforme a Tabela 4.7, segundo a Resolução ANATEL N° 365/2004.

Tabela 4.7 Tipos de aplicações descritas no anexo da resolução ANATEL N° 365		
Item	Aplicação	Descrição
1	Dispositivo de auxílio auditivo	Prover auxílio auditivo a pessoa ou grupo de pessoas com deficiência.
2	Dispositivo de tele-medição biomédica	Transmissão de medidas e parâmetros biomédicos humanos ou animais para um receptor, dentro de uma área restrita.
3	Dispositivo de operação periódica	Opera de forma descontínua em relação ao período de transmissão.
4	Emissor-sensor de variação de campo eletromagnético	Dispositivo que monitora mudanças no campo eletromagnético em sua vizinhança Ex. Sensor de presença.
5	Equipamento bloqueador de sinais de radiocomunicações (BSR)	Restringe o emprego de radiofrequências ou faixas de radiofrequências específicas.
6	Equipamento de localização de cabo	Serve para localizar cabos, linhas, dutos e outras estruturas similares enterradas.
7	Equipamento de radiocomunicação de radiação restrita	Dispositivo que utiliza radiofrequência para aplicações diversas, produzindo campo eletromagnético com intensidade dentro dos limites estabelecidos.
8	Equipamento de radiocomunicação de uso geral	Unidade portátil com capacidade de transmissão bidirecional para comunicação de voz.
9	Microfone sem fio	Microfone integrado a um transmissor de rádio sem a necessidade de fio.
10	Sistema de acesso sem fio em banda larga para redes locais	Dispositivo utilizado em aplicações para redes locais sem fio.
11	Sistema de proteção de perímetro	Emissor / sensor de variação de campo eletromagnético, que faz uso de radiofrequência para detectar movimentos.
12	Sistema de ramal sem fio de CPCT	Central Privada de Comutação Telefônica sem fio, conectada a um terminal fixo.
13	Sistema de sonorização ambiental	Transmitir o sinal sonoro para os alto-falantes sem uso de fio.
14	Sistema de telefone sem cordão	Telefone sem fio consistindo de dois transceptores sendo um conectado diretamente a RTPC (rede de telefonia pública comutada).
15	Telecomando	Transmissão de sinais de rádio para efetuar comandos de equipamentos a distância.
16	Telemetria	Leitura de instrumento de medida a distância.

As estações de radiocomunicação correspondentes a equipamentos de radiação restrita operam em caráter secundário, isto é, não têm direito à proteção contra interferências prejudiciais provenientes de qualquer outra estação de radiocomunicação nem podem causar interferência em qualquer sistema operando em caráter primário. Portanto, os equipamentos de radiação restrita que vierem a causar interferência prejudicial em qualquer sistema que esteja operando em caráter primário devem cessar seu funcionamento imediatamente até a remoção da causa da interferência. Os equipamentos de radiação restrita só poderão operar após a certificação efetuada ou aceita pela ANATEL dos equipamentos que estiverem de acordo com as normas vigentes e os padrões aceitos internacionalmente.

Nas faixas de frequências apresentadas na Tabela 4.8 não são admitidas a utilização de equipamentos de radiação restrita. Nessas frequências, admitem-se somente emissões espúrias provenientes dos equipamentos que estejam operando em outra faixa de frequência.

A regulamentação européia define os parâmetros e faixa de frequência para algumas das aplicações ISM. A regulamentação brasileira não define os parâmetros, apenas prevê que determinada faixa pertence a aplicações que operam com radiação restrita.

Tabela 4.8 Faixas de frequências com restrições de uso			
MHz	MHz	MHz	GHz
0,090-0,110	13,36-13,41	399,9-410	5,35-5,46
0,495-0,505	16,42-16,423	608-614	6,65-6,6752
2,1735-2,1905	16,69475-16,69525	952-1215	8,025-8,5
4,125-4,128	16,80425-16,80475	1300-1427	9,0-9,2
4,17725-4,17775	21,87-21,924	1435-1646,5	9,3-9,5
4,20725-4,20775	23,2-23,35	1660-1710	10,6-11,7
6,215-6,218	25,5-25,67	1718,8-1722,2	12,2-12,7
6,26775-6,26825	37,5-38,25	2200-2300	13,25-13,4
6,31175-6,31225	73-74,6	2483,5-2500	14,47-14,5
8,291-8,294	74,8-75,2	2655-2900	15,35-16,2
8,362-8,366	108-138	3260-3267	20,2-21,26
8,37625-8,38675	149,9-150,05	3332-3339	22,01-23,12
8,41425-8,41475	156,524-156,525	3345,8-3352,5	23,6-24,0
12,29-12,293	156,7-156,9	4200-4400	31,2-31,8
12,51975-12,52025	242,95-243	4800-5150	36,43-36,5
12,57675-12,57725	322-335,4		Acima de 38,6

5. Cartões inteligentes (*Smart Cards*)

5.1 Introdução

A tecnologia *smart card* consiste em um cartão de plástico com um *chip* que contém uma memória ROM e, em alguns modelos, possui, além da memória, um microprocessador. Na memória ROM, encontra-se o sistema operacional próprio de cada fabricante. A capacidade dos cartões varia de alguns bytes até alguns kilobytes, dependendo do chip, do fabricante e do tipo de aplicação. Assemelha-se em forma e tamanho a um cartão de crédito convencional de plástico com tarja magnética. Além de ser usado em cartões bancários e de identificação pessoal, é encontrado também nos celulares GSM. Os *smart cards* não utilizam fonte de alimentação própria, pois a energia necessária para o seu funcionamento, bem como o relógio de sincronismo para a transmissão de dados, é proveniente do dispositivo de leitura.

Os *smart cards* oferecem diversas vantagens se comparados aos cartões de tarja magnética. Por exemplo, a capacidade de armazenamento de um smart card é maior que a de um cartão de tarja magnética. Microchips com mais de 256 kB de memória estão atualmente disponíveis. Também é possível construir uma variedade de mecanismos de segurança, conforme as exigências específicas de determinada aplicação.

O *smart card* foi inventado nos anos de 1970 na França, a partir de onde se espalhou para a Europa. Aos poucos, essa tecnologia está sendo utilizada no mundo inteiro. No Brasil, as aplicações com smart card começaram em meados de 1995 e, atualmente, existem vários projetos em operação.

5.2 Classificação dos smart cards

A Figura 5.1 apresenta a classificação dos *smart cards* de acordo com o tipo de *chip* e método de transmissão, ou seja, classifica-os conforme o tipo de arquitetura e o tipo de interface [13].

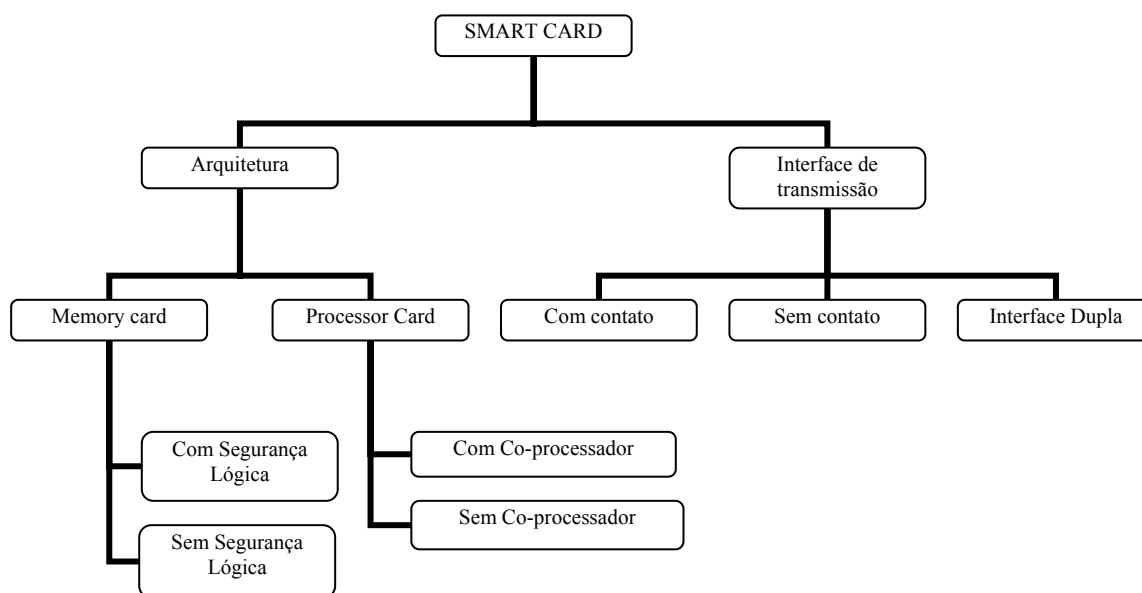


Figura 5.1 Classificação dos *smart cards*.

A arquitetura de um *smart card* pode ser dos tipos cartão de memória e cartão com microprocessador. O primeiro tipo consiste em cartões de armazenagem de informações e, dependendo da tecnologia empregada, podem ser descartáveis ou reutilizáveis. Os cartões de memória possuem as seguintes características: nível de segurança baixo; utilizados para uma única aplicação; utilizados para aplicações mais simples, por exemplo, telefonia; e baixo custo de produção e operação.

O segundo tipo de cartão é o "verdadeiro" *smart card*, pois contém uma CPU, além da área de memória. Os cartões microprocessados possuem as seguintes características: nível de segurança maior que o cartão de memória; podem ser com contato, sem contato, ou combinados; comporta mais de uma aplicação; e possuem um custo relativamente maior que o cartão contendo apenas memória.

Nos cartões de contato, Figura 5.2(a), o acesso aos dados e aplicações do *smart card* ocorre através de contato físico com o dispositivo de leitura. Exige que o cartão seja inserido no dispositivo. Atualmente, seu uso está direcionado a cartões de fidelidade e cartões de crédito.

O acesso aos dados e aplicações nos cartões sem contato (*contactless*) acontece sem contato físico entre o chip e o dispositivo de leitura através de radiofrequência, Figura 5.2(b). São utilizados para aplicações cujas transações devem ser rápidas, como controle de acesso, transporte público e pedágios.

Os cartões combinados e cartões híbridos combinam os dois tipos de interface, visando à integração de aplicações de contato e sem contato em um mesmo cartão, Figura 5.2(c). Diferem pelo fato de os cartões combinados possuírem uma área de memória em comum, enquanto os cartões híbridos simplesmente têm o mesmo *chip*.

