

# ESTIMAÇÃO DA POSIÇÃO DE USUÁRIO COM SISTEMA DE ANTENAS INTELIGENTES UTILIZANDO RÁDIO DEFINIDO POR *SOFTWARE*

## 1. Resumo

Antenas inteligentes possuem esse nome devido à possibilidade de terem suas características elétricas alteradas de acordo com o ambiente eletromagnético às quais estão inseridas. Esta inteligência é oriunda do fato de o sinal recebido pelo arranjo de antenas ser digitalizado e posteriormente utilizado por um processador digital de sinais, o qual permite a variação das características do arranjo de modo a atender ao objetivo de cada aplicação. Neste trabalho, o arranjo é composto de duas antenas log-periódicas dispostas linearmente, o processamento digital de sinais é realizado por um Rádio Definido por *Software* (RDS) e o algoritmo utilizado para estimação dos pesos necessários a cada elemento do arranjo é o *Least Mean Square* (LMS). Com isso, estimou-se a posição de um usuário móvel, ou seja, se ele estava à direita ou à esquerda do arranjo de antenas.

Palavras-chave: Antenas Inteligentes, LMS, Rádio Definido por *Software*

## Abstract

Smart antennas have this name because of the possibility of having their electrical characteristics changed according to the electromagnetic environment in which they are in. This intelligence comes from the fact that the signal received by the antenna array is scanned and subsequently used by a digital signal processor, which allows the variation of the arrangement to meet the specific purpose of each application. In this work, the array consists of two log-periodic antennas linearly arranged, the digital signal processor is performed by a Software Defined Radio (SDR) and the algorithm used to estimate weights required for each element of the array is the Least Mean Square (LMS). So, the position of a mobile user was estimated, that is, if it was on the right or on the left of array.

Keywords: Smart Antennas, LMS, Software Defined Radio

## 2. Introdução

A ideia do presente trabalho será explicada com o auxílio de uma analogia com o sistema do corpo humano. Para tal, com o intuito de se entender como um sistema de antenas inteligentes funciona, imaginem-se duas pessoas conversando dentro de uma sala escura, como pode ser visto na Figura 1 (a). O ouvinte entre as duas

As pessoas são capazes de discernir a localização do orador em movimento dentro da sala, pois a voz chega a cada sensor acústico, o ouvido, em tempos diferentes. O processador de sinais humano, o cérebro, estima a direção do orador a partir das diferenças temporais ou atrasos da voz recebida pelos dois ouvidos. Feito isso, o cérebro adiciona a força dos sinais obtidos em cada ouvido de modo que se foque no som oriundo da direção estimada. Além disso, se oradores adicionais se juntarem à conversa, o cérebro pode ignorar estes interferentes indesejados e concentrar-se em apenas uma conversa por vez. Ademais, o ouvinte pode responder à pessoa que fala na mesma direção estimada anteriormente, orientando o transmissor (a boca) na direção deste.

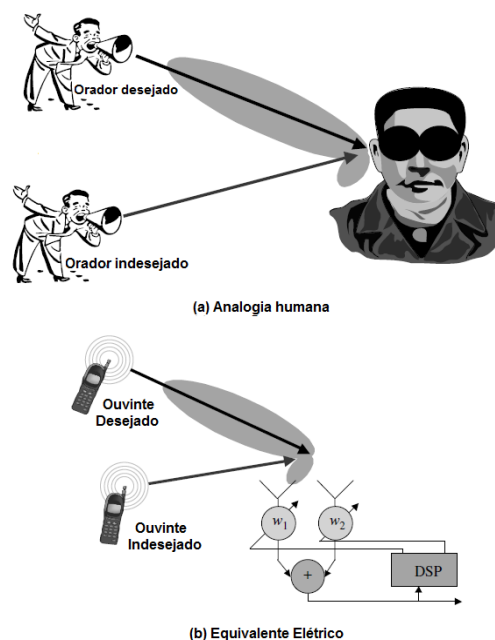


Figura 1. Analogia Antenas Inteligentes. (a) Analogia humana; (b) Equivalente Elétrico (BALANIS, 2005).

