



Universidade de Aveiro Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e
2014 Informática

**Ricardo Emanuel
Albuquerque Varão**

**Levantamento de estatísticas de posse de bola com
RFID**



Universidade de Aveiro
2014

Departamento de Engenharia Eletrónica,
Telecomunicações e Informática

Ricardo Emanuel
Albuquerque Varão

**Levantamento de estatísticas de posse de bola com
RFID**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Dr. André Ventura da Cruz Marnoto Zúquete (orientador), Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Dr. Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho (coorientador), Professor Catedrático do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família e amigos.

O júri

Presidente

Prof. Dr. José Alberto Gouveia Fonseca
Professor associado da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Dr. André Ventura da Cruz Marnoto Zúquete
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)

Prof. Dr. Paulo José Lopes Machado Portugal
Professor auxiliar da Universidade do Porto (Arguente Principal)

agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais e ao meu irmão pelos sacrifícios para eu poder chegar aqui. Aos meus amigos que sempre me apoiaram durante o meu percurso académico.

De seguida quero deixar a minha palavra de agradecimento aos meus orientadores, Doutor André Zúquete e Doutor Nuno Borges Carvalho, por se mostrarem disponíveis para ajudar nas dúvidas e problemas que surgiram durante a realização desta dissertação. Também um agradecimento especial ao Hugo Mostardinha e ao Paulo Gonçalves pela paciência tiveram comigo e pela ajuda que me deram.

À Universidade de Aveiro, aos professores e alunos do Departamento de Eletrónica e Telecomunicações tenho a agradecer o apoio demonstrado nos anos que cá estive.

palavras-chave

RFID, futsal, RF, PCB, antenas

resumo

Esta dissertação consistiu no estudo de várias tecnologias nomeadamente o RFID, de forma a conceber um sistema que seja capaz de medir a posse de bola de num jogo de futsal. O estudo focou-se em qual tipo de sistema RFID a utilizar, quais as vantagens e desvantagens de cada um e qual melhor se adequaria para os dispositivos a realizar. Da mesma forma, estudar qual o melhor meio de comunicação sem fios e tipo de arquitetura, apresentando as vantagens e desvantagens de cada um.

Após as escolhas feitas, passou-se para a conceção dos dispositivos, projetando e concebendo os circuitos que iriam formar os dispositivos.

Por fim, implementar o dispositivo criado nas sapatilhas e na bola, que irão ser utilizados no jogo de futsal.

Foram realizadas várias simulações com módulos de desenvolvimento, de modo a atestar se o sistema projetado seria passível de ser implementado. Essas simulações correram tal como esperado, concluindo que o sistema é exequível.

Aquando da conceção dos dispositivos do sistema, surgiram alguns problemas na realização das placas dos mesmos, e levaram a contratemplos que fizeram com que estes não estivessem prontos a tempo de serem apresentados.

Os resultados obtidos foram apenas os provenientes das simulações realizadas com os módulos de desenvolvimento, resultados esses que levam a crer que o sistema tem potencial para ser implementado num futuro próximo.

keywords

RFID, futsal, RF, PCB, antennas

abstract

This dissertation consisted in the study of various technologies including RFID, in order to design a system that is capable of measuring the ball possession in a futsal game. This study focused on what type of RFID system to use, what are the advantages and disadvantages of each one and which are the best suited to perform the devices. Likewise, studying what is the best way of wireless communication and type of architecture, by presenting the advantages and disadvantages of each one.

After choosing the technologies to be used, was begun the conception of the devices, by designing and conceiving boards that would form it.

Finally, implementing the device in the sneakers and in the ball, that will be used in a futsal game.

Several simulations were done with development kits, to certify if the designed system would be liable to be implemented. These simulations ran as expected, concluding that the system is practicable.

At the time of the conception of the system devices, some problems emerged when making its boards, which led to setbacks that caused these not to be ready in time for presentation.

The achieved results are only from the simulations performed with the development kits, which suggest that the system has the potential to be implemented in the near future.

Índice

Lista de Figuras	ii
Lista de Acrónimos	iv
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Problema	1
1.3 Solução proposta.....	2
2 Estado da Arte (O RFID no Desporto)	5
3 Contexto	7
3.1 RFID	7
3.1.1 Antenas RFID	8
3.1.2 Frequência de trabalho.....	9
3.1.3 Tipos de marcas	9
3.1.4 Protocolos RFID	10
3.1.5 Dados históricos do RFID	11
3.2 Comunicação sem fios	12
3.2.1 Bluetooth	13
3.2.2 Wi-Fi	13
3.2.3 ZigBee	14
3.2.4 Sub-GHz.....	15
3.3 Microcontroladores.....	15
4 Arquitetura.....	17
4.1 Visão geral	17
4.1.1 Arquitetura da obtenção do toque na bola	18
4.1.2 Estação central.....	20
4.1.3 Passagem de mensagens	20
4.1.4 Sincronização	21
4.1.5 Opções tecnológicas	22
4.2 Equipamento escolhido.....	23
4.2.1 Microcontrolador RF.....	23
4.2.2 Leitor RFID	26
4.2.3 Marca inlay.....	28
4.2.4 Antena 433 MHz	28
4.2.5 Antena RFID	29
4.2.6 Comutador RF	29
4.2.7 Opções tomadas.....	32
4.2.8 Consumos e autonomia.....	33
4.3 Conceção.....	34
4.4 Algoritmos	35
4.4.1 Algoritmo do dispositivo conectado ao computador	35
4.4.2 Algoritmo do dispositivo das sapatilhas	37
4.4.3 Algoritmo do processo do computador.....	38
5 Concretização e Avaliação	41
5.1 Circuitos concebidos.....	41
5.2 Calibrações.....	46
5.3 Teste de campo	47
5.4 Custo	52
6 Conclusões.....	53
7 Bibliografia.....	55

Lista de Figuras

Figura 1 - Arquitetura da solução	3
Figura 2 - Sistema RFID (http://animalmigration.org/RFID/index.htm)	7
Figura 3 - Exemplo de uma marca (http://www.infopod.com.br/artigos/rfid-parte-1-o-que-e-para-que-serve/)	7
Figura 4 - Gráfico da atenuação de uma antena espiral (http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00678b.pdf página2)	8
Figura 5 - Comparação de marcas pela frequência	9
Figura 6 - Comparação de marcas ativas e marcas passivas(http://www.csa.com/discoveryguides/rfid/review2.php)	10
Figura 7 - Tabela dos Protocolos ISO	11
Figura 8 - Bluetooth (http://www.macos.utah.edu/documentation/hardware/bluetooth.html)	13
Figura 9 - Rede Wireless	14
Figura 10 - Rede ZigBee (http://handcorp.blogspot.pt/2011/02/normal-0-21-false-false-false-pt-br-x_09.html)	14
Figura 11 - Visão Geral do Sistema.....	17
Figura 12 - Bola Coberta de Marcas.....	17
Figura 13 - Esquema do Dispositivo a ligar ao Computador.....	18
Figura 14 - Esquema do Dispositivo das Sapatilhas.....	18
Figura 15 - Exemplo de leitor na bola e marca na sapatilha.....	19
Figura 16 - Exemplo de marca na bola e leitor na sapatilha.....	19
Figura 17 - Exemplo dos tempos entre toques na bola	21
Figura 18 - CC1110 (http://sigma.octopart.com/31287402/image/Texas-Instruments-CC1110F32RHHT.jpg)	24
Figura 19 - Diagrama de Blocos do CC1110.....	24
Figura 20 - Circuito de Adaptação para 433 MHz.....	25
Figura 21 - Circuito de Adaptação para 915MHz.....	25
Figura 22 - Diagrama de Blocos do ATA8510/ATA8515.....	26
Figura 23 - TRF7960.....	27
Figura 24 - Aplicação típica do TRF7960	28
Figura 25 - Tag-it HF-I plus	28
Figura 26 - Antena Helicoidal 433 MHz	29
Figura 27 - Antena RFID.....	29
Figura 28 - ADG936.....	30
Figura 29 - Diagrama de blocos do ADG936.....	30
Figura 30 - Tabela de verdade do ADG936.....	30
Figura 31 - ADG936 em cascata	31
Figura 32 - Diagrama funcional do HMC252.....	32
Figura 33 - Tabela de verdade do HMC252	32
Figura 34 - Exemplo de conceção da placa PCB para o Dispositivo das Sapatilhas	34
Figura 35 - Exemplo de conceção do Dispositivo em duas placas	35
Figura 36 - Diagrama de Estados do Dispositivo a Ligar ao Computador	36
Figura 37 - Diagrama de Estados do Dispositivo das Sapatilhas.....	37
Figura 38 - Algoritmo do Processo a correr no Computador.....	38
Figura 39 - Esquemático da primeira versão do dispositivo das sapatilhas	41
Figura 40 - Primeira versão da placa PCB para as sapatilhas.....	41
Figura 41 - Placa PCB do dispositivo das Sapatilhas primeira versão	42
Figura 42 - Esquemático da placa que liga ao computador	42
Figura 43 - Desenho da PCB para a placa que liga ao PC.....	43
Figura 44 - Placa PCB que liga ao PC.....	43
Figura 45 - Novo Esquemático do dispositivo das Sapatilhas.....	44
Figura 46 - Desenho da nova placa do dispositivo das sapatilhas	45
Figura 47 - Bola de futsal com Tag-it.....	45
Figura 48 - Medição da impedância da Antena W7001	46
Figura 49 - Carta de Smith para obter a adaptação 50Ω da antena W7001	47
Figura 50 - Circuito de adaptação para a antena W7001	47
Figura 51 - Obtenção das configurações de RF através do SmartRF Studio 7	48
Figura 52 - Teste de Comunicação entre dois Módulos	48
Figura 53 - Teste de Comunicação com o Leitor de RFID.....	49
Figura 54 - Obtenção da conexão entre os módulos.....	49

Figura 55 - Leituras efetuadas	50
Figura 56 - Simulação de toques na bola.....	51
Figura 57 - Exemplo dos resultados da posse de bola de um jogo	51
Figura 58 - Tabela com o preço de produção do sistema	52

Lista de Acrónimos

AES	Advanced Encryption Standard
ASK	Amplitude-Shift Keying
CRC	Cyclic Redundancy Check
DC	Direct Current
DMA	Direct Memory Access
EOF	End Of File
FIFO	First In First Out
IC	Integrated Circuit
ID	Identification
IEEE	Institute Of Electrical and Electronics Engeniens
IO	Input Output
ISM	Industrial Scientific and Medical radio bands
ISO	International Organization for Standardization
NFC	Near Field Comunication
OOK	On-Off Keying
PCB	Printed Circuit Board
RAM	Random Access Memory
RF	Rádio frequency
RFID	Radio Frequency Identification
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
TTL	Transistor-Transistor Logic
UHF	Ultra High Frequency
UID	Unique
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal Serial Bus

1 Introdução

1.1 Motivação

Tendo em conta que o desporto é uma atividade de grandes massas, então de maneira a beneficiar o espetáculo existem inovações tecnológicas potencialmente capazes disso. Uma das tecnologias com esse potencial para beneficiar o espetáculo desportivo é o RFID (Radio-Frequency Identification).

Aproveitando esta oportunidade de negócio, várias ideias para aproveitar as potencialidades do RFID surgiram. Entre essas ideias estão o tracking de bolas de golf [1], verificação de golo num jogo de futebol [2], cronometragem desportiva [3], etc.

No caso do futebol/futsal, a noção de tempo de posse de bola por um jogador pode ser inferida dos instantes em que o jogador toca na bola. Com efeito, pode-se considerar que a bola está na posse de um jogador desde que este lhe toca até que esta seja tocada por outro. Devido à proximidade dos jogadores a deteção dos toques não é fácil de aferir visualmente mas pode ser detetada com precisão com RFID, por esta ser uma tecnologia que funciona por proximidade. Assim, aproveitando os dados adquiridos pela tecnologia RFID, pode obter-se as estatísticas da posse de bola do jogo.

Os meios de obtenção desta informação do jogo, no futebol de 11, já estão muito avançados e implementados com sucesso, e portanto a possibilidade de aplicar a tecnologia RFID no futebol de 11 é muito escassa. No entanto, no futsal (futebol de 5), os dados da posse de bola são uma informação que não são medidos, pois não existem atualmente meios para a obter. Assim, no futsal surge uma oportunidade de aplicar a tecnologia RFID, e para isso criar um sistema que seja capaz de obter os dados da posse de bola nesta modalidade.

Esta dissertação abordou a criação de um sistema completo, baseado na tecnologia RFID, que permita obter com fidelidade as estatísticas de posse de bola de um jogo de futsal.

1.2 Problema

A estatística da posse de bola de um jogo de futebol é uma característica que dá grandes informações a uma equipa técnica sobre a forma como a equipa aborda o jogo e, saber a supremacia que teve, ou não, sobre a equipa adversária. Assim, a estatística sobre a posse de bola de um jogo de futebol é um dado que qualquer equipa técnica deseja ter, com o maior rigor possível, para assim poder fazer mudanças quer a nível tático, estratégico ou de treinos, de forma ter a sua equipa a jogar à maneira que desejam.

No futebol de 11 estas estatísticas são obtidas com recurso a software que analisa as imagens do jogo e que, através de algoritmos de processamento de imagem, consegue interpretar qual é o jogador que está com a posse de bola [4]. Com estes dados, a qualquer momento do jogo consegue-se ter a informação da estatística da posse de bola

do jogo. Para fazer este processamento de imagem, e para evitar erros, são necessárias várias câmaras espalhadas pelo recinto do jogo a recolher imagens do jogo, e o processamento de imagem para obter as estatísticas da posse de bola tem que ser feito a partir das várias câmaras ao mesmo tempo, devido à possibilidade de haver jogadores obstruídos por outros jogadores e assim não se conseguir descodificar qual o jogador com a posse de bola. Assim, para se ter em tempo real a estatística de posse de bola é preciso muito hardware, neste caso câmaras e computadores com alta capacidade de processamento para fazer a análise das imagens. Com este sistema centralizado, é possível ter em tempo real as estatísticas da posse de bola do jogo.

No caso do futebol de 5, ou futsal, como o recinto de jogo é tradicionalmente um pavilhão, o espaço envolvente é muito reduzido para a quantidade de câmaras necessárias para o processamento de imagem. Também o facto de o terreno de jogo ser muito mais reduzido, haver uma maior aglomeração de jogadores e o jogo ser muito mais rápido, ou seja, com muito mais trocas de bola entre jogadores, torna quase impossível poder aplicar a mesma técnica para a obtenção da estatística de posse de bola de um jogo de futsal.

1.3 Solução proposta

De forma a aproveitar esta oportunidade de aplicar a tecnologia RFID ao futsal, o objetivo desta dissertação foi o de criar um sistema completo que permita obter as estatísticas da posse de bola do jogo de futsal e de as fornecer em tempo real aos espetadores.

O sistema completo tem que estar envolvido nos vários componentes do jogo, que são relevantes para poder recolher a informação pretendida. Assim, os componentes no qual o nosso sistema vai estar envolvido são a bola e as sapatilhas de cada jogador, pois são os componentes do jogo, que quando em proximidade, dão a informação sobre a posse de bola do jogo.

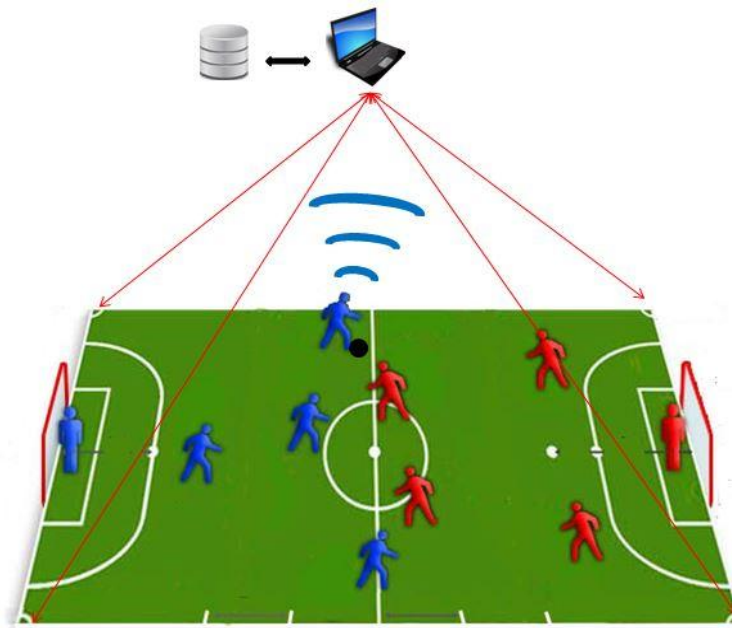


Figura 1 - Arquitetura da solução

A solução proposta para este sistema passou por criar um sistema RFID composto por leitores de RFID, marcas, uma estação central para armazenar a informação desejada e um meio de comunicação entre os leitores e a estação central.

O sistema é formado por um dispositivo, que servirá para detetar os toques que os jogadores dão na bola e transmitir essa informação à estação central. A estação central será responsável por receber a informação vinda do dispositivo responsável pela deteção dos toques dos jogadores na bola e por guardar os instantes em que recebe informação, que corresponde ao instante do toque na bola por parte de um jogador e a que jogador esse toque correspondeu.

A solução que desenhamos para aferir a posse de bola só leva em consideração os toques entre o pé e a bola. Apesar de se perder a informação de toques na bola que não sejam executados pelo pé, no caso do futsal eles são relativamente raros (joga-se fundamentalmente junto ao chão e sempre próximo do pé) e a sua perda não acarreta erros significativos em termos de estatísticas de posse de bola.