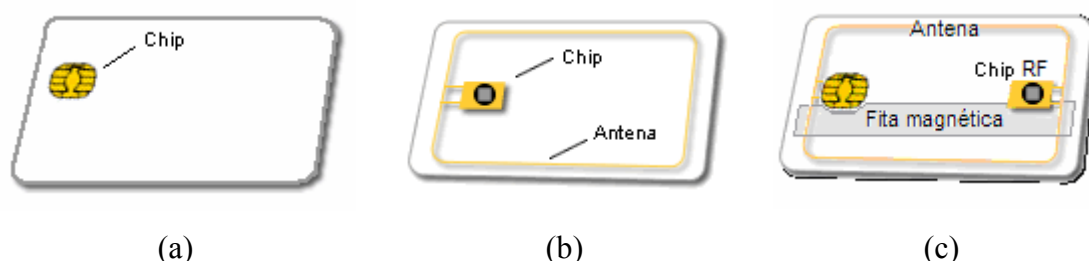


Figura 5.2 Tipos de interface dos *smart cards*. (a) contato. (b) sem contato. (c) híbrido.

5.3 Padronização ISO para *smart cards*

O tamanho do cartão é determinado pelo padrão internacional ISO 7816. Este padrão define também as características físicas do plástico, incluindo faixa de temperatura, flexibilidade do cartão, posição dos contatos elétricos e como o *microchip* se comunica com o mundo exterior. As principais normas ISO relativas a padronização dos *smart cards* são listadas a seguir.

- ISO 7810: disposição de componentes e dimensões do cartão com contato.
- ISO 7811: partes que o cartão de identificação com contato deve conter.
- ISO 7816-1: tamanho do cartão com contato.
- ISO 7816-2: dimensão e local dos contatos no cartão.
- ISO 7816-3: protocolo de sinais e transmissão do cartão com contato.
- ISO 7816-4: formato dos comandos de acesso ao cartão com contato.
- ISO 10536: regulamenta cartões com acoplamento indutivo para distâncias menores que 1 cm.
- ISO 14443: regulamenta cartões com acoplamento indutivo para distâncias menores que 10 cm.
- ISO 15693: regulamenta cartões com acoplamento indutivo para distâncias menores que 1 m.

A Figura 5.3 mostra a distribuição da família de smart card de acordo com o tipo de interface e faixa de frequência.

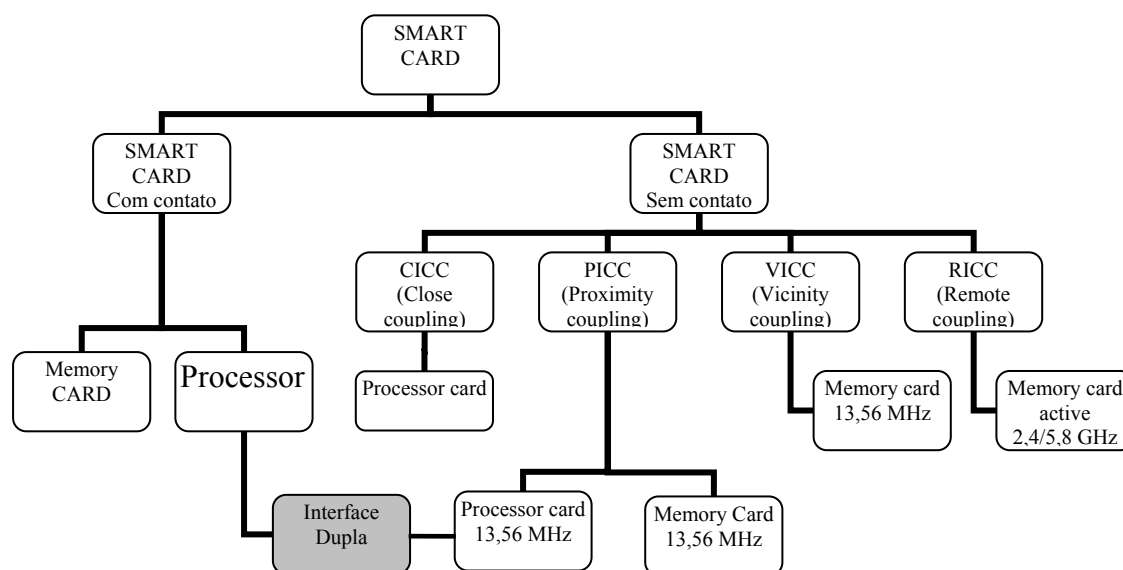


Figura 5.3 Divisão da família dos *smart cards* [13].

Nas seções seguintes serão descritas algumas especificações e padrões considerados pela maioria das indústrias do setor. Mesmo com sua grande importância, os *smart cards* são apenas uma pequena parte do complexo sistema que envolve e justifica o seu uso. Nos capítulos anteriores, foi visto que um sistema de identificação por radiofrequência necessita de uma rede de comunicação entre dispositivos de leitura e uma gerência da aplicação. O microcomputador tem por finalidade armazenar e processar as informações do banco de dados do sistema, gerenciar ações a serem tomadas após o processamento dos respectivos dados, além de uma série de outras utilidades dependendo da aplicação utilizada, ou seja, como descrito anteriormente, é o transponder que armazena a informação ou os dados a serem utilizados pela aplicação em questão.

5.4 *Smart card* de contato metálico

A Figura 5.4 mostra as dimensões de um *smart card* de contato metálico conforme a padronização ISO 7816. As características de operação do *chip* são: VCC, a alimentação fornecida pelo dispositivo de leitura, que varia entre + 3 V e + 5 V; GND é o ponto de referência ou retorno (terra); RST é o pino destinado a efetuar o *reset* (limpar a memória) no *smart card*; CLK é destinado ao sinal de sincronismo (3 MHz a 5 MHz) que é fornecido pelo dispositivo de leitura; Vpp é o pino destinado à escrita na memória EEPROM (*electronic erasable programmable memory*) do *smart card*; e I/O é a interface serial de entrada e saída

responsável pela comunicação de dados do transponder para o dispositivo de leitura e vice versa. Nesse mesmo cartão, conforme visto na Figura 5.4, além do contato metálico, ainda há informação armazenada na fita magnética, entretanto, os dados gravados nessa fita não podem ser modificados, logo, estão disponíveis somente para leitura. Segundo a ISO 7816, o *chip* tem as seguintes características:

- 22 mm² de área.
- Microprocessador de 8 bits.
- Memória ROM (*Read Only Memory*).
- Memória de RAM (*Random Access Memory*).
- Memória de armazenamento não-volátil (Ex. EEPROM).
- Sistema operacional para rodar e processar os dados de entrada e saída (interno).
- Programas e aplicações (externo).
- Base de dados (externo).

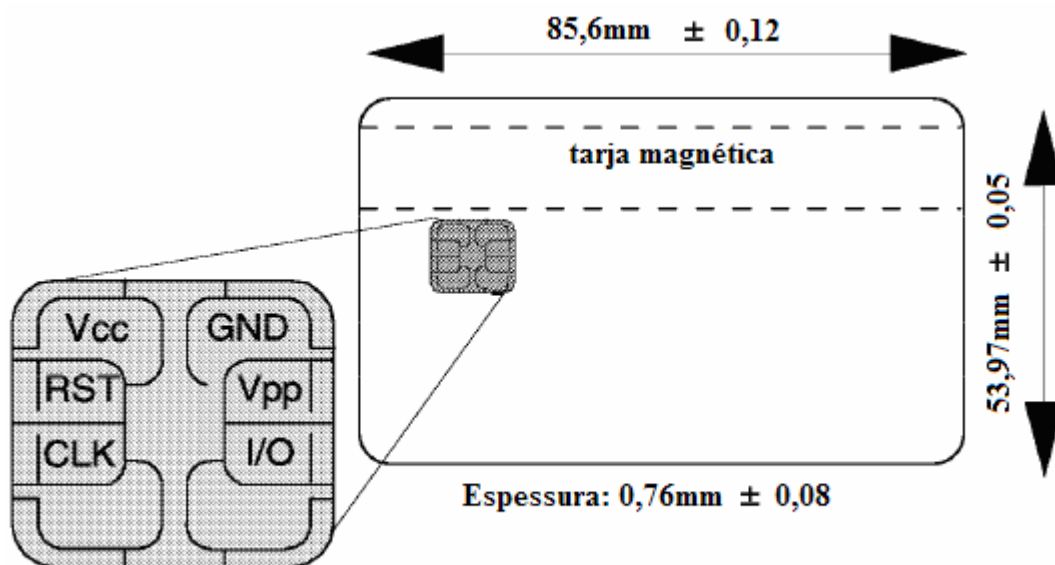


Figura 5.4 Características físicas do *smart card* por contato metálico[6].

5.4.1 Cartão com memória

A Figura 5.5 mostra o diagrama em blocos de uma arquitetura típica para cartões de contato metálico com segurança lógica e memória. Os dados necessários para a aplicação estão armazenados na memória que geralmente é do tipo EEPROM. O acesso à memória é controlado

por uma lógica de segurança, onde o caso mais simples consiste apenas na proteção para gravar ou apagar os dados da memória. Há casos em que a lógica de segurança desempenha papel de criptografia, a fim de garantir mais segurança na transmissão dos dados, tanto para leitura quanto para escrita no respectivo bloco de memória do transponder.

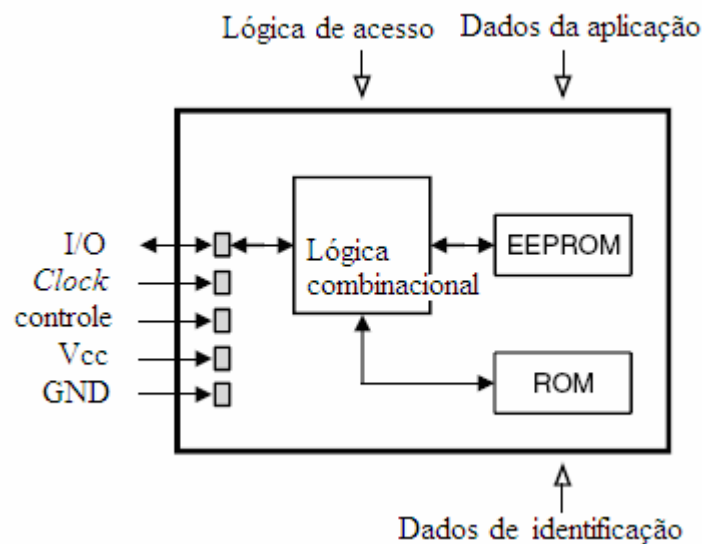


Figura 5.5 Diagrama de blocos para uma arquitetura típica de cartões com memória por contato metálico [13].