Sistemas elétricos com antenas inteligentes funcionam exatamente da mesma forma, porém no lugar de ouvidos, usam-se antenas e no lugar do cérebro, um processador digital de sinais, como pode ser visto na Figura 1 (b). Além disso, depois que o processador de sinais mede os atrasos dos sinais oriundos de cada uma das antenas, aquele estima a direção de chegada (na sigla em inglês, *Direction of Arrival* – DOA) do sinal de interesse, do inglês *signal-of-interest* (SOI), e ajusta as excitações (ganhos e fases dos sinais enviados às antenas) de modo a produzir um diagrama de radiação que foque apenas, idealmente, no SOI, enquanto se elimina os sinais interferentes (BALLANIS, 2005).

Com relação ao presente trabalho e ainda lançando mão da analogia expressa acima, o ouvido ou o arranjo de antenas é composto por duas antenas log-periódicas, as quais são mostradas na Figura 2 (a), e pela *Universal Software Radio Peripheral* (USRP); o cérebro ou processador de sinais é composto pelo algoritmo LMS executando em um computador, a qual representa a plataforma necessária ao rádio definido por *software*; por fim, o orador em movimento é representado por um sinal senoidal emitido em uma frequência específica, no caso 900 MHz, por outra antena log-periódica, a qual é apresentada na Figura 2 (b).

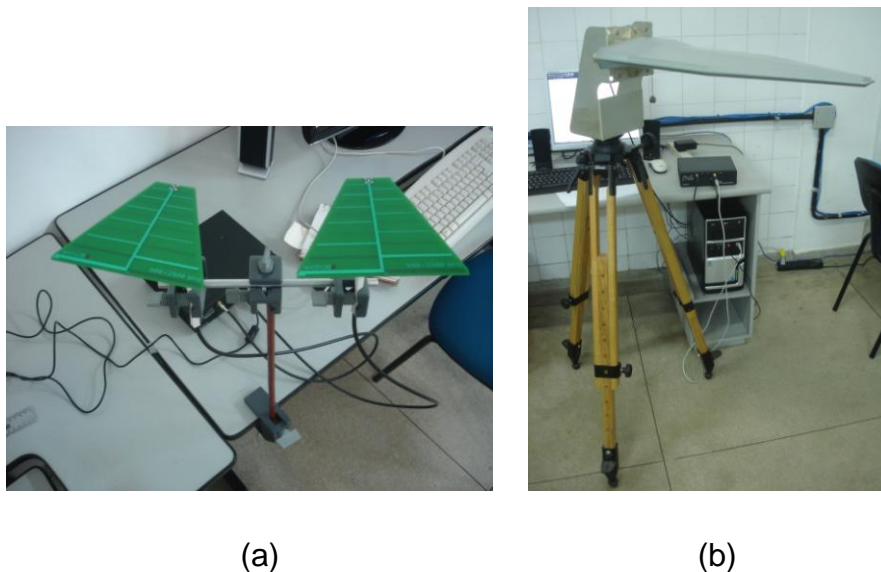


Figura 2. Antenas log-periódicas utilizadas. (a) Arranjo de Recepção; (b) Transmissão.

### 3. Objetivos

Determinar a posição de um usuário móvel relativamente ao arranjo de antenas utilizado, ou seja, deseja-se saber se o mesmo está à direita ou à esquerda do arranjo. Desse modo, tem-se por objetivo personalizar o diagrama de radiação do arranjo de antenas de acordo com a posição de um usuário móvel. O sistema deve ter baixa probabilidade de erro, possibilitando a localização deste.

### 4. Metodologia

O sistema de estimação da posição de um usuário móvel funciona basicamente a partir da definição do ângulo de chegada do sinal emitido por este.

A incidência do sinal em cada elemento do arranjo acontece com um atraso fixo entre elementos vizinhos. Estes atrasos podem ser convertidos em diferença de fase do sinal. A chave para se determinar o ângulo de chegada de sinais é a análise de suas fases, uma quantidade que cresce linearmente de zero até  $2\pi$  a cada comprimento de onda  $\lambda$  ao longo do caminho da fonte emissora até o receptor, como mostra a Figura 3 (a). Isso significa que os elementos do arranjo recebem sinais com um acréscimo de fase determinado pelo comprimento do caminho  $d$  até a fonte emissora (JAMIESON & XIONG, 2010).

