



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO
CHRONOSPHERES SYSTEM**

CAMILA CAROLINE RODRIGUES DE ALBUQUERQUE

**CAMPINA GRANDE, PB
DEZEMBRO DE 2018**

CAMILA CAROLINE RODRIGUES DE ALBUQUERQUE

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO
CHRONOSPHERES SYSTEM

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

Área de Concentração: Telecomunicações

Orientador:

Professor Alexandre Jean René Serres, D. Sc.

Campina Grande, PB

Dezembro de 2018

CAMILA CAROLINE RODRIGUES DE ALBUQUERQUE

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO
CHRONOSPHERES SYSTEM

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

Área de Concentração: Telecomunicações

Aprovado em ___/___/___

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Alexandre Jean René Serres, D. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

Dedico este trabalho a todos aqueles que estiveram
comigo *until the very end.*

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, pela minha vida, por me abençoar sempre, por me manter sempre positiva e por nunca me deixar desistir.

Aos meus pais, Marilane e Marcos, que sempre foram meu porto seguro, sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir meus sonhos. Eles, que sempre tiveram orgulho de quem sou e do que faço, foram e sempre serão os principais alicerces para eu ser quem sou hoje e ter alcançado tudo que já tenho em todos os aspectos da minha vida. Muito obrigada por sempre serem fortes e unidos diante das inúmeras reviravoltas que passamos nas nossas vidas e por sempre me fazer sentir especial e amada, vocês são a melhor parte de mim e me ensinaram tudo que tenho orgulho de ser hoje.

Ao meu namorado, Alessandro, por sempre estar do meu lado, por ser meu companheiro de todas as horas, meu confidente, e por acreditar em mim e me fazer sentir a pessoa mais inteligente do mundo mesmo quando eu estava desacreditada.

Aos meus amigos e colegas de intercâmbio, pelo companheirismo, pelas risadas entre aulas, pelos sofrimentos compartilhados e por ser minha família brasileira fora do Brasil.

Aos funcionários e aos colegas da Grenoble INP - ESISAR, por sua gentileza e disponibilidade sempre que precisei.

Ao professor Pierre Lemaitre-Auger, bem como a empresa Chronosphères System, pela oportunidade oferecida de desenvolver este projeto e pela confiança no meu trabalho ao longo de todo o estágio.

Ao meu orientador, Professor Alexandre Serres, por todas as oportunidades e orientações concedidas ao longo desses últimos anos, agradeço pela amizade, por estar sempre disposto a ajudar e por ter confiado no meu potencial para desenvolver todos os projetos que realizamos juntos.

Finalmente, a todos que, de alguma maneira, contribuíram para que eu chegasse até esse momento da minha vida e por me tornar quem sou hoje.

“You sort of start thinking anything’s possible if you’ve got enough nerve.”

J.K. Rowling

Resumo

Este trabalho apresenta o relatório das atividades realizadas pela aluna Camila Caroline Rodrigues de Albuquerque durante o Estágio Integrado no Laboratório de Concepção e Integração de Sistemas (em francês, *Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes*), LCIS, localizado na universidade Grenoble INP - ESISAR, em Valence, Rhône-Alpes, França. O estágio foi um projeto em parceria com a empresa Chronosphères System e consistiu em caracterizar um sistema de cronometragem de eventos esportivos, que utiliza a tecnologia RFID para a identificação e classificação dos competidores, e propor outro sistema com desempenho similar, contudo mais barato, mais leve e com portabilidade para a leitura de etiquetas de outros fabricantes. Após a caracterização do sistema existente e de novas propostas sugeridas pela empresa, foi estudado o desenvolvimento de uma nova antena para substituir a original, a partir de simulações no software HFSS da ANSYS®. Obtidos os melhores designs, estes foram produzidos e testados para validar tanto seu comportamento simulado como para avaliar se é funcional com o sistema existente (leitor, etiquetas e tapete).

Palavras chave: RFID, Antenas, Sistemas de cronometragem esportiva

Abstract

This work presents the report of activities developed by the student Camila Caroline Rodrigues de Albuquerque during the Integrated Internship at the Laboratory of Conception and Integration of Systems (in French, *Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes*), LCIS, located in the University Grenoble INP - ESISAR, in Valence, Rhône-Alpes, France. The internship was a project in partnership with the company Chronosphères System and consisted of characterizing a sports event timing system, which uses RFID technology to identify and classify the competitors, and to propose another system with similar performance, yet cheaper, lighter and with portability for reading tags from other manufacturers. After the characterization of the existing system and the new proposals suggested by the company, the development of a new antenna to replace the existing one was studied, using simulations in the software HFSS of ANSYS®. Having obtained the best designs, these were manufactured and tested to validate both their simulated behavior and to evaluate if it is functional with the existing system (reader, tags and mat).

Keywords: RFID, Antennas, Sports timing systems

Lista de Figuras

1	Sistema de cronometragem esportiva passiva	13
2	Sistema Race Result	13
3	Sistema RFID	15
4	Diagrama de irradiação	16
5	Representação da diretividade de uma antena	17
6	Representação de um diagrama de irradiação evidenciando o ganho	18
7	Relação entre o ganho e a diretividade de uma antena	19
8	Polarização de antenas	20
9	Perdas por polarização	21
10	Axial Ratio	21
11	Representação de um sistema com duas portas	22
12	Parâmetros S	23
13	Leitor RFID Zebra FX9500	24
14	Antena planar do sistema existente	25
15	Medições do parâmetro S_{11} para duas antenas de um dos tapetes do sistema Race Result	26
16	Configuração para medir o S_{21} de uma antena	27
17	Cálculo do S_{21}	29
18	Medições de diagrama de irradiação da antena do sistema Race Result	30
19	Razão Axial da antena existente	31
20	Direção de propagação do campo elétrico ao longo do tapete	31
21	Ganho da antena corneta	32
22	Ganho medido para a antena do sistema existente	32
23	Antena filar	33
24	S_{11} da antena filar	34
25	Sistema de cronometragem esportiva com portais na linha de chegada	35
26	Medição do S_{11} da antena lateral	35
27	S_{11} da antena lateral	36
28	Primeira antena proposta	39
29	Resultados de simulação para a primeira antena proposta	40
30	Antena fabricada em FR4	41
31	S_{11} das antenas fabricadas comparadas com a simulação	41
32	Ganho da primeira antena proposta em FR4	42
33	S_{11} e ganho das antenas fabricadas dentro e fora do tapete	42
34	Segunda proposta de antena em FR4	43
35	Resultados de simulação da segunda antena proposta	44
36	Medições para a segunda proposta de antena em FR4	44

37	Antena proposta em ROGERS	46
38	Antena construída em ROGERS	48
39	Comparação entre o S_{11} medido das antenas fabricadas em ROGERS e a simulação	48
40	S_{11} medidos para a antena fabricada em ROGERS em várias posições	49
41	Geometrias propostas para antena de polarização circular	50
42	Resultados obtidos em simulação para a antena circular escolhida	51
43	<i>Axial Ratio</i> e Diagrama de irradiação simulados para a antena circular escolhida	51
44	Medições para a antena de polarização circular	52

Lista de Tabelas

1	Antenas comerciais de tapete	36
2	Antenas RFID comerciais simples	37
3	Leitores RFID comerciais	38
4	Simulações da primeira antena proposta	40
5	Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 4003	45
6	Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 3003	45
7	Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 4350	46
8	Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 3003 e plano de terra reduzido	47

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Motivação	12
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	Metodologia	14
2	Fundamentação teórica	15
2.1	Sistemas RFID	15
2.2	Antenas	16
2.2.1	Diagrama de Irradiação	16
2.2.2	Diretividade e Ganho	17
2.2.3	Polarização	19
2.2.4	Parâmetros S	22
3	Caracterização do sistema existente e de novas soluções	24
3.1	Sistema Race Result	24
3.1.1	Leitor	24
3.1.2	Etiquetas	25
3.1.3	Antenas do sistema existente	25
3.2	Soluções propostas pela empresa	33
3.2.1	Antena filar	33
3.2.2	Antena lateral	34
3.3	Estudo de mercado	36
4	Desenvolvimento de novas antenas	39
4.1	Antena com polarização linear em FR4	39
4.2	Antena com polarização linear em ROGERS	45
4.3	Antena de polarização circular	49
5	Custo do projeto	53
6	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	54
7	Referências	55
	Anexos	56

1 Introdução

Os sistemas de cronometragem esportiva são utilizados em todo o mundo para facilitar e garantir a precisão e a eficácia dos resultados de competições esportivas, sejam elas maratonas, eventos de ciclismo, corridas de esqui, entre outras. Estes sistemas, quando utilizam a tecnologia RFID em seu funcionamento, são geralmente constituídos de: um conjunto de antenas, etiquetas, um leitor RFID que transmite a potência necessária para alimentar as antenas e, por fim, um software encarregado de filtrar os sinais recebidos, identificar as etiquetas lidas e de fazer a classificação final dos competidores.

O trabalho apresentado corresponde ao relatório de estágio integrado realizado na empresa Chronosphères System em Valence, França. O objetivo do estágio era de caracterizar um sistema de cronometragem existente e, a partir de suas características, propor um sistema similar de menor custo e fisicamente mais leve.

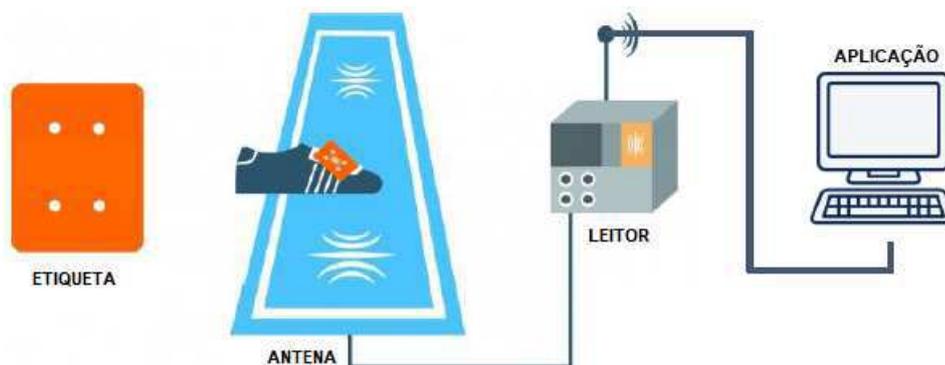
Este relatório contém sete seções que resumem o trabalho desenvolvido ao longo de seis meses. A seguir nesta seção são expostos a motivação, o contexto no qual os sistemas de cronometragem estão inseridos e os objetivos do trabalho desenvolvido. Na segunda seção, é feita uma abordagem teórica sobre antenas e sistemas de identificação por radiofrequência (RFID). Em seguida, os resultados da caracterização do sistema existente e também de soluções sugeridas pela empresa são apresentados, além de ser discutido um estudo de mercado realizado para ter uma ideia das soluções já existentes para a aplicação desejada. Em seguida, novas propostas de antenas para serem utilizadas no sistema da empresa são apresentadas, para isto, foi utilizado o software comercial HFSS da ANSYS® para realizar as simulações. As antenas foram, então, fabricadas e os resultados medidos são apresentados para validar o que foi obtido em simulação. Na quinta seção, os valores totais do projeto são apresentados. Por fim, tem-se a conclusão e os trabalhos futuros sugeridos, em seguida, as referências utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

1.1 Motivação

Alguns sistemas de cronometragem esportiva utilizam, para seu funcionamento, a tecnologia RFID, que são compostos basicamente de: um sistema de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, uma rede de antenas, etiquetas (que podem ser passivas ou ativas), o leitor RFID para transmitir a potência necessária para as antenas que realizam o processo de comunicação com as etiquetas e um software para decodificar as informações recebidas e convertê-las em dados legíveis para o usuário [1]. A Figura 1 ilustra um sistema de cronometragem esportiva com etiquetas passivas.

Neste contexto, a empresa Chronosphères System propõe soluções para a cronometragem de diversos eventos esportivos, tais como ciclismo, corrida, triatlo, competições aquáticas, trilha, etc. A empresa utiliza o robusto sistema alemão Race Result para garantir a confiabilidade de seus resultados e está sempre em busca de novas soluções para oferecer a seus clientes tanto na

Figura 1: Sistema de cronometragem esportiva passiva



Fonte: www.matsportiming.com (adaptado)

França como também em outros países, como Bélgica e Tunísia.

O sistema utilizado consiste de um tapete com 8 antenas internas, etiquetas RFID e uma mala com o leitor que processa os dados recebidos e os transmite para um computador que pode exibir o resultado desejado pelo usuário. A Figura 2(a) mostra o tapete e a mala usada e a Figura 2(b) é a pulseira com a etiqueta RFID que os participantes devem usar para identificá-los.

Figura 2: Sistema Race Result



(a) Mala com leitor e decodificador

(b) Etiqueta

Fonte: www.raceresult.com

Entretanto, por mais que o sistema utilizado possua grande confiabilidade e robustez na identificação e cronometragem dos eventos esportivos, se trata de um sistema comercial fechado, cujos elementos são codependentes, além disso, possui preço elevado e é muito pesado para ser transportado durante os eventos. Assim, propõe-se construir um novo sistema melho-

rando essas características indesejadas.

1.2 Objetivos

Dadas as motivações, pode-se enumerar os objetivos do estágio proposto.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de um sistema mais barato, mais leve (uma vez que o sistema atual pesa mais de 25kg) e aberto para a leitura de etiquetas de diversos fabricantes.

1.2.2 Objetivos específicos

- Pesquisa bibliográfica sobre teoria de antenas e de sistemas de identificação por radio-frequência (RFID).
- Caracterização do sistema de antenas atual existente na empresa Chronosphères;
- Pesquisa de mercado de novas soluções já existentes para substituir algumas partes do sistema usado.
- Utilização do software comercial HFSS da ANSYS® para modelagem de uma nova antena planar, com o objetivo de obter um desempenho superior ao da antena existente, além disso, espera-se que a antena desenvolvida possua polarização circular. O custo estimada para cada antena planar desenvolvida deve ser em torno de 10 a 30 euros;
- Medição, caracterização e validação da nova antena proposta;

1.3 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho envolveu, primeiramente, a realização do estudo teórico sobre antenas, bem como o entendimento do funcionamento dos sistemas RFID.

As caracterizações do sistema utilizado, bem como das outras soluções propostas pela empresa, foram feitas utilizando VNA (do inglês, *Vector Network Analyzer*) portáteis e fixos nos laboratórios da Grenoble INP - ESISAR. Além disso, foi utilizado a câmara anecoica para realizar medições de ganho e diagrama de irradiação.

Em seguida, foi realizado o estudo e desenvolvimento de novas propostas de antenas de baixo custo para substituírem as antenas existentes no sistema alemão Race Result. Para isto, foi utilizado o software HFSS da ANSYS® para realizar simulações e otimizações das geometrias propostas.

Por fim, as novas antenas propostas foram fabricadas e testes foram realizados para validar seus resultados obtidos em simulação, bem como verificar a aplicabilidade das mesmas com o sistema da empresa.

2 Fundamentação teórica

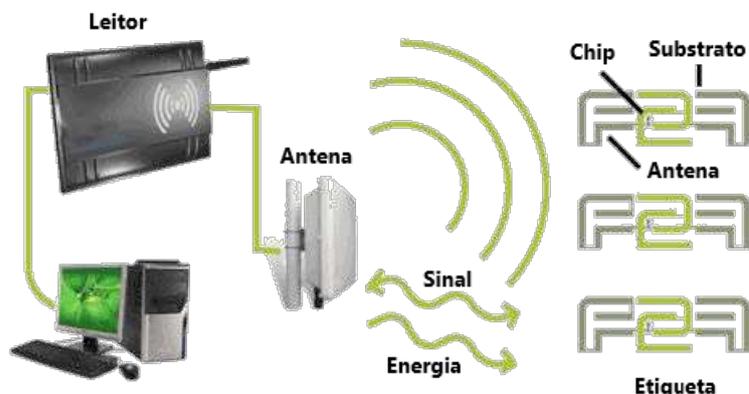
Para realizar as tarefas determinadas pela empresa, um estudo prévio sobre sistemas de identificação por radiofrequência e teoria de antenas teve que ser desenvolvido.

2.1 Sistemas RFID

A tecnologia RFID (do inglês, *Radio Frequency Identification*, identificação por radiofrequência) consiste em um sistema que utiliza a reflexão das ondas de rádio de uma etiqueta colocada em um objeto para identificá-lo.

Estas etiquetas, também chamadas de *transponders*, armazenam as informações do item a ser identificado, que pode ser por meio de um chip de Silício em sua estrutura ou apenas na sua geometria (etiquetas *chipless* [2]). Sendo assim, a antena envia um sinal na faixa de frequência desejada e a etiqueta reflete este sinal modulando-o com sua informação, o que futuramente será decodificado por um software para poder gerar dados legíveis para o usuário. A Figura 3 mostra o funcionamento básico de um sistema RFID.

Figura 3: Sistema RFID



Fonte: www.rfid-f2f.eu (adaptado)

Os sistemas RFID ganharam grande visibilidade e possuem diversas aplicações devido a sua natureza sem fio, que se sobressai dentre outras de identificação de objetos como o código de barras, que precisa de um contato direto e alinhado entre o leitor e o objeto para correta identificação, além disso, é possível realizar a leitura simultânea de várias etiquetas ao mesmo tempo e sua maior capacidade de armazenamento de dados é bem superior (para as etiquetas com o chip de silício).

Dentre as mais diversas aplicações para o RFID, podemos citar o gerenciamento de estoques, pessoas, armazéns; controle de desperdícios; o rastreamento de contêineres, cargas, animais; entre outras [3], [4], [5], [6].

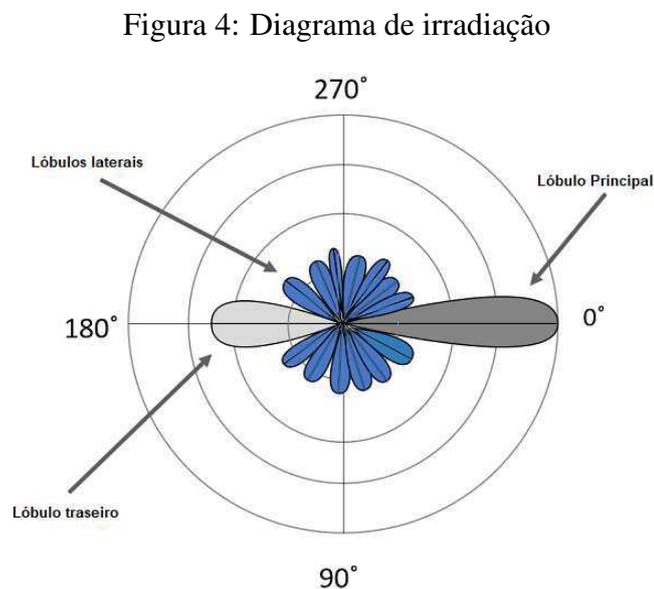
2.2 Antenas

Uma antena é um dispositivo utilizado para receber e/ou transmitir ondas de rádio [7]. Assim, para um sistema RFID, a antena pode ser considerada sua parte mais importante, uma vez que é responsável por enviar os sinais de interrogação e captar as respostas enviadas pelas etiquetas encontradas em seu alcance. Assim, dado que a teoria de antenas é bastante extensa e que são diversos parâmetros de antena existentes, nos concentramos nos conceitos básicos de diagrama de irradiação, diretividade, ganho, polarização e os parâmetros S, que são os mais usados para avaliar o desempenho de uma antena.

2.2.1 Diagrama de Irradiação

Uma antena, como definido anteriormente, é um dispositivo, geralmente metálico, que irradia ou recebe ondas de rádio. No entanto, é importante estudar como esta irradiação é distribuída no espaço, assim, o diagrama de irradiação nos fornece uma representação gráfica ou matemática das variações da potência irradiada pela antena nas diferentes direções do espaço [8].

Um diagrama de irradiação é constituído de lóbulos, geralmente subdivididos em lóbulo principal, lóbulos laterais e lóbulo traseiro [9]. A Figura 4 mostra um diagrama de irradiação de uma antena.



Fonte: www.wisdomjobs.com (adaptado)

O lóbulo principal representa a direção que está contida a máxima irradiação da antena, no exemplo dado na Figura 4, essa direção é na direção de 0°.

Os lóbulos secundários são picos de irradiação mais fracos em relação ao lóbulo principal ou lobo posterior.

O lóbulo traseiro é definido como a porção de irradiação oposta ao lóbulo principal.

Em geral, os lóbulos diferentes do lóbulo principal são indesejáveis, uma vez que significam uma divisão da energia irradiada pela antena em direções inesperadas, o que implica em um gasto de energia desnecessário e, portanto, busca-se minimizá-los o máximo possível.