5.4.2 Cartões microprocessados

Este tipo de cartão é composto por um microprocessador, uma memória RAM, uma memória ROM e a memória EEPROM. O microprocessador é responsável por gerenciar os demais periféricos por meio de funções a serem executadas de acordo com as entradas que forem fornecidas ao transponder pelo dispositivo de leitura. A memória ROM é responsável por armazenar o programa que comanda a operação do transponder. A memória RAM, de uso interno do transponder, é responsável por armazenar resultados e endereços para uso do processador durante o funcionamento do dispositivo. A memória EEPROM serve para armazenar os dados necessários para a aplicação. Nela é possível ler ou escrever as respectivas informações de acordo com a necessidade e sua capacidade de armazenamento.

Assim como o cartão com memória, o cartão microprocessado possui a mesma quantidade de pinos na interface. A única diferença está na lógica de entrada que, no cartão de memória, deve receber um sinal de controle e, no cartão microprocessado, a lógica de segurança é toda realizada pelo microprocessador do transponder. A Figura 5.6 mostra o

diagrama de blocos de uma arquitetura típica de um cartão de contato metálico que utiliza microprocessador e memória.

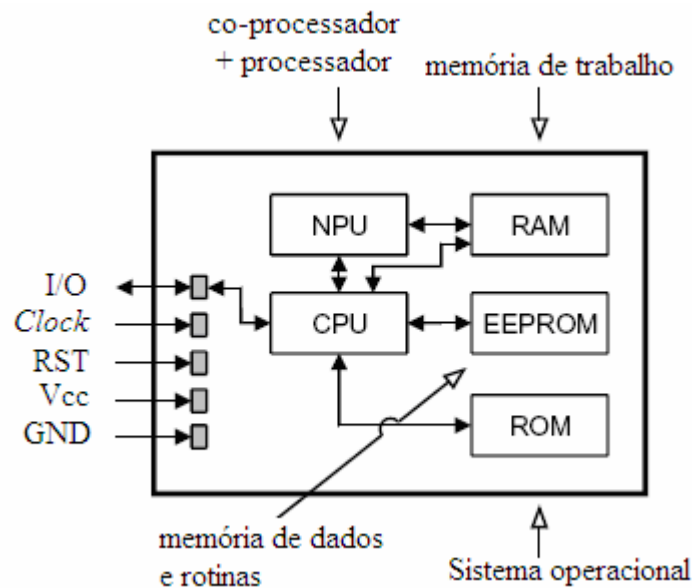


Figura 5.6 Diagrama de blocos para uma arquitetura típica de cartões com microprocessador por contato metálico [13].

5.5 Smart card sem contato

Atualmente existem três tipos de padrões já definidos para o uso dos *smart cards*: com contato, sem contato e híbrido. Porém, o padrão para acoplamento remoto (longas distâncias) por meio de dispositivos ativos ainda não foi definido [6]. A Figura 5.7 mostra uma arquitetura típica para smart card sem contato que em geral utiliza uma memória EEPROM, uma memória ROM e um transmissor de radiofrequência. A diferença entre o *smart card* com contato e o sem contato é que o cartão sem contato possui um transmissor de RF acoplado às portas de entrada e saída do cartão com contato metálico (ver Figura 5.7 e Figura 5.8), ou seja, elimina a necessidade contato físico entre o transponder e o dispositivo de leitura.

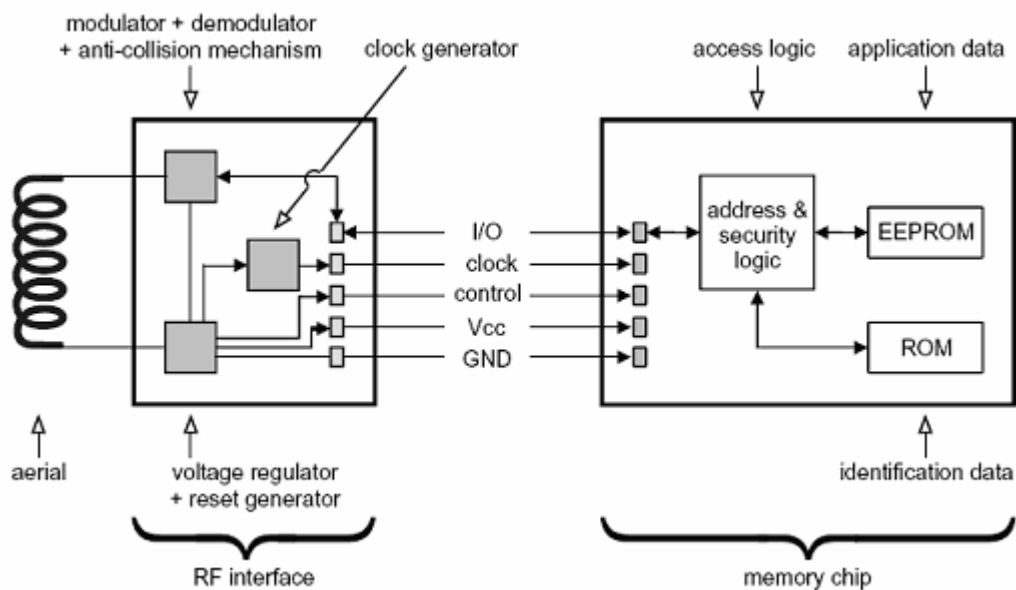


Figura 5.7 Diagrama de blocos para uma arquitetura típica de smart card sem contato utilizando lógica de segurança, memória EEPROM e a ROM [13].

A Figura 5.8, mostra a arquitetura típica para um transponder sem contato que utiliza microprocessador. A diferença entre este dispositivo e o da Figura 5.7 está no transmissor de rádio que é acoplado na interface de entrada e saída de dados do transponder.

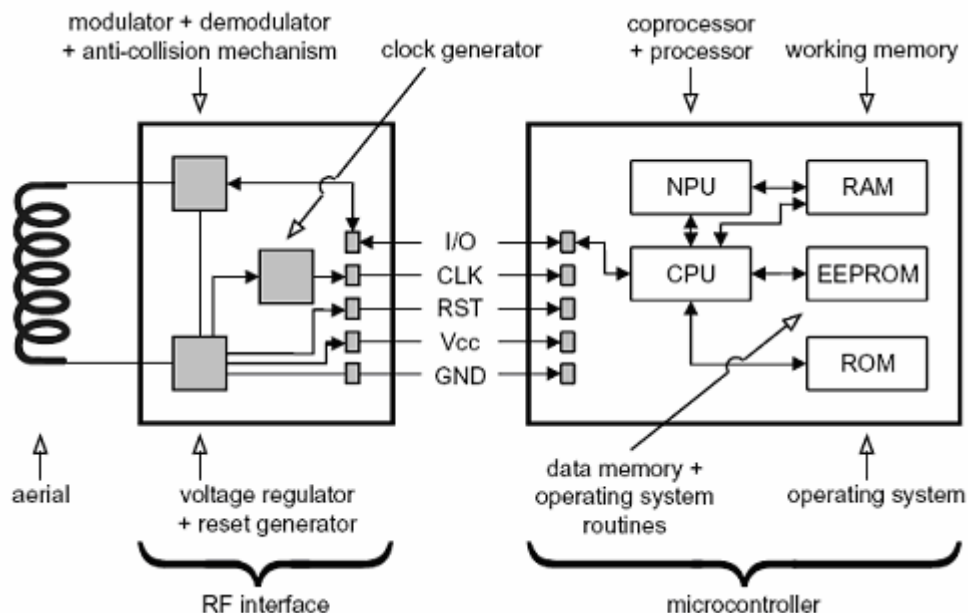


Figura 5.8 Diagrama de blocos para arquitetura de smart cards sem contato utilizando microprocessador [13].

5.5.1 Smart Card por acoplamento indutivo de contato (CICC)

Os cartões do tipo CICC (*close inductive coupling card*) são cartões que necessitam ser inseridos ou encostados próximos à superfície da antena no dispositivo de leitura. Esse tipo de cartão é muito utilizado, por exemplo, para identificação de pessoas que, ao saírem do estabelecimento, não necessitam levar consigo o cartão. Exemplo: Visitante do edifício comercial Varig, Brasília DF. O padrão ISO 10536 descreve a estrutura e os parâmetros de operação do cartão tipo CICC.

As especificações relacionadas às dimensões dos cartões close coupling são as mesmas dos smart cards de contato. Os elementos acopladores (coupling elements) podem ser indutivos ou capacitivos e são arranjados de modo que o cartão possa ser operado em um leitor de inserção em qualquer uma das quatro posições evidenciadas na Figura 5.9.

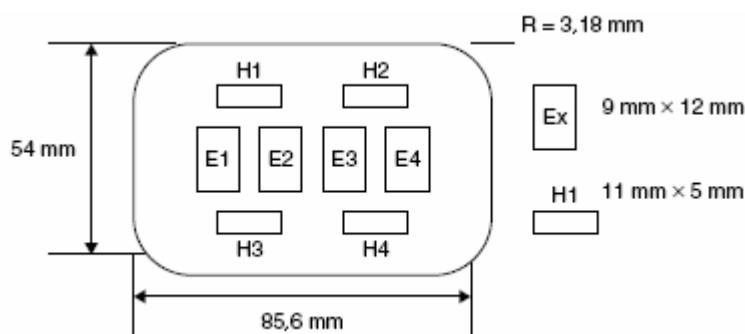


Figura 5.9 Posição de elementos acopladores capacitivos (E1-E4) e indutivos (H1-H4) em um CCIC [13].

Os quatro elementos indutivos H1-H4 são responsáveis pela alimentação do cartão. O valor da frequência do campo indutivo alternado deve ser 4,9152 MHz [13]. Os elementos H1 e H2 são bobinas que possuem sentidos de enrolamento opostos, então, se potência é fornecida aos elementos, deve haver uma diferença de fase de 180° entre os campos magnéticos associados. O mesmo se aplica aos elementos H3 e H4.

Os dispositivos de leitura devem ser projetados de forma que 150 mW de potência sejam fornecidas ao cartão por qualquer um dos campos magnéticos gerados por H1-H4. Todavia, o cartão não pode liberar mais de 200 mW via os quatro campos juntos.

Tanto elementos indutivos quanto capacitivos podem ser usados para transmissão de dados entre cartão e leitor. Contudo, não é possível mudar o tipo de acoplamento (indutivo ou capacitivo) durante o período de comunicação.

No caso indutivo, modulação de carga com uma subportadora é utilizada para a transmissão de dados através dos campos H1-H4. A subportadora tem frequência de 307,2 kHz e é modulada utilizando-se π PSK. O dispositivo de leitura é projetado para que uma carga de 10% da carga base, em um ou mais dos quatro campos (E1 a E4), Figura 5.9, seja reconhecida como um sinal de modulação de carga. No caso capacitivo, os campos acopladores E1, E2 ou E3, E4 são usados em pares. Em ambos os casos, os campos emparelhados são controlados por um sinal diferencial. A diferença de tensão deve ser medida de maneira que o nível de tensão de pelo menos 0,33 V esteja presente na superfície de acoplamento do dispositivo de leitura. A transmissão de dados ocorre utilizando-se codificação NRZ em banda base (sem subportadora). A taxa de transmissão é 9.600 bps, mas uma taxa maior pode ser usada durante a operação [13].