Em sistemas que realizam a amostragem complexa do sinal analógico - i.e., em fase e em quadratura (I – Q) e o representam em forma de gráfico, como mostrado na Figura 3 (b), onde o ângulo medido no eixo I indica a fase - como o faz a *Universal Software Radio Peripheral* (USRP), a fase torna-se particularmente fácil de ser analisada. A partir deste gráfico (I – Q), percebe-se que a distância  $d$  provoca um acréscimo de fase de  $2\pi d/\lambda$ , como é mostrado pelo ângulo medido do eixo I até o ponto  $x_1$ , o qual representa o sinal recebido na antena 1. Além disso, no ponto de acesso com duas antenas retratado na Figura 3 (c), a distância ao longo de um caminho de chegada com abertura  $\theta$  é uma fração de comprimento de onda maior para a segunda antena do que é para a primeira, com esta fração dependendo de  $\theta$ , o ângulo de chegada.

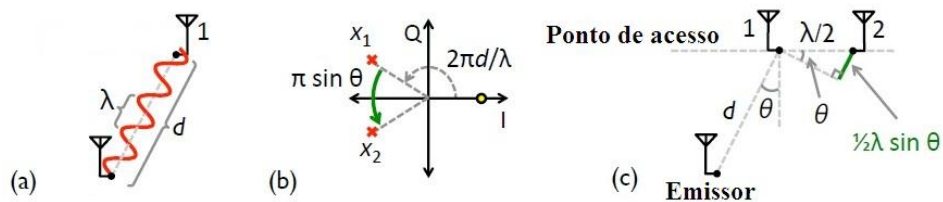


Figura 3. Princípio da estimação do ângulo de chegada: (a) A fase do sinal passa por um ciclo de  $2\pi$  a cada comprimento de onda de rádio  $\lambda$ . (b) A representação complexa dos sinais emitidos (ponto cheio) e enviados (cruzes) nas duas antenas em (c). A fase corresponde ao ângulo medido da parte positiva do eixo I. (c) Um sinal chegando com abertura  $\theta$  nas duas antenas (JAMIESON & XIONG, 2010).

Estes fatos sugerem uma maneira particularmente simples de determinar  $\theta$  com um ponto de acesso composto por duas antenas sem levar em conta o efeito do multipercurso. Primeiro, usa-se um rádio definido por *software* para medir  $x_1$  e  $x_2$  diretamente, adquire-se a fase de cada um ( $\angle x_1$  e  $\angle x_2$ ) e então se resolve para  $\theta$

( $\angle x_1 - \angle x_2$  está entre  $-\pi$  e  $\pi$ ) como, supondo que a separação entre os elementos do arranjo seja de meio comprimento de onda:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\angle x_2 - \angle x_1}{\pi}\right) \quad (1)$$

A partir da estimação da posição do usuário, faz-se necessário a formação do feixe adaptativo do arranjo de antenas de acordo com esta posição. Sendo assim, este pode ser obtido a partir de arranjos de antenas inteligentes, nas quais os pesos dos elementos componentes do arranjo são ajustados de modo a filtrar sinais interferentes oriundos de fontes indesejadas, assim como priorizar o sinal de interesse da fonte desejada. Algoritmos para formação adaptativa de feixe são caracterizados em termos de suas complexidade e capacidade de convergência. Um dos algoritmos adaptativos mais simples e práticos é o LMS, o qual não apresenta a necessidade de inversão da matriz de covariância ou de medidas acuradas das funções de correlação dos sinais envolvidos, como é mostrado na Figura 4 (SHUBAIR et al, 2005).

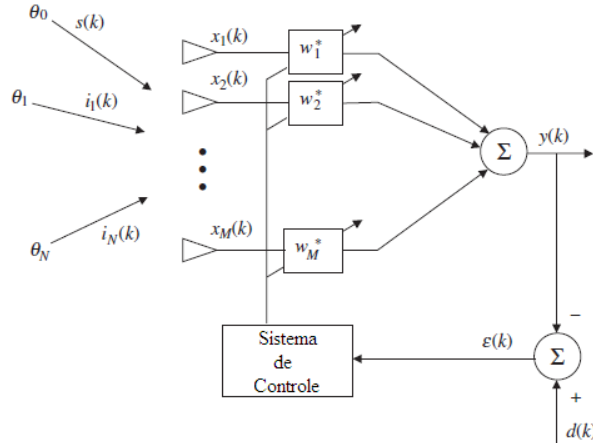


Figura 4. Sistema adaptativo para o LMS (GROSS, 2005).