Ao analisar o diagrama de irradiação de uma antena, podemos classificá-la como isotrópica, direcional ou omnidirecional. A primeira é uma hipótese teórica em que a antena irradia sua potência igualmente em todas as direções, esse conceito é usado como parâmetro para medir a irradiação das antenas em geral. Para a segunda classificação, a antena tem mais eficiência de transmissão e recepção em uma direção específica. Na última, diz-se que uma antena é onidirecional se seu padrão de irradiação é isotrópico em um dado plano e direcional no plano ortogonal a este [10].

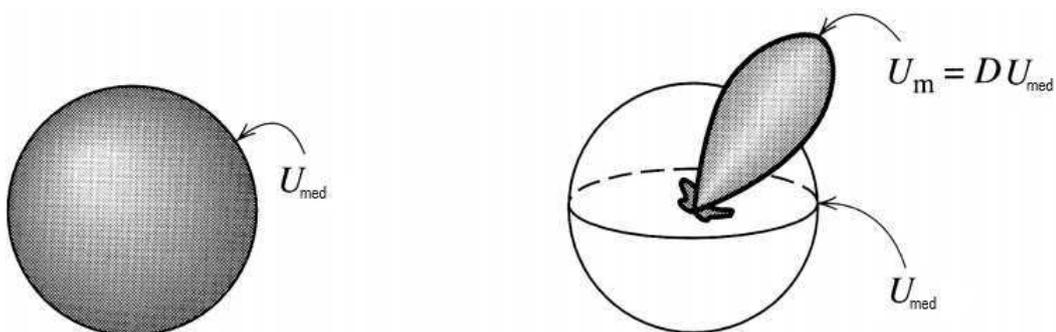
2.2.2 Diretividade e Ganho

A diretividade D de uma antena em uma dada direção representa a razão entre a intensidade da irradiação nesta direção e a intensidade média U_{med} , aquela que seria obtida se a potência fosse emitida uniformemente em todas as direções, isto é, a potência que irradiaria uma antena isotrópica [9].

$$D = \frac{U}{U_{med}} = \frac{P}{\frac{P_r}{4\pi}} = \frac{4\pi P}{P_r} \quad (1)$$

Para uma antena isotrópica, a potência transmitida é distribuída uniformemente em todas as direções (Figura 5), de modo que a potência média é igual à potência máxima, o que resulta em uma diretividade igual a 1 ou 0 dB.

Figura 5: Representação da diretividade de uma antena



Fonte: www.waves.utoronto.ca (adaptado)

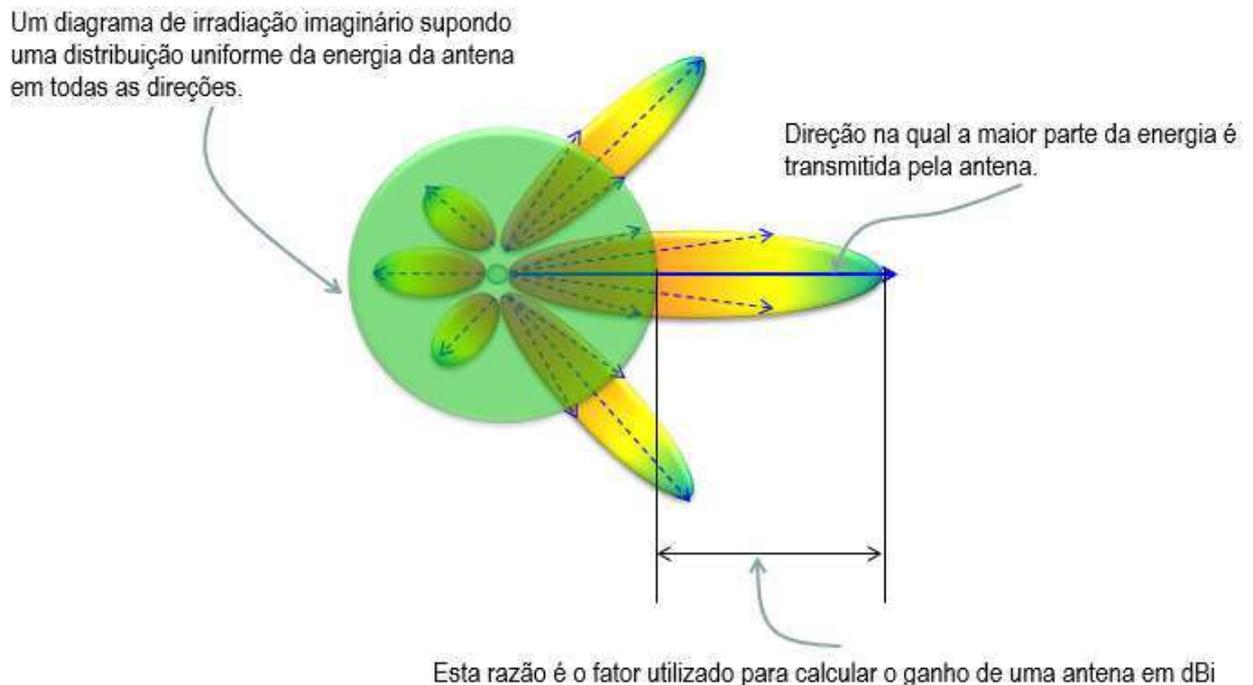
Para apresentar o conceito de ganho, é preciso, primeiramente, introduzir a ideia de eficiência de uma antena, que é definida como a relação entre a potência total irradiada por uma antena e a energia fornecida a ela (potência de entrada)[8]. A eficiência e leva em consideração tanto as perdas de polarização na transmissão, como também as perdas nos elementos radiantes.

$$e = \frac{P_r}{P_e} \quad (2)$$

Assim, o ganho de uma antena em uma dada direção representa sua diretividade levando em conta suas perdas. Dessa forma, podemos definir o ganho como sendo a relação entre potência de entrada P_e em vez da potência recebida P_r . A Figura 6 mostra uma representação do ganho de uma antena em um diagrama de irradiação, além de destacar os lóbulos principal, laterais e traseiro.

Desta forma, o ganho pode ser definido como a capacidade de uma antena de concentrar sua potência irradiada em uma determinada direção [8].

Figura 6: Representação de um diagrama de irradiação evidenciando o ganho



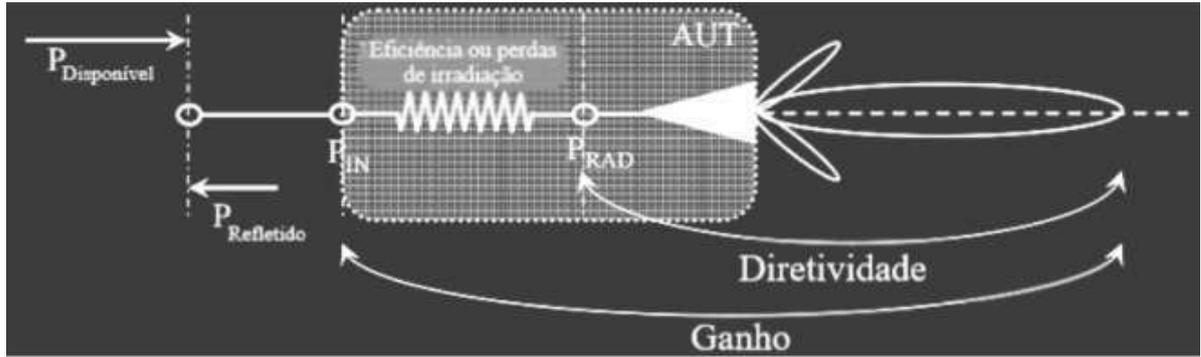
Fonte: www.sharetechnote.com (adaptado)

Portanto, utilizando o conceito de eficiência, o ganho e a diretividade pode ser relacionados como

$$G = eD \quad \text{ou} \quad G = D - e \quad (\text{em } dB) \quad (3)$$

, de tal forma que uma antena com eficiência de 100% significa que seu ganho e sua diretividade têm valores iguais. A Figura 7 mostra, a partir da potência recebida da alimentação, como a antena distribui a energia ao longo da transmissão, bem como explicita bem a diferença entre ganho e diretividade.

Figura 7: Relação entre o ganho e a diretividade de uma antena



Fonte: ww2.nearfield.com (adaptado)

2.2.3 Polarização

A polarização de uma antena está relacionada à geometria descrita por suas ondas eletromagnéticas no espaço ao longo do tempo, observadas em relação à direção de propagação [8].

A polarização de uma onda eletromagnética é definida a partir da direção do seu campo elétrico [11]. Utilizando-se um sistema de coordenadas esféricas com origem na fonte da onda e sendo o eixo r sua direção de propagação, podemos descrever a direção do campo elétrico E pela seguinte relação

$$\vec{E} = E_{\theta} \cdot \vec{u}_{\theta} + E_{\phi} \cdot \vec{u}_{\phi} \quad (4)$$

$$E_{\theta} = A \sin(\omega t + \varphi_{\theta}) \quad E_{\phi} = B \cdot \sin(\omega t + \varphi_{\phi}) \quad (5)$$

Se ambas componentes do campo elétrico vibram ou em fase ou em oposição de fase ($\varphi_{\theta} = \varphi_{\phi} \pm \pi$), os campos E e H mantêm uma direção constante ao longo do tempo. Neste caso, a polarização é dita linear.

Caso contrário, a polarização é dita elíptica e a direção do campo \vec{E} varia ao longo do tempo. Se, particularmente, $\varphi_{\theta} = \varphi_{\phi} \pm \frac{\pi}{2}$ e $E_{\theta} = E_{\phi}$, a polarização é dita circular [10].

Assim, supondo que um campo se propaga ao longo do eixo z , temos a expressão:

$$\vec{E} = E_1 \cos(\omega t - \beta z) \vec{i} + E_2 \cos(\omega t - \beta z + \delta) \vec{j} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} \quad (6)$$

Se a defasagem entre as componentes, δ , for igual a 0° ou $\pm 180^\circ$, a polarização desta onda é linear, mais precisamente, se

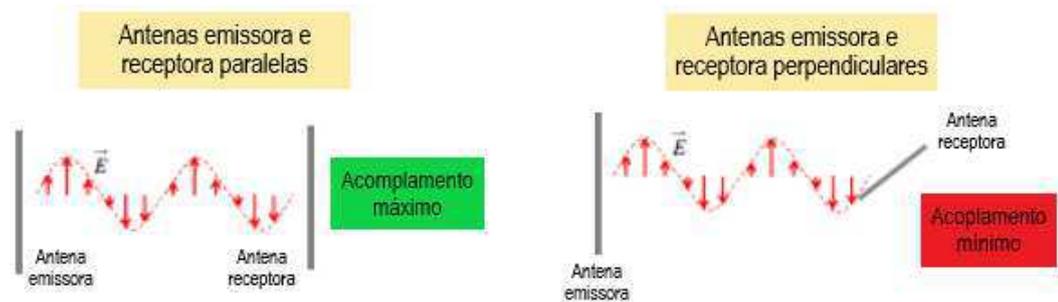
- $E_1 \neq 0$ e $E_2 = 0$, logo $\vec{E} = E_x \vec{i}$ (Linear horizontal)
- $E_1 = 0$ e $E_2 \neq 0$, logo $\vec{E} = E_y \vec{j}$ (Linear vertical)

Para se obter uma polarização circular, é necessário que, além do módulo das duas componentes sejam iguais, a defasagem entre elas deve ser de $\pm 90^\circ$, e, daí se

- $\delta = +90^\circ$, logo, $E_r \cos(\omega t - \beta z)\vec{i} - E_r \sin(\omega t - \beta z)\vec{j}$ (Anti-horária)
- $\delta = -90^\circ$, logo, $E_r \cos(\omega t - \beta z)\vec{i} + E_r \sin(\omega t - \beta z)\vec{j}$ (Horária)

Para otimizar a recepção de uma onda de rádio, a polarização da onda eletromagnética enviada e a da antena receptora devem ser as mesmas (Figura 8).

Figura 8: Polarização de antenas



Fonte: www.alexandre-boyer.fr (adaptado)

A chamada perda por polarização é calculada em relação ao ângulo α de defasagem entre as duas antenas em análise, o que representa a diferença de alinhamento entre elas [11].

$$L = \cos^2 \alpha \quad \text{ou} \quad L(\text{dB}) = 20 \log(\cos \alpha) \quad (7)$$

Se a antena de transmissão e de recepção tiverem a mesma orientação de campo elétrico, logo, o ângulo entre eles $\alpha = 0^\circ$ e $\cos 0^\circ = 1$, o que resulta em 0dB de perdas de polarização. Por outro lado, se temos uma antena receptora perpendicular à antena de transmissão, $\alpha = 90^\circ$ e $\cos 90^\circ = 0$, portanto, as perdas são infinitas, isto é, nenhuma informação está sendo transmitida. Outro caso interessante de ser destacado é quando a antena emissora possui polarização circular, neste caso, se a antena receptora é linear, fazendo a mesma análise, pelo menos metade da potência inicial é perdida.

A Figura 9 contém uma tabela que mostra alguns casos de perdas por polarização e os valores, em dB, destas perdas. Avalie que, para combinações ortogonalmente opostas, por exemplo, antena com polarização horizontal (H) e onda incidente com polarização vertical (V), as perdas são infinitas, o que corrobora o que foi explicado até o momento, isto é, neste caso, toda a informação é perdida e nada é transmitido.

Neste mesmo contexto, podemos definir o parâmetro *axial ratio*, que é a razão entre as componentes ortogonais de uma onda eletromagnética. O *axial ratio* ou razão axial é o parâmetro mensurável para determinar se uma antena possui ou não polarização circular, já que não é possível visualizar a distribuição espacial ao longo do tempo do seu campo elétrico. Assim, para uma antena de polarização circular, como foi dito, os módulos das componentes ortogonais devem ser idênticos, portanto, sua razão axial, $\frac{E_x}{E_y}$, deve ser igual a 1. A Figura 10 mostra a relação entre as componentes E_x e E_y levando em consideração a forma que a onda se propaga

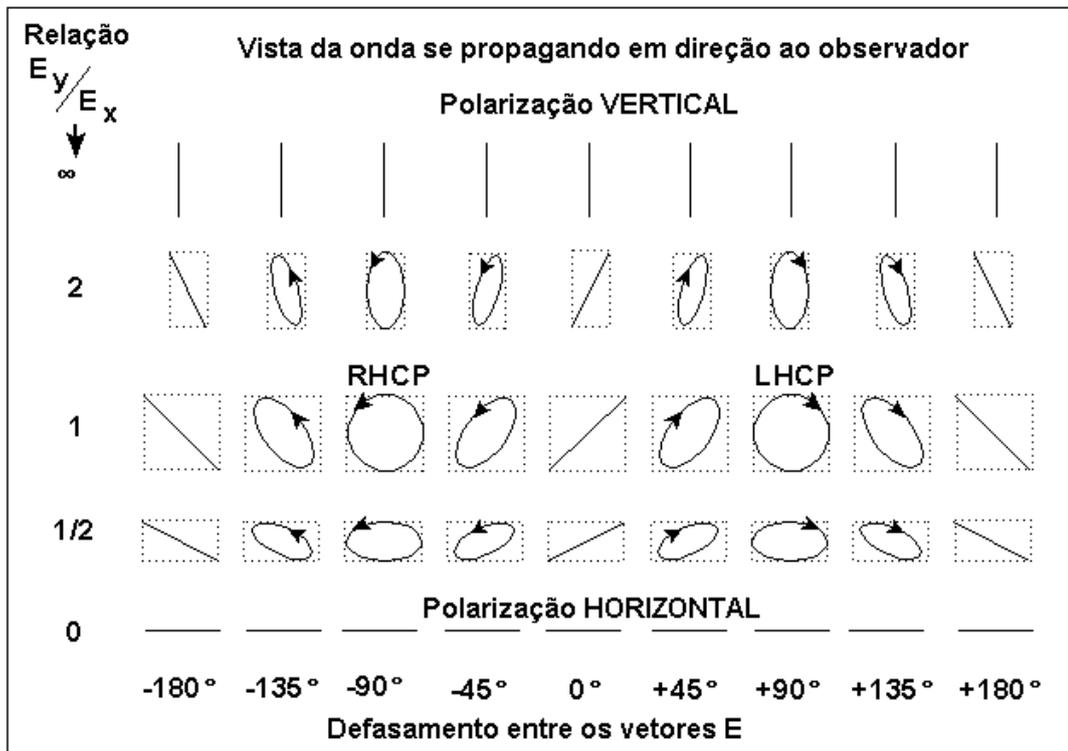
Figura 9: Perdas por polarização

		Polarização da antena de recepção					
		H	V	inclinada		⊙	⊚
				45°	135°		
Polarização da onda	H	0 dB	∞	-3 dB	-3 dB	-3 dB	-3 dB
	V	∞	0 dB	-3 dB	-3 dB	-3 dB	-3 dB
	inclinada 45°	-3 dB	-3 dB	0 dB	∞	-3 dB	-3 dB
	inclinada 135°	-3 dB	-3 dB	∞	0 dB	-3 dB	-3 dB
	⊙	-3 dB	-3 dB	-3 dB	-3 dB	0 dB	∞
	⊚	-3 dB	-3 dB	-3 dB	-3 dB	∞	0 dB

Fonte: www.blog.f6krk.org (adaptado)

em direção ao observador e o defasamento entre os vetores E, além do valor de perda associada a cada combinação.

Figura 10: Axial Ratio



Polarização da onda resultante em função de E_y/E_x e do defasamento

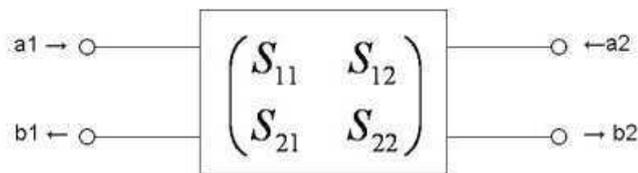
Fonte: www.qsl.net

2.2.4 Parâmetros S

Os parâmetros S relacionam a transferência de potência entre a saída e a entrada de um sistema. A matriz de espalhamento, como é chamada, é o método mais simples e mais utilizado para caracterizar circuitos de alta frequência. Para um sistema com duas portas (uma entrada e uma saída), por exemplo, se considerarmos a_1 e b_1 , na Figura 11, como as ondas incidentes e a_2 e b_2 como as ondas refletidas [12], temos a relação

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = [S] \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Figura 11: Representação de um sistema com duas portas



Fonte: www.microwaves101.com

, assim, podemos calcular as ondas de saída b_1 e b_2 como sendo

$$b_1 = S_{11} \cdot a_1 + S_{12} \cdot a_2 \quad (9)$$

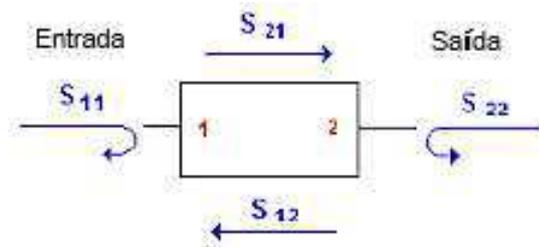
$$b_2 = S_{21} \cdot a_1 + S_{22} \cdot a_2 \quad (10)$$

Portanto, colocando os parâmetros S em evidência, temos

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (11)$$

o que pode ser visualizado mais claramente na Figura 12. Assim, o S_{11} representa a reflexão na entrada do dispositivo. O S_{21} mensura a transmissão da entrada para a saída (de 1 para 2). O S_{22} é a reflexão na saída do dispositivo e, finalmente, o S_{12} calcula a transmissão inversa (ou a proteção do sistema contra retornos de potência).

Figura 12: Parâmetros S



Fonte: O próprio autor.

É importante ressaltar que a análise é análoga para qualquer sistema com n portas.

3 Caracterização do sistema existente e de novas soluções

Foi feita, então, a caracterização do sistema já existente para servir como base para novas propostas e, em seguida, foi realizada também a caracterização de novas soluções sugeridas pela própria empresa.

3.1 Sistema Race Result

O sistema utilizado pela empresa Chronosphères System é uma solução para sistemas de cronometragem esportiva da fabricante alemã Race Result, que consiste de uma mala com um leitor RFID e seu decodificador, além de vários tapetes com antenas internas e etiquetas RFID para a identificação dos competidores.

A frequência de trabalho do sistema é o padrão europeu para RFID UHF, isto é, de 865MHz a 868MHz.