2 Estado da Arte (O RFID no Desporto)

O tracking de bolas de golfe [1] consiste em colocar marcas nas bolas de golfe e vários leitores espalhados ao longo dos campos de golfe. Isto serve para saber em tempo real a localização das bolas no campo, de forma que os jogadores saibam a localização da sua bola de jogo. O funcionamento deste sistema consiste em medir o sinal recebido pelo leitor da marca colocada na bola que andamos à procura, e assim ter uma estimativa da distância a que esta está do leitor. Consoante o leitor que recebe o sinal da marca presente na bola obtém-se a informação de qual é a zona do campo de golf onde está a bola desaparecida. Qualquer falha de leitura não é preocupante, pois o leitor está permanentemente a ler, e por isso, qualquer leitura que falhe, no instante seguinte temos outra leitura.

A verificação de um golo num jogo de futebol [2] consiste em certificar que a bola de futebol ultrapassou completamente a linha de golo. A ideia passa por colocar marcas nas bolas de futebol e leitores na linha de golo de uma baliza com a precisão necessária para verificar se a bola ultrapassou totalmente a linha de golo. Apesar de ser uma boa ideia, infelizmente foi impossível ter a certeza absoluta do resultado, o que levou a que esta ideia fosse abandonada.

A cronometragem desportiva [3] envolve vários desportos, desde atletismo, ciclismo, Todo-Terreno, BTT, motocross. Esta consiste em detetar a passagem dos atletas por pontos-chave do percurso e registar os seus tempos de passagem. Assim, realiza-se uma cronometragem com muita precisão e totalmente autónoma, para além da disponibilização dos resultados em tempo real e online. A falha de uma leitura é intolerável, pois leva à perda do registo de passagem de um atleta e logo a um erro nos resultados.

Outra utilização da tecnologia de RFID no desporto consiste no seguimento de jogadores e bola num jogo de futebol [5]. A ideia consiste em colocar marcas nas sapatilhas dos jogadores e na bola de jogo, e dividir o campo de jogo em secções, cada uma delas tendo o respetivo leitor RFID. Assim conseguimos saber em que secção do campo se encontra determinado jogador e a bola de jogo. A falha de uma leitura não tem grande importância, pois passado algum tempo uma nova leitura é realizada e assim a influência da falha de leitura no resultado final do seguimento é insignificativo.

A tecnologia RFID também é utilizada na bilhética de eventos desportivos, substituindo os bilhetes com código de barras [6]. Esta solução simplifica em muito os bilhetes de lugar cativo, ou de época, em que o espectador recebe um cartão que irá utilizar toda a época e a sua atualização passa a ser feita num computador evitando as filas de espera para levantar os bilhetes. Quanto aos bilhetes diários, de uma única utilização, o seu funcionamento é um tudo similar aos bilhetes de código de barras. A falha na leitura destes cartões não é grave, pois se der erro pode-se voltar a passar o bilhete. No caso de o bilhete já ter sido utilizado, pode tentar verificar-se se este foi clonado ou se trata de uma burla, na tentativa de passar dois adeptos com o mesmo bilhete.

3 Contexto

3.1 RFID

A tecnologia RFID (Radio-Frequency Identification), ou identificação por radiofrequência, é um método de identificação automático através de sinais de rádio. A comunicação é efetuada entre uma etiqueta, ou marca, e um leitor.

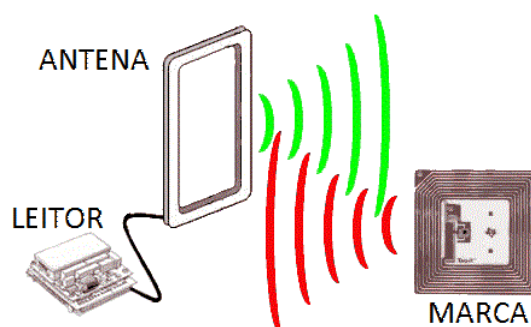


Figura 2 - Sistema RFID (<http://animalmigration.org/RFID/index.htm>)

Uma marca é um transponder, e pode ser passiva, ativa ou semipassiva. É constituído por um circuito de silício e uma antena, e se for ativa ou semipassiva também contém uma bateria. Uma marca passiva é alimentada pelo leitor que induz energia na marca quando está próxima dela, para ela responder a uma leitura por parte do leitor. Já uma marca ativa ou semipassiva contém bateria para aumentar o alcance de transmissão, ou para fazer comutações fora de uma leitura.



Figura 3 - Exemplo de uma marca (<http://www.infopod.com.br/artigos/rfid-parte-1-o-que-e-para-que-serve/>)

O leitor RFID pode ter as funções de leitura/escrita, ou apenas de leitura e realiza a comunicação dentro do sistema RFID. O leitor de RFID, é composto apenas por uma antena, o leitor e um decodificador. A antena induz energia à(s) marca(s) para comunicação de dados dentro do campo de transmissão, esses dados, depois de lidos, são passados ao controlador do sistema RFID. Através da antena é emitido um sinal de rádio que ativa a etiqueta, realizando a leitura ou escrita. Essa emissão de rádio é difundida em diversas direções e distâncias, dependendo da potência e da frequência utilizada. O tempo decorrido nesta operação é inferior a um décimo de segundo, portanto o tempo de exposição necessário da marca é bem pequeno. A função do leitor é

ler e decodificar os dados que estão numa marca que passa pelo campo eletromagnético gerado pela antena.

O leitor é também composto pelo componente de comunicação entre o sistema RFID e o sistema externo de processamento dos dados. A complexidade dos leitores depende do tipo de marca e das funções do sistema externo.

3.1.1 Antenas RFID

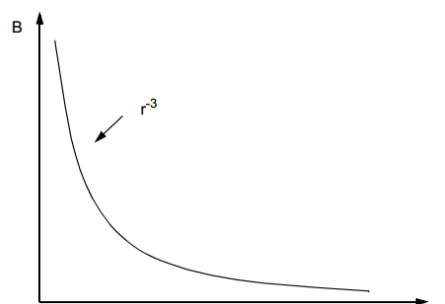
Numa aplicação RFID, sendo uma aplicação de RF, necessita de uma antena para definir a frequência de trabalho e receber os dados provenientes da marca.

Um sinal RF pode ser emitido com uma eficiência máxima se a dimensão da antena estiver de acordo com o comprimento de onda da frequência de trabalho [7]. Numa aplicação RFID de baixa frequência (ex: 125kHz) o comprimento de onda (λ) será:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{125k} = 2400m$$

Com este comprimento de onda, torna-se inoportável realizar uma antena para uma aplicação RFID com as dimensões correspondentes ao comprimento de onda relativo à frequência de trabalho. Por esta razão, em aplicações RFID utiliza-se pequenas antenas espirais de indução magnética, ressonantes à frequência de trabalho. Estas antenas utilizarão o acoplamento magnético entre as antenas recetora e transmissora.

O campo de atuação de uma antena deste tipo, não será do tipo de onda propagada por um dipolo, mas sim uma onda atenuada à razão de r^3 . Isto significa que a força do sinal propagado pela antena decairá à razão de r^3 (r é a distancia da antena). Isto implica que as distâncias de trabalho sejam limitadas relativamente ao conseguido com os dipolos.



Note: The magnetic field produced by a loop antenna drops off with r^{-3} .

Figura 4 - Gráfico da atenuação de uma antena espiral (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00678b.pdf> página2)

O princípio de funcionamento de um sistema RFID consiste em variar o campo magnético da antena transmissora, o que vai induzir uma voltagem aos terminais da antena em espiral. Esta voltagem induzida, será utilizada para ativar a marca. Para maximizar a eficiência a antena em espiral deverá estar otimizada para a frequência de trabalho, o que maximiza a voltagem induzida.

3.1.2 Frequência de trabalho

Existem vários leitores de RFID disponíveis para vários protocolos de comunicação. Os sistemas de RFID podem ser definidos pela frequência em que operam:

Sistema de baixa frequência (30 a 500 kHz): Para curta distância de leitura (alguns centímetros) e baixos custos. Normalmente utilizado para controlo de acesso, localização e identificação.

Sistema de média frequência (10 a 15 MHz): Para leituras de média distância e custos relativamente baixos. Utilização em aplicações iguais às do sistema de baixa frequência mas com alcance de leitura superior.

Sistemas de Ultra Alta Frequência (850 a 950 MHz e 2,4 a 2,5 GHz): Para leitura em médias (cerca de um metro) ou longas distâncias (vários metros) e grande velocidade de leitura. Normalmente utilizado para leitura de marcas em veículos ou recolha automática de dados numa sequência de objetos em movimento (corrida a pé ou de bicicleta). Um exemplo de aplicação é a Via Verde, sistema de pagamento eletrónico da Brisa, Autoestradas de Portugal.

Banda de Frequência	Características	Aplicações Típicas
Baixa 100-500 kHz	Leitura entre baixa e média distância, barato, baixa velocidade de leitura	Controlo de acessos Identificação de Animais/Humanos Controlo de inventário
Média 10-15 MHz	Leitura a média distância, potencialmente barato	Controlo de acessos
Alta UHF: 850-950 MHz	Longo alcance de leitura, alta velocidade de leitura, caro	Monitorizaçãod de comboios Sistemas de recolha de ferramentas

Figura 5 - Comparação de marcas pela frequência

As baixas e médias frequências têm um alcance de leitura baixa, mas são permissivas à água, ou seja, não há perturbações na leitura se a marca estiver junto ao corpo da pessoa. A velocidade de leitura da marca não é muito grande, não podendo a marca deslocar-se a grande velocidade. Às altas frequências o alcance de leitura é muito superior, mas há perturbações na leitura se a marca estiver junto ao corpo. A velocidade de leitura é muito grande, podendo a marca deslocar-se a uma grande velocidade que mesmo assim o leitor será capaz de ler a marca.

3.1.3 Tipos de marcas

Um sistema RFID funciona com uma base de dados do lado do leitor que relaciona o ID da marca lida, com os dados armazenados na base de dados.

Existem três tipos de marcas:

- Ativas;
- Passivas;
- Semi-passivas.

	MARCA RFID ATIVA	MARCA RFID PASSIVA
Fonte de energia	Interna da marca	Energia transferida através do sinal RF do leitor
Bateria	Sim	Não
Disponibilidade de energia	Contínua	Apenas na área do leitor
Força do sinal requerido pela marca	Muito baixo	Muito alto
Alcance	Mais de 100 metros	Normalmente entre 3-5 centímetros
Leitura de múltiplas marcas	Reconhecidas mais de 1000 marcas acima dos 160Km/h	Poucas centenas dentro da área de leitura
Armazenamento de dados	Acima dos 128 bytes	128 bytes para leitura/escrita

Figura 6 - Comparação de marcas ativas e marcas passivas(<http://www.csa.com/discoveryguides/rfid/review2.php>)

As marcas passivas têm menos alcance de leitura, cerca de 10 metros, mas não precisam de bateria e têm um custo muito reduzido. As marcas ativas têm um alcance de leitura muito maior, cerca de 100 metros, mas precisam de bateria e têm um custo muito superior.

3.1.4 Protocolos RFID

Existem vários protocolos de comunicação RFID [8], relativos tanto à tecnologia como à sua utilização. A finalidade da padronização e de normas é definir as plataformas em que a indústria pode operar de forma eficiente e segura. Os maiores fabricantes de RFID oferecem sistemas prioritários, o que resulta numa diversidade de protocolos para sistemas RFID na mesma área industrial. Na luta pela padronização de protocolos existem muitas organizações envolvidas nos projetos de tecnologias RFID. As mais conhecidas da área do RFID são a ISO (International for Standardization) e a EPCglobal.

ISO Standard	Título	Status
ISO 11784	RFID para animais – estrutura de código	Padrão Publicado - 1996
ISO 11785	RFID para animais – concepção técnica	Padrão Publicado - 1996
ISO/IEC 14443	Identificação de cartões – cartões com circuitos integrados sem contato – cartões de proximidade	Padrão Publicado – 2000
ISO/IEC 15693	Identificação de cartões – cartões com circuitos integrados sem contato – cartões de vizinhança	Padrão Publicado – 2000
ISO/IEC 18001	Tecnologia da Informação – Gerenciamento de Itens de RFID – Perfil de Requisitos de Aplicação	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-1	Parâmetros Gerais para Comunicação por Interface por Ar para Frequências Globalmente Aceitas	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-2	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar abaixo de 135 KHz	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-3	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 13,56 MHz	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-4	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 2,45 GHz	Padrão em Revisão Final
ISO/IEC 18000-6	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 860 a 930 MHz	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 15961	Gerenciamento de Itens de RFID – Protocolo de Dados: Interface de Aplicação	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 15962	Gerenciamento de Itens de RFID – Protocolo: Regras de Codificação de Dados e Funções de Memória Lógica	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 15963	Gerenciamento de Itens de RFID – Identificação única do RF Tag	Padrão em Revisão Final

Fonte: Understanding RFID (Passive RFID) – nov./2004 – R. Moroz Ltd.

Figura 7 - Tabela dos Protocolos ISO

3.1.5 Dados históricos do RFID

A tecnologia RFID tem as suas raízes nos sistemas de radares utilizados na Segunda Guerra Mundial. Os radares foram descobertos em 1937 por Sir Robert Alexander Watson-Watt, um físico Escocês, e servia para avisar sobre a proximidade dos aviões. O problema era identificar se os aviões eram inimigos ou aliados. Entretanto os alemães descobriram que se os seus pilotos girassem os seus aviões quando regressavam à base, iriam modificar o sinal de rádio refletido para o radar. Assim os técnicos dos radares sabiam a quem pertenciam os aviões detetados. Assim este sistema é considerado o primeiro sistema passivo de RFID.

Sob o comando de Watson-Watt, os ingleses desenvolveram o primeiro identificador ativo de amigo ou inimigo. Foi colocado um transmissor em cada avião inglês, e quando esses transmissores recebiam sinais das estações radar no solo, começavam a transmitir um sinal de resposta, que identificava o avião como amigo. A tecnologia RFID funciona segundo o mesmo princípio básico, um sinal é enviado a um transponder, o qual é ativado e reflete de volta o sinal (sistema passivo) ou transmite o seu próprio sinal (sistema ativo).

A primeira patente relacionada com RFID foi requerida por Mario W. Cardullo para uma etiqueta ativa com memória regravável a 23 de Janeiro de 1973. Nesse mesmo ano,

Charles Walton, um empreendedor da Califórnia, recebeu a patente por um transponder passivo utilizado para destrancar uma porta sem utilizar uma chave. O leitor colocado na porta comunicava com o transponder embutido num cartão, e quando o leitor detetava um número de identificação válido armazenado na etiqueta RFID, a porta era destrancada através de um mecanismo.

O governo dos Estados Unidos também teve interesse na tecnologia RFID e na década de 1970, o laboratório nacional de Los Alamos fez um pedido ao departamento de energia para desenvolver um sistema para rastrear material nuclear. Um grupo de cientistas idealizou um projeto onde seria colocado um transponder em cada caminhão, ao qual corresponderia uma identificação e potencialmente outro tipo de informação, como por exemplo, a identificação do condutor.

No início da década de 1990, engenheiros da IBM desenvolveram e patentearam um sistema RFID baseado na tecnologia UHF (Ultra High Frequency). O UHF permite um alcance de leitura muito maior e uma transferência de dados mais rápidos. Apesar dos testes realizados com a empresa de supermercados Wall-Mart, a IBM não chegou a comercializar a tecnologia. Em meados da década, a IBM vendeu a patente à Intermec, uma empresa fabricante de fornecedora de sistemas de códigos de barras. O sistema RFID da Intermec foi instalado em inúmeras aplicações diferentes, mas o elevado custo da tecnologia levou à falta de interesse na mesma.

O RFID baseado na tecnologia UHF teve uma visibilidade superior quando, em 1999, o Uniform Code Concil, o EAN internacional, a Procter & Gamble e a Gillette se uniram e estabeleceram o Auto-ID Center, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Dois professores, David Brock e Sanjay Sarma, realizaram experiências para viabilizar a utilização de etiquetas RFID de baixo custo em todos os produtos fabricados e rastreá-los. A ideia consistia em colocar um número de série (UID) em cada etiqueta para manter o preço da etiqueta reduzido, utilizando apenas um microchip simples que armazena pouca informação. A informação associada ao número de série de cada etiqueta é armazenada numa base de dados externa que é acedida conforme as exigências da aplicação.

3.2 Comunicação sem fios

Uma comunicação sem fios consiste numa transferência de informação entre dois ou mais pontos sem utilizar cabos. Isto permite uma grande flexibilidade, pois há liberdade na localização dos intervenientes da comunicação sem que a comunicação falhe. Todos os dispositivos de comunicação sem fios utilizam ondas de rádio para transmitir e receber sinais que podem ser modulados a diferentes frequências de rádio, de modo a que um dispositivo não se sobreponha e interfira com transmissões próximas de outros equipamentos que nada tenham a ver com o dispositivo.

As principais tecnologias de comunicações sem fios são as seguintes:

- Bluetooth;
- Wi-Fi;
- ZigBee.

3.2.1 Bluetooth

O bluetooth é gerido pelo SIG (Bluetooth Special Interest Group), que tem mais de 20 mil empresas associadas nas áreas de telecomunicações, informática, redes e eletrônica de consumo. O bluetooth era denominado como norma IEEE 802.15.1 [9], mas atualmente a norma já não é mantida. O SIG supervisiona o desenvolvimento da especificação, e administra o programa de qualificação que protege as marcas. Para um dispositivo ser comercializado como um dispositivo Bluetooth, deve ser qualificado segundo os padrões definidos pelo SIG.