5.5.2 Smart Card por acoplamento indutivo de proximidade (PICC)

O padrão ISO 14443 descreve os parâmetros de operação para os cartões PICC (*proximity inductive coupling card*). Esses cartões possuem um alcance que varia entre 7 cm e 15 cm. Tais cartões são muito utilizados em etiquetas eletrônicas de identificação.

A potência dos cartões PICC é fornecida pelo campo magnético alternado do dispositivo de leitura. Em geral, o campo tem uma frequência de 13,56 MHz ou varia entre 125 kHz a 135 kHz. Esse cartão possui uma antena em forma de bobina tipicamente com 3 a 6 voltas de fio e com uma grande área. O campo magnético gerado pelo dispositivo de leitura deve ser maior que 1,5 A/m e menor que 7,5 A/m [13].

5.5.3 Smart Card por acoplamento indutivo de vizinhança (VICC)

O padrão ISO 15693 trata dos cartões VICC (*Vicinity Inductive Coupling Card*), que são cartões que trabalham de forma semelhante aos cartões PICC, porém com um alcance maior que 1 m. Esse tipo de transponder (*tag*) é utilizado para aplicações de controle de estoque ou controle de acesso múltiplo para veículos e pessoas. A distância de aproximadamente 1 m significa que o cartão não precisa estar necessariamente na mão do usuário, o cartão pode permanecer no bolso, na bolsa ou na carteira, ou ainda, no caso de mercadorias monitoradas por meio de um dispositivo de leitura de múltiplos cartões, a leitura pode ser efetuada de um lote inteiro de produtos onde cada produto possui um transponder contendo, por exemplo, o respectivo número série [13].

5.5.4 Smart card por acoplamento indutivo para longas distâncias (RICC)

Os cartões RICC (*remote inductive coupling card*) ainda não estão padronizados, pois as características de operação e fabricação ainda estão em discussão pelas organizações que regulamentam o uso da tecnologia RFID e dos *smart cards* (CEPT, ISO, ETSI e foruns de discussão sobre RFID). Tais sistemas RFID já estão sendo utilizados em algumas aplicações, porém variam de fabricante para fabricante, ou seja, estão funcionando em caráter proprietário, cada fabricante sendo responsável pelo protocolo, tamanho, faixa de frequência e alcance para a sua tecnologia [13].

5.6 Smart cards híbridos

Os cartões híbridos utilizam duas ou mais interfaces para a transmissão ou recepção dos dados contidos no transponder. As interfaces que são utilizadas com mais frequência são a transmissão por contato metálico em conjunto com tarja magnética ou por contato metálico em conjunto com a transmissão de radiofrequência no caso de sistemas RFID. Existe também o smart card com três tipos de interface de entrada e saída, ou seja, utilizam a tarja magnética, o contato metálico e a transmissão por radiofrequência. Lembrando que no caso da tarja magnética, uma vez que os dados são gravados no ato da confecção do cartão estes não são modificados pelo usuário final.

A Figura 5.10 mostra o diagrama de blocos para um sistema híbrido que utiliza a transmissão de radiofrequência e contato metálico como interfaces de entrada e saída. Esse tipo de cartão não é muito diferente dos cartões apresentados anteriormente, pois foi apenas acrescido um mecanismo para contato físico com o dispositivo de leitura. Porém, os cartões híbridos são muito importantes nas fases de transição de uma tecnologia para outra, visto que o custo de substituição de todos os dispositivos de leitura de uma única vez inviabilizaria o uso da nova tecnologia [13].

O cartão com tarja magnética e contato metálico está sendo utilizado no mercado brasileiro por alguns bancos e instituições financeiras. Como exemplo, tem-se o Banco do Brasil e a Credicard que estão utilizando ainda em pequena escala cartões híbridos com intuito de melhorar a segurança e aumentar os serviços oferecidos [14].

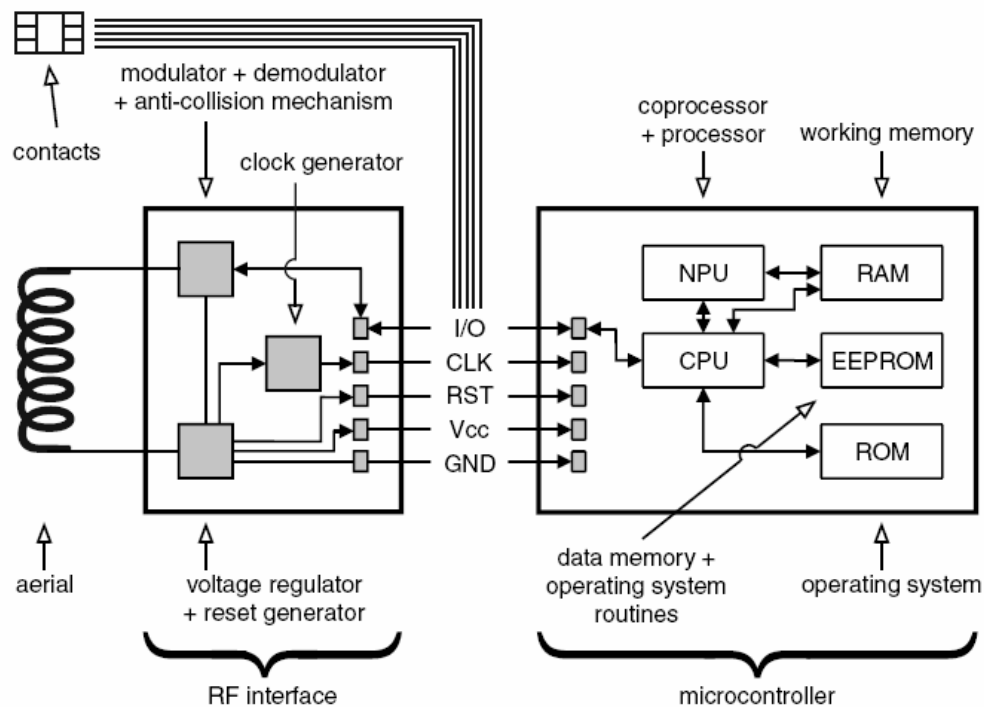


Figura 5.10 Smart card híbrido com transmissão de RF e contato metálico [13].

5.6 Vantagens e aplicações do smart card:

Entre as vantagens do smart card, pode-se citar:

- pode conter várias aplicações diferentes;
- as transações são feitas de forma off-line;
- o próprio cartão autoriza a transação, uma vez que todas as informações necessárias estão contidas nele;
- segurança alta com o uso de criptografia na autenticação;
- dificuldade na duplicação de um cartão (evita fraudes);
- vida útil longa (10 anos);
- maior robustez em relação aos agentes externos.

Como exemplos de aplicação, têm-se:

Dinheiro Eletrônico: o usuário carrega o cartão com crédito e depois utiliza o cartão para pagar compras, combustível, refeições, pedágios etc. Elimina o fluxo de dinheiro em espécie no ponto de venda/consumo.

Limite de Crédito: os gastos feitos com o cartão são pós-pagos. O usuário possui um limite de crédito no cartão, e pode utilizar este crédito em estabelecimentos comerciais (supermercados, postos de combustíveis, restaurantes, farmácias).

Fidelidade: o cartão acumula pontuações de acordo com sua utilização.

Transporte: os vales-transporte são inseridos no cartão para posterior utilização no transporte público.

Estacionamentos: o cartão serve para controlar o acesso, tempo e pagamento no estacionamento.

TV por Assinatura: o usuário carrega o cartão com dinheiro e depois utiliza o cartão para pagar (*pay-per-view*) filmes em lançamento, shows ao vivo e jogos.

Saúde: o cartão pode armazenar todos os dados sobre a saúde do usuário (últimas consultas, doenças, plano de saúde), facilitando o gerenciamento do atendimento.

Cartão de Crédito/Débito: oferece muito mais segurança do que o cartão convencional (tarja magnética), praticamente elimina fraudes, fato pelo qual todas as bandeiras de cartão estão migrando para esta tecnologia.

6. Estudo de Caso

6.1 Introdução

Este capítulo aborda o estudo de um kit de desenvolvimento da SONMICRO ELECTRONICS para a tecnologia RFID na faixa de frequência entre 105 kHz a 150 kHz. O objetivo desse kit é possibilitar o entendimento da tecnologia de identificação por radiofrequência, ou seja, é um kit acadêmico. Com este kit é possível desenvolver algumas aplicações como, por exemplo, controle de acesso. O kit é composto por um dispositivo de leitura, dois tipos de transponders (*smart cards* EM4100 e Q5B), duas antenas de tamanhos diferentes para uso do dispositivo de leitura e um software (SMRFID) para comandar o sistema.

O sistema RFID estudado possui basicamente três componentes: transponder, dispositivo de leitura e computador, Figura 6.1. Porém é possível utilizar o sistema RFID em várias aplicações, diferenciando-se entre elas pelo software de controle. Na aplicação de controle de acesso, é o software que comanda as outras funções (por exemplo, a abertura de uma porta) após verificar a informação contida no cartão de acesso (*smart card*). Neste estudo de caso, não será abordado nenhuma aplicação específica, e sim, o estudo dos componentes desse kit bem como testes nos seus parâmetros de ajuste e a comunicação com o computador. O objetivo principal é fornecer informação suficiente sobre o funcionamento de um sistema RFID de modo geral.



Figura 6.1 Composição básica do sistema RFID.

6.2 Descrição técnica da operação do kit RFID por meio do SMRFID

O kit é composto pelo software (SMRFID), o dispositivo de leitura que compreende o *chip* RFID CY8C0104 e o módulo de controle RFID CY8C0105, duas antenas (bobinas) e os transponders Q5B e EM4100.

O SMRFID, um software de leitura e programação, possibilita a calibração de alguns parâmetros do funcionamento do sistema RFID e a programação do dispositivo de leitura e dos transponders. A Figura 6.2 mostra a tela principal do programa SMRFID, onde se encontra a janela de configuração de parâmetros, a janela de rastreamento de bytes, a janela de programação para o modo de escrita no transponder e a janela de comandos.