As informações conhecidas do sistema são: o leitor utilizado, as etiquetas RFID e o formato físico das antenas dos tapetes, desta forma, foi necessária a realização de testes para conhecer a polarização destas antenas, bem como de seus ganhos. Em anexo, a lista de especificações fornecidas pelo fabricante pode ser consultada.

3.1.1 Leitor

O leitor RFID utilizado pelo sistema da Race Result é o Zebra FX9500, um leitor robusto que suporta a conexão de até 8 antenas, Figura 13. O fabricante garante uma sensibilidade de leitura de -84.5dBm usando uma única antena para transmissão e recepção (single-static) e esta sensibilidade pode atingir um nível de até -105dBm (31,6fW) em configuração bi-estática, isto é, quando uma antena é usada para transmissão e outra para recepção. A potência fornecida pelo leitor é ajustável de 10 a 33 dBm para atender às diversas aplicações dos usuários.

Figura 13: Leitor RFID Zebra FX9500



Fonte: www.zebra.com

3.1.2 Etiquetas

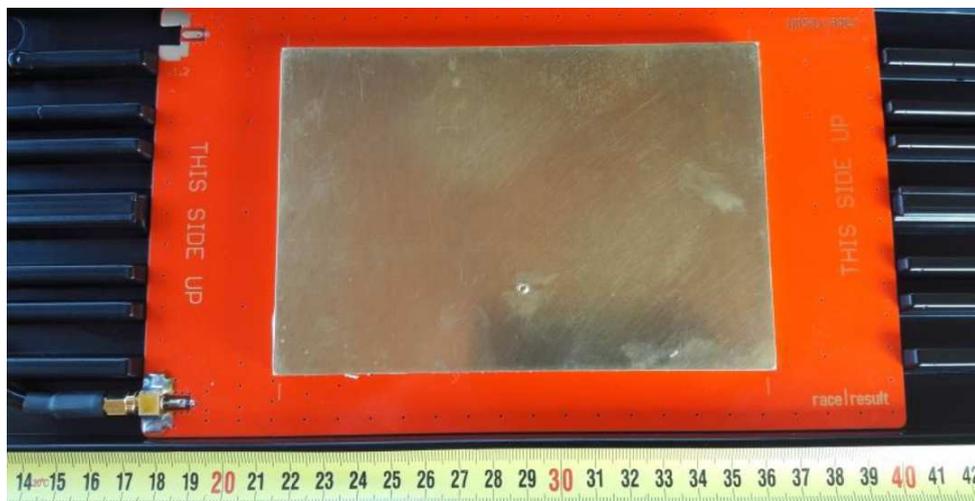
As etiquetas são uma parte essencial do sistema de cronometragem esportiva com identificação por radiofrequência, uma vez que são elas as responsáveis por identificar os participantes das corridas. Com os dados das etiquetas coletados e feita a decodificação correta, é possível então exibir os resultados destes eventos.

As etiquetas utilizadas são as HuTags, também propostas pela companhia Race Result, que foram especialmente concebidas para serem utilizadas em contato com o corpo humano. O alcance de leitura destas etiquetas, em relação a antena de leitura, é de 6 metros na horizontal e de 4 metros na vertical [13]. As etiquetas são encapsuladas em um plástico rígido e presas a uma pulseira para facilitar o uso pelos participantes (Figura 2(b)).

3.1.3 Antenas do sistema existente

As antenas da solução utilizada pela empresa são antenas planares com dimensões de aproximadamente 140 mm x 220 mm (Figura 14). O design da antena é otimizado para as condições de trabalho esperadas para a aplicação, isto é, as antenas serão colocadas no solo, que pode estar quente ou frio, assim, é necessário garantir o seu desempenho constante para as diferentes condições ambientais de uso. O fabricante não forneceu informações sobre os parâmetros técnicos da antena, dessa forma, foi necessário realizar testes para obter essas informações.

Figura 14: Antena planar do sistema existente



Fonte: O próprio autor.

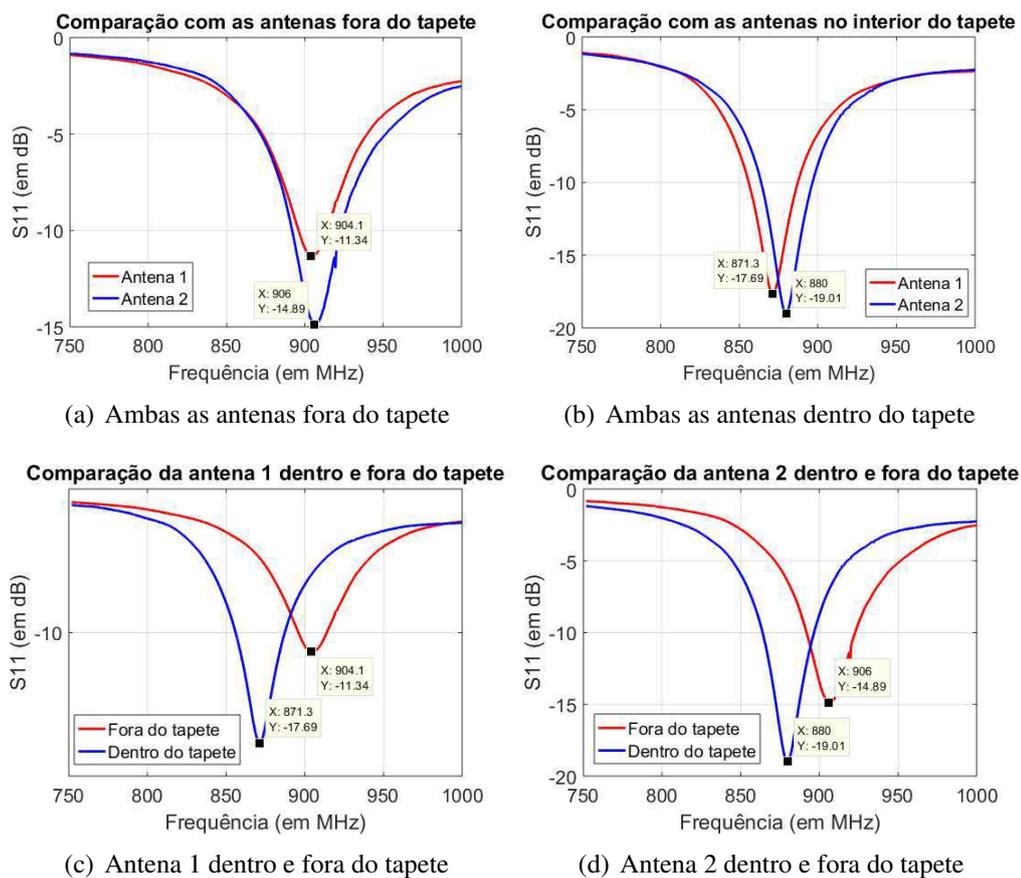
Para caracterizar a antena foram utilizados os seguintes equipamentos: um VNA (do inglês *Vector Network Analyzer* - analisador vetorial de rede) fixo e um portátil, uma câmara anecoica e duas antenas corneta.

Primeiramente, iniciamos o processo de caracterização da antena medindo seus parâmetros de reflexão, o S_{11} , com o VNA. Cada tapete possui duas antenas dentro de sua estrutura, então,

duas medições foram realizados, uma para cada antena. Também, já que as antenas são normalmente utilizadas dentro do tapete, as medidas do S_{11} foram feitas com as antenas dentro e fora do tapete para análise do efeito do tapete neste parâmetro.

Os resultados das medições foram tratados no software comercial MATLAB e são mostrados na Figura 15. Uma comparação entre as antenas foi feita para confirmar o funcionamento similar esperado entre elas, isso pode ser confirmado pela observação dos resultados das Figuras 15(a) e (b). Por outro lado, um desvio de frequência de cerca de 30 MHz foi observado para as medições dentro e fora do tapete, em ambas as antenas, como mostrado nas Figuras 15(c) e (d).

Figura 15: Medições do parâmetro S_{11} para duas antenas de um dos tapetes do sistema Race Result



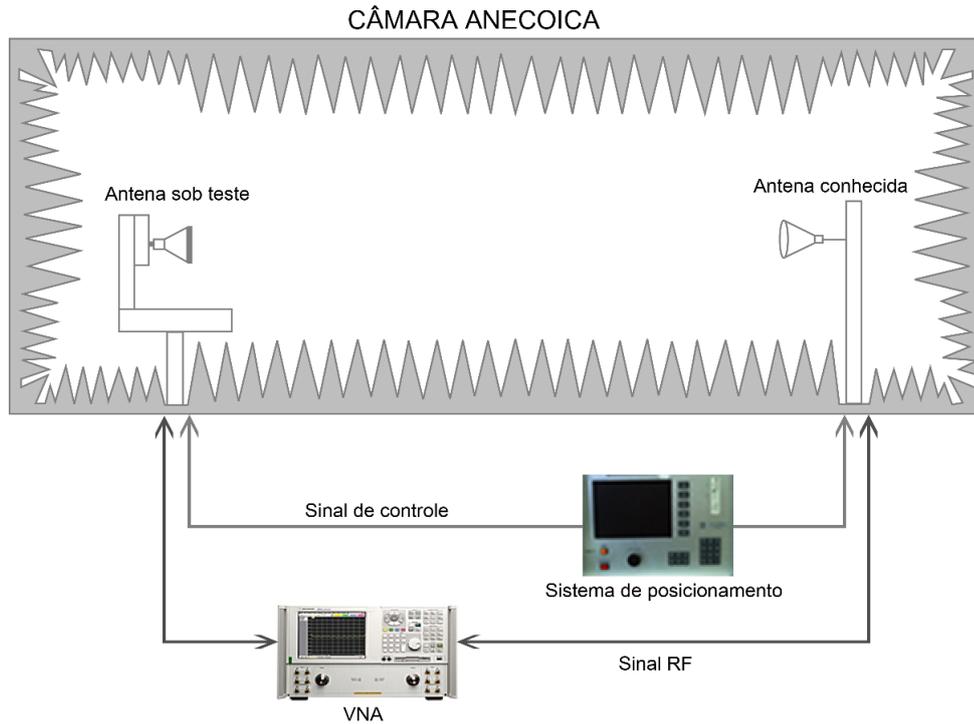
Fonte: O próprio autor.

Em seguida, o diagrama de irradiação pôde ser gerado ao medir o parâmetro de transmissão S_{21} na câmara anecoica.

Uma câmara anecoica é um ambiente que possui paredes cobertas com materiais absorventes de campo eletromagnético, o que impede reflexão de ondas eletromagnéticas e possibilita, assim, medições mais precisas de transmissão e recepção de antenas. Para realizar as medições, foi utilizada uma antena corneta, de S_{21} calculada anteriormente, e o método de comparação

(método com três antenas) para obter o S_{21} da antena em análise. A configuração utilizada é mostrada na Figura 16, onde uma antena corneta é utilizada como a antena com parâmetros conhecidos e a antena da empresa é a antena sob teste. A antena corneta envia um sinal contínuo e a antena em teste é rotacionada 360° de tal forma que todo seu diagrama de irradiação possa ser medido. Este processo é feito com a antena corneta a 0° e a 90°, para que a co-polarização e a polarização cruzada possam ser ambas calculadas. O processamento de dados é feito posteriormente com o auxílio do software MATLAB.

Figura 16: Configuração para medir o S_{21} de uma antena



Fonte: <http://www3.uah.es>

Assim, utilizando a Figura 17 como referência, o S_{21} é calculado como

$$|S_{21}|^2 = \frac{P_{Rx}}{P_{Tx}} \quad (12)$$

, utilizando, então, a equação de Friis, podemos relacionar P'_{Rx} com P'_{Tx} como

$$\frac{P'_{Rx}}{P'_{Tx}} = (1 - |\rho_{Tx}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{Tx}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 (\vec{a}_{Tx} \cdot \vec{a}_{Rx}^*)^2 \quad (13)$$

Se as polarizações das antenas em testes são supostas adaptadas, isto é, possuem a mesma polarização, então

$$\frac{P'_{Rx}}{P'_{Tx}} = (1 - |\rho_{Tx}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{Tx}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (14)$$

Em seguida, devem ser contabilizadas, também, as perdas nos cabos

$$L_{CTx} = \frac{P'_{Tx}}{P_{Tx}} \quad L_{CRx} = \frac{P_{Rx}}{P'_{Rx}} \quad (15)$$

, onde

$$P'_{Tx} = L_{CTx} \cdot P_{Tx} \quad eP'_{Rx} = \frac{P_{Rx}}{L_{CRx}} \quad (16)$$

, substituindo as perdas na equação 14, temos então

$$\frac{\frac{P_{Rx}}{L_{CRx}}}{L_{CTx} \cdot P_{Tx}} = \frac{P_{Rx}}{L_{CRx} \cdot L_{CTx} \cdot P_{Tx}} = \frac{1}{L_{CRx} \cdot L_{CTx}} \cdot \frac{P_{Rx}}{P_{Tx}} = \frac{(1 - |\rho_{Tx}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{Tx}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2}{(1 - |\rho_{Tx}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{Tx}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2} \quad (17)$$

Daí, é efetuada uma primeira medição com a antena T_x como a antena sob teste (AST), que resulta na equação

$$\frac{1}{L_{CRx} \cdot L_{CTx}} \cdot |S_{21}|_{AST}^2 = (1 - |\rho_{AST}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{AST}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \quad (18)$$

, em seguida, realiza-se uma segunda medição com uma antena com parâmetros conhecidos como T_x para ser usada de referência, o que gera a equação

$$\frac{1}{L_{CRx} \cdot L_{CTx}} \cdot |S_{21}|_{ref}^2 = (1 - |\rho_{AST}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{AST}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \quad (19)$$

Finalmente, dividindo a equação 18 pela 19 obtemos

$$\frac{\frac{1}{L_{CRx} \cdot L_{CTx}} \cdot |S_{21}|_{AST}^2}{\frac{1}{L_{CRx} \cdot L_{CTx}} \cdot |S_{21}|_{ref}^2} = \frac{(1 - |\rho_{AST}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{AST}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2}{(1 - |\rho_{AST}|^2)(1 - |\rho_{Rx}|^2)G_{AST}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2} \quad (20)$$

$$\frac{|S_{21}|_{AST}^2}{|S_{21}|_{ref}^2} = \frac{(1 - |\rho_{AST}|^2)G_{AST}}{(1 - |\rho_{ref}|^2)G_{ref}} \quad (21)$$

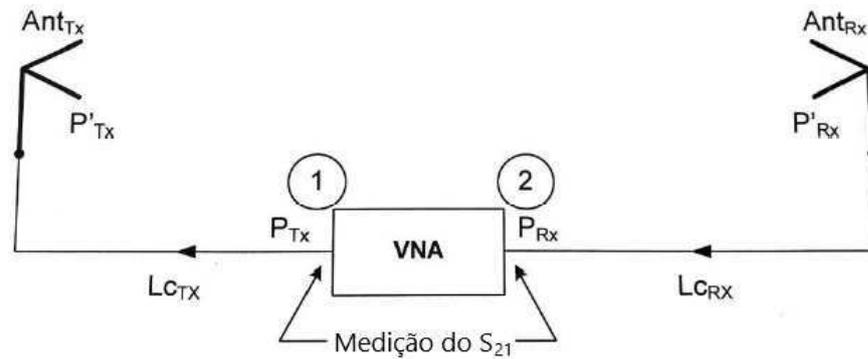
Enfim,

$$G_{AST} = G_{ref} \frac{|S_{21}|_{AST}^2 (1 - |\rho_{ref}|^2)}{|S_{21}|_{ref}^2 (1 - |\rho_{AST}|^2)} \quad (22)$$

Em dB, temos

$$[G_{AST}]_{dB} = [G_{ref}]_{dB} + [|S_{21}|_{AST}^2]_{dB} - [|S_{21}|_{ref}^2]_{dB} + (1 - |\rho_{ref}|^2)_{dB} - (1 - |\rho_{AST}|^2)_{dB} \quad (23)$$

Figura 17: Cálculo do S_{21}



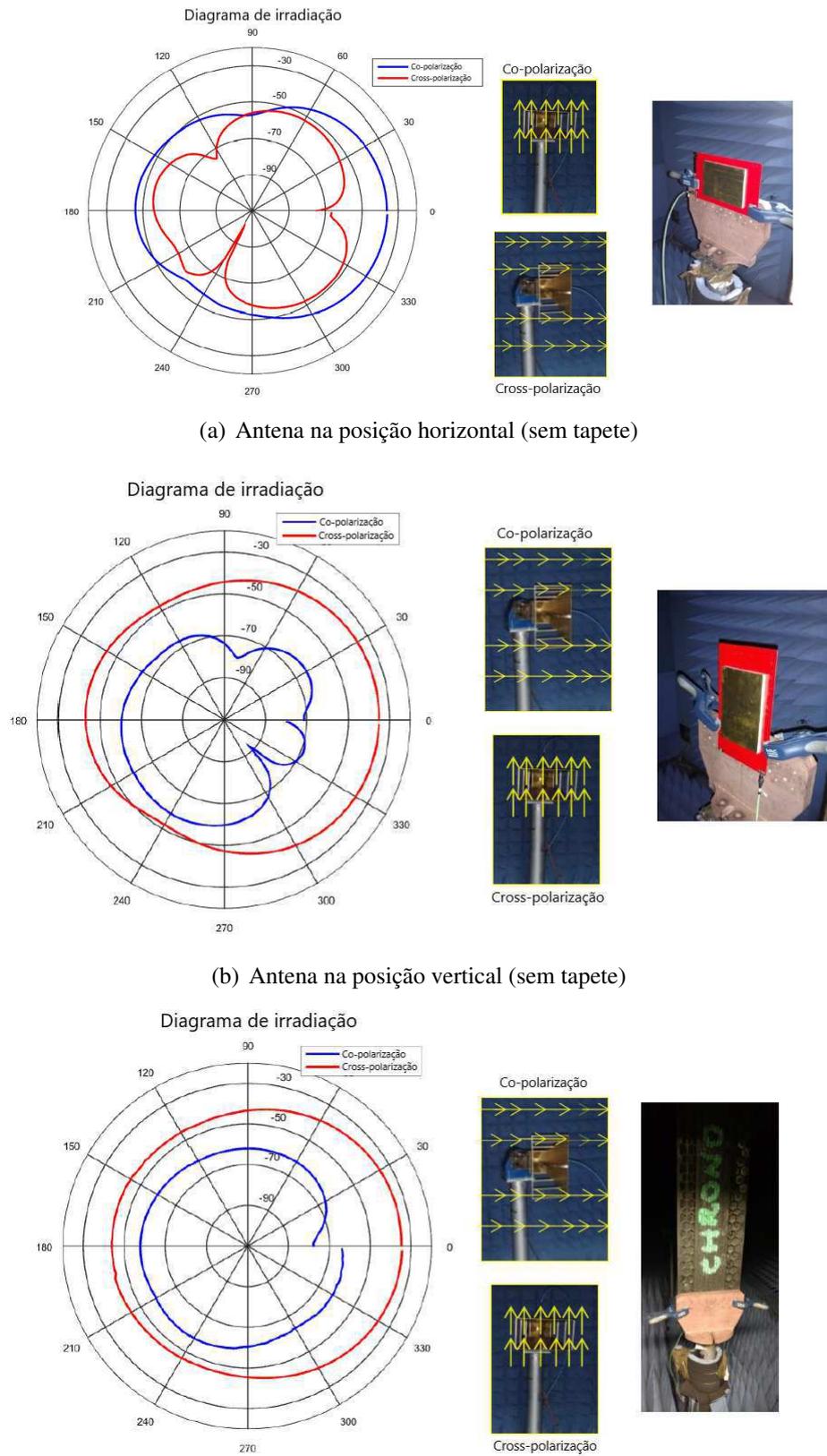
Fonte: O próprio autor.

Assim, os testes foram realizados, na câmara anecoica da Grenoble INP - ESISAR, com a antena fora do tapete nas posições vertical e horizontal. Já para a antena dentro do tapete, só foi possível realizar a medição com a mesma em posição vertical, devido ao encaixe existente no próprio tapete. Os resultados obtidos e as configurações utilizadas para cada medição, ainda sem tratamento nos dados coletados, são exibidos na Figura 18.

Essas medições foram feitas também para estimar a polarização da antena do sistema da empresa, para isto, utilizou a antena corneta, que possui polarização já conhecida (linear), como referência.

A partir dos resultados obtidos com os diagramas de irradiação, foi possível calcular a razão axial (AR, *axial ratio*) e estimar a polarização da antena em estudo. Como explicado anteriormente, a razão axial é uma relação entre as componentes ortogonais do campo elétrico de uma antena, neste caso, como foram feitos os diagramas de irradiação para a antena de referência (conhecidamente de polarização linear) a 0° e a 90° - copolarização e polarização cruzada - podemos traçar o gráfico de AR para cada medição, como pode ser visto na Figura 19. Pelo resultado observado na Figura 19 pode-se dizer que a polarização da antena do tapete é linear.