O Bluetooth é uma tecnologia de comunicação sem fios de baixo consumo e pouco alcance. O princípio de funcionamento consiste no emparelhamento de dois ou mais dispositivos para trocarem informação entre si, sendo um deles obrigatoriamente mestre e os outros escravos. Este emparelhamento define uma Piconet, a qual não poderá comportar mais de 8 dispositivos. A comunicação na Piconet é centralmente gerida pelo mestre e os escravos não podem comunicar diretamente entre si. Assim, o bluetooth só possibilita a difusão num sentido, que é do mestre para os escravos, sendo este na prática implementado como multi-unicast.



Figura 8 - Bluetooth (<http://www.macros.utah.edu/documentation/hardware/bluetooth.html>)

3.2.2 Wi-Fi

O Wi-Fi ou wireless são termos para nos referirmos à norma IEEE 802.11 [10]. Esta norma consiste na criação de redes locais sem fios, nas quais se podem ligar vários dispositivos que comunicarão entre si e partilharão recursos. A norma IEEE 802.11 tem vários protocolos sendo o mais utilizado o IEEE 802.11g que opera à frequência 2.4GHz com uma taxa de transmissão de 54 Mbit/s e tem um alcance de cerca de 300 metros. É uma tecnologia com grande largura de banda que permite partilhar tráfego de internet e vídeos.



Figura 9 - Rede Wireless

3.2.3 ZigBee

O ZigBee é uma tecnologia que funciona segundo a norma IEEE 802.15.4 [9], funciona à frequência de 2.4GHz e tem uma característica muito importante. Essa característica é o seu muito baixo consumo, que é conseguido graças a uma reduzida taxa de transmissão e uma reduzida potência de transmissão. Face a esse baixo consumo a taxa máxima de transmissão também é muito baixa, cerca de 250 Kbits/s e um alcance de aproximadamente 100 metros. Assim, redes baseadas em ZigBee são redes com baixa largura de banda sendo basicamente redes de monitorização.

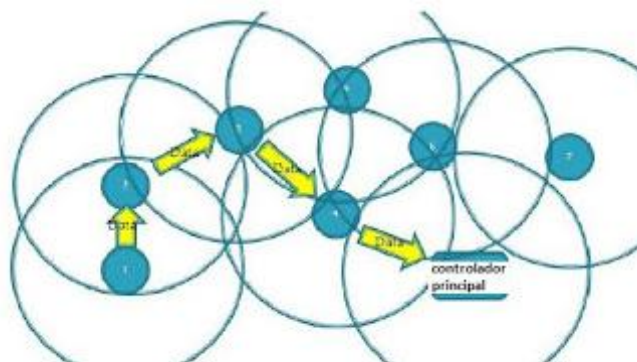


Figura 10 - Rede ZigBee (http://handcorp.blogspot.pt/2011/02/normal-0-21-false-false-false-pt-br-x_09.html)

3.2.4 Sub-GHz

O Sub-GHz é uma tecnologia muito semelhante ao ZigBee, ou seja, de muito baixo consumo e baixa taxa de transmissão, mas no entanto como é uma solução sub-GHz, isto quer dizer que opera a frequências abaixo do 1GHz, mais concretamente 470-510 MHz e 950-960 MHz. O facto de trabalhar a frequências muito mais baixas que o ZigBee significa que tem um alcance muito superior, já que o alcance é proporcional ao comprimento de onda, logo é inversamente proporcional à frequência. Assim esta solução tem um alcance que pode chegar aos vários quilómetros.

3.3 Microcontroladores

Um microcontrolador consiste num pequeno computador, num único circuito integrado contendo um processador, memória e ligações I/O para periféricos. Um microcontrolador é um dispositivo que geralmente está incorporado num dispositivo maior e é o responsável gerir todo o sistema. O microcontrolador contém um programa, previamente carregado que é o responsável por todos os device drivers do sistema e pelas interrupções geradas ao longo do processo. Os microcontroladores funcionam a baixas frequências, dezenas de MHz, sendo no entanto o suficiente para as aplicações para as quais são utilizados. O consumo de energia de um microcontrolador é reduzido, na ordem dos miliwatts, muitas vezes entrando em modo sleep à espera que um evento concreto se realize, como interrupções ou chegada de dados pela interface respectiva.

Os principais fabricantes de microcontroladores são:

- Microchip;
- Atmel;
- Texas Instruments.

4 Arquitetura

4.1 Visão geral

De maneira a fazer o registo da posse de bola de um jogo de futsal, foi necessário conceber um dispositivo para ser colocado em todos os jogadores. Esse dispositivo será responsável por detetar o contato da sapatilha com a bola e comunicar esse contato à central responsável pelo armazenamento dos instantes de toques na bola e quem o efetuou, criando uma base de dados com as percentagens de posse de bola. Estes podem ser apresentados durante o jogo ou no seu final.

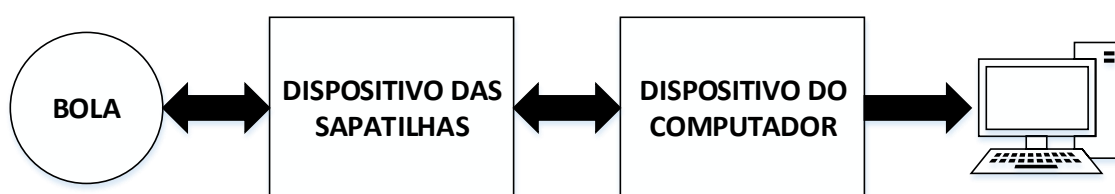


Figura 11 - Visão Geral do Sistema

O sistema completo será composto pelos dispositivos acima referidos e, pela bola coberta de marcas.

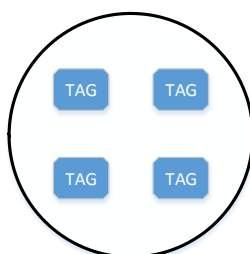


Figura 12 - Bola Coberta de Marcas

O sistema terá um dispositivo, concebido para receber a informação enviada pelos dispositivos presentes nas sapatilhas, ligado a um computador. O computador funcionará como central de informação, armazenando toda a informação dos instantes de toques na bola e o seu executante. Para além disso, o computador, através do seu dispositivo, notifica todos os dispositivos nas sapatilhas, em tempo real e em difusão, da identidade da última sapatilha que reportou um toque na bola.

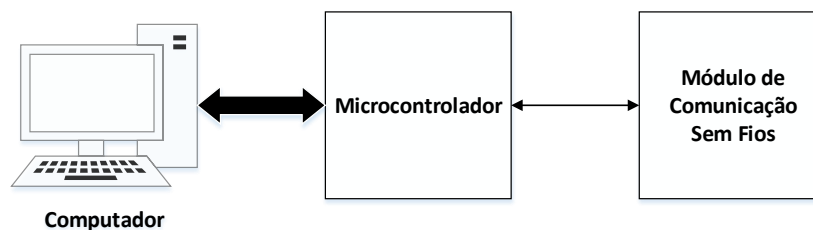


Figura 13 - Esquema do Dispositivo a ligar ao Computador

O dispositivo presente nas sapatilhas será composto por um leitor RFID, um módulo de comunicações sem fios para comunicar com a central, e por um microcontrolador responsável pela interligação entre o leitor RFID e o módulo de comunicação. Sempre que o leitor de RFID detetar uma marca da bola, sinaliza o microcontrolador, que por sua vez envia a informação da sua identificação através do módulo de comunicação sem fios para a central.

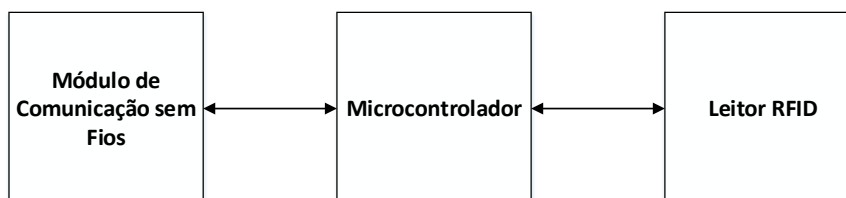


Figura 14 - Esquema do Dispositivo das Sapatilhas

Os resultados da posse de bola do jogo poderão ser disponibilizados em tempo real, tanto no local do jogo, como online.

4.1.1 Arquitetura da obtenção do toque na bola

Existem duas opções para se obter a informação de que um jogador tocou na bola:

- Leitor na bola e marcas nas sapatilhas
- Leitores nas sapatilhas e marcas na bola

Do ponto de vista financeiro, a primeira opção parece a mais recomendável, pois requer apenas uma instância da componente mais cara (leitor RFID) e muitas instâncias das componentes mais baratas (marcas suficientes para cobrir a superfície de contacto habitual entre as sapatilhas e a bola). No entanto, colocar um dispositivo como um leitor no interior de uma bola não é fácil, pois vai alterar a sua uniformidade, para além da questão das baterias, sendo necessário considerar a sua carga ou substituição.



Figura 15 - Exemplo de leitor na bola e marca na sapatilha

A segunda opção não parece a mais recomendável do ponto de vista financeiro, pois cada sapatilha de cada jogador terá que ter um leitor de RFID e a bola será coberta com marcas para que toda a sua envolvente seja detetada pelos leitores de RFID. A bola funcionará como uma única marca, já que é indiferente qual a marca que é lida pelo leitor pois o que interessa é que a bola seja detetada. Assim pode considerar-se a bola como uma “mega marca”, ou seja uma marca gigante composta por várias marcas.



Figura 16 - Exemplo de marca na bola e leitor na sapatilha

Do ponto de vista da simplicidade do sistema, a segunda opção é a mais válida, pois é fácil cobrir a bola com as marcas, e quanto às sapatilhas só é necessário cobrir a sapatilha com antenas, para que toda a sua envolvente esteja detetável. O leitor e respetiva bateria podem estar fora da sapatilha, de forma a também não influenciar a sua uniformidade, podendo ser colocados na zona da caneleira.

Uma mais-valia desta opção é a facilidade de codificar a identificação de cada sapatilha, bastando para isso introduzir uns dip switches no dispositivo para originar o ID de cada sapatilha, ou o ID ser gerado na altura da programação do dispositivo. Já na primeira opção é necessário ter uma base de dados com todos os UID das marcas, que a sapatilha de cada jogador contém, para se saber qual foi o jogador que executou um toque na bola.

Para que a bola seja detetada pelo leitor de RFID, é preciso que a mesma tenha várias marcas. A opção para a colocação das marcas passou por colocar uma marca em cada painel da bola. Consoante os testes a realizar com bolas reais, tanto pode ser necessário adicionar mais marcas, ou pelo contrário, poderem ser removidas algumas marcas. Tendo em conta o número de painéis que constituem a bola, estima-se que sejam necessárias entre dez a quinze marcas para que toda a envolvente da bola seja detetável.

Quanto ao dispositivo da sapatilha, de maneira a que este detete os toque na bola será necessário cobrir a superfície da sapatilha com antenas. A opção tomada passou por dividir a sapatilha em zonas, e em cada zona colocar uma antena. Assim, dividiu-se a sapatilha em cinco zonas, sendo elas o peito do pé, lateral esquerda e lateral direita, calcanhar e planta do pé. Com a escolha destas 5 zonas da sapatilha obtém-se uma cobertura total da sua superfície.

4.1.2 Estação central

A estação central é um computador acoplado a um dispositivo com um módulo de comunicações sem fios, que receberá os dados enviados por cada um dos leitores, e armazenará os dados referentes a que jogador executou o toque na bola, e regista o instante em que esse toque foi realizado. Estes dados serão então processados de forma a apresentá-los numa forma de estatística de posse de bola de cada equipa. A estação central será também responsável pela disponibilização dos dados da estatística de posse de bola do jogo. Essa disponibilização dos dados poderá ser feita através de ecrãs nos quais os resultados serão apresentados. Quanto à disponibilização dos dados de forma online, será possível com auxílio de uma ligação à internet e com a publicação dos resultados numa página web própria.

4.1.3 Passagem de mensagens

As mensagens transmitidas entre os dispositivos e a central ocorrerão apenas na altura em que houver um toque de um jogador na bola. Para identificar qual o jogador que realizou o toque na bola, vamos utilizar um ID referente ao dispositivo, ID esse que é passado na mensagem enviada para a central quando um toque na bola é detetado. O ID do último jogador a tocar na bola é transmitido por difusão pela central para todos os dispositivos, que armazenam esse valor na sua memória interna. Então quando um jogador efetua um toque na bola verifica o registo do último jogador a tocar na bola e no caso de o ID registado não pertencer ao jogador que efetuou o toque, o dispositivo transmite o seu ID à central. No caso de o registo pertencer ao jogador que efetuou o toque o dispositivo não transmite nada para a central, salvaguardando-se a energia de uma transmissão. Esta opção serve para poupar energia no caso de um jogador realizar vários toques seguidos na bola.

4.1.4 Sincronização

O princípio para obter as estatísticas sobre a posse de bola num jogo de futsal passa por medir os intervalos de tempo entre cada toque detetado. O tempo desde que o último jogador tocou na bola até ser detetado outro toque por outro jogador é somado ao total de tempos de posse de bola por parte desse jogador. No final do jogo soma-se os tempos de posse de bola de todos os jogadores de cada equipa, e dividindo pelo tempo total de jogo obtém-se a percentagem de posse de bola de cada equipa e de cada jogador.

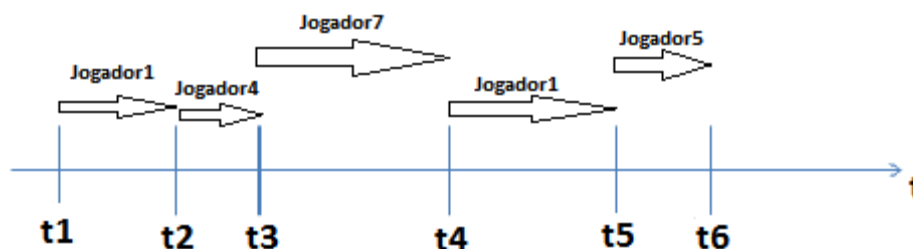


Figura 17 - Exemplo dos tempos entre toques na bola

Na Figura 17 temos um exemplo que refere, num certo período de tempo, quais os jogadores que tocaram na bola. O tempo de posse de bola de cada jogador vai desde o instante em que este tocou na bola até outro jogador tocar nesta. Esse tempo é atribuído ao jogador que anteriormente tinha tocado na bola. No caso do instante t4, em que o Jogador1 toca na bola, o tempo desde que o Jogador7 tocou na bola, instante t3 até t4, é atribuído ao Jogador7. Desde o instante t4 até ao t5 em que o Jogador5 toca na bola, este tempo é atribuído ao Jogador1 que vai somar com o tempo desde o instante t1 até t2, porque foi ele quem teve a posse de bola nesse instante.

Para obter a sincronização dos instantes de cada toque na bola temos duas opções:

- Offline (sem contacto com a central)
- Online (com contacto com a central)

A opção offline consiste em cada leitor ter o seu relógio interno, e guardar em memória os instantes em que detetou um toque na bola. O relógio interno de cada leitor é iniciado através de receção de um sinal RF enviado pela estação central, e assim todos os leitores ficam sincronizados. No final obtém-se os dados de cada leitor e cruza-se a informação de todos, de maneira a obter a informação da posse de bola do jogo. Esta opção pode levar a pequenos erros nos instantes de toque na bola, devido a pequenos desfasamentos que possam existir nos relógios de cada leitor.

A opção online consiste em que o relógio está somente na estação central, e cada leitor quando deteta um toque na bola, sinaliza a estação central. A estação central fica assim responsável por guardar todos os instantes em que foi detetado um toque e a quem pertenceu esse toque. No final do jogo analisa-se os dados presentes na estação central e obtém-se a estatística da posse de bola.

4.1.5 Opções tecnológicas

Assim, para o nosso dispositivo optámos por marcas passivas e de baixa/média frequência, já que as nossas distâncias de leitura são baixas, cerca de 1 centímetro, para evitar conflitos sobre quem tocou na bola quando há uma disputa de bola, já que é uma altura crítica pois há vários jogadores a disputar a bola. Outro motivo para esta escolha é o facto de não ser necessário baterias para alimentar a marca, pois um dos objetivos da conceção do dispositivo é que este seja o mais reduzido possível.

Analisando as tecnologias à nossa disposição para a comunicação sem fios, a melhor opção passa pelo ZigBee, Bluetooth ou o Sub-GHz, devido ao seu muito baixo consumo. Dado que o dispositivo a ser criado tem que ser móvel e o mais leve possível, temos que optar pela opção de menor consumo para utilizarmos baterias minimalistas. O facto de o bluetooth não permitir o emparelhamento de mais que 8 dispositivos, torna-o impossível de ser uma solução para os nossos dispositivos, pois quando a central recebe a informação de um toque, difunde esses dados para todos os dispositivos, ou seja, vinte jogadores cada um com dois dispositivos, o que significa 40 dispositivos. Quanto à taxa de transmissão do ZigBee e do Sub-GHz, apesar de ser muito reduzida é o suficiente para o nosso sistema, pois com o protocolo que estabelecemos para o nosso sistema, dado que cada jogador tem um ID único, as mensagens a serem passadas são muito reduzidas.