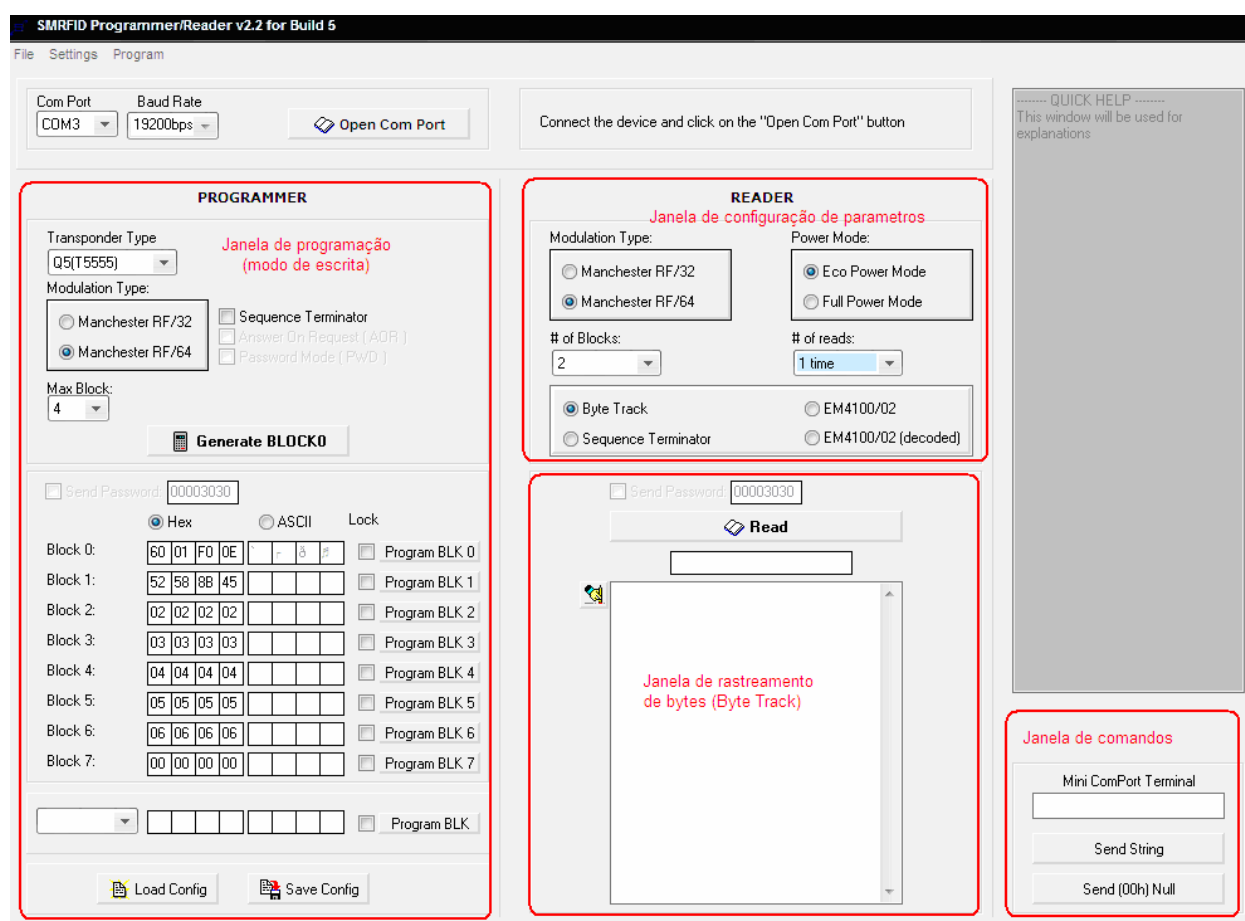


Figura-6.2 Tela principal do programa SMRFID da SONMICRO ELECTRONICS.

O dispositivo de leitura possui dois modos de operação: leitura e escrita. O modo de leitura efetua apenas a leitura dos dados armazenados no transponder; e o modo de escrita é utilizado para escrever dados no transponder e também permite a leitura dos dados do

transponder. Os modos são selecionados por meio de um jumper na placa do dispositivo de leitura conforme a Figura 6.3.

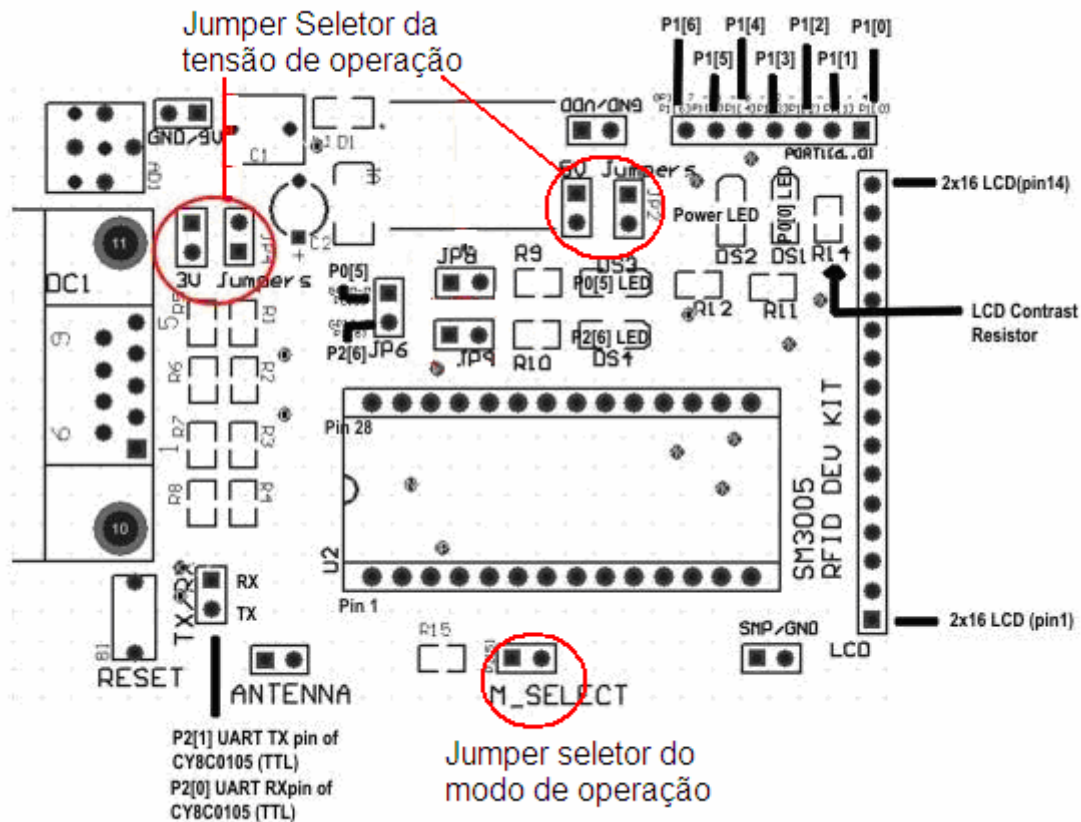


Figura 6.3 Layout da placa do dispositivo de leitura

A Tabela 6.1 mostra os valores pré-programados na memória do transponder bem como a função de cada bloco. O bloco 0 é muito importante para o funcionamento do sistema, pois nele são armazenados os parâmetros de operação do transponder, tais como o tipo de modulação, a quantidade máxima de blocos a serem fornecidos para o dispositivo de leitura, e a habilitação para efetuar ou não a leitura da sequência de término.

O dispositivo de leitura está programado para rastrear o código 52 58 8B 45 no bloco 1 da memória do transponder. Se o transponder tiver em sua memória esse código, que funciona como uma identificação de que o transponder deve ser lido pelo sistema, o dispositivo de leitura recebe o restante dos dados armazenados nos outros blocos de memória.

Tabela 6.1 Valores programados na memória do transponder

Bloco	Valores pré-definidos	Função
0	60 01 F0 0E	Armazena os parâmetros de operação do transponder.
1	52 58 8B 45	Armazena a sequência de início (busca).
2	02 02 02 02	Armazena bytes definidos pelo usuário.
3	03 03 03 03	Armazena bytes definidos pelo usuário.
4	04 04 04 04	Armazena bytes definidos pelo usuário.
5	05 05 05 05	Armazena bytes definidos pelo usuário.
6	06 06 06 06	Armazena bytes definidos pelo usuário.
7	00 00 00 00	Armazena a senha de proteção contra a escrita na memória do transponder.

6.2.1 Modos de operação do dispositivo de leitura

O modo de leitura está ativo quando o jumper é retirado do circuito da Figura 6.3. O dispositivo de leitura RFID lê as informações contidas no transponder e as envia para o computador de acordo com a última configuração determinada na janela de parâmetros, Figura 6.4.

The image shows a software window titled "READER" with a light beige background. It contains several configuration options:

- Modulation Type:** Two radio buttons are present. "Manchester RF/32" is unselected, and "Manchester RF/64" is selected (indicated by a black dot).
- Power Mode:** Two radio buttons are present. "Eco Power Mode" is selected, and "Full Power Mode" is unselected.
- # of Blocks:** A dropdown menu showing the value "2".
- # of reads:** A dropdown menu showing the value "3 times".
- Bottom Section:** A group box containing four radio buttons. "Byte Track" and "Sequence Terminator" are unselected. "EM4100/02" and "EM4100/02 (decoded)" are also unselected.

Figura 6.4 Parâmetros de configuração do dispositivo de leitura.

Os parâmetros pré-programados estão configurados da seguinte forma:

- Modulação: Manchester 64
- Números de blocos a serem lidos: 4
- Sequência terminal: desabilitada
- Senha de proteção contra gravação: desabilitada

Quando a sequência de término não for utilizada, o dispositivo de leitura tentará localizar os bytes cadastrados para sequência de busca. Na configuração original, os bytes 52 58 8B 45 serão procurados no bloco de memória do transponder. Essa sequência é um sinal para o dispositivo de leitura saber onde começa a sequência de informações.

O modo de escrita só funciona quando o jumper está conectado ao circuito. Nesse modo de operação, o usuário pode enviar dados para a memória do transponder, pode usar a janela de comando para enviar algum comando específico para o transponder e carregar alguma configuração para o sistema. O programa SMRFID permite configurar os seguintes parâmetros no transponder por meio da janela mostrada na Figura 6.5: tipo de modulação, tipo de transponder, quantidade de blocos a serem lidos, e gravar os dados nos blocos de memória do transponder.