Figura 18: Medições de diagrama de irradiação da antena do sistema Race Result



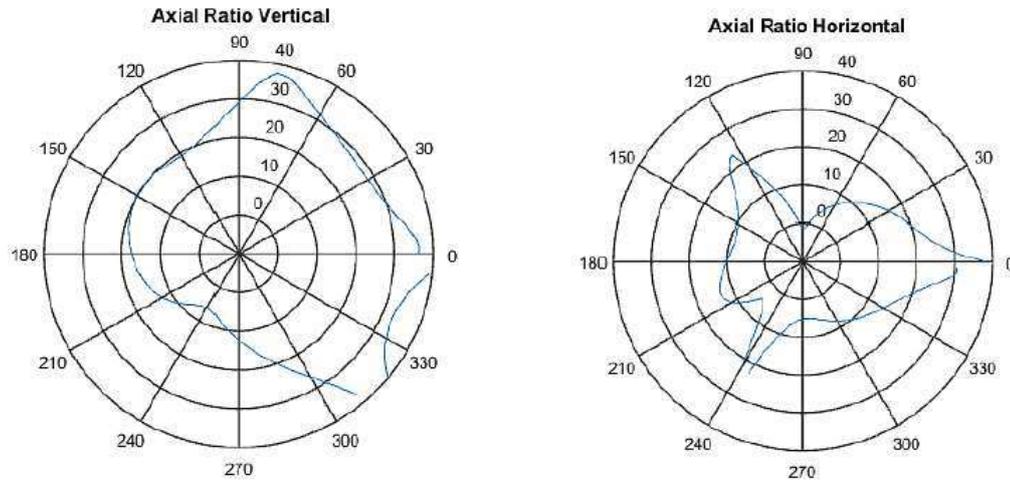
(a) Antena na posição horizontal (sem tapete)

(b) Antena na posição vertical (sem tapete)

(c) Antena na posição vertical (com tapete)

Fonte: O próprio autor.

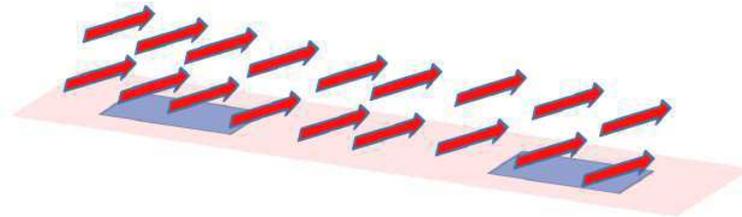
Figura 19: Razão Axial da antenna existente



Fonte: O próprio autor.

Observando os resultados dos diagramas de irradiação obtidos, é possível deduzir como o campo elétrico da antenna em estudo se propaga no espaço, o que é importante para o funcionamento adequado do sistema, uma vez que as etiquetas devem ser alinhadas com este campo para maior eficácia na sua identificação. A Figura 20 mostra a propagação estimada do campo das antenas analisadas ao longo da extensão do tapete.

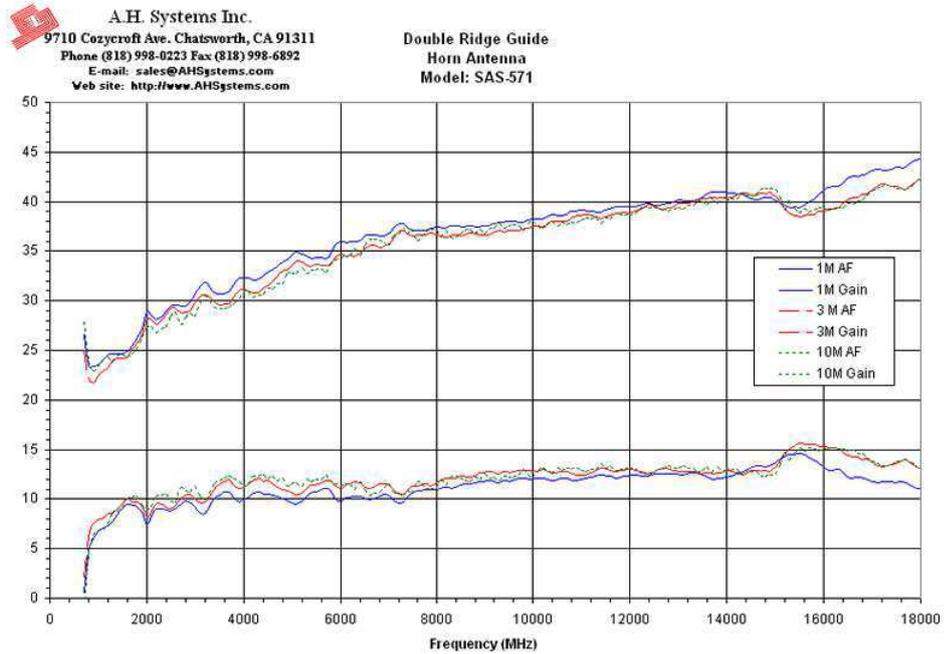
Figura 20: Direção de propagação do campo elétrico ao longo do tapete



Fonte: O próprio autor.

A próxima etapa consistiu de fazer o processamento de dados para obter o valor real do ganho da antenna. Para isso, como deduzido anteriormente, é necessário conhecer o S_{21} , o ganho e o coeficiente de reflexão da antenna de referência, isto é, a antenna corneta. Para o coeficiente de reflexão, os dados foram recuperados de um trabalho anterior realizado no laboratório trabalhado, o que nos deu um valor de $-38,57\text{dB}$ a 868MHz . Para o ganho, uma média foi calculada a partir dos valores dados pelo fabricante, este valor, por outro lado, não é muito preciso, como pode ser visto observando a imagem fornecida pelo fabricante, na Figura 21.

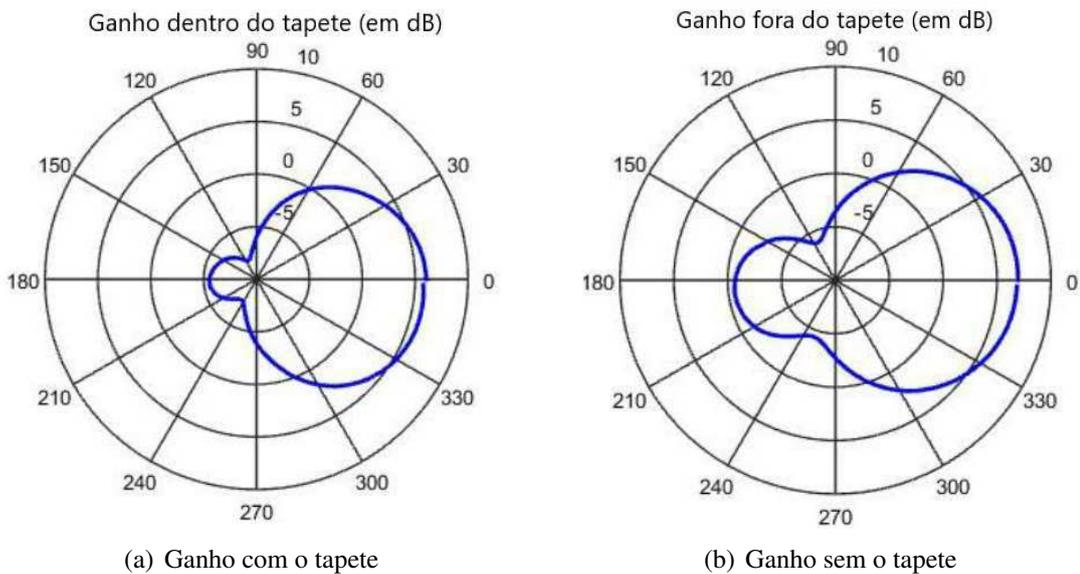
Figura 21: Ganho da antena corneta



Fonte: www.ahsystems.com

Em seguida, para o valor do S_{21} da antena corneta, foi feito um conjunto de medições da mesma forma que foi feito para a antena do tapete, de forma que fosse possível utilizar a equação 14. Assim, os ganhos para a antena estudada dentro e fora do tapete são mostrados na Figura 22, cujo valor máximo sem tapete é de 6,95dB e com o tapete de 6,05dB. Concluiu-se, portanto, que o tapete provoca uma ligeira atenuação no ganho da antena.

Figura 22: Ganho medido para a antena do sistema existente



(a) Ganho com o tapete

(b) Ganho sem o tapete

Fonte: O próprio autor.

3.2 Soluções propostas pela empresa

A empresa Chronosphère busca sempre por novas soluções para o sistema empregado por eles na cronometragem dos eventos, visando um melhor desempenho e, portanto, um melhor serviço prestado a seus clientes. Neste contexto, após pesquisas no mercado, duas novas antenas foram compradas, uma antena filar e uma antena lateral, e testadas para avaliar seu desempenho e determinar se são opções viáveis para serem incorporadas ao sistema existente.

3.2.1 Antena filar

Uma solução diferente e inovadora encontrada no mercado é a antena filar (Figura 23). Com uma estrutura leve e um uso simplificado, a antena filar promete um desempenho consistente mesmo em ambientes metálicos.

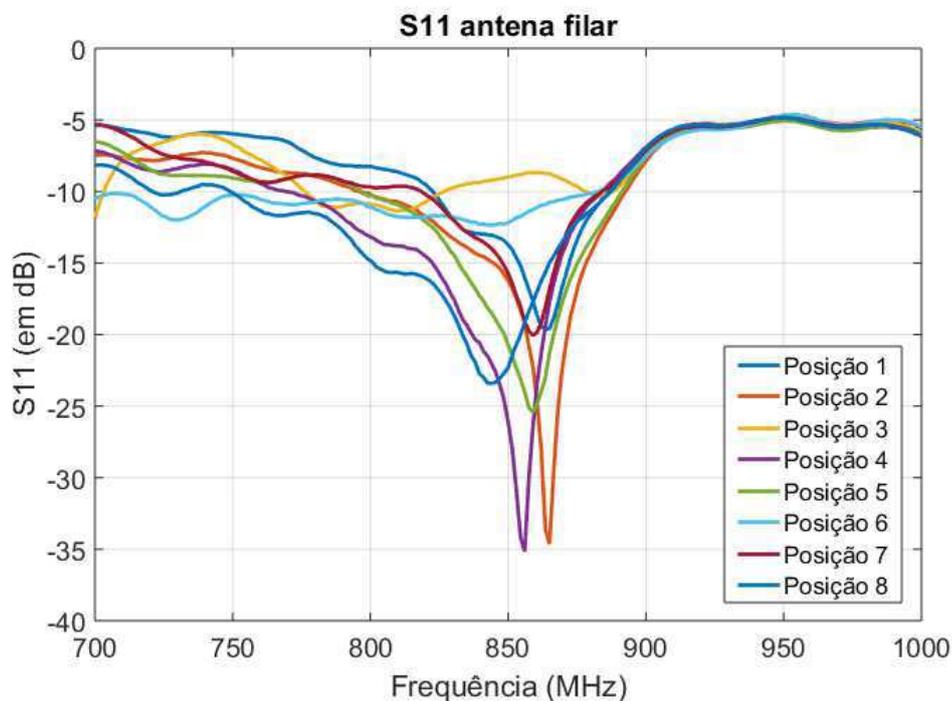
Figura 23: Antena filar



Fonte: <http://www.harting-rfid.com>

Testes para medir o S_{11} e o ganho da antena foram realizados para confirmar suas promessas. Durante os testes, foi observada uma certa instabilidade nos resultados do coeficiente de reflexão (S_{11}), o que era muito sensível a variação da posição da antena (a parte amarela) em relação ao seu fio (em preto). Várias posições (no solo, fazendo uma volta com o fio, aproximando-se o fio da antena, etc.) foram testadas e, como pode ser visto na Figura 24. Testes para mensurar o ganho da antena também foram feitos na câmara anecoica, contudo, como o elemento irradiante desta antena é o seu próprio fio (especificações em Anexo), os resultados foram inconclusivos e, portanto, não foram considerados.

Figura 24: S_{11} da antena filar



Fonte: O próprio autor.

Após algumas análises, a antena não apresentou resultados satisfatórios para continuar seu estudo ou ainda ser considerada uma solução aceitável para o sistema da empresa.

3.2.2 Antena lateral

O uso de portais contendo antenas para realizar a cronometragem e classificação dos concorrentes, de forma sem fio, é vastamente difundido em eventos esportivos. A Figura 25 mostra a configuração desse tipo de medição, onde as antenas são dispostas em um portal na linha de chegada e o candidato, com uma etiqueta em alguma parte do corpo, ao passar, é identificado e seu tempo é salvo para uma classificação feita posteriormente para gerar o resultado da corrida. A solução, no entanto, exige maior preparação antes da corrida e também uma maior quantidade de equipamentos para montar a estrutura do portal. A detecção de etiquetas nessa configuração é semelhante àquela vista do tapete, exceto que as antenas serão dispostas na lateral ou acima da linha de chegada, ao invés de estarem posicionadas no chão.

De forma análoga, os testes para medir o S_{11} e o ganho da antena lateral foram realizados. A Figura 26 mostra o S_{11} da antena sendo medido com o VNA portátil.

A antena lateral mostrou-se não ser bem adaptada para a frequência de trabalho, uma vez que seu S_{11} apresentou o valor de -7,47dB a 865MHz e -7,21dB a 868MHz (Figura 27). Esta antena foi testada também em um evento esportivo e apresentou uma baixa porcentagem de leitura das etiquetas, o que era esperado tendo em vista os resultados obtidos na medição. Apenas cerca de 20% do total das etiquetas foram lidas, resultado este não aceitável para a empresa, que

Figura 25: Sistema de cronometragem esportiva com portais na linha de chegada



Fonte: www.esprimo.com.sg

precisa que 100% das etiquetas sejam lidas para realizar a classificação correta e completa dos competidores.

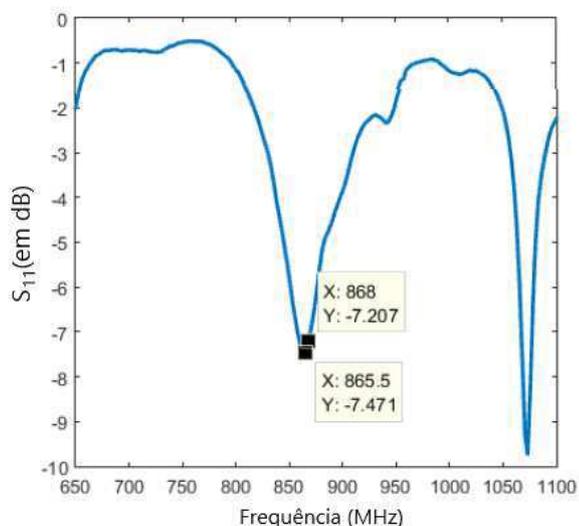
Figura 26: Medição do S_{11} da antena lateral



Fonte: O próprio autor.

Finalmente, foi concluído que esta antena não possui um desempenho particularmente interessante para a empresa considerá-la como um substituto aceitável para o sistema existente. Contudo, a ideia não foi completamente descartada, uma vez que há potencial para exploração se mais estudos forem realizados com este tipo de antena.

Figura 27: S_{11} da antena lateral



Fonte: O próprio autor.

3.3 Estudo de mercado

Por fim, antes de iniciar o desenvolvimento de novas propostas para o sistema, foi feito um estudo de mercado para se ter uma ideia dos produtos já existentes e a viabilidade de compra e uso desses produtos no sistema da empresa.

O primeiro modelo de antena pesquisado foi o de antenas similares às da solução utilizada pela empresa, isto é, antenas para serem usadas dentro de tapetes a serem colocados no solo da linha de chegada das corridas. Algumas das opções encontradas são exibidas na Tabela 1.

Tabela 1: Antenas comerciais de tapete

Antena	Polarização	Beamwidth	Ganho	Dimensões	Peso (kg)	Preço
TIMES-7 A5531 ULTRA-LOW PROFILE UHF RFID GROUND ANTENNA	Linear	V: 25° H: 70°	10dBi	1200x195x10	2.7	\$ 403.75
TIMES-7 A6590C-71324 SLIMLINE RFID GROUND ANTENNA	Circular	V: 20° H: 80°	9dBic	915x305x8	2	\$340
HYN510	Circular	V: 60° H: 60°	8dBic	1260x500x30	8	\$260
4pcs RFID TIMING FLOOR MAT ANTENNA	Linear	V: 120° H: 55°	5dBic	470x90x20	-	€516

Fonte: O próprio autor.

As características visadas, além do preço, foram ganho, polarização, dimensões e peso, já que o objetivo é buscar um sistema de desempenho igual ou superior, mas que também seja

mais leve. Apesar das antenas encontradas apresentarem parâmetros satisfatórios, seus preços são muito altos para o projeto proposto.

As antenas laterais são os modelos mais comumente encontrados no mercado, com maior variedade em tamanho, preço, ganho e aplicações. Assim, as melhores opções desta categoria foram resumidas na Tabela 2. Aqui, é importante notar que tanto as dimensões como o peso das antenas não foram explicitadas, já que no caso do uso de antenas laterais esses fatores são considerados irrelevantes. Como pode ser observado, os preços das antenas ainda são bastante elevados, e um dos objetivos do projeto é justamente baratear o sistema existente. Contudo, foi encontrada uma antena de marca chinesa com um desempenho teórico interessante e um preço significativamente menor dos que as outras, mas a confiabilidade do produto é um fator a ser levado em conta neste caso. De toda forma, a compra desta antena é uma opção válida para que possam ser realizados testes e verificar se o seu desempenho corresponde ao anunciado.

Tabela 2: Antenas RFID comerciais simples

Antena	Polarização	Beamwidth	Ganho	Preço
MTI MT-242025/TRH/A	Circular	V : 72° H : 74°	7dBic	\$209
RFMAX RFID RACE TIMING ANTENNA KIT- 50 FT CABLE	Circular	V : 63° H : 63°	9dBic	\$359
RFMAX RFID RACE TIMING ANTENNA KIT- 15 FT CABLE	Circular	V : 63° H : 63°	9dBic	\$299
ALIEN ALR-8698	Circular	V : 70° H : 70°	10dBic	\$159
TIMES-7 A6034	Circular	V : 25° H : 81°	9dBic	\$280
TIMES-7 A6034S	Circular	V : 50° H : 50°	9dBic	\$245
TIMES-7 SLIMLINE A6032	Circular	V : 48° H : 75°	7dBic	\$180
TIMES-7 A5010-60001-FG	Circular	V : 68° H : 68°	8.3dBic	\$135
SANRAY A4108*	Circular	-	8dBi	\$31

*marca chinesa

Fonte: O próprio autor.

Finalmente, foi pesquisado no mercado outras opções de leitores RFID para a próxima etapa do projeto, que visa o desenvolvimento de um sistema aberto para os mais variados tipos de etiquetas. A Tabela 3 mostra que, com exceção das marcas chinesas, os preços dos leitores não variam muito. De forma similar ao caso das antenas, os leitores chineses podem ser comprados

e testados para avaliar seu desempenho.

Tabela 3: Leitores RFID comerciais

Leitor	Portas	Sensibilidade Máx.	Potência	Taxa de leitura	Preço
ZEBRA FX9500 FIXED RFID READER (leitor do sistema)	8	-84,5dBm	10-33dBm	50 tags/s	\$1593
THINGMAGIC M6 UHF RFID READER - WI-FI	4	-	31,5dBm	750 tags/s	\$1495
IMPINJ SPEEDWAY REVOLUTION R420 UHF RFID READER	4	-84dBm	10-31,5dBm	-	\$1,585
WINNIX HYR830*	4	-	31dBm	400 tags/s	\$550
INVELION YR860 READER*	4	-	18-30dBm	500 tags/s	€716
RODANLIU M-2900*	8	-85dBm	33dBm	500 tags/s	€452
RODANLIU M-2800*	4	-85dBm	33dBm	500 tags/s	€368
INVELION YR905*	4	-85dBm	20-33dBm	500 tags/s	€517

*marca chinesa

Fonte: O próprio autor.