Quanto à escolha do microcontrolador, existem muitas opções em qualquer das opções referidas, mas dada a simplicidade de programação do nosso dispositivo, vamos optar por um microcontrolador que tenha um socket o mais pequeno possível para reduzir as dimensões do nosso dispositivo.

Quanto à parte da sincronização, porque em qualquer dos casos, o dispositivo presente na sapatilha tem que ter um componente de RF, tanto na opção offline para dar início ao relógio, como no modo online para enviar a sinalização de toque à estação central, então a opção selecionada é a do modo online. Assim podemos ter os dados em tempo real à disposição e assim conseguir mais funcionalidades para o nosso sistema como é o caso da apresentação dos dados da posse de bola em tempo real. Assim, o tamanho da memória dos dispositivos deixa de ser um fator a ter em conta, pois não terão que armazenar os dados em memória referentes aos instantes em que os toques são realizados. Mas numa versão mais protegida, os dados referentes aos instantes em que os toques são realizados poderiam ser armazenados de maneira a ter um backup dos dados. Por outro lado, vai haver um maior consumo de energia, pois sempre que é detetado um toque na bola o dispositivo terá que transmitir o seu número de identificação. Mas este aumento de consumo é compensado pela disponibilidade de dados em tempo real.

4.2 Equipamento escolhido

A escolha do material a ser usado neste projeto teve como principais critérios de seleção as dimensões de cada componente e o seu consumo. A escolha segundo estes critérios deve-se ao facto de se querer projetar um dispositivo com as dimensões mais reduzidas possíveis e com o menor consumo energético possível.

4.2.1 Microcontrolador RF

Atualmente existem no mercado microcontroladores com um front-end de RF já incluídos no mesmo socket. Estas soluções são a melhor opção para o nosso dispositivo pois vamos obter uma poupança de espaço significativa, pois em vez de termos dois chips, vamos ter apenas um.

O chip CC1110/CC1111 [11] da Texas Instruments é um chip que traz integrado um microcontrolador e um front-end de RF.

A grande diferença entre o CC1110/CC1111[11], é que o CC1111 possui o suporte para USB 2.0 o que é uma vantagem para a comunicação com outros dispositivos que estejam interligados através de meio físico. Quanto ao resto, os microcontroladores são idênticos.

O CC1110/CC1111 é um chip de baixo consumo desenhado para aplicações sem fios de baixa potencia. É constituído por um microcontrolador 8051 e pelo front-end de RF CC1101 [12], com uma dimensão de 6 x 6 mm. As suas principais características são as seguintes:

- **Rádio**
 - Um front-end de RF de grande performance baseado no CC1101
 - Excelente performance na seletividade e bloqueio na receção
 - Grande sensibilidade (-110 dBm a 1.2KBaud)
 - Potência da saída até 10 dBm a qualquer frequência
 - Gama de frequências: 300-348 MHz, 391-464 MHz e 782-928 MHz

- **Baixo Consumo**
 - Baixa corrente de consumo (Receção 16.2mA a 1.2 kBaud e na transmissão 15.2mA a -6 dBm de potência de saída)

- **Microcontrolador, Memória e Periféricos**
 - Microcontrolador com um núcleo 8051 de grande performance e baixo consumo
 - DMA disponível
 - 8/16/32 Kb de flash programável e 1/2/4 Kb de RAM
 - Controlador USB com um FIFO de 1Kb
 - Coprocessador de 128-bits para encriptação AES
 - Duas USARTs
 - Três timers de 8 bits

- Suporte para Hardware debug
- 21 (CC1110) ou 19 (CC1111) pinos de IO disponíveis
- **Geral**
 - Gama de voltagem de funcionamento (2.0V – 3.6V)



Figura 18 - CC1110 (<http://sigma.octopart.com/31287402/image/Texas-Instruments-CC1110F32RHHT.jpg>)

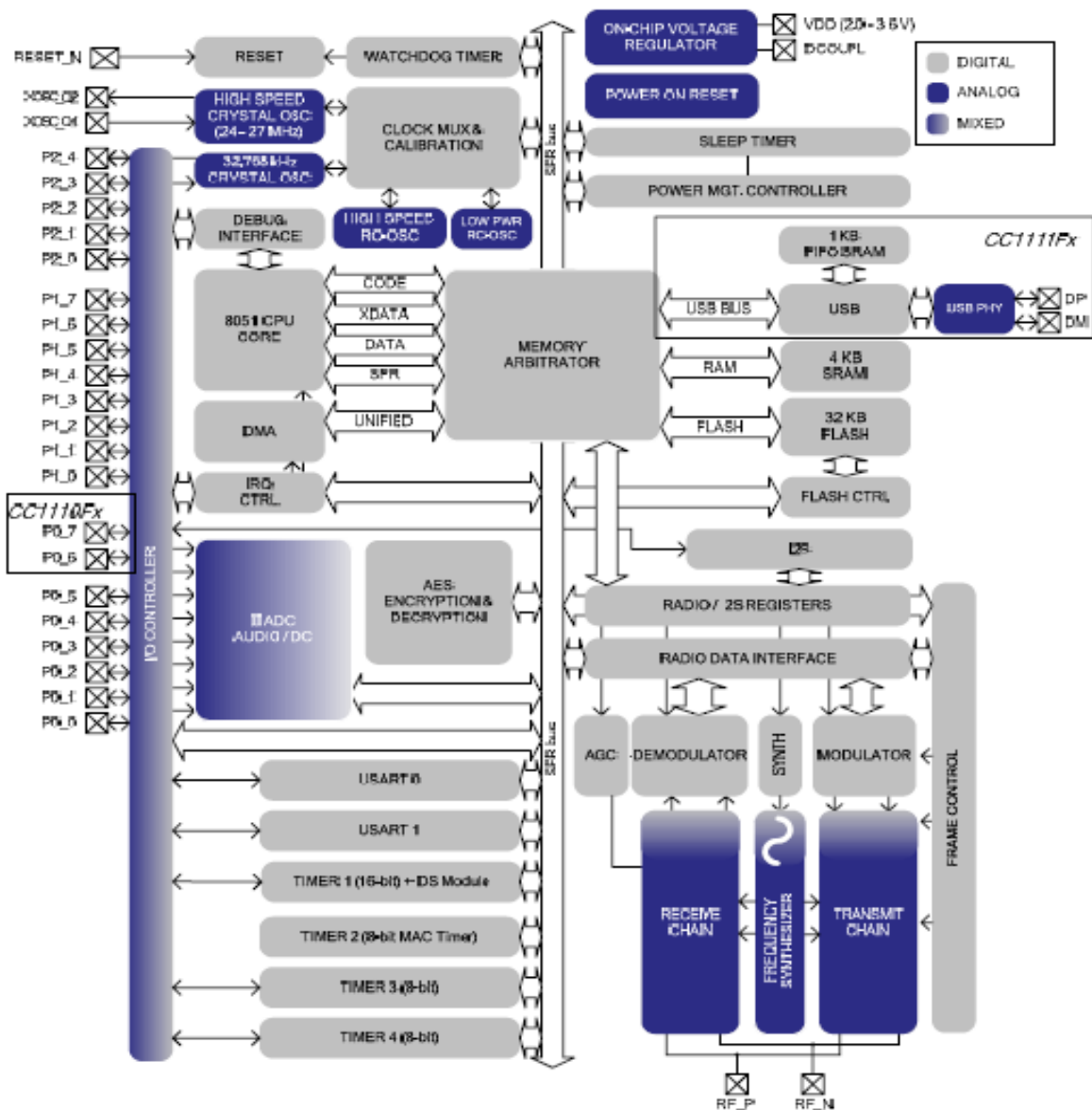


Figura 19 - Diagrama de Blocos do CC1110

O CC1110/CC1111 consoante a frequência RF a que vai funcionar terá que ter um circuito de adaptação consoante a frequência escolhida.

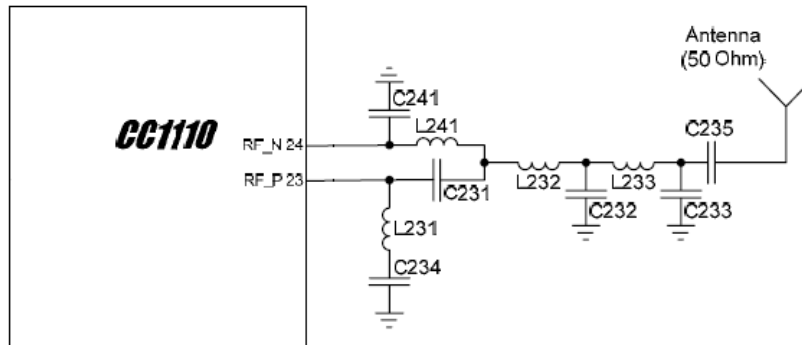
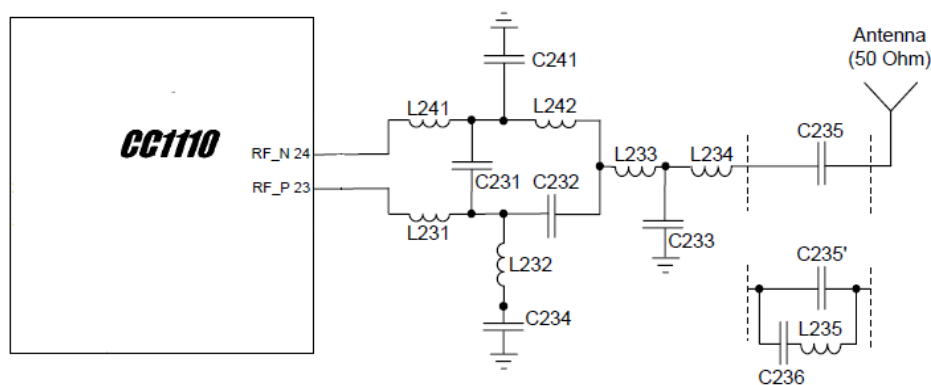


Figura 20 - Circuito de Adaptação para 433 MHz



Alternative filter that can be used to reduce the emission at 699 MHz below -54 dBm, for conducted measurements.

Figura 21 - Circuito de Adaptação para 915MHZ

Os valores de cada um dos componentes do circuito de adaptação e filtragem podem ser encontrados no datasheet do chip [11] na página 40.

O ATA8510/ATA8515 [13] é o microcontrolador AVR da Atmel com um front-end de RF sub-GHz incluído. O ATA 8510/ATA8515 está dividido em três partes, o front-end de RF, banda-base digital e um microcontrolador de baixo consumo de 8 bits AVR. Este produto está desenhado para funcionar nas gamas de frequência entre os 310 – 318 MHz, 418 – 477 MHz e 836 – 956 MHz. Combinando uma excelente performance de RF com um sofisticado processamento de sinal em banda base e uma robusta comunicação sem fios, é uma solução de grande qualidade. As suas principais características são:

- Microcontrolador AVR com núcleo de 1Kbyte SRAM e uma biblioteca de 24Kbyte no firmware
- Bandas de frequências suportadas
 - Banda-Baixa 310 – 318 MHz, 418 – 477 MHz
 - Banda-Alta 836 – 956 MHz
- Baixo consumo de corrente
 - 9,8mA no modo de receção de Banda-Baixa

- 9,4mA/13,8mA no modo de transmissão
- Típica corrente no modo standby de 5nA
- Potência de transmissão programável entre -12dBm até 14,5dBm (passo de 0,4dBm)
- Interface SPI para receção/transmissão para acesso a dados e configuração
- Sensor de temperatura integrado
- Gama de tensões de funcionamento entre 1,9 – 3,6 V
- Pequeno package de 5x5mm

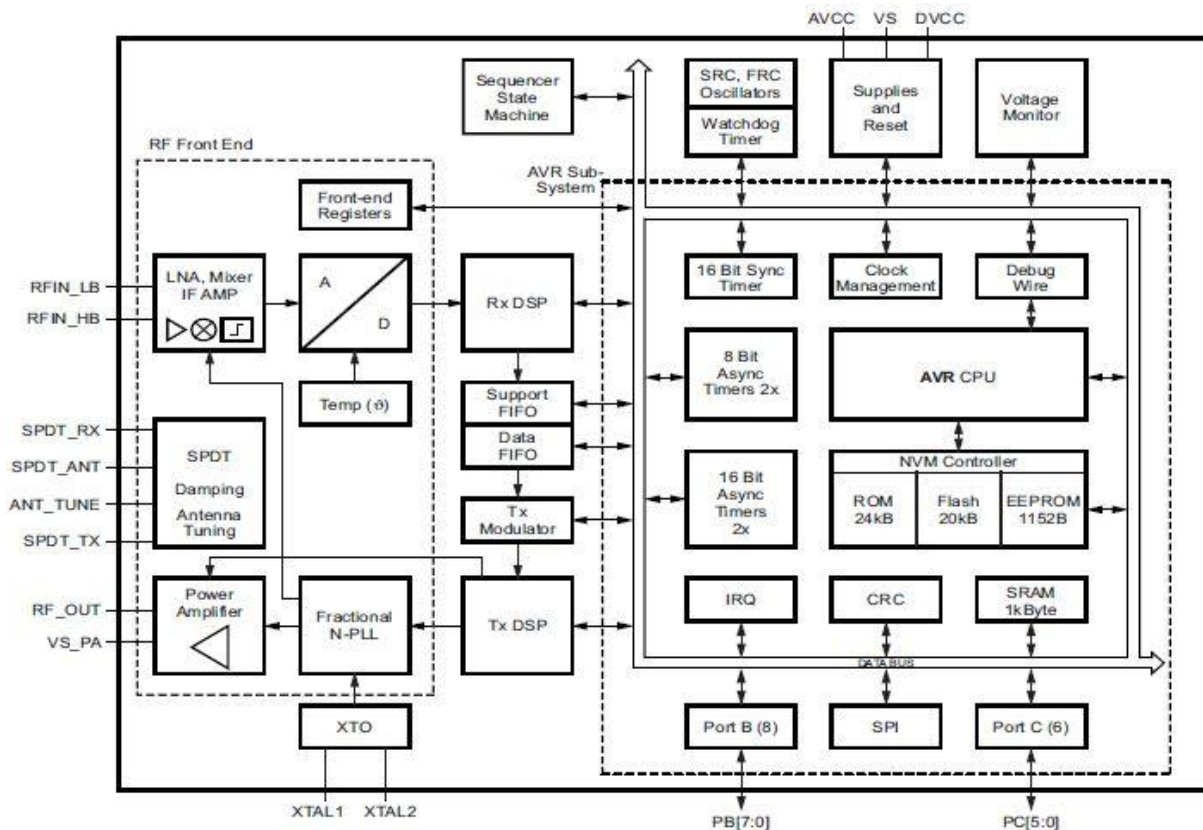


Figura 22 - Diagrama de Blocos do ATA8510/ATA8515

4.2.2 Leitor RFID

O TRF7960 [14] da Texas Instruments, é um integrado analógico, que é um front-end e fornecedor de dados para um sistema RFID de 13.56MHz. A sua diversificação de opções de programação proporcionam um leque alargado de aplicações que se podem criar com ele.

A configuração do leitor é feita através da seleção do protocolo desejado nos registos de controlo, e o acesso direto a todos os registos de controlo permite uma afinação precisa de todos os parâmetros do leitor consoante as necessidades.

As principais características do TRF7960 são:

- Completos protocolos integrados
- Auto configuráveis modos de defeito para cada protocolo suportado

- 12 registos programáveis para o utilizador
- Ganho de receção e controlo de ganho automático seleccionáveis
- Potência de saída programável (100mW ou 200mW)
- Gama de voltagem de funcionamento (2.7V - 5.5V)
- Muito baixo consumo nos modos de funcionamento
 - Desligado < 1 μ A
 - Standby 120 μ A
 - Modo receção ativo 10mA
- Interface de comunicação com microcontrolador de 8-bits paralelo ou 4-bits serie, utilizando um FIFO de 12bits
- Chip de dimensões muito reduzidas (5mm x 5mm)
- Protocolos suportados
 - ISO14443A
 - ISO14443B
 - ISO15693
 - ISO18000-3
 - Tag-it



Figura 23 - TRF7960

O TRF7960 pode ser implementado tanto com interface serie ou paralelo para comunicar com o microcontrolador. As funções de transmissão e receção usam codificadores e decodificadores internos com um registo FIFO de 12 bytes. Para transmissões e receções diretas, os codificadores/descodificadores podem ser ignorados, e assim o microcontrolador pode processar os dados em tempo real. A potência de saída na transmissão tem dois níveis seleccionáveis, 100mW (20dBm) ou 200mW (23dBm) e é capaz de modular o sinal em ASK ou OOK.

A transmissão de dados compreende a codificação de baixo nível para ISO15693, Miller modificado para ISO14443-A, sistema de grande taxa de transmissão de bits para ISO14443 e codificação para sistemas Tag-it. Incluído com a codificação, automaticamente são gerados os bits SOF, EOF, CRC e/ou bits de paridade.

O sistema de receção inclui um plano que efetua a verificação do CRC e/ou bits de paridade, retira os bits de EOF e SOF, e organiza os bits de dados. Os dados ficam então acessíveis ao microcontrolador através do registo FIFO de 12 bytes.

O TRF7960 suporta níveis de comunicação entre os 1.8V até 5.5V, e também fornece o relógio de sincronização de dados.