O algoritmo LMS é baseado no método *steepest-descent*, o qual recursivamente adquire e atualiza o vetor de pesos do arranjo. É intuitivamente claro notar que correções sucessivas sobre o vetor de pesos na direção contrária ao vetor gradiente deveria levar ao erro médio quadrático mínimo, ponto a partir do qual o vetor de pesos atingiria seu valor ótimo. Na versão padrão do algoritmo LMS, o vetor de pesos do arranjo  $w$  é inicializado arbitrariamente e é atualizado de acordo com a equação característica deste algoritmo:

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n) e^*(n) \quad (2)$$

onde  $w(n+1)$  denota o vetor de pesos obtido na iteração  $n+1$  e  $\mu$  é o tamanho do passo adaptativo necessário ao algoritmo LMS, o qual é uma constante positiva que controla quão rápido o vetor de pesos estimados alcança sua solução ótima. Isso é feito a partir da minimização do arranjo de erro  $e(n)$  o qual é definido como:

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (3)$$

onde  $d(n)$  é o sinal de referência e  $y(n)$  o sinal de saída do arranjo. Com o intuito de garantir a estabilidade e a convergência do algoritmo, o passo adaptativo deve ser escolhido entre a faixa especificada abaixo:

$$0 < \mu < 1/\lambda_{\max} \quad (4)$$

onde  $\lambda_{\max}$  é o máximo autovalor na matriz de entrada de covariância definida como:

$$R = \sum_{n=1}^K x(n)x^H(n) \quad (5)$$

O processamento do sinal é realizado pelo GNU Radio, uma biblioteca que fornece blocos de processamento para implementar rádios definidos por *software* via utilização de um computador de uso genérico. Através dessa plataforma de desenvolvimento é criado um grafo de fluxo acíclico no qual tais blocos (escritos em C++) ocupam os nodos, e as conexões entre os mesmos (realizadas pelo Python) indicam o caminho a ser percorrido pelo sinal de entrada (MENEZES & GURJAO, 2009), gerando a operação desejada. Tal operação, neste trabalho, é o cálculo do vetor de pesos mencionado.

## 5. Desenvolvimento

### A. Material Utilizado

Foram utilizados dois kits USRP, duas antenas log-períodicas para recepção (BRITAIN, 2011) e uma antena log-períodica na transmissão de sinais modulados em frequência (FM), dois computadores de uso geral em que a biblioteca GNU Radio está instalada, um analisador de espectro MAS – 700/ MAS – 710 Minipa e um analisador de rede ZVB 20 Rhode & Schwarz.

O kit USRP utilizado na recepção de sinais é um dispositivo composto por duas placas-filhas DSBRX-LF. Por outro lado, o kit USRP utilizado na transmissão de

sinais é um dispositivo composto por uma placa-filha Flex 900. Além disso, cada kit possui quatro Conversores Analógico Digital (ADCs, do inglês, *Analog to Digital Converters*), quatro Conversores Digital Analógico (DACs, do inglês, *Digital to Analog Converters*), um Arranjo de Portas Programável em Campo (FPGA, do inglês, *Field Programmable Gate Array*) e um controlador USB 2.0.

Enquanto as placas-filhas são responsáveis pela transmissão ou recepção de dados, o Conversor Analógico Digital realiza a conversão do sinal recebido por uma antena (analógico) em um formato digital com o objetivo de processá-lo via *software*. O contrário é feito pelo Conversor Digital Analógico. Todos esses conversores estão ligados ao FPGA, que por sua vez realiza algumas operações como decimação e interpolação e reduz a taxa de transferência de dados que serão enviados ao computador através do controlador USB (FIDELES & GURJÃO, 2010).

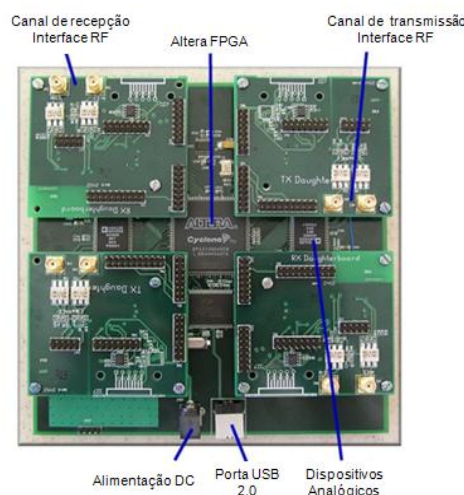


Figura 5 - Representação do kit USRP (FIDELES & GURJÃO, 2010).