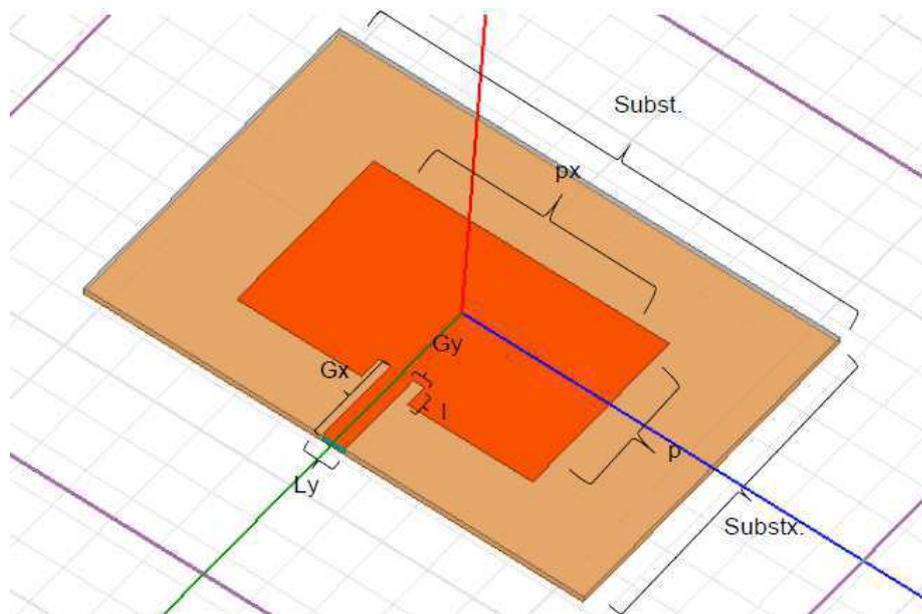
4 Desenvolvimento de novas antenas

Após a caracterização do sistema atual, novas antenas foram desenvolvidas utilizando o software comercial HFSS da ANSYS® como ferramenta de projeto e simulação. Quatro dessas antenas projetadas foram fabricadas e testadas para validar os dados obtidos nas simulações.

4.1 Antena com polarização linear em FR4

O objetivo geral do projeto consiste em desenvolver um sistema mais barato, assim, a primeira antena foi proposta visando reduzir os custos de fabricação ao utilizar como substrato o material FR4. Uma série de simulações foi realizada tendo com base a geometria da antena planar exibida na Figura 28.

Figura 28: Primeira antena proposta



Fonte: O próprio autor.

A Tabela 4 apresenta algumas das simulações realizadas, como seus resultados de frequência de ressonância, os S_{11} a elas associados, eficiência, diretividade e ganho obtidos com a variação das dimensões da antena explicitados na Figura 28.

O h representa a espessura do substrato utilizado. Dentre as opções de substrato FR4 disponibilizados pela empresa, foi possível obter uma variação de 1mm a 3mm de espessura e, como esperado, o ganho máximo foi obtido com 3mm, dessa forma, foi realizada a fabricação da antena com essa altura de substrato para maximizar seu desempenho.

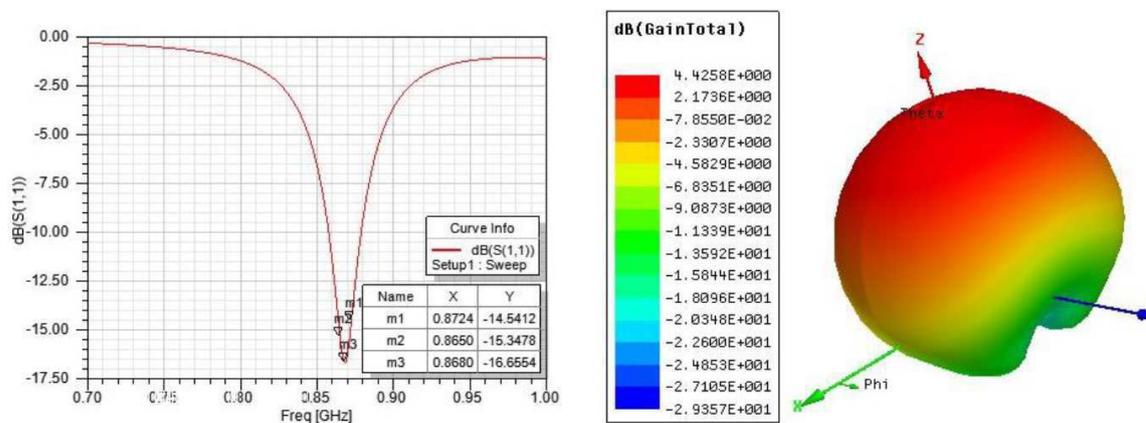
Tabela 4: Simulações da primeira antena proposta

Subst	substx	p	px	Gx	Gy	l	Ly	h	Freq.	S_{11}	Efic.	Diret.	Ganho
220	190	80	130	40	20	10	10	3	888.9	-11.41	0.384	7.41	3.25
-	-	-	-	30	-	-	-	-	882.9	-8.81	0.38	7.62	3.46
-	140	-	-	-	-	-	-	-	881.6	-9.08	0.41	8.24	4.36
-	-	-	-	-	-	13	-	-	884.0	-11.83	0.412	8.20	4.35
-	-	-	-	-	-	-	8	-	879.8	-17.33	0.4176	8.18	4.388
-	-	81	-	-	-	-	-	-	870.4	-17.60	0.413	8.29	4.44
-	-	82	-	-	-	-	-	-	859.0	-15.63	0.401	8.29	4.32
-	-	81.5	-	-	-	-	-	-	864.1	-16.07	0.408	8.29	4.385
-	-	81.4	-	-	-	-	-	-	865.9	-16.40	0.406	8.25	4.34
-	-	81.2	-	-	-	-	-	-	867.2	-16.24	0.409	8.21	4.32
-	-	80.9	-	-	-	-	-	-	869.5	-16.45	0.41	8.22	4.35
-	-	81	-	25	-	-	-	-	868.2	-16.66	0.413	8.26	4.42
-	-	-	-	30	-	15	-	-	870.9	-22.69	0.409	8.22	4.34
-	-	-	-	-	-	13	6	-	866.6	-37.55	0.415	8.21	4.40
-	-	-	-	-	-	-	9	-	871.4	-13.25	0.411	8.24	4.38
-	-	-	-	-	25	-	8	-	872.4	-21.23	0.416	8.26	4.45
210	-	-	-	-	-	-	-	-	872.6	-22.15	0.418	8.12	4.34
220	-	-	-	-	-	-	-	2.5	878.2	-18.52	0.367	8.22	3.87
-	-	-	-	-	-	-	-	2	884.1	-15.86	0.315	8.21	3.20
-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	890.2	-15.24	0.25	8.26	2.22
-	-	-	-	-	-	-	-	1	896.5	-18.29	0.176	8.22	0.68

Fonte: O próprio autor.

Após a análise dos resultados, para escolher as dimensões da antena para fabricação os principais parâmetros considerados foram o ganho e adaptação para a frequência de trabalho, 868MHz. Assim, foi escolhido as dimensões destacadas na Tabela 4. Os resultados da simulação do S_{11} e do ganho para esta antena são mostrados na Figura 29.

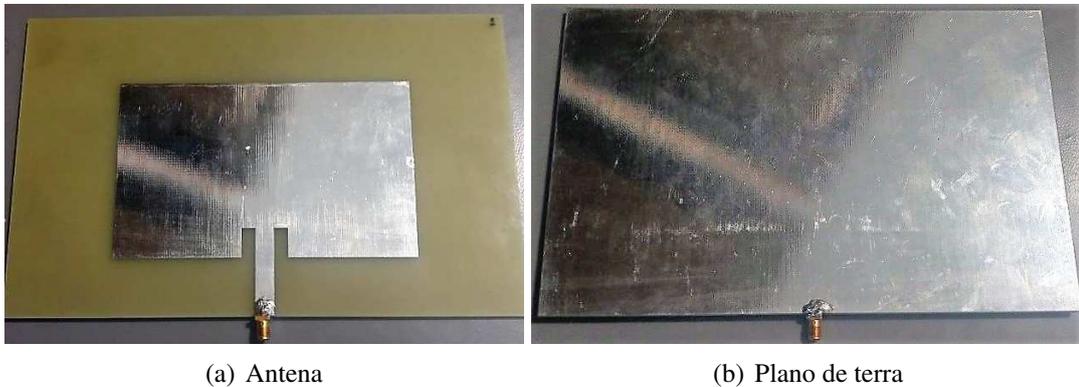
Figura 29: Resultados de simulação para a primeira antena proposta



Fonte: O próprio autor.

Dois exemplares da antena (Figura 31) foram fabricadas. Medições para obter o ganho e o S_{11} da antena foram realizados, portanto, para validar seu desempenho.

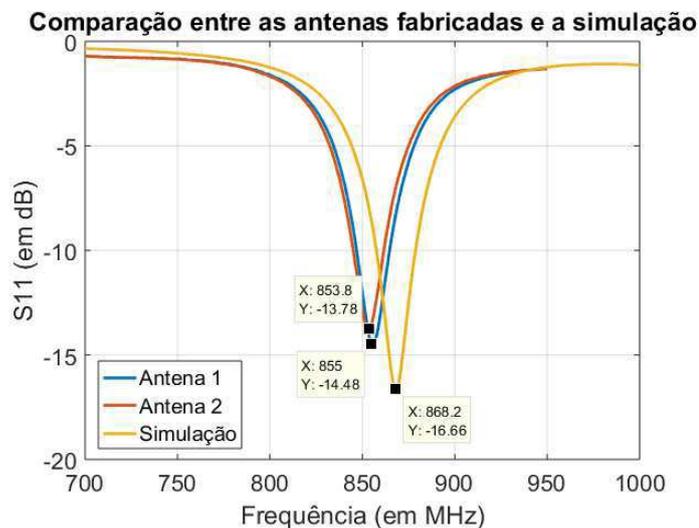
Figura 30: Antena fabricada em FR4



Fonte: O próprio autor.

Para realizar a medição do parâmetro S_{11} da antena foi utilizado o VNA fixo. As duas antenas fabricadas foram testadas para confirmar a consistência na fabricação. A Figura 31 apresenta a comparação entre os resultados experimentais obtidos para as duas antenas e o valor esperado obtido na simulação. Pode-se notar uma coerência nos valores medidos para as duas antenas, contudo, houve um deslocamento de cerca de 15 MHz e um aumento de 2dB entre estas medições e o resultado obtido em simulação. O erro entre os valores teóricos e práticos é inferior a 2%, o que pode ser considerado um resultado satisfatório para a aplicação desejada. A antena também foi testada com o sistema da empresa, isto é, foi colocada dentro dos tapetes e conectada ao leitor RFID para tentar fazer a detecção das etiquetas. A antena foi capaz de ler as etiquetas comerciais da empresa, o que validou o seu desempenho.

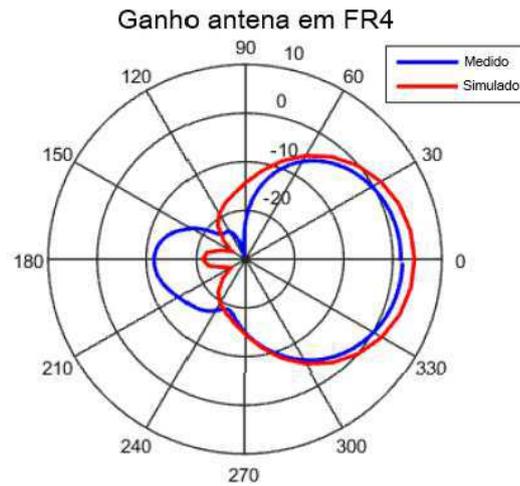
Figura 31: S_{11} das antenas fabricadas comparadas com a simulação



Fonte: O próprio autor.

Para as medições do ganho, que foram realizadas no interior de uma câmara anecoica, foram obtidos os resultados exibidos na Figura 32. Pode ser notado que o valor medido foi menor que o valor simulado, por outro lado, pode-se notar que, exceto o lóbulo traseiro, o diagrama descrito pelos ganhos são semelhantes, possuindo apenas um pequeno *offset* entre eles, o que pode ter sido causado devido a erros de medição ou defeitos e perdas nos equipamentos utilizados.

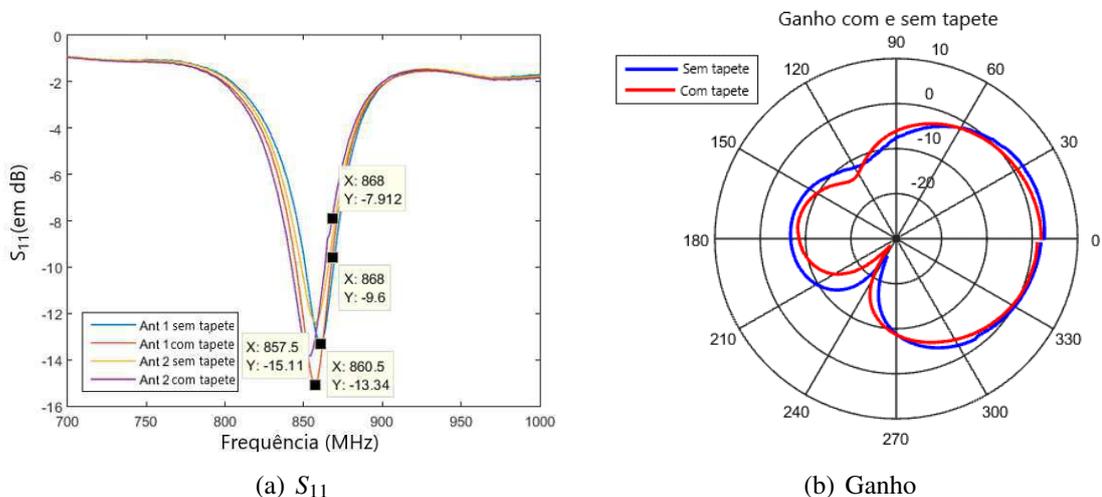
Figura 32: Ganho da primeira antenna proposta em FR4



Fonte: O próprio autor.

Outro parâmetro estudado foi a influência do tapete na resposta da antenna. Como pode ser visto na Figura 33(a), o parâmetro S_{11} não foi muito afetado pela existência do tapete, já o ganho teve uma leve atenuada quando colocada a antenna no interior do tapete, como pode ser visto pela Figura 33(b), o ganho máximo obtido sem tapete foi de 3,39dB, enquanto que com tapete foi de 2,23dB.

Figura 33: S_{11} e ganho das antenas fabricadas dentro e fora do tapete



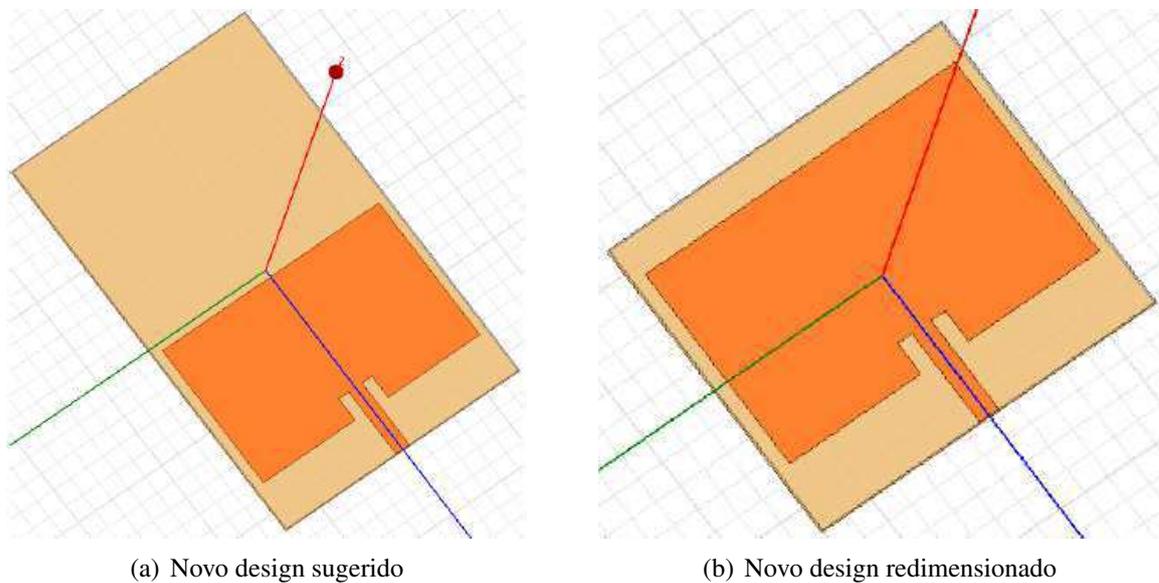
(a) S_{11}

(b) Ganho

Fonte: O próprio autor.

Embora tenha um desempenho interessante, o design desenvolvido não é adaptado para funcionar com o tapete da empresa, uma vez que a alimentação da antenna é feita no lado adjacente ao da antenna original, o que impede que a nova antenna seja encaixada no espaço existente no tapete, mesmo possuindo as mesmas dimensões externas. Dessa forma, foi sugerido refazer a antenna, agora com a alimentação na outra extremidade, similar àquela da antenna original, entretanto, percebeu-se que ficou uma grande parte de substrato obsoleto no novo design (Figura 31(a)), então, esse excesso foi subtraído e foi obtida uma antenna ainda menor, mais leve e mais barata do que a anteriormente idealizada, o que pode ser visto na Figura 31(b).

Figura 34: Segunda proposta de antenna em FR4

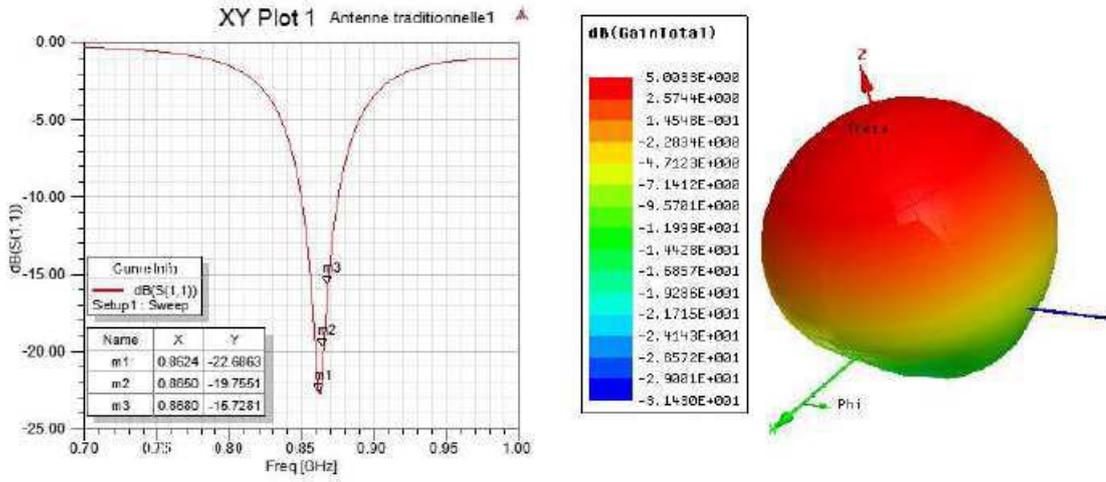


Fonte: O próprio autor.

Os parâmetros S_{11} e ganho da nova antenna são mostrados na Figura 35. A nova antenna possui um ganho maior e um melhor S_{11} (mais negativo) do que a antenna anterior.