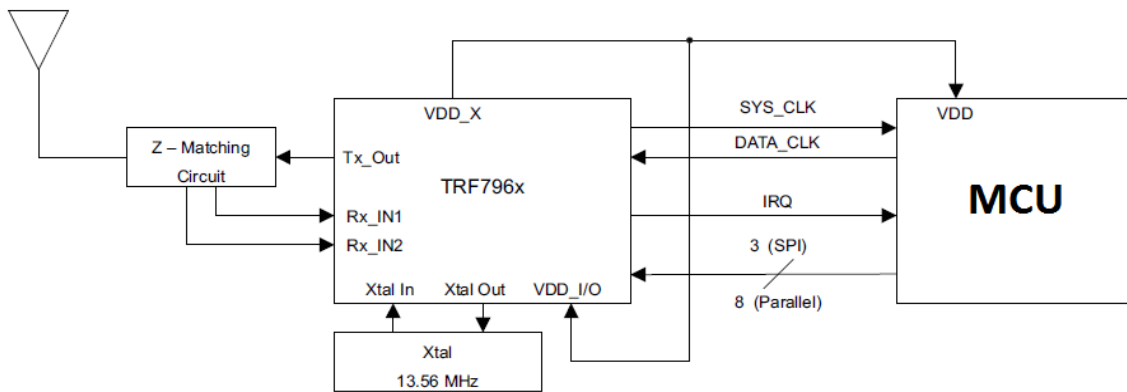


Figura 24 - Aplicação típica do TRF7960

4.2.3 Marca inlay

O Tag-it™ HF-I plus [15] da Texas Instruments, é uma marca passiva de 13.56 MHz que complementa os protocolos ISSO/IEC 15693 e ISSO/IEC 18000-3 que são protocolos abertos e globais. Esta marca oferece a seu utilizador acesso a uma memória de 2048 bits organizada em blocos de 64 blocos, e está disponível num conjunto de 6 formas diferentes de antena.

O Tag-it HF-I é fabricado com uma técnica de impressão patenteada pela Texas Instruments que proporciona uma leitura consistente. A marca, antes da sua entrega ao utilizador passa por testes de funcionalidade e paramétrico, de forma a proporcionar ao utilizador a qualidade que se espera por parte da Texas Instruments.



Figura 25 - Tag-it HF-I plus

4.2.4 Antena 433 MHz

A antena helicoidal ISM 433MHz da Pulse [16], é suportada por um tubo de plástico de forma a não perder a sua forma. Tem um comprimento de 35.35 mm e um diâmetro de 7 mm, um baixo peso de 1.8 g. Feita para ser montada no topo de placas de PCB, através de umas estacas de apoio que encaixam em orifícios criados na placa de PCB. O contacto entre a antena e a placa PCB é feito através do soldar do contacto terminal da antena a um orifício da placa PCB.



Figura 26 - Antena Helicoidal 433 MHz

4.2.5 Antena RFID

A antena W7001[17] da Pulse, é uma pequena bobine flexível NFC, ideal para produtos embutidos. Os contactos da W7001 podem ser conectados ao circuito através de grampos de molas, soldados diretamente ou utilizando os C-clips W9908/W9909 da própria Pulse. A montagem da antena é facilmente realizada utilizando o fino mas agressivo adesivo nas costas da antena. É recomendado a montagem da antena no interior do dispositivo, de forma a cobrir a antena e assim protege-la.



Figura 27 - Antena RFID

4.2.6 Comutador RF

O ADG936 [18] da Analog Devices é um comutador analógico de RF de banda larga, que compreende dois canais independentes selecionáveis através de um processo CMOS que proporciona um grande isolamento e baixa perda de inserção até 1 GHz.

O ADG936 é a solução ideal para aplicações de baixo consumo e alta frequência. A baixa perda de inserção, grande isolamento entre portos, baixa distorção e o baixo consumo deste componente fazem dele uma excelente escolha para aplicações que requerem uma comutação tanto de filtros, transmissores ou recetores.

O comutador ADG936 de larga banda é desenhado de maneira a ir ao encontro das exigências dos dispositivos que transmitem na frequência do ISM [19] até 1 GHz. As baixas perdas por inserção, grande isolamento entre portos, o controlo da interface com apenas um pino, o não requerer de capacidades para bloquear o DC, e a compatibilidade com uma interface TTL [20] fazem dele a solução de custo eficiente e de fácil

integração para aplicações que requeiram comutações de frequências, transmissores/recetores, filtros e de baixo consumo, e por causa de suportar com potências de 16 dBm.

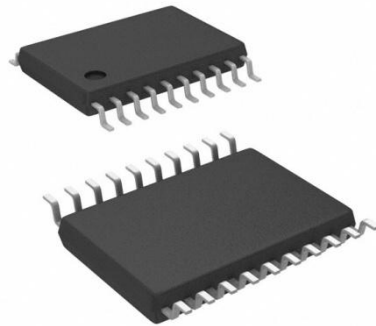


Figura 28 - ADG936

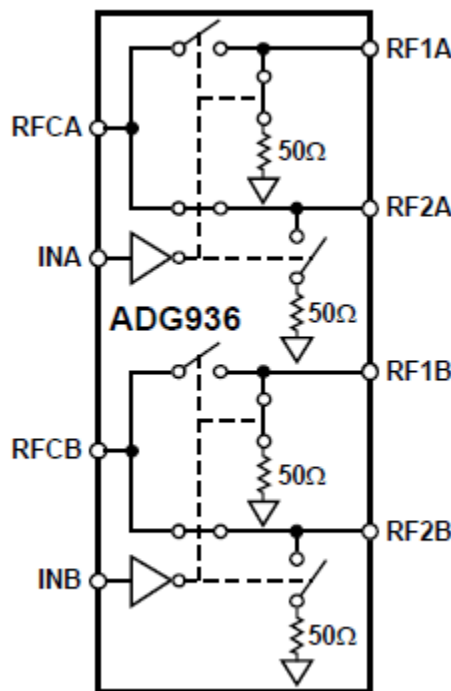


Figura 29 - Diagrama de blocos do ADG936

O ADG936 consiste num comutador de RF de dois canais 2x1, ou seja, em cada canal podemos escolher um de dois terminais. Assim podemos ter quatro terminais RF, em que dois estão ligados a um canal e os outros dois a um outro canal. Em cada canal, para seleccionarmos o terminal com o qual queremos comunicar, a sua seleção é feita através de um único porto para cada canal.

INx	RF1x	RF2x
0	Off	On
1	On	Off

Figura 30 - Tabela de verdade do ADG936

A Figura 30 mostra a tabela de verdade, para a seleção dos vários terminais do ADG936. Consoante o nível que temos no porto de seleção do terminal, temos no canal respetivo o sinal do terminal selecionado.

Para termos um comutador de 4x1, ou seja, quatro terminais RF a convergir num único canal, temos que utilizar dois ADG936 em cascata de forma a podermos escolher entre os dois canais disponíveis no ADG936, de qual deles é que queremos receber o sinal.

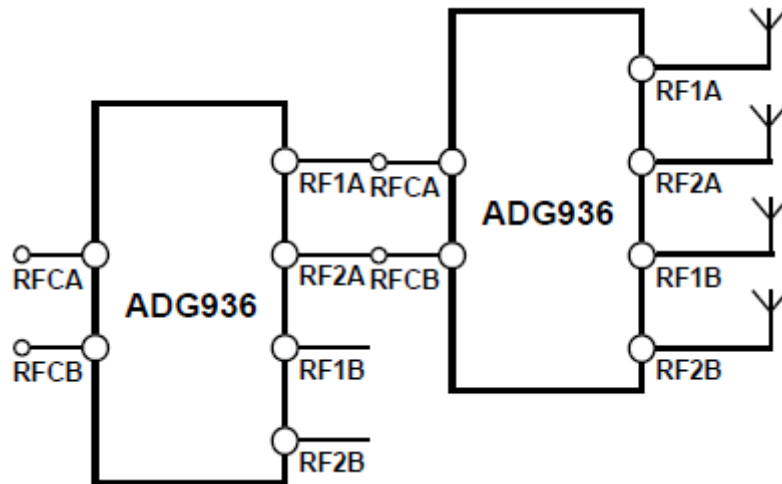


Figura 31 - ADG936 em cascata

Na Figura 31 temos um exemplo de uma montagem do ADG936 em cascata, em que dos quatro terminais disponíveis (RF1A, RF2A, RF1B, RF2B) do segundo ADG936, vamos receber no canal RFCA do primeiro ADG936 apenas o sinal de um dos terminais do segundo ADG936. O sinal que recebemos no canal vai depender da conjugação dos valores dos portos de seleção do terminal de cada um dos ADG936. Assim é necessário criar uma tabela de verdade consoante a configuração que for usada, de forma a criar um comutador de 4x1. Para criar um comutador com mais terminais a conjugarem no mesmo canal, é só voltar a usar o mesmo princípio atrás explicado.

Também da Analog Devices temos o comutador de RF HMC252 [21]. O HMC252 é um comutador de seis canais, de baixo custo e com uma largura de banda que vai desde DC até 3.0 GHz.

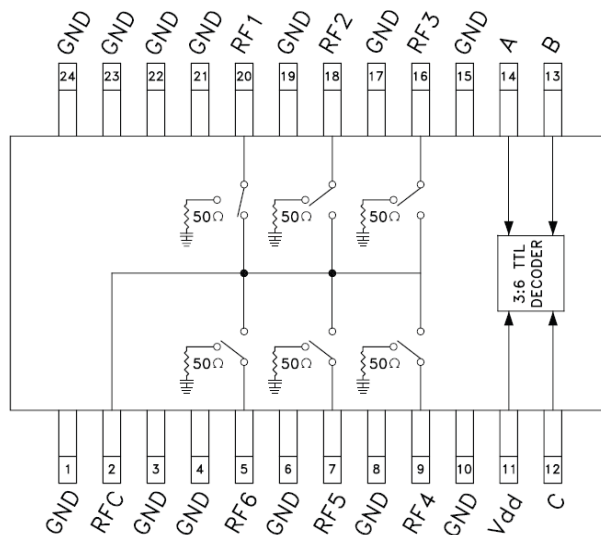


Figura 32 - Diagrama funcional do HMC252

O HMC252 é composto por um decodificador TTL3:6, que requiere apenas três linhas de controlo e uma linha de alimentação para seleccionar qualquer um dos canais de RF. O HMC252 está adaptado para 50Ω, e funciona com tensões de entrada de 3.3V e 5V.

Control Input			Signal Path State
A	B	C	RFCOM to:
LOW	LOW	LOW	RF1
HIGH	LOW	LOW	RF2
LOW	HIGH	LOW	RF3
HIGH	HIGH	LOW	RF4
LOW	LOW	HIGH	RF5
HIGH	LOW	HIGH	RF6
LOW	HIGH	HIGH	ALL OFF
HIGH	HIGH	HIGH	ALL OFF

Figura 33 - Tabela de verdade do HMC252

4.2.7 Opções tomadas

Dos microcontroladores com front-end de RF existentes, optou-se pelo CC1110/CC1111 da Texas Instruments. A sua escolha deve-se ao facto do microcontrolador da Atmel não existir em stock. Outra vantagem para a utilização do microcontrolador da Texas Instruments, é a quantidade de exemplos de utilização e aplicações existentes, o que fornece uma boa base para o início do trabalho.

Dos periféricos existentes no CC1110, utilizamos um timer que servirá para comutar a antena do leitor RFID que está em funcionamento. Uma USART em modo SPI para

comunicar com o leitor de RFID e o front-end de RF que servirá para comunicar entre as várias placas.

O timer está configurado a uma frequência que seja possível percorrer as várias antenas disponíveis, de maneira a evitar uma falha de leitura. A quando de uma deteção por parte do leitor, a interrupção de leitura terá prioridade sobre a de comutação de antenas, e assim não se perderá a leitura.

O front-end de RF está configurado à frequência de 433MHz, frequência escolhida para este projeto, e a board terá todo circuito de adaptação recomendado assim como uma antena projetada para os 433MHz.

A antena RFID escolhida foi a W7001 da Pulse, ao invés de se fazer as antenas na própria sapatilha, devido ao facto de terem um preço acessível e terem o tamanho indicado para a aplicação, já que a distância de leitura é equivalente ao tamanho da antena usada. Como neste sistema as distâncias de leitura pretendidas são de cerca de 1 cm ou menos, logo esta antena serve para os objetivos.

O leitor RFID escolhido é o TRF7960, um IC, que nos dá liberdade de utilização, ou seja, podemos construir um circuito com total liberdade de posicionamento dos componentes. O TRF7960 é um leitor de RFID com suporte para um grande número de protocolos RFID, o que nos dá uma grande liberdade para a escolha das marcas a utilizar neste sistema. O TRF7960 é utilizado com a configuração de comunicação série com o microcontrolador e tem várias antenas sintonizadas para 13.56MHz que estão ligadas ao comutador de RF. Assim conseguimos ter uma cobertura total sobre a zona do pé, evitando assim perder um contacto entre a bola e a sapatilha.

O comutador de RF escolhido é o HMC252 devido aos fatores de ser apenas um integrado, o que simplifica em muito a conceção do circuito. Também devido a ter um consumo muito inferior ao do ADG936, 4.8mA contra os 30mA do ADG936, que agravava pelo facto de serem necessários dois ADG936 neste sistema. As vantagens do ADG936 é o tempo de comutação entre canais, tipicamente 13ns contra os 35ns do HMC252, mas para este sistema, essa diferença é irrelevante e o preço, 3.13€ contra os 7.24€ do HMC252.

A bola de futsal, está coberta de marcas Tag-it de forma a cobrir toda a sua superfície, de maneira a que o leitor não falhe nenhum contacto. Foram escolhidas as marcas Tag-it devido ao facto de haver modelos em forma circular e serem feitas em plástico maleável, que faz com que sejam mais fáceis de adaptar aos painéis da bola de futsal e por serem as mais baratas no mercado.

4.2.8 Consumos e autonomia

Tendo em conta que os componentes que mais consomem neste dispositivo são o CC1110, o TRF7960 e o HMC252, já que o resto dos componentes do dispositivo é passivo e tendo em conta a corrente máxima que cada um deles pode consumir, que são:

- CC1110 $\rightarrow I_{DDm\acute{a}x} = 33,5mA$
- TRF7960 $\rightarrow I_{DDm\acute{a}x} = 150mA$ mas como só é utilizado para leituras a corrente consumida é 16mA

- HMC252 → $I_{DDm\acute{a}x} = 8\text{mA}$

Assim, e como a tensão de funcionamento do sistema é 3,3V e uma corrente máxima consumida de 57,5mA:

$$P_T = 3.3 * (33,5 + 16 + 8) = 189,75 \text{ mW}$$

Assim, se o dispositivo for alimentado por uma pilha com uma capacidade de 1Wh, temos autonomia para cerca de cinco horas, o que é mais que suficiente para alimentar o dispositivo durante o tempo todo de um jogo.

4.3 Conceção

Para podermos utilizar estes dispositivos, é necessário conceber os circuitos que contenham todos os componentes necessários para o correto funcionamento dos dispositivos. No caso do dispositivo a colocar nas sapatilhas, sua conceção deve ter em conta as dimensões que o dispositivo terá assim como a confortabilidade do mesmo. No caso do dispositivo a ligar ao computador as preocupações que temos com o dispositivo das sapatilhas deixam de existir, pois não temos nenhuma restrição quanto ao tamanho, nem à confortabilidade do mesmo.

Assim, o circuito do dispositivo das sapatilhas conterá o microcontrolador com front-end de RF CC1110, o leitor de RFID TRF7960, o comutador de RF HMC252, a antena de 433MHz W3127 e as antenas de 13.56MHz W7001.

A opção mais básica passa por construir uma placa em PCB que contenha todos os componentes, assim como todos os circuitos de adaptação, filtragem e de desacoplamento, ficando apenas externo à placa, as antenas de 13.56 MHz que são coladas às sapatilhas e ligadas à placa através de cabos coaxiais.

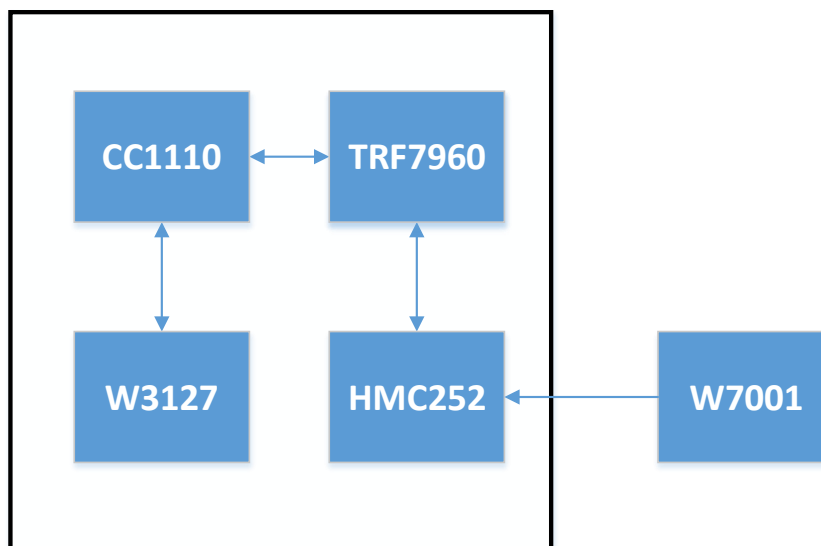


Figura 34 - Exemplo de conceção da placa PCB para o Dispositivo das Sapatilhas

Esta opção é a melhor opção a nível de interligação dos vários componentes, pois ficam todos na mesma placa. Dado a dimensão que a placa terá com esta configuração torna-se impossível embutir o dispositivo na sapatilha. Assim e tendo em conta a limitação devido à dimensão do dispositivo, a melhor opção passa por colocar o dispositivo na zona da caneleira, pois é uma zona com mais espaço livre e onde menos incomoda a sua colocação.