PROGRAMMER

Transponder Type
Q5(T5555) ▼

Modulation Type:

☐ Manchester RF/32
☐ Sequence Terminator
☒ Manchester RF/64
☐ Answer On Request (AOR)
☐ Password Mode (PWD)

Max Block:
4 ▼

 **Generate BLOCK0**

☐ Send Password: 00003030

☒ Hex
☐ ASCII
Lock

Block 0:	60	01	F0	0E	~	-	ø	§	<input type="checkbox"/> Program BLK 0
Block 1:	52	58	8B	45					<input type="checkbox"/> Program BLK 1
Block 2:	02	02	02	02					<input type="checkbox"/> Program BLK 2
Block 3:	03	03	03	03					<input type="checkbox"/> Program BLK 3
Block 4:	04	04	04	04					<input type="checkbox"/> Program BLK 4
Block 5:	05	05	05	05					<input type="checkbox"/> Program BLK 5
Block 6:	06	06	06	06					<input type="checkbox"/> Program BLK 6
Block 7:	00	00	00	00					<input type="checkbox"/> Program BLK 7

▼

☐ Program BLK



 Load Config
 Save Config

Figura 6.5 Janela de programação do transponder

6.2.2 Modulação utilizada no sistema RFID da Sonmicro para 125 kHz

Há duas opções para o tipo de modulação: Manchester RF/32 ou Manchester RF/64. O dispositivo de leitura lê os sinais de acordo com a modulação selecionada. Ele não pode ler informação de um transponder configurado para modulação Manchester RF/64 se não for essa a modulação selecionada na janela principal do software, e vice versa.

A Codificação Manchester tem sido muito usada como o esquema de modulação para transmissão em radiofrequência de sinais digitais devido ser um método simples de codificação de dados de padrão arbitrário de bits, sem longas seqüências de 0's ou 1's, além do clock embutido na informação transmitida. É uma forma de modulação BPSK (*binary phase-shift*

keying). Essas características possibilitam a construção de dispositivos de leitura com baixo custo para recuperação de dados armazenados em transmissores imprecisos e de baixo custo.

A codificação do sinal digital no formato Manchester define os estados binários 1 e 0 como transições e não como valores estáticos. As possíveis alternativas para associação dos valores lógicos associados às transições estão mostradas nas Figuras 6.6a e Figura 6.6b. A Figura 6.7 ilustra um exemplo de uma sequência de bits codificados em Manchester.

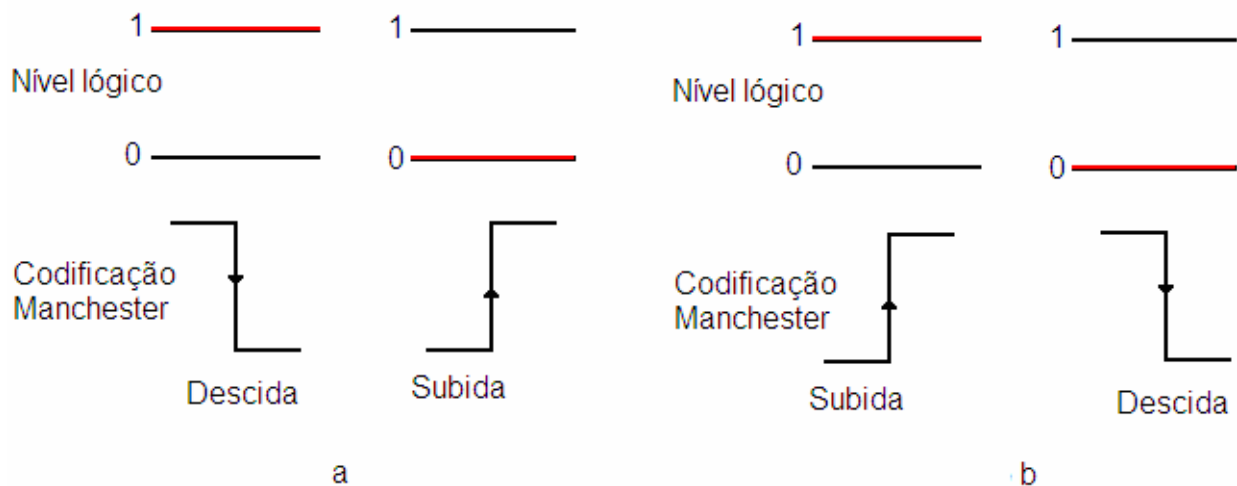


Figura 6.6 Transições entre os estados binários

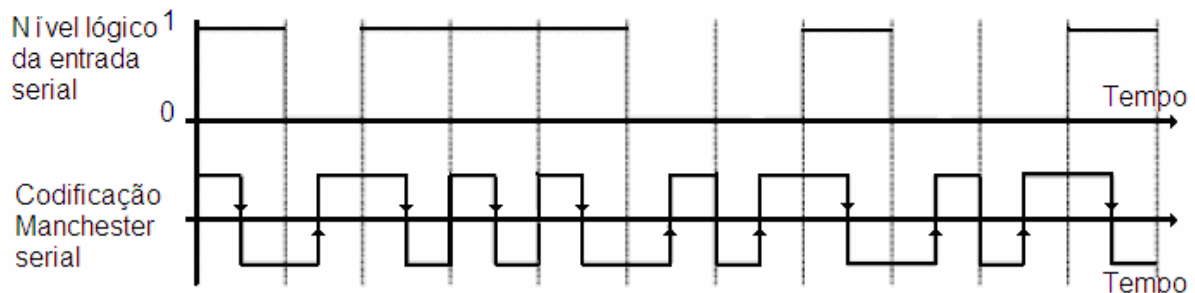


Figura 6.7 Codificação Manchester utilizando a definição da Figura 6.6a.

6.2.3 Consumo de energia do dispositivo de leitura

Existem duas opções para a operação do dispositivo no modo de leitura. O modo normal de funcionamento, que no programa é designado por *full power mode*, e modo econômico de funcionamento, que é designado por *eco power mode*. No modo normal, a antena funciona continuamente depois que o botão *read* é ativado ou o comando de leitura for enviado, podendo assim detectar um transponder imediatamente, ou seja, no momento que este se aproximar da

antena. No entanto, esse modo de operação consome muito mais energia quando comparado ao modo econômico. No modo econômico, a antena é acionada em intervalos de tempos discretos de 1 segundo. No modo econômico, o dispositivo de leitura fica em *stand by* quando a antena não estiver ativada pela presença de um tag em sua região de atuação, reduzindo o consumo de energia.

6.2.4 Modo de leitura: Quantidade de blocos a serem lidos

Esse parâmetro determina quantos blocos serão lidos e enviados pelo dispositivo de leitura ao computador, Figura 6.4. Se a sequência de término estiver sendo utilizada, o número de blocos selecionado deverá ser menor ou igual ao valor máximo de blocos cadastrados na programação do transponder, pois, caso contrário, o dispositivo de leitura não poderá ler os dados armazenados no transponder.

Por exemplo, considerando-se que o dispositivo de leitura esteja configurado para ler 3 blocos, e o transponder configurado para enviar 3 blocos e a sequência de término esteja desabilitada. Nesse caso, serão lidos os blocos 1, 2 e 3 do transponder. Supondo agora que o transponder esteja programado com um número máximo de blocos igual a 3, o que significa que ele envia os blocos 1, 2 e 3, e o número de blocos na Figura 6.4 esteja ajustado para 4. Nesse caso, o dispositivo de leitura irá ler os blocos 1, 2, 3 e 4 (o bloco 4 irá com valor nulo visto que o tag não o transmite). Porém, se o número máximo de blocos programados no transponder for igual a 3 e a sequência de término estiver habilitada, o dispositivo de leitura busca pela sequência de término e efetua a leitura a partir do bloco 1 até o número de blocos determinado na caixa de seleção da quantidade de blocos conforme a Figura 6.4, mas esse número não pode ser maior que o programado pois o dispositivo de leitura vai ficar aguardando um bloco que o transponder não irá enviar (o da sequência de término).

6.2.5 Modo de leitura: Quantidade de leituras

Esse parâmetro é configurado na janela da Figura 6.4 e determina o número total de leituras que o dispositivo de leitura realiza. Por exemplo, se o número de blocos a serem lidos é 3 e o número de leituras é ajustado para 1, o dispositivo lê 3 blocos e pára. Supondo que o número de leituras seja 2, o dispositivo realiza a leitura dos 3 blocos duas vezes e pára.

6.2.6 Rastreamento de bytes (Byte track)

Quando a sequência de término não está habilitada, não haverá espaços entre os dados que estão chegando ao dispositivo de leitura. Nesse caso, o dispositivo de leitura busca por bytes conhecidos para efetuar a leitura, por exemplo, a sequência de início. O rastreamento dos dados que estão chegando ao dispositivo de leitura é programado por meio do menu *Settings* na tela da Figura 6.2, e o parâmetro vem configurado para rastrear os bytes 52 58 8B 45, ou seja, se estes dados não estiverem armazenados no transponder, o dispositivo de leitura não irá ler nenhum dado.

6.2.7 Sequência de término

A sequência de término é uma propriedade de alguns tipos de transponders como, por exemplo, os transponders da Atmel/TEMIC. A sequência de término consiste em uma pequena sequência de dados enviados pelo transponder logo após a transmissão do último bloco. Se o transponder for programado para 3 blocos, por exemplo, o sinal da sequência de término será enviado logo após o fim da transmissão do bloco 3. A maior vantagem de utilizar a sequência de término é economizar byte(s), porém é recomendado ao usuário utilizar o reconhecimento por *byte tracking*. Quando a sequência de término está habilitada é importante manter o parâmetro “# of blocks” menor ou igual ao número máximo de blocos do transponder.

6.2.8 Seleção das opções EM4100/02 e EM4100/02 (decodificado)

Ao selecionar-se EM4100/02, o dispositivo de leitura irá procurar nove bits ‘um’, ou seja, ‘11111111’, que é o cabeçalho de transponders EM4100/02. O transponder enviará, então, todos os bits, incluindo os bits de paridade. Por outro lado, se for selecionado EM4100/02(*decoded*), ocorrerá o mesmo, porém uma vez feita a leitura e encontrado os nove bits 1, a informação será decodificada e os bits de paridade serão eliminados e a informação será enviada no formato 5 bytes.

6.2.9 AOR / Password

Essas opções são utilizadas na maioria dos transponders T55XX para ativar o uso de senhas por razões de segurança. Para ativar esses parâmetros no software SMRFID, deve-se pressionar F6 e, para desativar, F5. Quando essas opções são ativadas na configuração de um transponder, este não enviará respostas nem poderá ser programado até que uma senha válida seja enviada pelo dispositivo de leitura. Esse procedimento pode evitar o acesso não autorizado às informações do transponder e pode ser utilizado também para detectar apenas um transponder quando houver mais de um em um mesmo campo. O bloco 7 do transponder é usado para senhas, logo os dados desse bloco têm que ser conhecido pelo dispositivo de leitura caso esse parâmetro esteja ativo.