## B. Detalhes do Sistema

Para a estimação da posição do usuário móvel, foram utilizados dois kits USRP: um para a transmissão de sinais FM em uma frequência específica, 900 MHz, e outro para realizar a detecção do sinal, como pode ser visto na Figura 6.

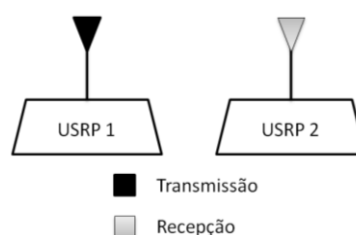


Figura 6 – Sistema de estimação da localização de usuário móvel (FIDELES & GURJÃO, 2010).

Ao total, foram utilizados três programas: `aoa_teste.grc`, `recepção_teste.grc` e `smart_antenna_sender.grc` que compõem parte do sistema de antenas inteligentes desenvolvido em Alves e Fontgalland (2011).

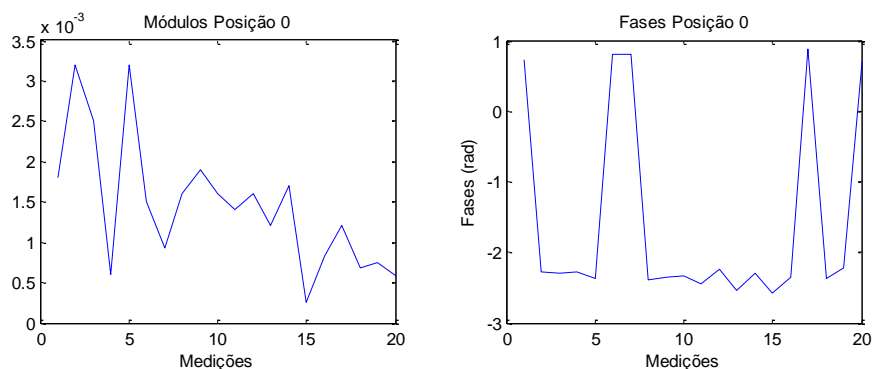
O programa `smart_antenna_sender.grc` realiza a transmissão de um seno na frequência de 900 MHz via FM. Este sinal é enviado a partir da placa de transmissão Flex 900.

Já o programa `recepção_teste.grc` recebe o sinal transmitido, o qual é captado por duas placas filhas DSBRX-LF, realiza a filtragem do mesmo e calcula a FFT deste. O programa `aoa_teste.grc` tem por finalidade a verificação do ângulo de chegada do sinal transmitido e a visualização dos respectivos pesos gerados.

## 6. Resultados

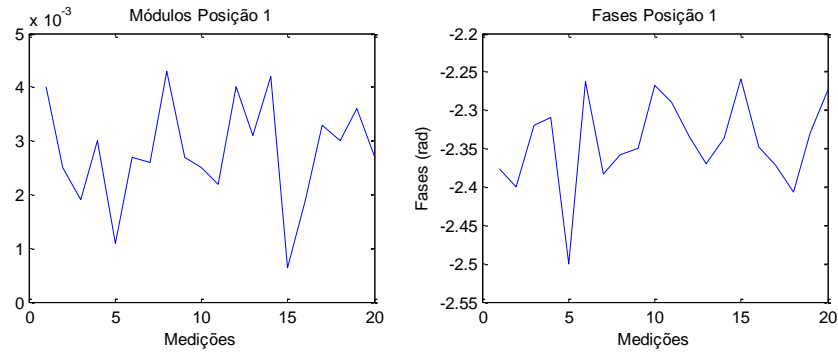
Para verificação do sistema concebido, definiram-se três posições de teste, as quais são: Posição 0 – antena transmissora no centro do arranjo; Posição 1 – antena à direita do mesmo; Posição 2 – antena à esquerda deste. Além disso, foram realizadas 20 medições durante o intervalo de 1 minuto com a antena localizada nas posições definidas.

Os ângulos de chegada obtidos, em módulo e em fase, para cada uma das posições mencionadas ao longo das medições realizadas são apresentados na Figura 7.