Outra opção para a conceção do dispositivo, passa por dividir os componentes em duas placas, ficando uma na sapatilha com o TRF7960 e o HMC252, e noutra placa a colocar na caneleira o CC1111, o W3127 e a bateria.

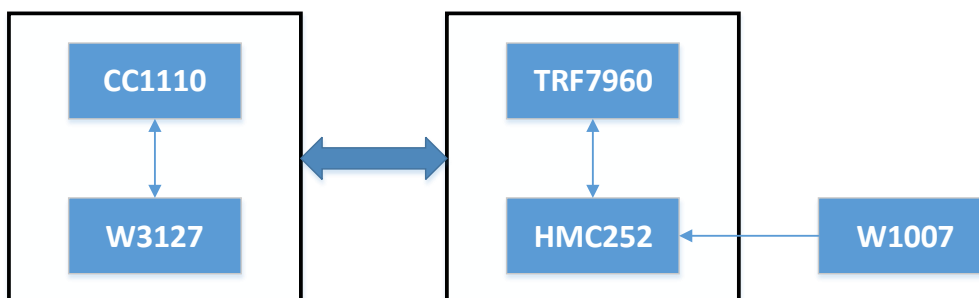


Figura 35 - Exemplo de conceção do Dispositivo em duas placas

Esta solução faz com que as placas tenham dimensões mais reduzidas e assim sejam mais cómodas ao serem utilizadas. Assim o componente de maior dimensão, o W3127, fica fora da sapatilha, ou seja, na caneleira, e assim permite que os componentes TRF7960 e HMC252 possam ser incorporados na sapatilha dado que as suas dimensões são muito reduzidas. As ligações a serem partilhadas entre as placas são: a alimentação e massa, as ligações de comunicação entre o CC1111 e o TRF7960, e as linhas de controlo do HMC252.

4.4 Algoritmos

Depois de escolhidas as tecnologias e componentes a utilizar na conceção do dispositivo, é necessário colocar todos esses componentes a funcionar interligados de forma ao dispositivo realizar as funções pretendidas. Para isso é necessário projetar um algoritmo que indique os passos necessários para funcionamento do dispositivo e assim realizar o código de controlo do dispositivo.

4.4.1 Algoritmo do dispositivo conectado ao computador

O algoritmo do dispositivo a ligar ao computador, que servirá de estação de dados do nosso sistema, indica quais os passos a executar para a sua função ser realizada. A função deste dispositivo é receber a informação enviada pelo dispositivo das sapatilhas e transmiti-la ao computador.

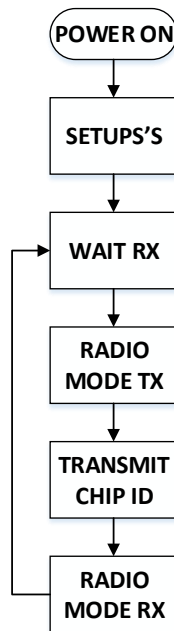


Figura 36 - Diagrama de Estados do Dispositivo a Ligar ao Computador

Depois do dispositivo ligado ao computador, este vai alimentar o dispositivo e assim começar a executar o seu código. Inicialmente começa por realizar as configurações de todos os periféricos e registos de configuração necessários para a realização da função a ele destinado. Como este dispositivo tem como função receber os dados enviados pelo dispositivo das sapatilhas, temos que configurar a parte de RF do dispositivo e a parte de comunicação entre o dispositivo e o computador.

Assim temos que inicialmente ligar o cristal externo do CC1111 que é necessário para utilizar o front-end de RF. Depois do cristal estar a funcionar num modo estável configuramos o front-end de RF. A configuração, ou seja, os valores dos registos de RF são obtidas através do SmartRF Studio [22], um software da Texas Instruments que calcula todos os registos de RF de acordo com as especificações a utilizar no sistema. Depois de configurado o front-end de RF, configuramos a parte de comunicação com o computador. Como o CC1111 contém o periférico de USB, utilizamos este para a comunicação com o computador. Ao fim deste configurado, configuramos o DMA do CC1111 para termos uma transferência de informação mais rápida. Utilizamos o DMA para a transferência de informação entre a memória a o front-end de RF e também entre a memória e o FIFO do USB. No fim disto temos todas as configurações necessárias para o funcionamento do dispositivo feitas, passamos à parte de funcionamento.

Na parte de funcionamento, o microcontrolador está no modo de receção, à espera que algum dos dispositivos das sapatilhas comunique com ele. Assim que há uma mensagem recebida, este analisa os dados, mais concretamente a informação de qual foi o dispositivo que comunicou com ele. De seguida o microcontrolador muda o seu estado para o modo de transmissão, e transmite a informação de qual foi o dispositivo que comunicou com ele através de difusão para todos os dispositivos das sapatilhas, e através de USB para o computador. Depois da transmissão feita, o microcontrolador muda o seu estado para o modo de receção e aguarda por uma nova mensagem de um dos dispositivos das sapatilhas.

No final do jogo, a comunicação USB é desligada e assim o dispositivo também é desligado.

4.4.2 Algoritmo do dispositivo das sapatilhas

O algoritmo do dispositivo das sapatilhas indica quais os passos e decisões a serem tomados pelo microcontrolador presente no dispositivo.

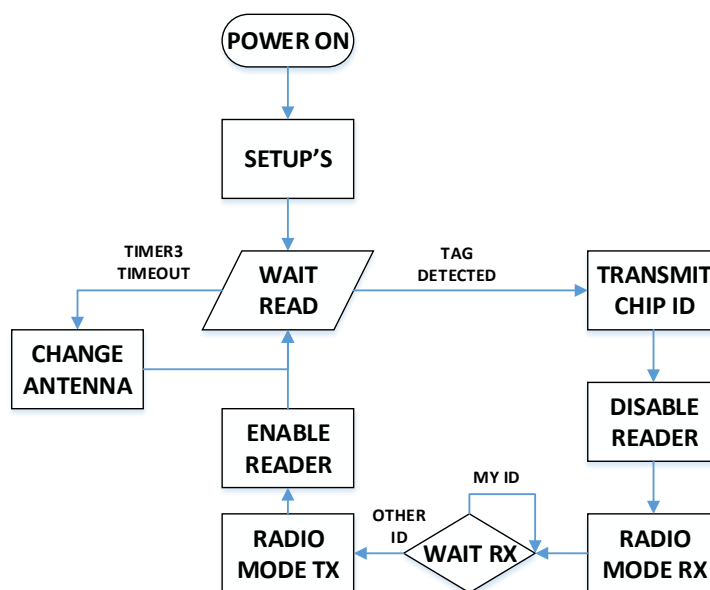


Figura 37 - Diagrama de Estados do Dispositivo das Sapatilhas

Ao fim do dispositivo ser ligado, momentos antes do início do jogo, são realizadas as configurações necessárias para o correto funcionamento do dispositivo. Assim inicialmente começamos por ativar o cristal externo, necessário para ativar o front-end de RF. Depois do cristal estar a funcionar num modo estável configuramos o front-end de RF. Esta configuração é obtida utilizando o SmartRF Studio [22], conforme as nossas especificações para o sistema. De seguida configuramos o DMA para termos transferências mais rápidas de dados entre a parte RF e a memória, e o SPI, periférico utilizado para comunicar com o leitor de RFID, e a memória. Configuramos também um alarme, que servirá para fazer a troca da antena da sapatilha que está a ser utilizada. A frequência à qual a troca de antenas é feita, deverá permitir que a troca entre todas as antenas seja mais rápida do que o tempo que demora um toque da bola com a sapatilha. De seguida configuramos as interrupções do microcontrolador. São necessárias duas interrupções, uma para detetar quando o leitor de RFID quer comunicar com o microcontrolador e outra para quando o timer acabar a sua contagem. De seguida passamos à configuração do leitor RFID que é executada através da passagem dos valores determinados, consoante a função que queremos dar ao leitor, para os registos internos do leitor e também através de alguns comandos para colocar o leitor a funcionar.

Depois de todas as configurações realizadas, o microcontrolador fica em modo de espera até que uma marca seja detetada. Entretanto o timer a funcionar em segundo plano, quando gera uma interrupção é alterado os valores dos portos de saída que controlam o comutador de RF, de forma a alterar a antena que está a ser utilizada. Quando uma marca é lida, o microcontrolador transmite a informação da sua identificação através do front-end de RF por difusão para todos os dispositivos. De seguida muda o estado do leitor de RFID para standby, de maneira a poupar energia e fica em modo de receção. No modo de receção, se receber o seu próprio valor de identificação, significa que o último a tocar na bola foi ele e então continua no modo de receção. Assim podemos poupar energia mesmo que voltemos a tocar na bola, pois como a informação do último jogador a tocar na bola é nossa, o valor da posse de bola continua a ser nosso. Quando recebe um valor de identificação diferente do seu, significa que outro jogador tocou na bola e então o microcontrolador muda para o modo de transmissão e liga o leitor de RFID para poder detetar um toque na bola.

No final do jogo o dispositivo é desligado.

4.4.3 Algoritmo do processo do computador

O computador que serve de estação de dados do sistema tem que correr um processo, o qual será responsável pelo tratamento dos dados.

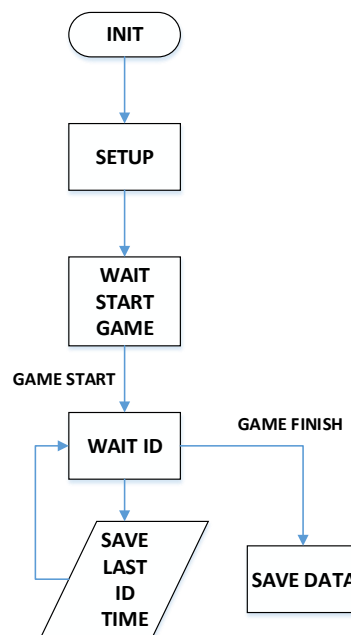


Figura 38 - Algoritmo do Processo a correr no Computador

Depois de o dispositivo a ligar ao computador ser conectado, inicia-se o processo. Inicialmente configura-se a ligação por USB, para ter acesso aos dados enviados pelo dispositivo conectado ao computador. De seguida configura-se o acesso a um documento onde serão guardados os dados do jogo.

Depois das configurações a aplicação fica à espera que o jogo se inicialize, para dar início ao relógio do jogo. Assim que o jogo é iniciado, o processo fica à espera de receber os dados de identificação do dispositivo do último jogador a tocar na bola. Quando recebe esses dados, o processo calcula o tempo decorrido desde o instante em que recebeu a última informação e adiciona esse tempo de posse ao jogador que anteriormente tinha tocado na bola.

Quando o jogo termina, o processo guarda os dados relativos ao tempo de posse de bola de cada jogador num ficheiro, para serem disponibilizados.

5 Concretização e Avaliação

5.1 Circuitos concebidos

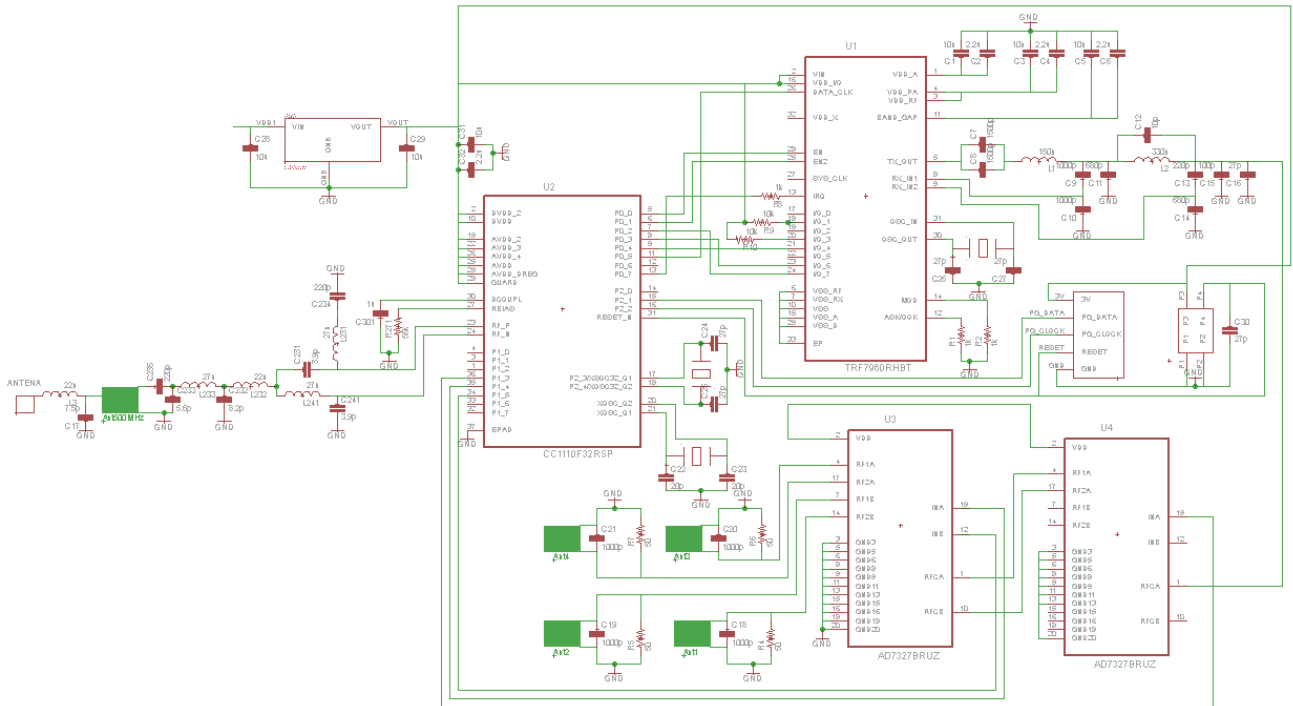


Figura 39 - Esquemático da primeira versão do dispositivo das sapatilhas

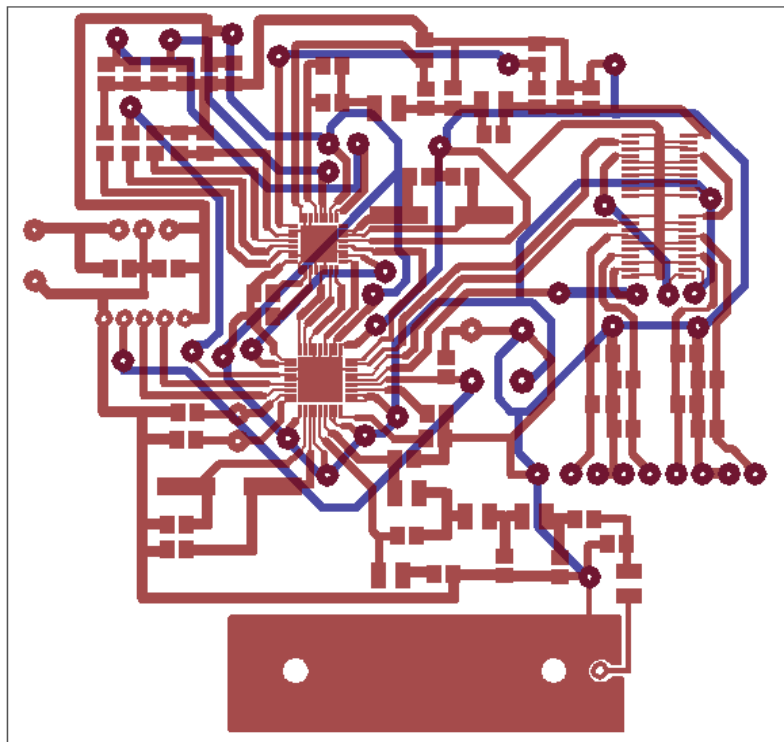


Figura 40 - Primeira versão da placa PCB para as sapatilhas

Na Figura 39 e Figura 40 é apresentado o esquemático e respetivo desenho da PCB, da primeira versão projetada. Tal como em muitos projetos, as primeiras versões têm muitos erros, e neste caso o mesmo se sucedeu, sendo necessário fazer alguns ajustes na placa para ela funcionar.

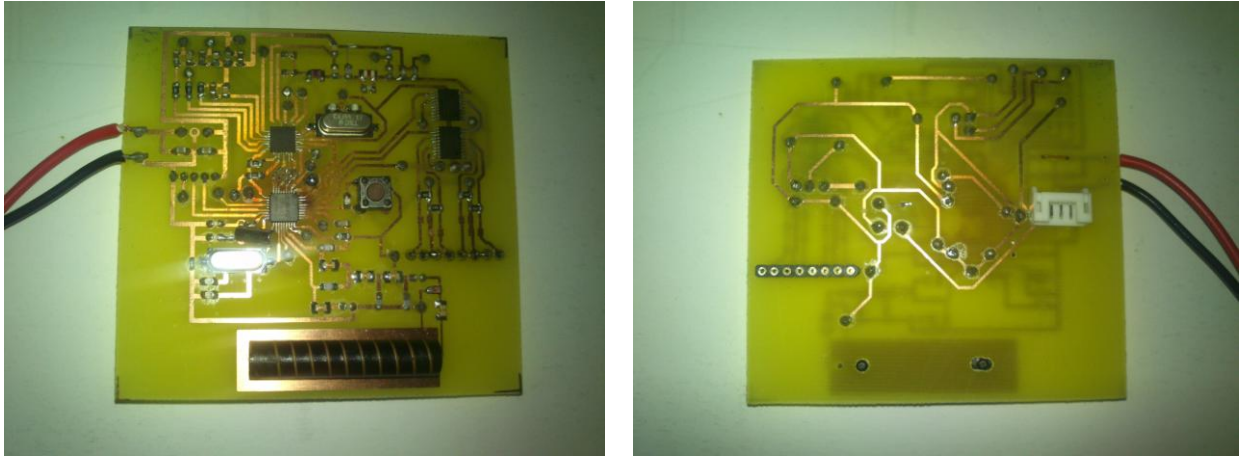


Figura 41 - Placa PCB do dispositivo das Sapatilhas primeira versão

Na Figura 41 podemos ver o resultado final da primeira versão da placa PCB projetada. A série de retificações a que esta foi sujeita levou a que esta deixa-se de ter a qualidade suficiente para este tipo de componente. Consequentemente, alguns destes componentes deixaram de funcionar corretamente, sendo necessário voltar a redesenhar a placa.