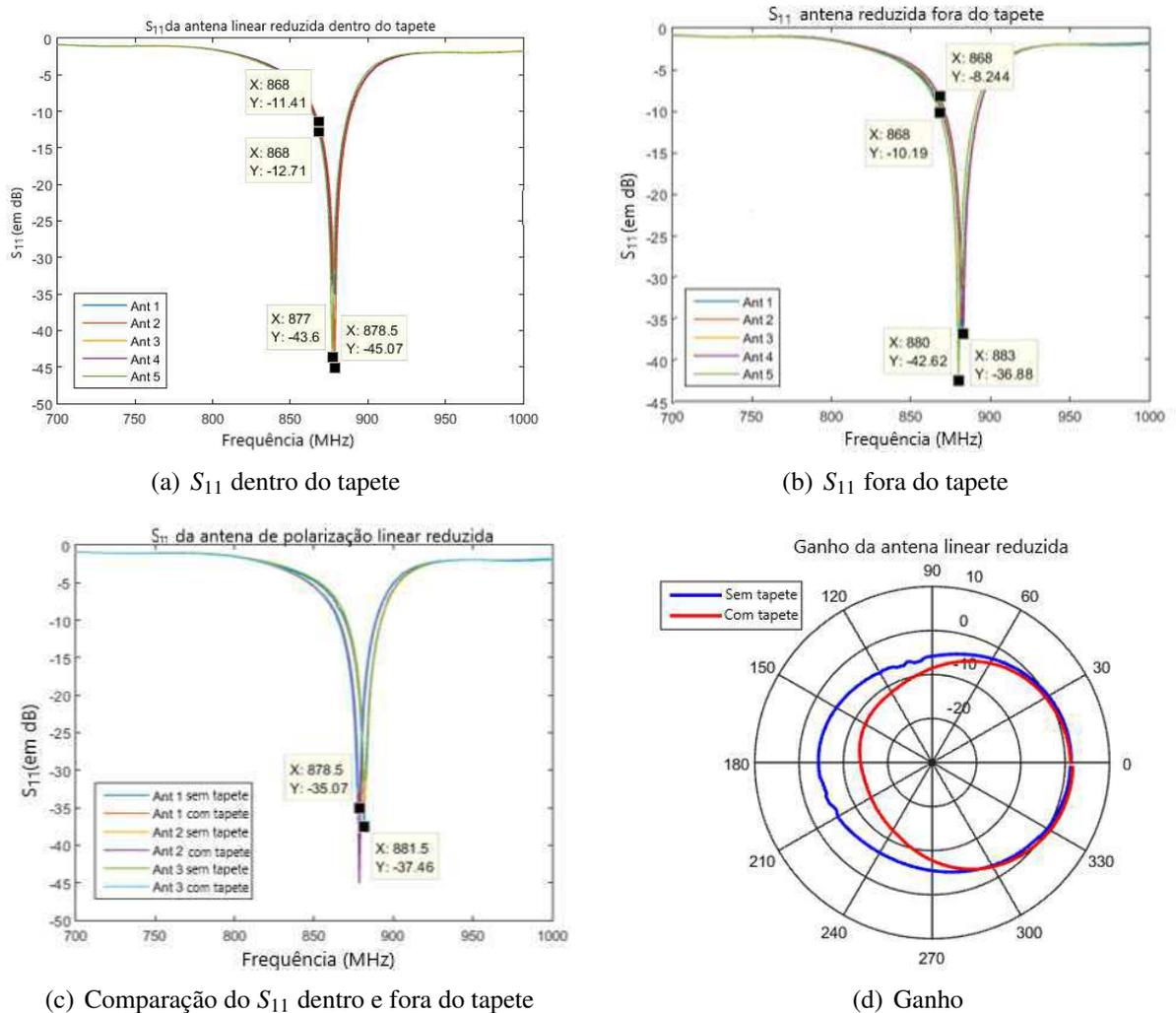
A antenna foi, então, fabricada e realizados testes para validar seu funcionamento esperado. Foram produzidos cinco exemplares da antenna e as medições do parâmetro S_{11} e do ganho são mostradas na Figura 36. De forma similar ao que foi observado na antenna anterior, o tapete não causou muito influência no parâmetro de reflexão da antenna, contudo, no diagrama do ganho, exibido na Figura 36(d), podemos observar uma grande atenuação no lóbulo traseiro da antenna mas resultado similar em seu lóbulo principal (na direção de 0°).

Figura 35: Resultados de simulação da segunda antena proposta



Fonte: O próprio autor.

Figura 36: Medições para a segunda proposta de antena em FR4



Fonte: O próprio autor.

4.2 Antena com polarização linear em ROGERS

Buscando um melhor desempenho da antena projetada para o FR4, novos substratos foram considerados para sua fabricação, uma vez que o FR4 apresentou uma baixa eficiência, como podemos ver na Tabela 4. A conveniência de ter o substrato ROGERS no laboratório, seu custo razoável e sua baixa tangente de perdas foram fatores decisivos para optar por ele na proposição de novas antenas. Assim, usando a mesma geometria e dimensões da antena em FR4 como base, mostrada na Figura 28, várias simulações foram feitas com os substratos: ROGERS 4003 (Tabela 5), ROGERS 3003 (Tabela 6) e, por sugestão da empresa, a ROGERS 4350 (Tabela 7).

Tabela 5: Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 4003

Subst	substx	p	px	Gx	Gy	l	Ly	h	Freq.	S_{11}	Efic.	Diret.	Ganho
220	140	90	130	25	19	20	6	1.524	869.8	-7	-	-	-
-	-	-	-	-	-	24	-	-	851	-10.48	-	-	-
-	-	-	-	-	-	25	-	-	883	-16.88	0.747	8.447	7.18
-	-	-	150	-	-	-	-	-	878	-19	0.765	8.495	7.335
-	-	91	-	-	-	-	-	-	868.2	-24.637	0.769	8.455	7.312
-	-	-	-	-	-	-	7	-	869.1	-27.34	0.768	8.448	7.304
-	-	-	155	-	-	-	6	-	867.2	-17.88	0.779	8.497	7.414
-	-	-	160	-	-	-	-	-	865	-13.14	0.774	8.428	7.319
-	-	90.5	155	-	-	-	-	-	871.5	-16.28	0.781	8.47	7.4
-	-	90.6	-	-	-	-	-	-	870.8	-16.47	0.780	8.47	7.40
-	-	90.4	-	-	-	-	-	-	872.4	-15.98	0.782	8.50	7.433
-	-	90.3	-	-	-	-	-	-	804.3	-29.18	0.292	6.51	1.19
-	-	90.4	-	24	-	-	-	-	872	-16.60	0.780	8.42	7.344
-	-	-	-	26	-	-	-	-	872.6	-15.36	0.782	8.479	7.41
-	-	-	-	25	20	-	-	-	872.8	-13.55	0.777	8.478	7.38
-	-	-	-	-	18	-	-	-	813.5	-19.88	0.287	7.87	2.41
-	135	-	-	-	19	-	-	-	872.4	-16.32	0.775	8.56	7.46
-	130	-	-	-	-	-	-	-	872.5	-17.56	0.767	8.78	7.635
-	116	-	-	-	-	-	-	-	876.3	-43.94	0.655	9.1	7.264
215	-	-	-	-	-	-	-	-	872.6	-15.45	0.781	8.37	7.30
180	-	-	-	-	-	-	-	-	870.4	-20.49	0.77	9.31	8.155
-	-	-	-	-	-	-	-	-	871.3	-20.71	0.765	9.44	8.28

Fonte: O próprio autor.

Tabela 6: Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 3003

Subst	substx	p	px	Gx	Gy	l	Ly	h	Freq.	S_{11}	Efic.	Diret.	Ganho
220	140	99.1	160	25	19	25	6	1.52	866.9	-15.87	0.892	8.59	8.094
210	-	-	-	-	-	-	-	-	866.9	-16.46	0.896	8.44	7.97
220	-	-	-	21	-	-	-	-	866.5	-15.94	0.8996	8.575	8.12
-	-	-	-	22	-	-	-	-	866.0	-15.90	0.8986	8.566	8.10
-	-	-	-	23	-	-	-	-	866.9	-15.26	0.8967	8.6	8.13

Fonte: O próprio autor.

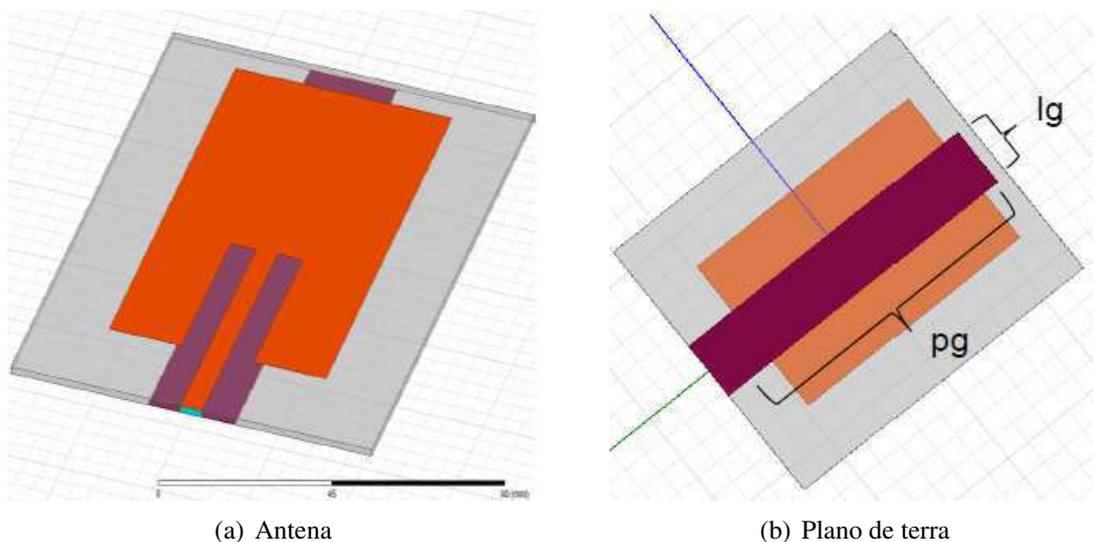
Tabela 7: Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 4350

Subst	substx	p	px	Gx	Gy	l	Ly	h	865MHz (S_{11})	868MHz (S_{11})	Efic.	Diret.	Ganho
220	140	90	130	25	19	20	6	1.524	-5.64	-7.12	0.673	8.457	6.74
170	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.40	-8.17	0.715	7.81	6.35
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-7.67	-9.73	0.749	7.46	6.21
-	130	-	-	-	-	-	-	-	-7.58	-9.34	0.741	7.81	6.51
-	125	-	-	-	-	-	-	-	-7.08	-8.69	0.72	8.06	6.64
-	140	104	-	20	-	40	-	-	-8.09	-7.24	0.887	7.66	7.145
-	-	-	-	-	20	-	-	-	-9.14	-9.73	0.897	7.67	7.20
-	-	-	-	22	-	-	-	-	-12.14	-12.58	0.906	7.72	7.296
-	-	-	120	-	-	-	-	-	-12.28	-13.14	0.913	7.677	7.28
-	-	-	80	-	-	-	-	-	-11.66	-13.86	0.931	7.42	7.11
-	135	-	-	-	-	-	-	-	-9.9	-11-71	0.92	7.47	7.11
-	-	-	-	-	-	41	-	-	-17.05	-21.81	0.927	7.475	7.14
-	-	-	60	-	-	-	-	-	-12.72	-16.01	0.933	7.35	7.04
-	-	105	-	-	-	-	-	-	-17.58	-22.07	0.934	7.37	7.07
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-17.38	-21.89	0.931	7.35	7.04
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-18.06	-22.29	0.931	7.34	7.03

Fonte: O próprio autor.

No entanto, mesmo com os substratos ROGERS apresentando resultados muito satisfatórios em ganho e em adaptação na frequência de trabalho (isto é, S_{11} a 868MHz), seu custo é cerca de dez vezes mais caro que o preço do FR4. Neste contexto, motivados pela diminuição máxima das dimensões da antena para economizar, portanto, na compra do substrato, um novo design foi proposto. Como visto na Figura 37, a nova antena tem um plano de terra menor do que a largura do seu elemento irradiante, uma geometria diferente das comumente encontradas no mercado ou mesmo na literatura de antenas.

Figura 37: Antena proposta em ROGERS



Fonte: O próprio autor.

Mesmo um desempenho inferior sendo esperado, a antena possui resultados de simulação teórica próximos aos obtidos para as antenas com o plano de terra completo. Tomando a Figura 28 como base para as dimensões e adicionando as dimensões l_g e p_g mostradas na Figura 37, a Tabela 8 contém os valores para algumas simulações executadas para o substrato ROGERS 3003 com espessura de 0,8mm, que era a espessura disponível no laboratório da Grenoble INP - ESISAR.

Tabela 8: Resultados das simulações da antena com o substrato ROGERS 3003 e plano de terra reduzido

Subst	substx	p	px	Gx	Gy	l	Ly	l_g	p_g	865MHz (S_{11})	868MHz (S_{11})	Efic.	Diret.	Ganho
130	150	113	72	22	20	44	6	25	150	-26.64	-21.32	0.984	7.37	7.30
130	150	117	72	22	20	44	6	25	150	-10.12	-11.73	0.975	7.51	7.40
-	-	118	-	-	-	-	-	-	-	-10.66	-10.67	0.965	7.49	7.34
-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-10.39	-10.26	0.965	7.54	7.38
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-10.51	-10.33	0.965	7.54	7.38

Fonte: O próprio autor.

A fabricação desta nova antena foi, então, realizada e as medições para obter o S_{11} e o ganho foram feitas. A antena fabricada é exibida na Figura 38. O substrato ROGERS possui uma certa flexibilidade, o que representa um ponto positivo para a aplicação pretendida, que consiste em utilizar a antena dentro de um tapete colocado no chão, onde movimentos mecânicos serão realizados sob este tapete e ter uma antena muito rígida pode ser um empecilho, podendo até danificar a estrutura da antena ou do tapete. A antena, além de ser testada em laboratório, também foi testada no sistema da empresa e apresentou uma identificação satisfatória das etiquetas comerciais utilizadas.

Contudo, um teste mais preciso, diretamente em um evento esportivo, por exemplo, deve ser realizado para saber o desempenho real de leitura da antena e se esta é uma solução válida para ser implementada no sistema da empresa.

De forma similar ao que foi feito para o substrato FR4, duas antenas foram fabricadas em ROGERS 3003. A Figura 39 nos mostra que os resultados obtidos experimentalmente para as antenas foram ainda melhores do que o resultado simulado.

Figura 38: Antena construída em ROGERS

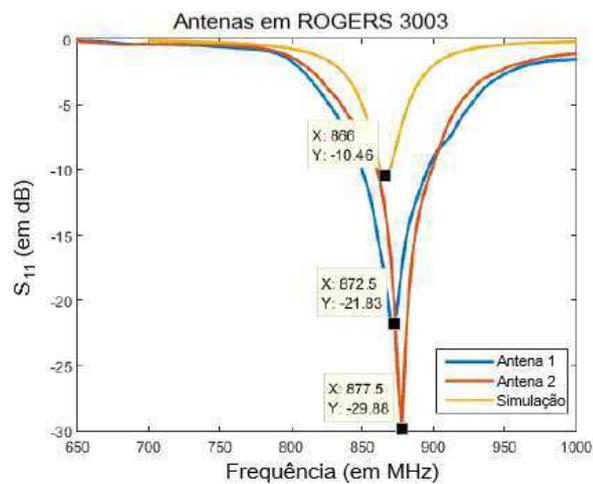


(a) Antena

(b) Plano de terra

Fonte: O próprio autor.

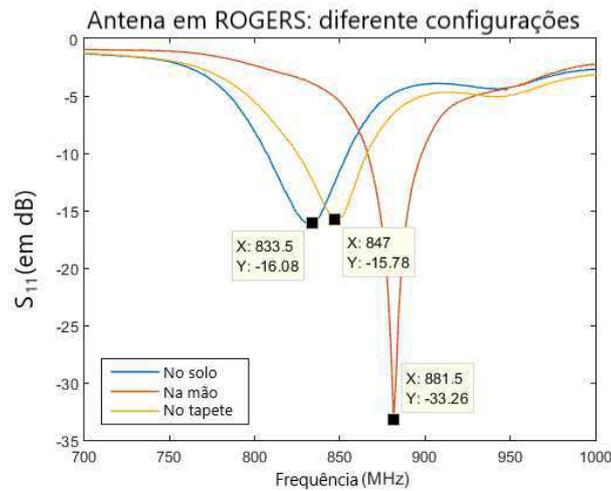
Figura 39: Comparação entre o S_{11} medido das antenas fabricadas em ROGERS e a simulação



Fonte: O próprio autor.

Para o S_{21} e o ganho, no entanto, os resultados foram invalidados porque houve contato entre o plano de terra da antena e a plataforma de medição, o que modificou completamente o resultado esperado, de modo que um novo teste deve ser realizado para obter resultados satisfatórios. A Figura 40 mostra a sensibilidade da antena em ROGERS ao ser medido seu parâmetro S_{11} com diferentes posições para a antena, o que corrobora a análise anterior para o ganho medido.

Figura 40: S_{11} medidos para a antena fabricada em ROGERS em várias posições



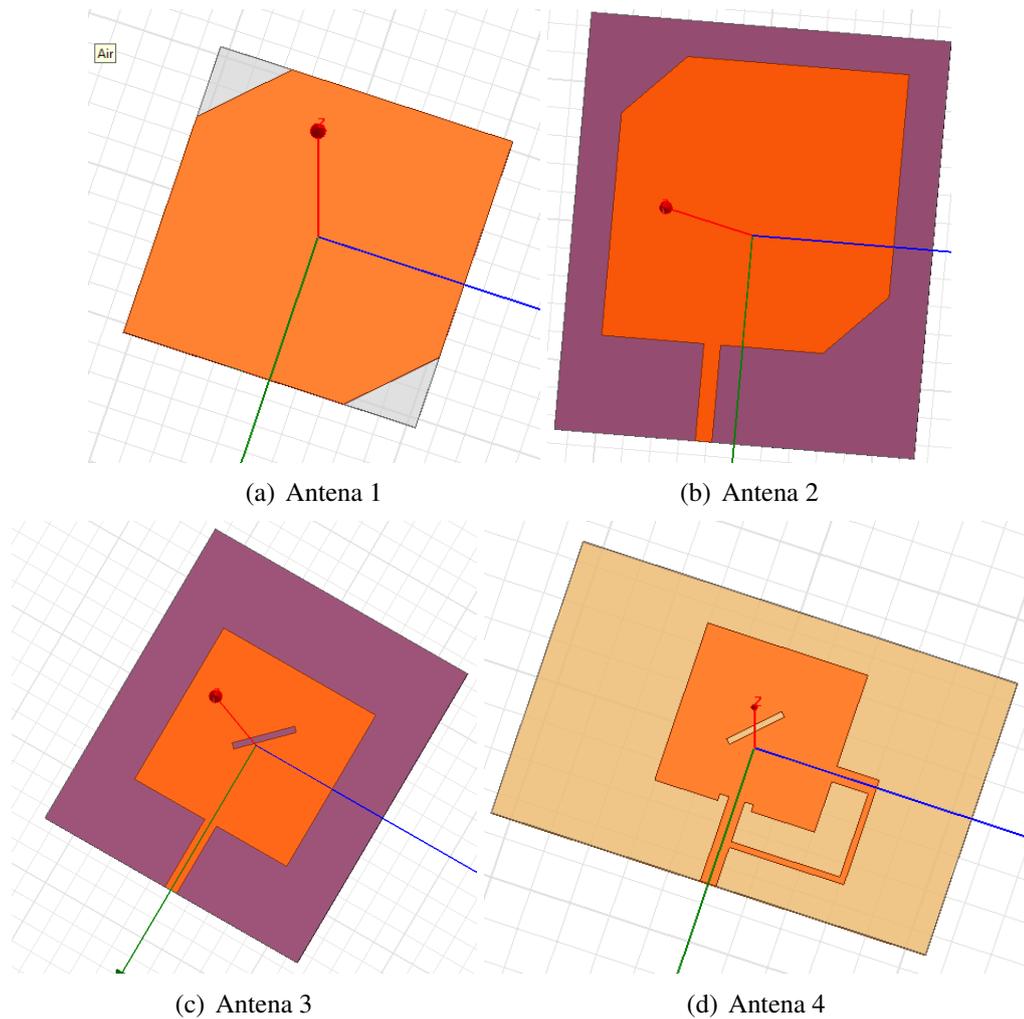
Fonte: O próprio autor.

Esta variação se deve ao fato de que, sem o plano de terra, o comportamento da antena fica sujeito ao ambiente em que ela está inserida e aos materiais em contato com sua estrutura.

4.3 Antena de polarização circular

Uma das sugestões da empresa no início do projeto foi o desenvolvimento de uma antena de polarização circular, já que, como as etiquetas usadas nos eventos possuem polarização linear, uma antena de polarização circular aumentaria a garantia de identificação das etiquetas, independentemente da posição em que o participante cruzasse a linha de chegada. O problema da polarização circular, no entanto, é a perda de polarização de metade da potência para um etiqueta linear, como visto na Figura 9. Várias geometrias, sejam aquelas propostas em livros ou sejam estruturas reunindo várias técnicas propostas para se obter uma polarização circular, foram testados em simulação, a Figura 41 contém algumas das geometrias simuladas com o software HFSS.