6.3 Características do transponder Q5B / T5555

O transponder Q5B, T5555 e o EM4100/02 são tipos de smart card sem contato e com padrão público. Nos transponders Q5B e T55XX é possível ler e escrever dados em sua memória, porém o EM4100/02 apenas permite a leitura. Os transponders são compostos por uma bobina (antena) que serve para a transmissão e recepção de dados em aplicações RFID, além de suprir a energia necessária ao funcionamento do circuito interno do transponder. Esse transponder possui uma memória EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) com 10 blocos com 33 bits. A Figura 6.8 mostra o diagrama de blocos para o smart card Q5B/T5555.

A transmissão do transponder Q5B para o dispositivo de leitura é feita por modulação de carga, com o amortecimento do campo RF por meio de uma resistência de carga entre os dois terminais da bobina. A faixa de frequência que o Q5B opera está entre 105 kHz a 150 kHz. O transponder também opera com modulação FSK, Manchester PSK e NRZ.

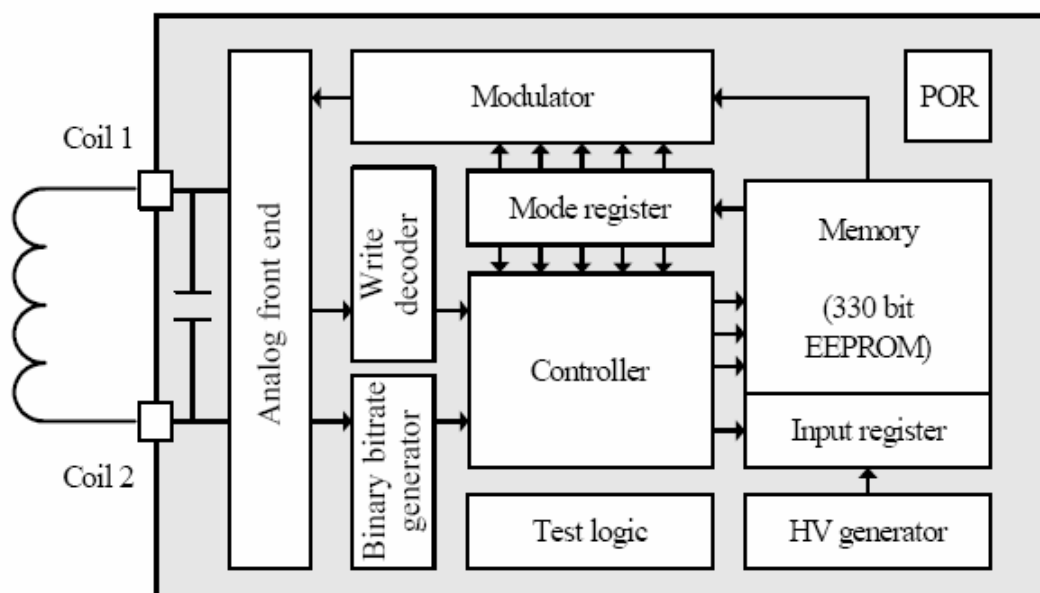


Figura 6.8 Diagrama de blocos do transponder Q5B/T55XX

O dispositivo AFE (*Analogous Front End*) na Figura 6.8 compreende os circuitos e componentes eletrônicos que retiram a energia para o funcionamento do transponder. Possui circuitos eletrônicos que asseguram a transmissão bidirecional entre o transponder e o dispositivo de leitura, ou seja, nesse bloco há um retificador para gerar uma tensão DC extraída da tensão AC induzida na bobina. Também há um circuito responsável por retirar o clock proveniente do dispositivo de leitura para uso interno e um resistor variável que é utilizado para a modulação de carga na transmissão do transponder para o dispositivo de leitura (up-link).

O circuito BRG (*Bitrate Generator*) na Figura 6.8 é responsável por gerar a taxa de bits entre a frequência de operação $f/2$ e $f/128$. Nesse caso, o transponder está programado para trabalhar com Manchester $f/64$. O componente WR (*Write Decoder*) é responsável por decodificar os intervalos de escrita, além de verificar a validade dos dados e trabalhar em conjunto com o WR trabalha o HVG (*High voltage generator*) que é usado no modo de escrita da memória. Esse circuito gera uma tensão elevada de modo suficiente ao requerido para a programação da EEPROM.

O circuito POR (*Power-On Reset*) na Figura 6.8 atrasa as funções do IDIC (*Identification Integration Circuit*) até que seja atingido um nível ideal de tensão para o correto funcionamento do transponder. O circuito de controle é responsável por carregar o modo de operação armazenado no bloco 0 da memória assim que o transponder é alimentado, também controla as funções de leitura e escrita da memória além de efetuar a comparação entre o valor da senha fornecida pelo dispositivo de leitura com a senha armazenada no bloco 7 da memória.

A memória do transponder é do tipo EEPROM que é um tipo de memória não-volátil muito utilizada em microcomputadores e microcontroladores para gravar instruções e alguns dados importantes. Ela está organizada em 10 blocos com 33 bits cada. A Figura 6.4 mostra a organização e disposição da memória com as funções desempenhadas por cada bloco de memória respectivamente. O bloco 0 da paginação 0 da memória contém os parâmetros de configuração do transponder, e este bloco não é transmitido no modo de leitura. O bloco 7 é destinado a uma senha de proteção da memória do transponder contra gravação. O bit 0 de cada bloco é destinado para bloquear de modo definitivo o bloco de memória, ou seja, uma vez que este bit esteja ativo, não é possível gravar dados no bloco por meio do campo de RF. Os blocos 1 e 2 da paginação 1 são reservados para o rastreamento de dados.

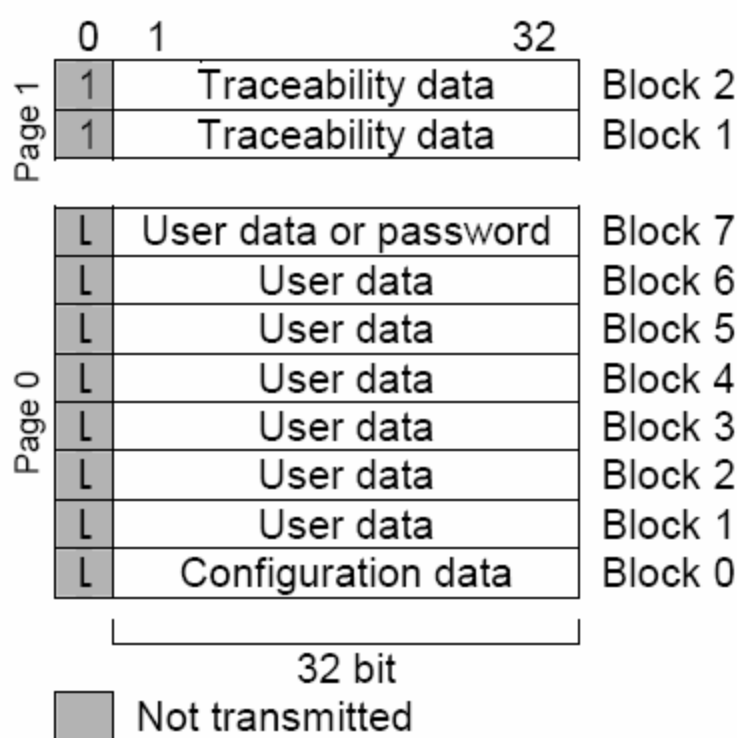


Figura 6.9 Mapa da memória do transponder tipo Q5B/T55XX

6.4 Como programar parâmetros

Para acionar a janela de parâmetros, deve-se clicar Settings > Parameters, Figura 6.2. Esses parâmetros são armazenados no bloco de configuração do chip contido no dispositivo de leitura que funcionará de acordo com a última configuração armazenada em sua memória flash.

6.4.1 Parâmetros de programação (programming parameters)

A configuração/programação de parâmetros é utilizada para alterar intervalos de tempo do campo RF no momento em que o transponder estiver sendo programado. Porém, não convém mudar esses valores, a não ser para programar outros transponders de outros fabricantes ou para otimizar o alcance de programação do respectivo tag.

The screenshot shows a software window titled "Programmable Parameters" with a blue title bar and a red close button. The window contains three distinct sections, each with a title and a "Download" button.

- Programming Parameters:** This section is highlighted with a red border. It contains three input fields: P0 (50), P1 (300), and P2 (300). To the right of these fields is the text: "Do not change these parameters unless you have difficulties with programming".
- Internal Amplifier Parameters:** This section contains two dropdown menus: Gain 1 (set to 4) and Gain 2 (set to 16). To the right is the text: "These parameters affect the reading distance. ADF also affects reading distance".
- General System Parameters:** This section contains four dropdown menus: R-ADF (125000), P-ADF (125000), WDR (Disabled), and FPAT (20). To the right of these fields is the text: "Hz Antenna Drive Frequency (Reading)", "Hz Antenna Drive Frequency (Programming)", "Watchdog Reset every selected seconds", and "Full Power Active Time during eco mode".

Figura 6.10 Parâmetros de programação (*Programming Parameters*).

6.4.2 Parâmetros amplificadores internos (*internal amplifier parameters*)

Esses parâmetros determinam o ganho de dois amplificadores localizados no módulo/chip do dispositivo de leitura. Valores diferentes de ganho afetarão a distância de leitura, ou seja, o alcance do sistema.

6.4.3 Parâmetros gerais do sistema (*general system parameters*)

Esses parâmetros determinam características gerais do sistema como, por exemplo, a frequência de operação, nos modos de leitura e escrita, os modos de operação *Full power mode* e *Eco power mode*.

O parâmetro R-ADF (*Antenna Drive Frequency*), ao ler o transponder, permite que o usuário possa selecionar um valor de frequência entre 105 kHz e 150 kHz. O dispositivo de leitura é pré-programado para um valor próximo de 125 kHz a fim de maximizar a distância de leitura e programação dos respectivos transponders que compõe o kit. O parâmetro P-ADF: (*Antenna Drive Frequency*), ao escrever no transponder, permite que o usuário possa selecionar um valor de frequência entre 105 kHz e 150 kHz. De modo análogo para a leitura, o dispositivo de leitura/escrita é pré-programado para um valor próximo de 125 kHz a fim de otimizar a distância de escrita.

O WDR (*Watchdog Reset*), é um reset periódico, que pode ser desativado pelo usuário ou ainda configura-lo de 2 a 240 segundos. O hardware é zerado a cada período. É importante ressaltar que esse valor não é muito preciso [22].