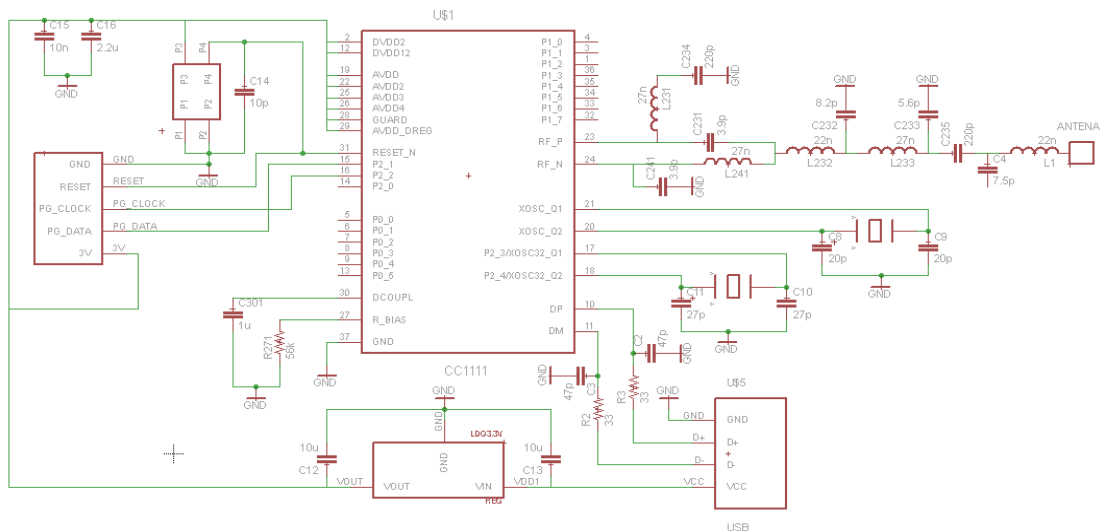


Figura 42 - Esquemático da placa que liga ao computador

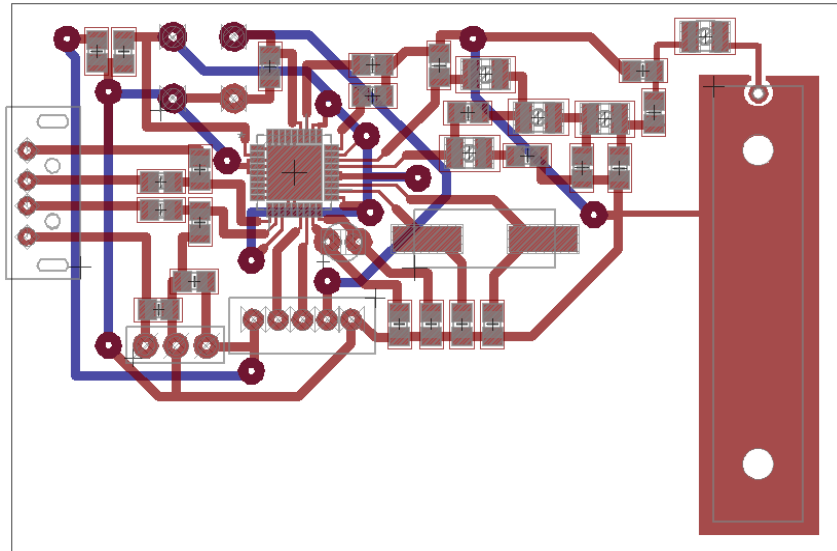


Figura 43 - Desenho da PCB para a placa que liga ao PC

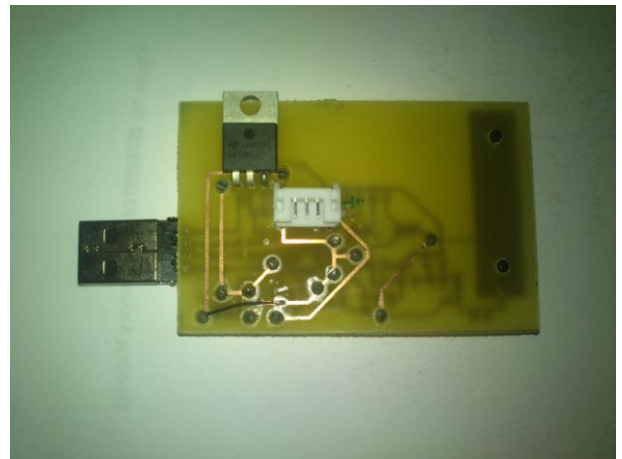
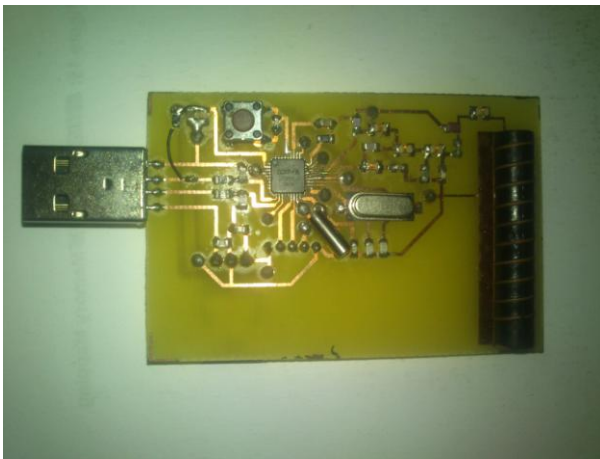


Figura 44 - Placa PCB que liga ao PC

Na Figura 42 e Figura 43 podemos ver o esquemático e o desenho da placa PCB respectivamente, que foi projetada para fazer a comunicação entre a placa de cada sapatilha e o computador responsável pelo armazenamento dos dados. Na Figura 44 pode ver o resultado final, infelizmente também esta placa necessitou de alguns ajustes para funcionar corretamente.

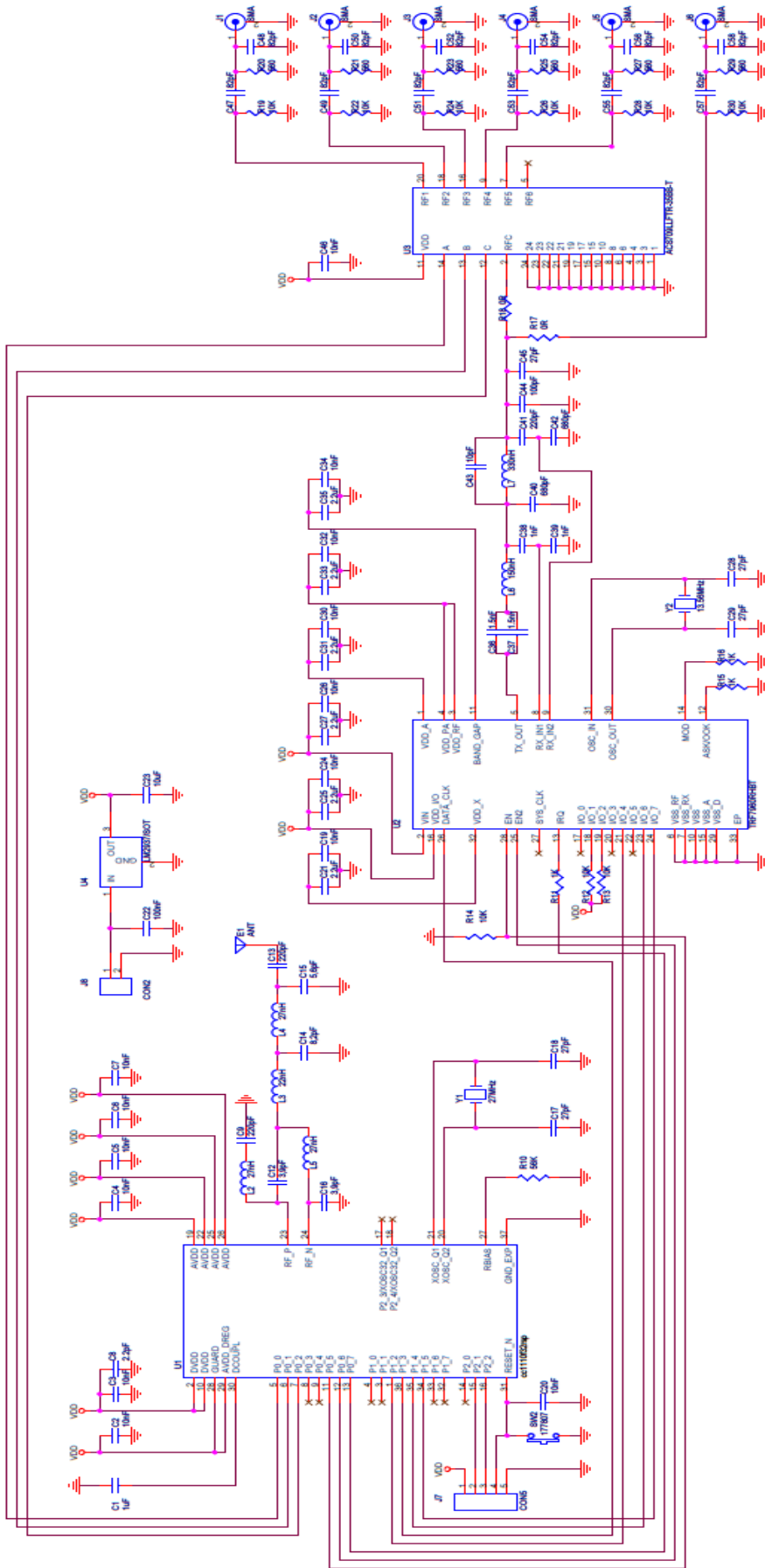


Figura 45 - Novo Esquemático do dispositivo das Sapatilhas

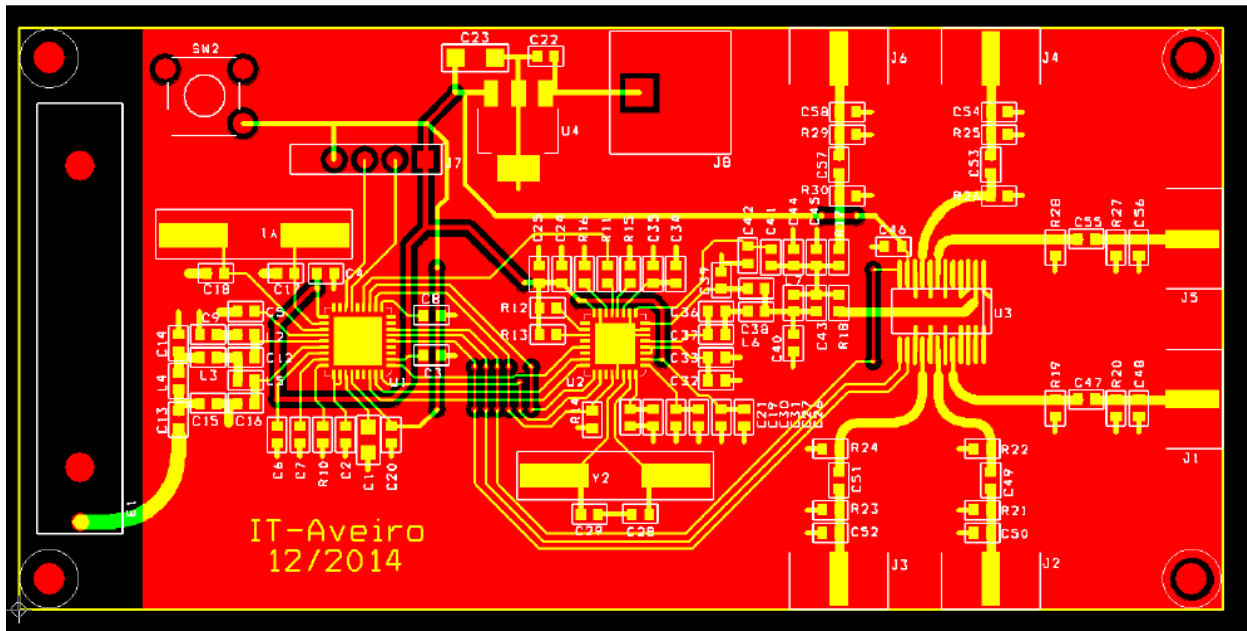


Figura 46 - Desenho da nova placa do dispositivo das sapatilhas

Na Figura 45 temos o esquemático da nova placa do dispositivo das sapatilhas, com todos os erros da primeira versão resolvidos. Na Figura 46 temos o desenho da nova placa do dispositivo das sapatilhas em que todos os erros da primeira versão foram corrigidos.



Figura 47 - Bola de futsal com Tag-it

Na Figura 47 podemos ver uma fotografia da bola de futsal, com as marcas Tag-it. Nesta imagem a bola ainda está aberta e com as marcas por fora, pois na altura em que a fotografia foi tirada ainda estava em fase de testes.

5.2 Calibrações

A bola de futsal, coberta com as marcas Tag-it, foi testada com o leitor de RFID de teste, e conseguiu-se obter sinal de leitura na totalidade da superfície da bola. O facto de as marcas estarem por dentro da bola, não teve qualquer influência na distância de leitura obtida.

A antena W7001 de 13,56MHZ foi testada, de modo a verificar se apresentava uma impedância de 50Ω de maneira a estar adaptada ao circuito projetado.

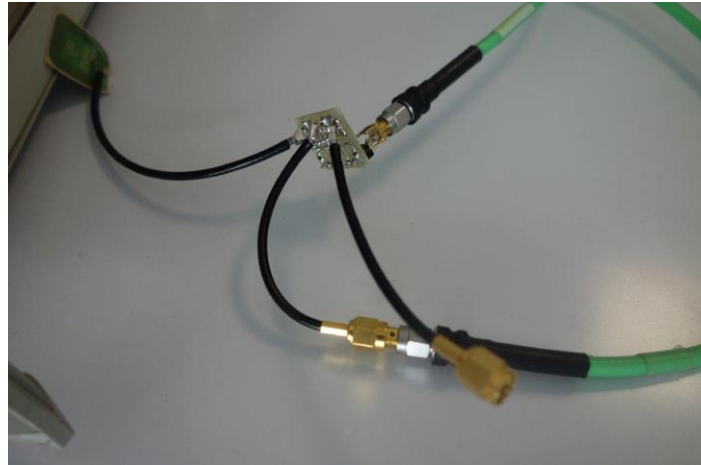


Figura 48 - Medição da impedância da Antena W7001

O valor obtido da impedância da antena W7001 foi $1.55 + j76.64$. O valor da impedância obtido está muito longe da impedância de 50Ω exigido para o circuito estar adaptado. Assim é necessário criar um circuito de adaptação de forma a obter a impedância de 50Ω .

Para obter os valores dos componentes do circuito de adaptação, seguiu-se um exemplo específico para o TRF7960 e para a antena W7001 no fórum da Texas Instruments [23], que explica como se obtém a adaptação do circuito.