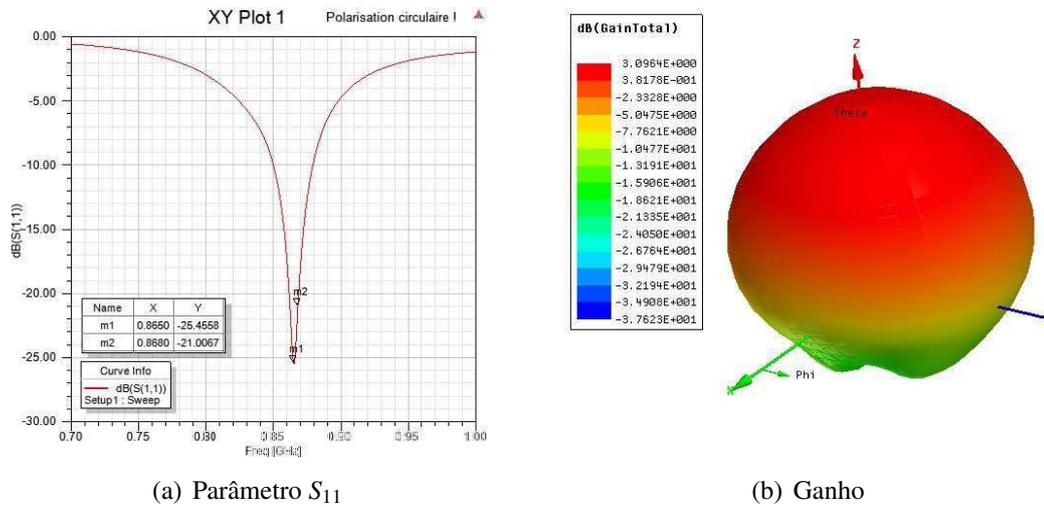
Figura 41: Geometrias propostas para antena de polarização circular



Fonte: O próprio autor.

O resultado mais satisfatório foi encontrado com a antena da Figura 41(c). O S_{11} e o ganho simulados são exibidos na Figura 42. Observando seu parâmetro de reflexão (S_{11}), pode-se concluir que a antena desenvolvida possui um bom casamento de impedância para a frequência de trabalho, com -25,46 dB a 865MHz e -21,01B a 868MHz. Para o ganho, o valor máximo obtido é de 3,09dB, o que não corresponde a um valor competitivo com os valores das antenas comerciais pesquisadas, mas que apresenta um valor inicial com potencial de melhoramento interessante.

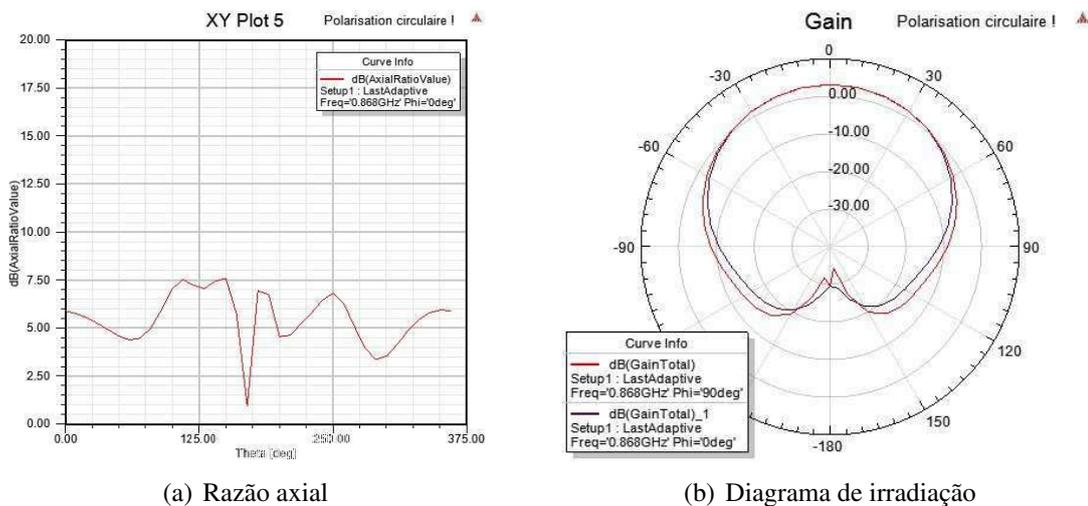
Figura 42: Resultados obtidos em simulação para a antena circular escolhida



Fonte: O próprio autor.

Como visto na introdução teórica sobre antenas, para se ter uma polarização circular, é necessário que a antena tenha uma relação axial o mais próxima de 0dB possível. Então, analisando a razão axial simulada na Figura 43(a), observamos que seu valor é sempre menor que 7dB e, para o lóbulo principal, isto é, 0° , esse valor é em torno de 6dB que, mesmo não sendo o valor ideal (0dB), para algumas aplicações, podemos considerá-lo como circular. O diagrama de irradiação da Figura 43(b) mostra como os valores de ganho estão próximos para os componentes ortogonais do campo elétrico, o que corrobora a análise anterior.

Figura 43: Axial Ratio e Diagrama de irradiação simulados para a antena circular escolhida

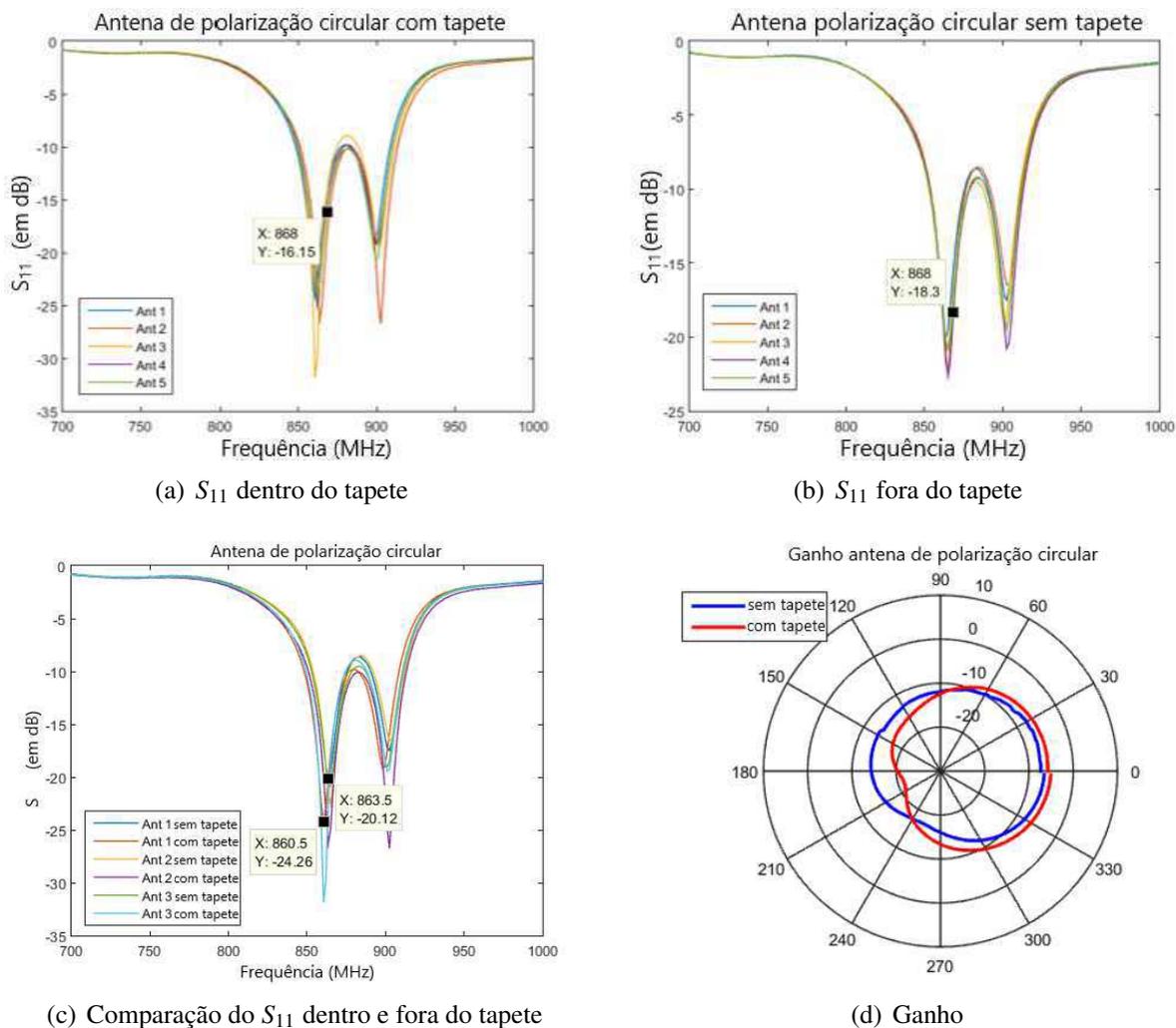


Fonte: O próprio autor.

A antena foi então fabricada no substrato FR4 com uma espessura de 3 mm e os resultados medidos podem ser vistos na Figura 44. De forma similar às análises anteriores, podemos notar que o parâmetro S_{11} não sofreu grandes variações dentro ou fora do tapete, já o ganho teve um

grande atenuada em relação a disposição da antena. Notou-se também que o ganho foi bem abaixo do obtido em simulação, o que exige estudos mais aprofundados para entender se este erro foi problema na medição, na simulação ou na fabricação em si.

Figura 44: Medições para a antena de polarização circular



Fonte: O próprio autor.

5 Custo do projeto

A partir de preços encontrados em lojas *online* tais como Farnell, RF Microwaves e nos fabricantes contactados pela empresa, foi possível realizar um levantamento dos custos total do projeto.

Para as antenas em FR4:

- Para os protótipos desenvolvidos, o preço foi de 230€, com taxas inclusas, para 5 exemplares em modo de produção rápido (46€ por antena).
- Para produção em larga escala, este custo é drasticamente reduzido. Foi estimado um valor de menos de 10€ por antena em produção de grandes quantidades e com maiores prazos.

Já para as antenas em ROGERS, os custos por folha de substrato com 0,8mm de espessura são:

- 152mm x 114mm: 14,50€
- 228mm x 152 mm: 26€
- 457mm x 305mm: 89,50€

Para os cabos utilizados para conectar as antenas ao leitor RFID:

- 1m: 16€
- 5m: 19,09€
- 10m: 32€

Finalmente, para os conectores:

- Conector soldado à antena: 3,28€
- Adaptador SMA / BNC fêmea utilizado na entrada do leitor: 4,31€

Assim, para a produção de 15 antenas FR4 (5 de cada modelo citado) e 2 antenas em ROGERS temos o custo total de 716€, isto é, aproximadamente 42€ por antena, para fabricação rápida. Além disso, foram considerados os cabos de 5m para o cálculo do valor final devido à aplicação visada para as antenas projetada, que nem sempre ficam perto do leitor. Portanto, juntando o valor das antenas, dos cabos e dos conectores temos um custo total de 1169,56€ para este projeto, preço este dentro das estimativas iniciais. É importante ressaltar, no entanto, que nem os conectores nem os cabos foram comprados pela empresa, visto que foram utilizados peças existentes no laboratório da Grenoble INP - ESISAR.

6 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Durante o estágio de 6 meses, muito trabalho foi realizado. A identificação do sistema utilizado e o estudo teórico da antena comporam a parte inicial do projeto. Em seguida, novas tecnologias de antenas propostas pela empresa Chronosphères System foram testadas para verificar a viabilidade da implementação dessas antenas na prática. Conclui-se que tanto a antena unifilar quanto a antena lateral não apresentaram desempenho satisfatório para substituir as antenas existentes, pelo menos não imediatamente.

Depois de fazer o estudo de mercado e observar que as antenas possuem um preço consideravelmente alto, foi decidido conceber e fabricar as antenas a serem usadas no sistema. Várias simulações foram realizadas usando o software HFSS da ANSYS® como ferramenta de design e otimização. Assim, quatro modelos principais foram produzidos: uma antena tradicional em FR4 linearmente polarizada, outra antena em FR4, mas com tamanho reduzido em relação à primeira, uma antena com um plano de terra reduzido, também linearmente polarizada, em ROGERS 3003; e uma antena de polarização circular em FR4. O FR4 foi escolhido como o principal substrato devido ao seu baixo custo, contudo, os designs em ROGERS foram desenvolvidos e produzidos para avaliar se seu desempenho compensaria seu custo mais elevado, que é cerca de dez vezes maior do que o FR4. Neste momento, não há decisões conclusivas sobre se o ROGERS substituirá ou não o FR4 como um substrato para a antena, pois ainda há a necessidade de serem realizados testes de desempenho no ambiente real de aplicação do sistema.

Além disso, no início do projeto, um circuito de multiplexação de antenas foi visado para ser também desenvolvido, no entanto, o projeto permaneceu focado em estudos e desenvolvimento de antenas, de forma que a multiplexação foi estudada apenas na realização da pesquisa de mercado, com os diferentes leitores e a quantidade de antenas suportadas em cada um.

Em relação aos tapetes, a empresa está em busca de fabricantes que ofereçam soluções mais leves para o seu design, mas, para isto, é necessário escolher antes a estrutura da antena para que o tapete seja adaptável a ela.

O objetivo inicial de ter um sistema mais barato e mais leve não está concluído, no entanto, os principais pontos para alcançá-lo estão encaminhados para a empresa. Assim, como sugestão de alguns trabalhos futuros fica o estudo de novas geometrias de antenas, além de realizar testes com as fabricadas em campo, isto é, conectá-las ao leitor atual e verificar se elas conseguem identificar as etiquetas na corrida com a mesma precisão que a antena original do sistema Race Result. Outra sugestão é adquirir as antenas e leitor de marcas chinesas, que são baratos, e avaliar seu funcionamento para considerá-los ou não uma opção válida de substituição.

7 Referências

- [1] "The Basics of an RFID System", Atlas RFID Solutions, 2017. [Online]. Disponível em: <http://rfid.atlasrfidstore.com/hs-fs/hub/300870/file-252314647-pdf/Content/basics-of-an-rfid-system-atlasrfidstore.pdf>. [Acessado em: 01-Mar-2017].
- [2] S. Preradovic, S. M. Roy, N. C. Karmakar, "RFID System Based on Fully Printable Chipless Tag for Paper-/Plastic-Item Tagging," in IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol.53, no.5, pp.15-32, Oct. 2011.
- [3] Z. Zhi-yuan, R. He and T. Jie, "A method for optimizing the position of passive UHF RFID tags," in 2010 IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications, Guangzhou, 2010, pp. 92-95.
- [4] Z. Yanjun, "Survivable RFID Systems: Issues, Challenges, and Techniques," in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, vol.40, no.4, pp.406-418, July 2010.
- [5] R. Weinstein, "RFID: a technical overview and its application to the enterprise," in IT Professional, vol. 7, no. 3, pp. 27-33, May-June 2005.
- [6] P. Janpangern and C. Phongcharoenpanich, "Circularly polarized single-fed wide-slot antenna for UHF RFID reader," in 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Phuket, 2017, pp. 1-2.
- [7] "IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas," in IEEE Std 145-2013 (Revision of IEEE Std 145-1993), vol., no., pp.1-50, 6 March 2014.
- [8] Balanis, C.A. (2005) Antenna Theory: Analysis and Design. John Wiley Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [9] A. Mathur, R. Trivedi, Antenna and Wave Propagation, Scientific Publishers, 2011.
- [10] K. A. Bakshi A. V. Bakshi U. A. Bakshi, Antennas And Wave Propagation, Technical Publications, 2009.
- [11] Boyer, A. "ANTENNES: SUPPORT DE COURS ENONCE DE TRAVAUX DIRIGES," Institut National des Science Appliquees de Toulouse, Oct 2011. [Online]. Disponível em: http://www.alexandre-boyer.fr/alex/enseignement/cours_antennes_oct11_v4_5RT.pdf. [Acessado em: 01-Mar-2017]
- [12] A. C. César. Matriz Espalhamento (S). Agosto 2014. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/> [Acessado em: 03-Mar-2017]
- [13] Société Chronosphère - Carbon Bee, "Architecture d'une solution de chronométrage par RFID," 2016, Châteauneuf-sur-Isère.

Anexos

1. Sistema Race Result



RACE RESULT SYSTEM

5000 series.

- Decoder
- Passive Antenna
- Passive Transponder
- Active Extension
- Active Transponder
- LoopBox
- USB Timing Box
- Management Box

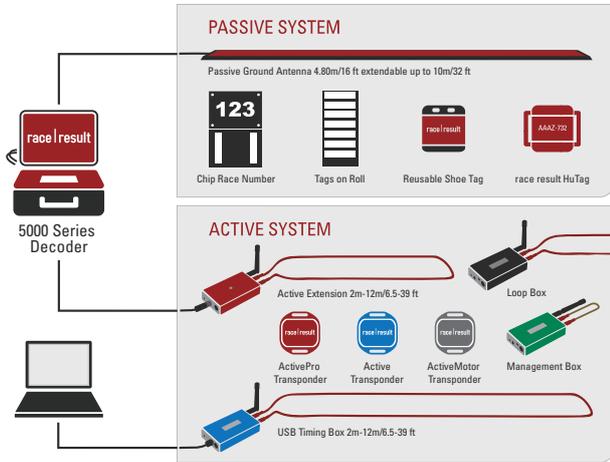


race | result
Precision. Passion. German Engineering.

www.raceresult.com

RACE RESULT SYSTEM 5000 SERIES.

The race result System is a race timing system for any type of active sport. It supports both active transponders (with battery) for complex or high speed races with high demands on precision (e.g. cycling, inline, ski or motorsports), and passive transponders (without battery) for mass events like marathons, road races, or mountain bike races.



race result System 5000 series | www.raceresult.com

2

DECODER.

The race result Decoder receives the signals from the transponders, calculates the exact finish time and provides the data to the scoring software like race result 11 in real time. The system runs independently from your computer and from your power supply.

Timing System for

- running
- triathlon
- MTB
- cycling
- inline
- skiing
- ...
- 8 h (passive)/24 h (active) internal battery
- precise, synchronized GPS time
- integrated 3G module
- easy setup and handling
- online firmware update

Endless application options in combination with race result 11 software

- net time timing
- lap counting and lap timing
- team scores and age group results
- multiple distances on the same lap track at the same time
- multiple timing points and decoders per timing point
- real time presentation of results
- simultaneous work via Internet or local network
- ...



Safety & Conditions Decoder

Protection Class with closed Cover	IP54
Safety Norm	EN60950
Regulatory Conformity	CE, RoHS, FCC
Relative Humidity	Max. 90% non-condensing
Temperature Range	+20°C to +50°C

Weight Pack Size

Decoder	12.5 kg	36 x 26 x 45 cm
---------	---------	-----------------

Ports & Features

Antenna Ports	8 x BNC
---------------	---------

Power & Battery Decoder

AC Power Supply	110V/230V 50-60Hz (2A fuse)
DC Power Supply	12V/14V 2A (when Battery full)
Battery Flight Supply	115mAh (Pb) / 8 hours (LiTA - A46A67)
Charging Time	4h (switched off) 8h (running)
Power Consumption	30W (battery full) 65W (charging)
Battery Life (passive)	8 h
Battery Life (active)	24 h

Ports & Features

Internal GPS	eSilicon 50 Channel Receiver, 30 seconds cold start
Internal 3G	7 Band 3G + Quadband GPS Standard SIM-Card
2 x LAN	Dual 10/100/1000Mbps Lan Port, Auto Crossover Detection, Switched internally for loop through to next device.
USB	USB Data-Disk for backup
Antenna Ports	8 x BNC
Feature Port	Supplies SV & TVL Start Gun, Photo Sensor
Audio Beep	3.5 mm Headphone Plug (mono)

race result System 5000 series | www.raceresult.com

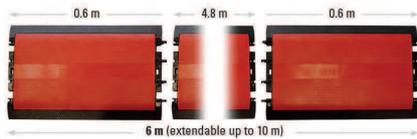
3

PASSIVE ANTENNA.

The passive UHF antenna can be used with all passive race result transponders. Length is 4,8 m/16 ft (antenna every 60 cm/2 ft).

Passive Antenna Features

- **Easy setup in just a few seconds.**
Simply unfold the antenna and connect it to the decoder.
- **Easy to ship**
The 4.8 meter antenna weighs 25.9 kg/57 lbs and can be shipped via regular mail.
- **Flat design**
The reduced height of only 2 cm ensures excellent safety for all kinds of events.
- **Incredibly durable**
The antenna can be passed over by cars or even trucks.
- **German Engineering inside**
Application optimized antennas guarantee the best detection rates.
- **Extension Kit**
Extends the Antenna with two additional (empty) elements to 6 m/20 ft length.



Antenna & Transponder (passive)	Weight	Size
Transponder Frequency	4.8 m Antenna 25.3 kg	60 x 37 x 19 cm
TX Power	25.5 kg (incl. packaging)	80 x 40 x 20 cm (pack size)
Track Length	Extension Kit 6.2 kg	60 x 37 x 5 cm
Read Range ¹⁾	Antenna Height 2 cm	Antenna Width 29 cm
Detection Rate		
Read Rate		
Maximum Transponder Speed ²⁾		
Timing Accuracy ³⁾		

¹⁾ Transponders are detected multiple times while crossing the antenna. The detection with the highest signal strength - right above the antenna - is used for timing.
²⁾ With transponders attached correctly.
³⁾ Higher speeds are possible, detection rate may be lower.
⁴⁾ Use GPS time to get most accurate results.

race result System 5000 series | www.raceresult.com

4

PASSIVE TRANSPONDERS.