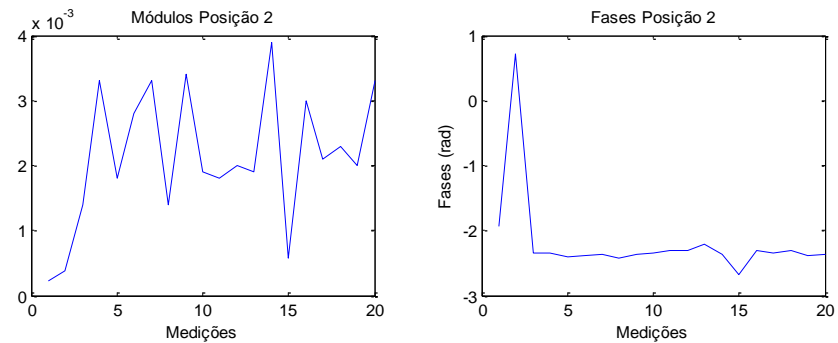


(a) Posição 0





(b) Posição 1



(c) Posição 2

Figura 7 – Ângulos de chegada obtidos. (a) Posição 0; (b) Posição 1; (c) Posição 2.

Em termos médios, os valores de ângulo de chegada obtidos foram: Posição 0: 0.0014 rad; Posição 1: 0.0028 rad; Posição 2: 0.0021 rad. Dessa forma, os pesos obtidos foram respectivamente:  $(1; 0.99999 + 0.0043983*i)$ ,  $(1; 0.99996 + 0.0087963*i)$  e  $(1; 0.99998 + 0.0065973*i)$ .

## 7. Considerações Finais

Para as posições definidas, o sistema não foi capaz de detectar se o usuário estava à esquerda ou à direita do arranjo. Esse fato era esperado devido à pequena separação entre os elementos do arranjo, o que torna pequena a resolução dos possíveis ângulos. Entretanto, no centro deste, obteve-se o menor valor médio de ângulo de chegada, o que significa, ao menos, que o sistema concebido é coerente quanto a sua proposta inicial.

Para uma melhor eficácia na estimação da localização do usuário, dever-se-iam aumentar a quantidade de elementos no arranjo e a separação equidistante entre eles; obter o diagrama de irradiação das antenas utilizadas na transmissão e recepção; considerar os efeitos de multipercurso; testar o sistema proposto em outro ambiente mais adequado, com reduzidas ou nenhuma fonte (s) de interferência.

Finalmente, seguindo a filosofia de *Software Livre*, disponibiliza-se em (LAPSGITHUB, 2011) os códigos fontes do experimento realizado.

## 8. Fontes Consultadas

ALVES, J. V. G.; FONTGALLAND, G. **Sistema de Antenas Inteligentes Usando Rádio Definido por Software**. VIII Congresso de Iniciação Científica da UFCG. No prelo, 2011.

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design**. New Jersey: John Willey & Sons, Inc., Third Edition, 2005. 1050p.

BRITAIN, K. **900-2600 MHz PCB Log Periodic WA5VJB**. Disponível em: <<http://www.wa5vjb.com/pcb-pdfs/LogPerio900.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2011, 01:00:00.

FÄHNLE, M. **Software-Defined Radio with GNU Radio and USRP/2 Hardware Frontend: Setup and FM/GSM Applications**. Institute of Communication Technology, Ulm, Germany. Winter term 2009/2010.

FIDELES, F.; GURJÃO, E. C. Limiar de Decisão para Sistema de Detecção Automática do Espectro Utilizando Rádio Definido por *Software*. In: X Congresso Nacional de Iniciação Científica. **Anais...** São Paulo: 2010.

GROSS, F. **Smart Antenna for Wireless Communications with MATLAB**. McGraw-Hill. 2005. 270 p.

MENEZES, A. V. G.; GURJAO, E. C. Processamento digital de sinais aplicado a detecção automática da modulação em rádio definido por software. In: VI Congresso de Iniciação Científica da UFCG. **Anais...** Campina Grande: 2009.

**LAPSGITHUB: Repositório do Laboratório de Processamento de Sinais do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG**. Disponível em: [https://github.com/lapsDEEUFCG/Smart\\_Antenna](https://github.com/lapsDEEUFCG/Smart_Antenna). Acesso em 25 de ago. 2011.

SHUBAIR, R.M.; MERRI, A.; JESSMI, W. Improved Adaptative Beamforming Using Hybrid LMS/SMI Approach. In: Wireless and Optical Communications Network, 2005, Dubai. **Proceedings...** Dubai: 2005, p. 603-606.

XIONG, J.; JAMIESON, K. SecureAngle: Improving Wireless Security Using Angle-of-Arrival Information. In: SIGCOMM conferences. **Proceedings...** Nova Delhi, Índia, 2010.