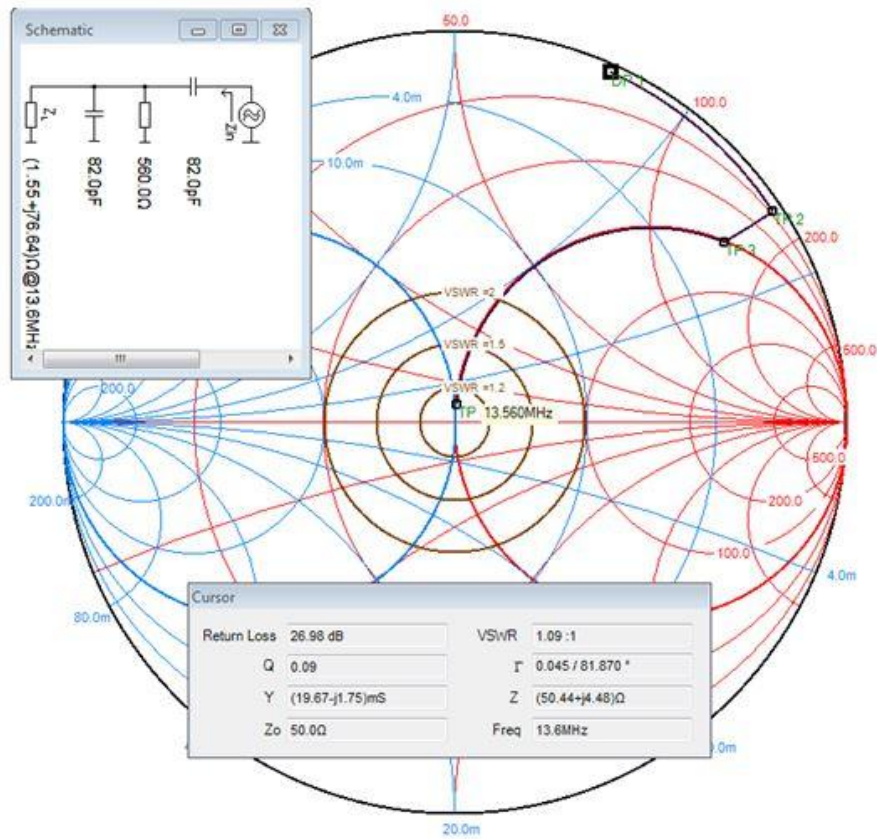


Figura 49 - Carta de Smith para obter a adaptação 50Ω da antena W7001

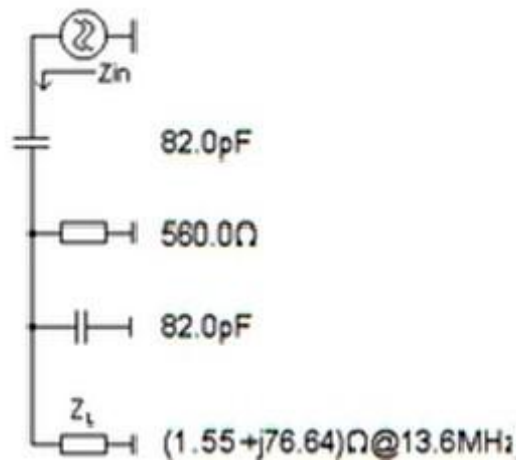


Figura 50 - Circuito de adaptação para a antena W7001

E assim, o circuito obtido para a adaptação da antena W7001 tem que ser equivalente ao da Figura 50.

5.3 Teste de campo

O primeiro teste realizado foi efetuado com um módulo de desenvolvimento do CC1110, o SmartRF04EB [24] e consistiu em obter conectividade entre dois CC1110. O objetivo deste teste consiste em confirmar que obtemos ligação entre dois ou mais módulos.

As configurações da parte de RF foram obtidas através do SmartRF Studio 7, exemplificado na Figura 51.

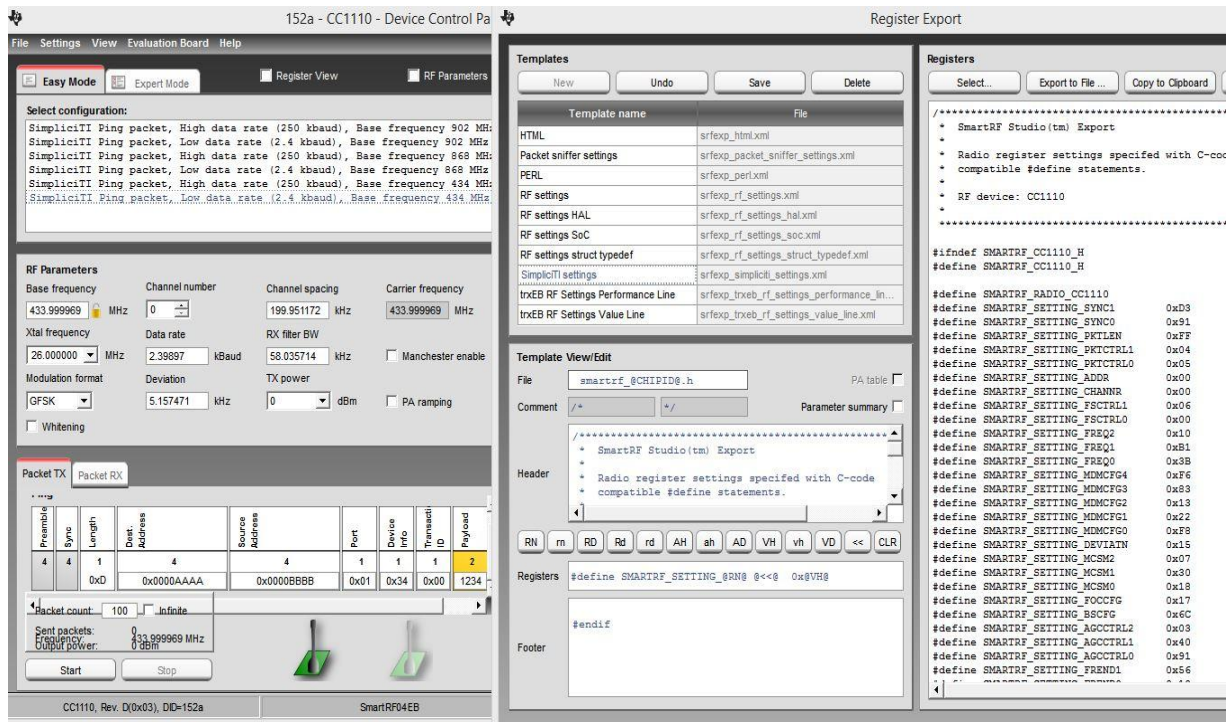


Figura 51 - Obtenção das configurações de RF através do SmartRF Studio 7



Figura 52 - Teste de Comunicação entre dois Módulos

Na Figura 52, temos os dois módulos que utilizámos para realizar o teste. O teste consistiu em sempre que um módulo comunica com o outro, dá-lhe a ordem de alterar o

estado do seu led. Depois de este alterar o estado do seu led, envia uma ordem ao outro módulo idêntica, ou seja, para também alterar o estado do seu led e assim sucessivamente. O resultado deste teste é ter os dois módulos com o led ligado alternativamente. Este teste foi realizado com sucesso, e assim simulamos a comunicação entre duas placas.

Depois de se conseguir obter conectividade entre dois módulos do CC1110, o passo seguinte foi ligar um leitor RFID ao módulo de desenvolvimento, testando assim a comunicação entre o CC1110 e o leitor, e a respetiva passagem de informação, neste caso o UID da marca lida.



Figura 53 - Teste de Comunicação com o Leitor de RFID

```
sudo ./USB
Listening
for
Link...
█
```

```
sudo ./USB
Listening
for
Link...
Link
Established!
Ready...
█
```

Figura 54 - Obtenção da conexão entre os módulos

```
sudo ./USB
Listening
for
Link...
Link
Established!
Ready...
1=
00
00
71=
00
00
71
00
00
751=
00
00
75
F5
1D
1=
00
00
75
F5
1D
```

Figura 55 - Leituras efetuadas

Este teste consistiu em ter dois módulos, um ligado via porta série a um leitor de RFID e outro ligado via USB ao computador. Depois de ser obtida a conexão entre os dois módulos como se vê na Figura 54, sempre que uma marca era lida no leitor de RFID o seu UID era transmitido via rádio para o outro módulo, que de seguida transmite o valor do UID da marca lida via USB para o computador como se vê na Figura 55. Este teste foi realizado com sucesso, pretendendo simular assim a deteção de uma leitura e de seguida informar a estação central dessa leitura, para ela consequentemente guardar a informação do instante a que a leitura foi executada, para efetuar a estatística da posse de bola do jogo de futsal.

O passo seguinte foi, depois obter na estação central de dados, os registos de sinalização de uma leitura, registar o instante em que a leitura se realizou e a quem pertenceu essa leitura.



Figura 56 - Simulação de toques na bola

A simulação consistiu em realizar várias comunicações com a estação de dados, mas não havendo disponíveis vários módulos para comunicação com a estação de dados, simulou-se a comunicação com o leitor de RFID e em que cada marca simulava um jogador diferente a realizar o toque na bola como exemplificado na Figura 56. O UID da marca simula assim o ID do jogador, para que a estação de dados distinga qual foi o jogador a realizar o toque na bola. A simulação foi um sucesso, pois sempre que havia uma leitura, esse instante era guardado na central de dados e a quem pertenceu. Quando havia a leitura de uma marca diferente, o tempo total de leitura da marca anteriormente lida era somada aos tempos de leitura que essa marca já obtivera. No final da simulação os tempos de posse de cada jogador são apresentados e de seguida feitos os cálculos da posse de bola do jogo. Estes dados são de seguida guardados num ficheiro para poderem ser consultados como exemplificado na Figura 57.

```
Dados do Jogo.txt - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
Dados do Jogo Jogo no dia: Wed Nov 26 12:34:45 2014
000093A94C Teve a bola 777.682000 ms
000094A94C Teve a bola 2351.627000 ms
000095A94C Teve a bola 1609.545000 ms
000096A94C Teve a bola 1250.695000 ms
000097A94C Teve a bola 1038.005000 ms
000098A94C Teve a bola 1358.241000 ms
000099A94C Teve a bola 941.121706 ms
00009AA94C Teve a bola 821.254000 ms
00009BA94C Teve a bola 1686.468706 ms
00009CA94C Teve a bola 2948.732000 ms

O tempo de jogo foi 14784.790000 ms

A equipa 1 teve a bola 7027.554000 ms, uma percentagem
de 47.532322%
A equipa 2 teve a bola 7755.817412 ms, uma percentagem
de 52.458083%
```

Figura 57 - Exemplo dos resultados da posse de bola de um jogo

Neste exemplo, foi considerado como jogadores da equipa 1 as cinco primeiras marcas a serem lidas, e a equipa 2 as restantes cinco marcas lidas.

De forma a verificar a resistência física das marcas escolhidas, estas foram fixadas numa bola de futsal. De seguida foi realizado um jogo de futsal utilizando sempre a bola com as marcas, e este teve a duração de cerca de uma hora.

No final deste jogo utilizou-se um leitor de RFID e verificou-se que todas as marcas comunicavam com o leitor, atestando assim que estas têm a resistência física necessária para resistirem a um jogo de futsal.

5.4 Custo

Depois de ter todo o sistema a funcionar, e assim ter a certeza de quais os componentes a utilizar, faz-se o balanço de quanto custa produzir o sistema completo.

Material:	Quantidade:	Preço:
CC1110	1	7,56
CC1111	1	4,38
TRF7960	1	3,8
Marcas Tag-it	15	0,752
Antena 433MHz	1	1,22
Antena 13.56MHz	5	0,988
Crystal 27MHz	1	0,464
Crystal 48MHz	1	0,568
Crystal 13.56MHz	1	0,556
HMC252	1	7,24
Conector Debugger	1	0,218
Ficha USB	1	0,525
Bola Futsal	1	7,95
Dispositivo da Sapatilha:		25,78
Dispositivo a ligar ao computador:		6,911
Bola:		19,23

Figura 58 - Tabela com o preço de produção do sistema

O dispositivo que é colocado na sapatilha de cada jogador, fica a um preço de 25,78€, somando a este valor o preço da sapatilha.

O dispositivo que funciona com a estação base fica a um preço de 6,91€.

A bola de futsal fica a um preço de 19,23€

Assim, fazendo um custo total por jogo, em que cada equipa tem 10 jogadores, o preço total do nosso sistema é de 1057.34€.

Estes valores reduzirão em muito com a produção em grandes quantidades, pois com a compra dos componentes em grande quantidade, o seu preço será mais reduzido.

6 Conclusões

Esta dissertação teve como objetivo conceber um sistema capaz de obter as estatísticas da posse de bola de um jogo de futsal utilizando o RFID.

Assim foi escolhida qual a melhor tecnologia de RFID e comunicação sem fios, e qual o microcontrolador a utilizar. As escolhas acabaram por ser, a nível do RFID, marcas passivas inlay o que levou à escolha do leitor TRF7960. Ao nível da comunicação sem fios e microcontrolador a escolha recaiu sobre o CC1110/CC1111 que oferece as duas soluções no mesmo socket.

Depois de escolhidas as tecnologias e os componentes a utilizar na conceção dos dispositivos, estudou-se qual a melhor arquitetura para os dispositivos a criar. Foi escolhida a opção de colocar o leitor de RFID nas sapatilhas e as marcas na bola e a nível de sincronização foi escolhida a opção online, ou seja, com comunicação instantânea com a estação de dados.

Simulámos o sistema com recurso a módulos de desenvolvimento do módulo de comunicação sem fios escolhido e com um leitor de RFID, e os resultados obtidos foram otimistas para avançar para a projecção dos dispositivos a aplicar de forma a concretizar o nosso sistema.

A conceção dos dispositivos não correu da melhor forma, uma vez que o primeiro dispositivo a colocar nas sapatilhas dos jogadores teve alguns erros de projecção que levou a que fosse descartado e ter de se optar pela criação de um novo. O novo dispositivo não foi concebido em tempo útil de forma a estar pronto no final desta dissertação.

O dispositivo a ligar ao computador de forma a criar a estação central de dados também teve alguns problemas de conceção, mas foi substituído por um kit de desenvolvimento do módulo de comunicação sem fios que faz o mesmo trabalho.

A bola de jogo foi coberta pelas marcas e os testes realizados confirmaram que se consegue obter uma leitura a toda a superfície da bola.

Apesar de não ter sido possível averiguar a exequibilidade do sistema na sua totalidade, tendo em conta os resultados obtidos pelas simulações pode assumir-se que o sistema pode futuramente ser utilizado para cumprir o objetivo traçado, ou seja, a obtenção das estatísticas de posse de bola de um jogo de futsal.

Ainda assim, há evoluções futuras que podem ser aplicadas a este sistema. Uma é a possibilidade de embutir as antenas RFID na fase de produção das sapatilhas. Outra possibilidade passa por criar uma meia que contenha as antenas RFID, o que facilita a troca de sapatilhas. Em ambos os casos, uma evolução interessante seria poder ter apenas uma antena por sapatilha/meia em vez de várias, uma vez que simplificaria o dispositivo usado pelos jogadores. Finalmente, na produção da bola de jogo as marcas poderão ser logo coladas na face interior da sua superfície ou embutidas em cada um dos painéis usados na construção da bola.

7 Bibliografia

- [1] “Sports 2.” [Online]. Available: <http://thesportjournal.org/article/sports-20-look-future-sports-context-rfid-s-weird-new-media-revolution>. [Accessed: 29-Nov-2013].
- [2] “Smart Soccer Ball Misses Its Goal - RFID Journal,” 2005. [Online]. Available: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?2029>. [Accessed: 29-Nov-2013].
- [3] “Equipamento – Cronometragem Profissional.” [Online]. Available: http://site.ttcronometragens.com/?page_id=18. [Accessed: 30-Oct-2014].
- [4] “Matrics - Sports results system - deltatre.” [Online]. Available: <http://www.deltatre.com/onstage-solutions/matrics/>. [Accessed: 30-Oct-2014].
- [5] “Tecnologias no Futebol - Materiais e Equipamentos - Disciplina - Educação Física,” 2010. [Online]. Available: <http://www.educacaofisica.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=346>. [Accessed: 29-Nov-2013].
- [6] “RFID Scoring Big in the Sports World,” 2013. [Online]. Available: <http://rfid.thingmagic.com/rfid-blog/bid/97848/RFID-Scoring-Big-in-the-Sports-World>. [Accessed: 29-Nov-2013].
- [7] Y. Lee, “RFID Coil Design,” 2002.
- [8] “teleco.” [Online]. Available: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrfid/pagina_3.asp. [Accessed: 30-Oct-2014].
- [9] IEEE, “802.15 Wireless PANs @ standards.ieee.org,” 2014. [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html>. [Accessed: 17-Dec-2014].
- [10] IEEE, “802.11 Wireless LANs @ standards.ieee.org,” 2014. [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>. [Accessed: 17-Dec-2014].
- [11] L. S. S. Mcu, S.-G. R. F. Transceiver, and U. S. B. Controller, “CC1110Fx / CC1111Fx,” 2007.
- [12] L. S.-G. R. F. Transceiver, “CC1101 CC1101,” 2013.
- [13] Atmel, “ATA8510/ATA8515,” 2014.
- [14] S. Trf, “MULTI-STANDARD FULLY INTEGRATED 13 . 56-MHZ RFID ANALOG FRONT END AND DATA-FRAMING READER SYSTEM TRF7960,” no. August 2006, 2010.
- [15] C. S. Ri-i-a-, “RI-I16-112A-03 Tag-it™ HF-I PLUS TRANSPONDER INLAYS RI-I16-112A-03,” no. April, 2010.
- [16] P. P. Number, “ISM 433MHz Helical Antenna ISM 433MHz Helical Antenna,” pp. 6–9, 2007.

- [17] N. F. C. Flex and S. Antenna, “NFC Flex Stamp Antenna,” 2012.
- [18] F. B. Diagrams, G. Description, and P. Highlights, “Wideband 4 GHz , 36 dB Isolation at 1 GHz , CMOS , Dual SPDT,” 2005.
- [19] “ISM band - Wikipedia,” 2014. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band. [Accessed: 01-Oct-2014].
- [20] “Transistor-Transistor Logic – Wikipédia.” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Transistor-Transistor_Logic. [Accessed: 01-Oct-2014].
- [21] N. O. Content, O. N. The, A. Document, and H. A. S. Changed, “HMC252 Analog Devices.”
- [22] T. Instruments, “smartrftm-studio www.ti.com.” [Online]. Available: <http://www.ti.com/tool/smartrftm-studio>. [Accessed: 18-Nov-2014].
- [23] “e2e.ti.com,” 2014. [Online]. Available: http://e2e.ti.com/support/wireless_connectivity/f/667/t/312797.aspx. [Accessed: 27-Oct-2014].
- [24] Texas Instruments, “Development Kit User Manual,” pp. 1–28, 2005.