SINGLE USE



Chip Race Number



Chip MTB Plate



Race Bib with Shoe Transponder (Single/Duo)



race result Bib Tag with Foam Spacer



Simple Tags on Roll



Chip Bike Tag

MULTI USE



race result HuTag



reusable Shoe Tag



race result Baton

race result System 5000 series | www.raceresult.com

5

ACTIVE EXTENSION V2.

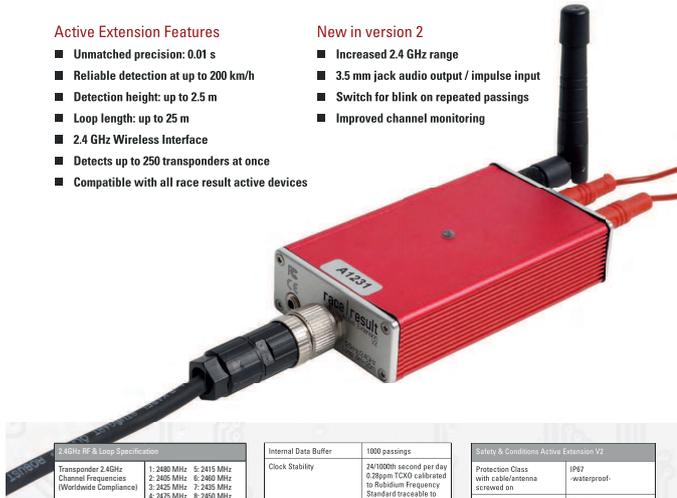
Using the Active Extension V2, your race result System also supports the race result active transponders. Active transponders ensure highest precision, accuracy and reliability for cycling, triathlons, inline, skiing or motor sports.

Active Extension Features

- Unmatched precision: 0.01 s
- Reliable detection at up to 280 km/h
- Detection height: up to 2.5 m
- Loop length: up to 25 m
- 2.4 GHz Wireless Interface
- Detects up to 250 transponders at once
- Compatible with all race result active devices

New in version 2

- Increased 2.4 GHz range
- 3.5 mm jack audio output / impulse input
- Switch for blink on repeated passings
- Improved channel monitoring



2.4 GHz RF & Loop Specifications	
Transponder 2.4GHz Channel Frequencies (Worldwide Compliance)	1: 2480 MHz ± 2415 MHz 2: 2485 MHz ± 2480 MHz 3: 2425 MHz ± 2425 MHz 4: 2475 MHz ± 2450 MHz
2.4GHz TX Power	17.5 dBm
Loop Frequency & Data	125kHz Data Packet = Loop ID + channel Packet rate: 150Hz OOK-modulation, Manchester encoded, 18bit anti-false-wakeup pattern
Loop Power	100% = 250mA RMS regulated peak current
Loop Cable & Length	5 m-25 m, ±0.5mm ² standard 4 mm banana plugs
Data Cable	5 m (standard), 15 m, 20 m
Read Range	60 cm (2 ft)
25% Loop Power	2.5 m (8 ft)
100% Loop Power	
Detection Rate	100%
Read Rate	> 250 chips/second burst for 4 seconds > 50 chips/second continuously

Internal Data Buffer	1000 passings
Clock Stability	24/1000th second per day 0.28ppm TCXO calibrated to 1000Hz Frequency Standard traceable to NIST
Forewarn Data Delay	100 ms (from entering the loop field)
Max Passing Data Delay	250ms (after loop center)
Repetitive Passing rate over loop	1 per second

Safety & Conditions Active Extension V2	
Protection Class with cable/antenna screwed on	IP67 waterproof
Safety Norm	EN60950
Regulatory Conformity	CE, RoHS, FCC
Temperature	-30°C to 70°C
Dimensions/Weight	27 x 66 x 117 mm/190g

* race result System Firmware Version 1.8.0 or higher recommended

race result System 5000 series | www.raceresult.com

6

ACTIVE TRANSPONDERS.

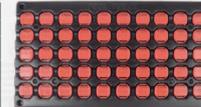
Active Transponder Features

- **Three Options**
The ActivePro and the ActiveMotor are high-end transponders with 3D activation antenna and very high precision. The Active is the cost-efficient alternative with 1D activation and less precision.
- **Flexibility**
All transponders can be used in the same race (for example ActivePro for elite riders, Active for amateurs).
- **3D Activation Antenna**
The 3D activation antenna of the ActivePro ensures reliable detection in any orientation.
- **Precision**
Because of the 3D antenna, the ActivePro offers a true 1/100th second precision.
- **Battery Lifetime**
Expected battery lifetime is 6-7 years. Additionally, the transponder can be set to Deep Sleep Mode which reduces the energy consumption by 40%.

- Triathlon
- Motor Sports
- Inline
- Ski
- Cycling
- Cross-Country

Active Transponders	Active	ActivePro	ActiveMotor
Loop Detection Antenna	1D activation antenna	3D activation antenna	3D activation antenna - detects equally in any orientation
Detection Speed	75 km/h (45mph)	150 km/h (90mph)	200 km/h
Timing Accuracy	2/100th second	1/100th second *	4/100th second *
Passings Storage	-	-	64 passings up to 24 hours (= 720000 per hour (= 20ppm))
Expected Battery Live	7 years	6 years	4 years
Guaranteed Battery Life	-	4 years & 100,000 passings	3 years & 100,000 passings
Battery indicator	-	temperature compensated battery status (data in passing)	
Dimensions	36 x 40 x 9 mm		
Weight	18.8 g		
Housing	IP68 TPE molded case sealed with PU compound 100% salt water proof		
Temperature	-40°C to +70°C		
Shock Resistance	>1000G		

Active Transponder Tray	
Dimensions	522 x 297 x 12 mm
Weight	approx. 1 kg (including 50 transponders)
Material	4 mm rugged PE (UV stabilized)
Features	Stackable, with numbering 1/50/51-100



* At 25% loop power & 30cm wide loop

race result System 5000 series | www.raceresult.com

7

ACTIVE SYSTEM. LOOPBOX V2.

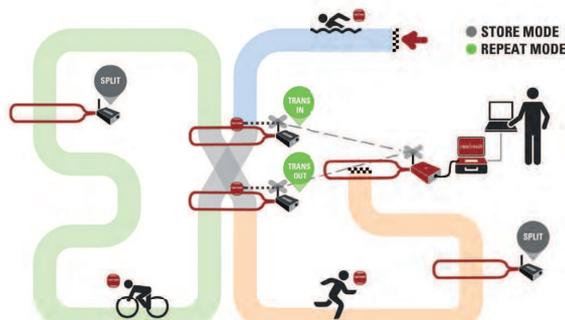
The stand-alone LoopBox V2 is a revolutionary new way to collect split times. LoopBoxes at close-by split timing points will repeat detections wirelessly to the main system. In case of remote timing points, the ActivePro transponder saves the times and then transmits them when arriving at the finish.

LoopBox V2 Features

- **Easy setup**
No wiring needed between main system and split timing points.
- **Small investment**
For an additional timing point you only need a LoopBox instead of a complete timing system.
- **Stand-alone**
With its internal battery the LoopBox can run for 12 - 20 hours.

New in version 2

- Increased repeat mode range of up to 900 m
- 3.5 mm input/output-plug
Audio output or start impulse input



Safety & Conditions Loop Box V2	
Protection Class with cable/antenna screwed on	IP67 waterproof
Safety Norm	EN60950
Regulatory Conformity	CE, RoHS, FCC
Temperature	-30°C to 70°C
Dimensions/Weight	27 x 66 x 117 mm/272 g

LoopBox V2	
Maximum Repeat Range	Up to 900 m with direct line of sight
Passings Transmission	Up to 40/second continuously
Passing Transmission Delay	200 ms - compensated
Internal Data Buffer	1000 passings

Power & Battery	
AC Power Supply	110 V-230 V
LoopBox V2	50-60 Hz (DA fuse)
LoopBox V2	10 V-15 V, 100 mA (at 100% loop power)
Battery	12 - 20h depending on loop power

ACTIVE SYSTEM. USB TIMING BOX.

The USB Timing Box enables you to setup your timing line in a split second: Directly connected to a computer, the USB Timing Box does not require a decoder.

The USB Timing Box is used best to time sporting events, to scan tags at race pack pick-up, or for just about any other application: the open-source software of the USB Box allows you to develop any solution that may have nothing to do with sports timing.

USB Timing Box Features:

- 100 % detection rate
- Open Software Development Kit
- Internal memory stores 1000 detections
no lost times - even if your computer crashes
- Internal backup battery for 12 h
- Highest clock stability on the market: 0.28 ppm
- Compatible with all race result active devices
- Repeatable accuracy of 1/100th
- Works with low end computers only requirement USB 1.1
- Loop power can be set by user



2.4 GHz RF & Loop Specification	
Transponder 2.4GHz Channel Frequencies (Worldwide Compliance)	1: 2480 MHz ± 2415 MHz 2: 2485 MHz ± 2480 MHz 3: 2425 MHz ± 2425 MHz 4: 2475 MHz ± 2450 MHz
2.4GHz TX Power	17.5 dBm
Loop Frequency & Data	125 kHz Data Packet = Loop ID + channel Packet rate: 150Hz OOK-modulation, Manchester encoded, 18bit anti-false-wakeup pattern
Loop Power	100% = 250 mA RMS regulated peak current
Loop Length	5 m-25 m, ±0.5 mm ² standard 4 mm banana plugs
Internal Data Buffer	1000 transponders
Read Range	60 cm (2 ft)
25% Loop Power	2 m (8 ft)
100% Loop Power	
Detection Rate	100%
Read Rate	> 250 chips/second burst for 4 seconds
Battery	12 hours
USB 1.1	500 mA

Safety & Conditions USB Timing Box	
Protection Class with cable/antenna screwed on	IP67 waterproof
Safety Norm	EN60950
Regulatory Conformity	CE, RoHS, FCC
Temperature	-30°C to 70°C
Dimensions/Weight	27 x 66 x 117 mm/266 g

race result System 5000 series | www.raceresult.com

8

race result System 5000 series | www.raceresult.com

9

ACTIVE SYSTEM. MANAGEMENT BOX.

Timing high-speed sporting events requires a large number of high-end transponders. The intelligent management of this stock is critical for any timing business.

The Management Box allows professional timers to keep track of their active transponders, generate chip files in a few seconds, and set the active transponders to Deep Sleep Mode between events to extend their battery life. In Deep Sleep Mode, the energy consumption of the active transponders is 40% lower. Systematically setting your transponders to Deep Sleep Mode may increase their lifespan by up to 30%.

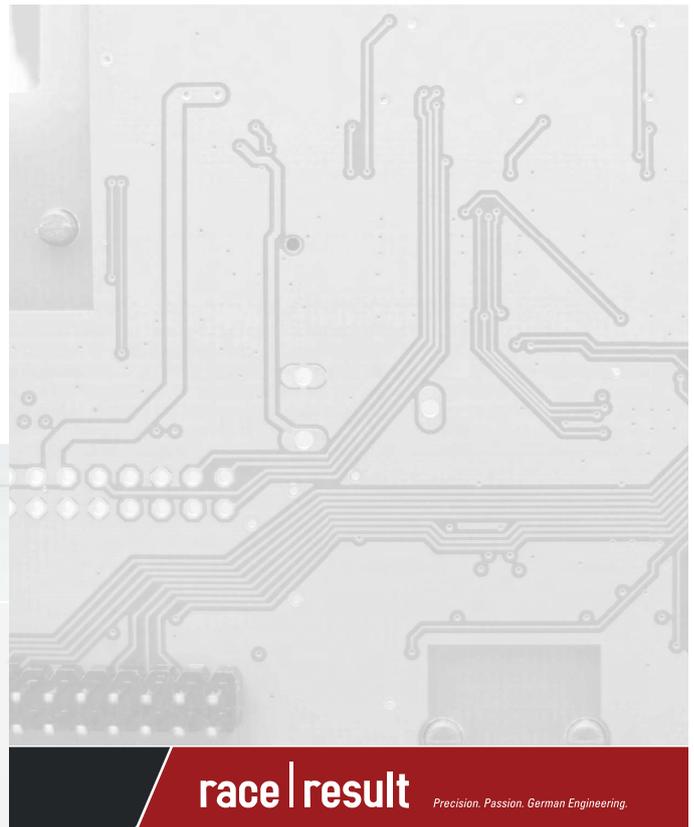
Management Box Features

- Set transponders to Deep Sleep and save 40% energy! (ActivePro and ActiveMotor)
- Generate chip files
- Keep track of transponder battery life
- Scan trays to check
- USB connection



Safety & Conditions Management Box	
Protection Class with cable/antenna screwed on	IP67 -waterproof-
Safety Norm	EN60950
Regulatory Conformity	CE, RoHS, FCC
Temperature	-30°C to 70°C
Dimensions/Weight	27 x 66 x 117 mm/274 g

2.4GHz RF & Loop Specification	
Transponder 2.4GHz Channel Frequencies (Worldwide Compliance)	1: 2480 MHz; 5: 2415 MHz 2: 2405 MHz; 6: 2460 MHz 3: 2425 MHz; 7: 2455 MHz 4: 2475 MHz; 8: 2450 MHz
2.4GHz TX Power	12.5 dBm
Loop Frequency & Data	125 kHz Data Packet - Loop ID + channel Loop Packet rate: 150 Hz OOK modulation, manchester encoded, 16bit anti-false-wakeup pattern
Loop Power	150µ - 200µA RMS regulated peak current
Loop Length	5 m - 25 m, $\pm 0.5\text{ mm}$ standard 4 mm banana plugs
Internal Data Buffer	1000 transponders
Read Range	60 cm (2 ft)
25% Loop Power	2 m (6 ft)
100% Loop Power	
Detection Rate	100%
Read Rate	> 250 chips/second burst for 4 seconds > 50 chips/second continuously



race | result

Precision. Passion. German Engineering.

www.raceresult.com

2. Antena Filar

Ha-VIS LOCFIELD® Flexible, small UHF RFID Antenna



People | Power | Partnership

No space for installation, metal environments – typical challenges for UHF RFID antennas. The Ha-VIS LOCFIELD® is a traveling wave antenna based on a standard coax cable. The antenna can easily be installed in myriads of shapes in almost any application or environment. Different lengths are available. The read range can be varied from a few centimeters to several meters by choosing the right antenna and adjusting the RF power.

Traveling wave UHF RFID Antenna



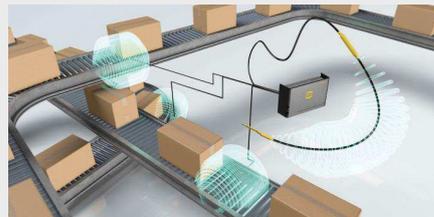
Ha-VIS LOCFIELD® UHF RFID antenna – a flexible coax cable

Wouldn't it be great if you could design your RFID reading zone in almost any arbitrary shape you like and need in your current project? The Ha-VIS LOCFIELD® antenna brings you very close to this vision.

LOCFIELD® stands for LOCalized FIELD: the antenna generates a localized electromagnetic field exactly along the contour of the antenna cable. You may think of the field as a tube or cylinder with the antenna cable at the centre of the tube. The diameter of the tube can be determined by changing the RF power of the RFID reader. Depending on reader, transponder, the exact coax cable type and environment, the read range can be adjusted from a few centimetres to about a few meters. The length of the antenna can be varied from 30 cm to about 6 m.

Technical details

The Ha-VIS LOCFIELD® antenna generates a traveling wave with a homogenous electromagnetic field along the antenna cable at the UHF frequency band of 865 – 928 MHz (EU or FCC versions available). Only a negligible fraction of the field energy is radiated. So reflections and interference are avoided especially in metallic environments. The antenna can be connected to any kind of UHF RFID reader. The antenna gain is about -7 dBi depending on exact antenna length. Even with 4 W RF power injected into the antenna, the limits of 2 W ERP (EU) or 4 W EIRP (FCC) are not violated.



Ha-VIS LOCFIELD® antenna along conveyor belts

HARTING IT Software Development GmbH & Co KG
Marienwerder Str. 2, 32339 Espelkamp, Germany
www.harting-rfid.com; Auto-ID@HARTING.com

Ha-VIS LOCFIELD®

Flexible, small UHF RFID Antenna



People | Power | Partnership

Examples of Applications

- In machines for tool identification
- Along conveyor belts
- Doors / gates
- Smart work bench
- Smart shelf
- Underneath trains or vehicles
- On fork lifts
- Real time inventory
- Asset tracking in 19 inch server racks



Design rules and restrictions

The LOCFIELD® antenna generates an electromagnetic field. The RF field travels along the full length of the coax cable. The traveling wave is generated at the PCB and travels towards the ferrite cores, where the energy is absorbed.

Length

Different standard lengths are available and the portfolio is growing constantly (please refer to our datasheet or sales contact). The length varies from about 30 cm to 6 m. As "active length" we refer to the section between PCB and ferrite cores. At the PCB itself, you can read transponders as well even with a slightly higher read range (few per cent compared to the rest of the antenna).

For very long LOCFIELD® antennas, for example 6 m, the RF field becomes more of a "funnel" than a cylinder, i.e. the read range at the PCB end of the antenna is higher than just before the ferrite cores. This effect can easily be compensated by introducing U-turns along the antenna path.

For orders of 250+ pieces, custom tailored versions can be configured (for extra costs) by multiples of half of the wave length.

Environment

The LOCFIELD® antenna can be perfectly integrated in metal environments as server racks, electrical cabinets or other metal enclosures. However, the active section including the antenna must NOT touch metal or ground. If the RFID performance is not satisfactory, please check first, if the active section or PCB touches metal or ground. The antenna should have a distance of at least 1 cm from the metallic surface. Best performance is obtained with a distance of 5 cm or more. Starting with 1 cm from the surface, the read range will increase with every cm moving away from the metal surface.

In contrast to standard patch antennas, metal surfaces do not reflect the wave generated by the LOCFIELD® antenna. This is due to the different antenna characteristics and physics. Metal surfaces tend to absorb magnetic field lines and may therefore reduce the read range. In addition they can be used to "shape" the read zone by shielding certain areas.

HARTING IT Software Development GmbH & Co KG

Marienwerder Str. 2, 32339 Espelkamp, Germany

www.harting-rfid.com; Auto-ID@HARTING.com

Ha-VIS LOCFIELD®

Flexible, small UHF RFID Antenna



People | Power | Partnership

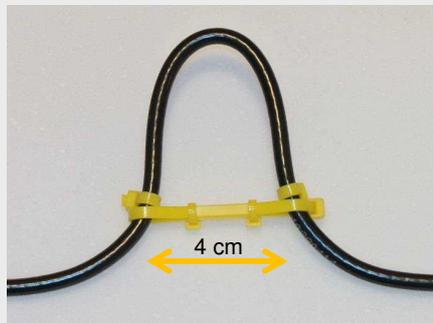
The antenna should not be placed on the ground directly. In this case, the wave cannot travel along the antenna and the read range is very low. Especially the PCB must NOT touch ground.

When installing the antenna, take care for parallel running cables regardless if network, power, data or signal. Any parallel wires may absorb energy emitted by the LOCFIELD® antenna and reduce read range.

Shape of antenna / boosting read range

The LOCFIELD® antenna can be placed in any shape or configuration. However, the active section should not cross itself.

If a first installation does not deliver the anticipated read range, the emitted RF field can be boosted. A very easy and powerful solution is a so called U-turn.



Such a U-turn (about 4 cm wide, 5 cm high) boosts the read range significantly by about 30 %. There are different strategies: either the U-Turn can be placed at a certain point, where more energy should be emitted. Or you can place several U-turns along the antenna. In this case, we recommend making the first U-turn direct near the ferrite cores on the active section of the antenna. The next U-Turn should be about 1 m (four times half the wave length) from the first U-turn and so on.

A different strategy is to install the LOCFIELD® antenna in the shape of sine wave. This creates a very homogeneous field and increases the read range as well.

Polarisation effects / orientation dependent reading

In some applications and depending on the used transponder, the read range may vary with the orientation of the transponder. A simple way to reduce this dependence on orientation is to install the LOCFIELD® antenna as a meander, double U-turn or sine wave.

HARTING IT Software Development GmbH & Co KG
Marienwerder Str. 2, 32339 Espelkamp, Germany
www.harting-rfid.com; Auto-ID@HARTING.com