O FPAT (*Full Power Active Time*), é um parâmetro para ajustar o tempo em que o dispositivo está funcionando em modo econômico. Quando o dispositivo de leitura está ativo, a antena funcionará por 7,5 ms vezes o parâmetro FPAT e depois irá parar novamente. Por exemplo, se FPAT é 20, o dispositivo de leitura estará ativo por $20 \times 7,5$ ms, ou seja, 150 ms, e então irá interromper o funcionamento de novo se nenhum transponder for detectado na zona de leitura. Esse processo ocorre uma vez por segundo. O consumo de corrente será de 50 – 100 mA em um período de 150 ms e de 20 – 70 μ A no período inativo (*stand by* ou *sleep*).

A Tabela 6.2 informa os parâmetros que são pré-programados e otimizados pelo fabricante SONMICRO ELECTRONICS.

Tabela 6.2 Parâmetros default gerais do sistema.

Parâmetro	Configuração padrão (<i>Default</i>)
R-ADF	Ajustado para distância ótima na fábrica
P-ADF	Ajustado para distância ótima na fábrica
WDR	Desativado
FPAT	60

6.6 Testes e resultados

Como a frequência utilizada está em torno de 125 kHz, o comprimento de onda é de 2400 m, e a distância de leitura resume-se a poucos centímetros do dispositivo de leitura, ou seja, é muito menor que o comprimento de onda, a análise se restringe apenas ao campo magnético alternado.

Basicamente, foram realizados testes de alcance, utilizando as duas antenas que compõe o kit, cujo resultado é apresentado na Tabela 6.3. Esses testes foram realizados através de uma série de medições, com os respectivos transponders na posição horizontal e vertical a uma temperatura ambiente e com visada direta para a antena do dispositivo de leitura. Posteriormente foi realizada uma série de medições com obstáculos, a fim de verificar se havia redução da distância de leitura ou incremento no alcance por meio da adição de um plano refletor a antena.

Tabela 6.3 Distância entre o transponder e o dispositivo de leitura

Posição do transponder	Antena (65x35 mm)		Antena (90x45 mm)	
	Q5B	EM4100	Q5B	EM4100
Horizontal	7,9 cm	6,2 cm	8,8 cm	6,6 cm
Vertical	6,7 cm	4,7 cm	8,5 cm	5,9 cm

Também foi realizada uma captura do espectro de radiação do dispositivo de leitura, para verificar qual a potência emitida pelo dispositivo de leitura, e qual a frequência que ele realmente está trabalhando. Conforme a Figura 6.11. A frequência constatada foi de 127 kHz com uma potência de -6 dBm, que foi medida diretamente na saída do dispositivo de leitura através de uma conexão de dois fios de cobre isolados ligados ao espectrômetro

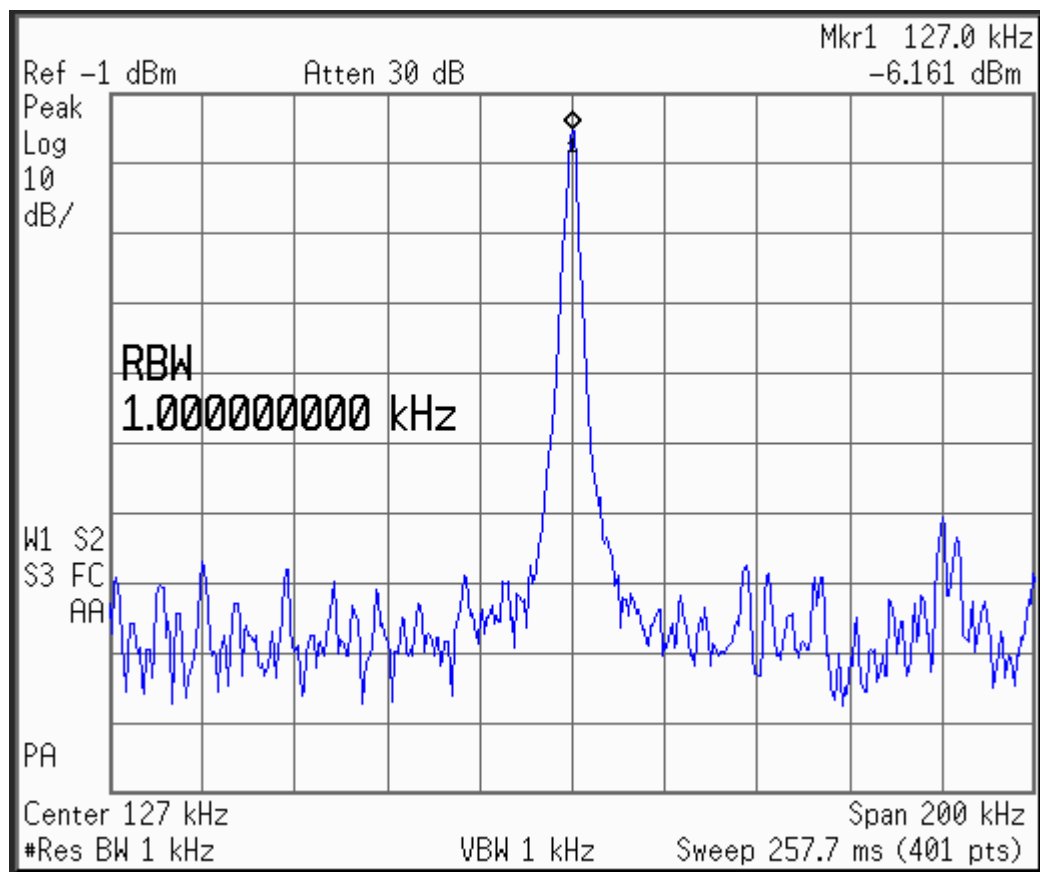


Figura 6.11 Espectro de radiofrequência retirado diretamente do dispositivo de leitura.

7. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise profunda a respeito da tecnologia de identificação por radiofrequência, ou, simplesmente, RFID. Tal objetivo foi alcançado com êxito, uma vez que foi possível o amplo entendimento de vários aspectos dessa tecnologia, desde regulamentação internacional até os princípios para que seja possível a conexão entre o transponder e a antena do dispositivo de leitura. O kit utilizado também foi de grande valia uma vez que pode ser analisado na prática aspectos estudados anteriormente.

Apesar de a pesquisa ser considerada bem sucedida, foram enfrentadas dificuldades para realização deste trabalho. Toda a bibliografia utilizada está em idiomas diferentes do português, portanto não foi tão fácil encontrar os termos mais adequados para determinadas nomenclaturas e procedimentos. Não há ainda normas brasileiras específicas para o RFID e um certificado de conhecimentos sobre essa tecnologia poderá ser adquirido em breve no Brasil. Além disso, o RFID é uma tecnologia muito recente e, apesar de bastante promissora, ainda é difícil encontrar material aprofundado de nível técnico acerca da mesma.

Com base em todas as vantagens oferecidas por um sistema RFID, é possível afirmar que, em um futuro próximo, outros mercados, além do mercado de logística, perceberão grande vantagem na instalação dessa tecnologia, tais como prestadores de serviços, grandes varejistas e grandes fornecedores. Como a operação por RFID agrega eficiência, a previsão é de que no futuro todos os mercados adotarão essa tecnologia, queiram eles ou não. A agilidade dos procedimentos e o incremento no processamento dos dados permitem uma melhor visibilidade dos produtos pertencentes à organização. Isso garante um diagnóstico mais preciso, eliminando riscos de falha na previsibilidade, ou seja, maior lucratividade, menor perda de tempo e mais geração de renda.

Há ainda um longo caminho para ser percorrido, pois a tecnologia de identificação por radiofrequência não é somente uma questão tecnológica, mas também uma questão de padronização mundial, o reconhecimento por todos os mercados comuns. As vantagens virão com certeza, mas para isso é necessário que todos utilizem o mesmo padrão, que toda a cadeia produtiva e comercial esteja sintonizada na mesma frequência.

O amplo conhecimento dessa tecnologia dá abertura para o desenvolvimento de trabalhos futuros. A implantação do projeto de controle dos carros de São Paulo e também no Distrito Federal traria vantagens como rapidez e eficiência na resolução de problemas como roubos e controle de multas. Projetos dentro do campus da UnB seriam bastante interessantes e úteis como um sistema de controle de acesso nos laboratórios do SG11.

Referências

1. CRISTONE, Inaldo. Ferramenta sofisticada para otimizar toda a cadeia de suprimentos. *Revista Valor On-Line*. <http://www.valoronline.com.br>, acesso em 8 de agosto de 2006.
2. ALLFLEX – IDENTIFICAÇÃO ANIMAL. <http://www.allflex.com.br>, acesso em 11 de agosto de 2006.
3. *Revista RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com>, acesso em 11 de agosto de 2006.
4. Prefeitura da cidade de São Paulo. <http://www.prefeitura.sp.gov.br>, acesso em 2 de dezembro de 2006.
5. AUTO-ID CENTER OF MIT – *Massachusetts Institute of Technology*. <http://autoid.mit.edu/cs/>, acesso em 22 de agosto de 2006.
6. FINKECZELLER, Klaus. ***RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification***, 2^a ed. John Wiley & Sons Ltd, Munich, Germany 2003, 427 p.
7. SHAHRAM, Moradpour; MANISH, Bhuptani. ***RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems***, 1^a ed. Prentice Hall PTR, fev.de 2005, 288 p.
8. *International Engineering Consortium*, <http://www.iec.org>, acesso em 09 de setembro de 2006.
9. *International Organization for Standardization*, <http://www.iso.org>, acesso em 09 de setembro de 2006.
10. European Article Number, <http://www.epcglobalinc.org>, acesso em 15 de setembro de 2006.
11. Uniform Code Council, <http://www.uc-council.org>, acesso em 15 de setembro de 2006.
12. Autoridade Nacional de Comunicações, www.anacom.pt, acesso em 25 de setembro de 2006.
13. RANKL, Wolfgang; EFFING, Wolfgang, ***Smart Card Handbook***, 3^a ed. John Wiley & Sons Ltd, Munich, Germany, 2003, 1023 p.
14. Cartões inteligentes, Banco do Brasil, <http://www.bb.com.br>, acesso em 7 de outubro de 2006.
15. Norma técnica EN 300 220, editada pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).
16. Norma técnica EN 300 330, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).
17. Norma técnica EN 300 440, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

18. Norma técnica EN 300 761, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).
19. Norma técnica EN 300 674, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).
20. Norma técnica EN 200 674, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).
21. Norma técnica EN 300 091, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).
22. Datasheet do kit de desenvolvimento RFID SM3005 do fabricante Sonmicro, <http://www.sonmicro.com>, acesso em 06 de outubro de 2006.
23. *Octopus Card*, http://en.wikipedia.org/wiki/Octopus_card, acesso em 8 de agosto de 2006.
24. *Octopus Card*, <http://www.octopuscards.com>, acesso em 8 de agosto de 2006.