

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

Departamento de Física



**Tese de Mestrado**

**Explorations into Ultrahigh Field Magnetic Resonance Imaging and  
Targeted Radiofrequency Hyperthermia at 11.7T (500MHz)**

**João Santos Periquito**

**Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica e Biofísica**

**Perfil em Engenharia Clínica e Instrumentação Médica**

**2013**

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

Departamento de Física



**Tese de Mestrado**

**Explorations into Ultrahigh Field Magnetic Resonance Imaging and  
Targeted Radiofrequency Hyperthermia at 11.7T (500MHz)**

**João Santos Periquito**

Coordenadores:

Prof. Dr. Thoralf Niendorf

Prof. Dr. Alexandre Andrade

**Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica e Biofísica**

**Perfil em Engenharia Clínica e Instrumentação Médica**

**2013**

## Resumo

Hipertermia regional é um procedimento clínico onde ocorre o aumento da temperatura sistêmica de 37.5° C para valores entre os 39 ° e os 42° C numa zona específica do corpo humano afetada por um tumor. O procedimento mencionado é realizado através do depósito de energia de radiofrequências (RF) no interior do corpo humano – *RF Hyperthermia*. A energia é depositada numa determinada região, sendo possível produzir um *hotspot* no interior do corpo humano e posteriormente aumentar a temperatura no tumor. A utilização de antenas RF permite não só o depósito de energia no corpo humano como também o envio/receção de sinais RF, sinais estes usados nos sistemas de ressonância magnética. Neste sentido, combinando *RF hipertermia* com os benefícios de ressonância magnética é possível não só criar um *hotspot*, como também executar uma monitorização deste mesmo *hotspot* de forma a garantir que apenas se aumenta a temperatura na área de interesse, não atingindo os tecidos não afetados pelo tumor.

Neste projeto foi desenvolvido e avaliado um sistema híbrido de oito canais capaz não só de efetuar um aquecimento focado através de radiofrequência, como também adquirir imagens de ressonância a 11.4T. Nesta abordagem oito canais foram usados em simultâneo de forma a criar uma sobreposição de campos elétricos capazes de focar calor numa área específica, criando assim um *hotspot*. Este sistema é constituído por oito blocos posicionados circularmente em volta de um fantoma cilíndrico. Estes blocos são caixas de *Plexiglas* constituídos por uma antena conectada a um circuito capaz de sintonizar a frequência e ajustar a impedância das antenas para os valores desejados – *match and tune network*. As antenas foram inseridas dentro da caixa de *Plexiglas*, embutidas em água destilada de forma a reduzir o comprimento de onda, caso contrário as dimensões das antenas seriam superiores às dimensões da caixa. Operando a uma frequência de 500MHz, é possível através destas antenas criar um foco de calor no centro do cilindro e obter imagens de ressonância magnética a 11.7T.

O design escolhido para antenas foi dipolos dielétricos em forma de *bowtie* (gravata borboleta). As antenas formadas por dipolos dielétricos conferem uma grande

profundidade na distribuição do campo eletromagnético, uma característica muito importante neste projeto, não só porque permite focar uma certa quantidade de energia num ponto interior de um fantoma, mas também porque favorece a qualidade de imagens de ressonância magnética. O design de *bowtie* permite uma maior largura de banda da antena garantindo uma grande estabilidade à antena, quando sujeita a alteração de condições (movimento e mudança de posição).

As dimensões deste tipo de antena estão diretamente relacionadas com a frequência a que operam. Várias simulações eletromagnéticas foram levadas a cabo de forma a conhecer as dimensões da antena para que esta apresentasse um comportamento estável a 500MHz. Estas simulações foram realizadas usando o software *CST Studio Suite 2012*, *CST GmbH*, Darmstadt, Alemanha. Primeiramente através deste software foi criado um fantoma cilíndrico com uma condutividade e permitividade elétrica semelhante ao interior do nosso organismo. Um bloco, semelhante ao descrito acima, foi criado e posicionado junto do fantoma. Os campos eletromagnéticos foram calculados e seguidamente foi criado o *match and tune network* que consiste num circuito formado por dois condensadores ligados em paralelo. Através da alteração dos valores de capacidade elétrica dos condensadores foi possível sintonizar a frequência para os 500MHz e ajustar a impedância para os 50 ohms. A utilização de *Scatter Parameters* ou apenas *S-Parameters*, especificamente o parâmetro  $S_{11}$ , que avalia a energia transferida e refletida na antena, permitiram determinar a eficiência da antena a 500MHz.

Depois dos resultados serem avaliados e aprovados procedeu-se à adição de blocos em redor do fantoma. Sete blocos iguais ao primeiro foram adicionados ao modelo e posicionados de forma equidistante, em relação a si e ao fantoma. Posteriormente foram criados sete *match and tune networks* e foram conectados às respetivas antenas, que se encontram no interior dos blocos. Após a análise dos resultados das simulações eletromagnéticas deste modelo foi possível calcular o *Specific Absorption Rate* – *SAR* e visualizar um *hotspot* no centro do fantoma com baixos valores de *SAR* na sua superfície. Compararam-se estes resultados, a uma frequência de 500MHz, com as anteriores simulações a 300MHz e verificou-se que a 500MHz é possível obter um *hotspot* mais eficiente, isto é, com um tamanho menor e mais focado no interior do fantoma, mantendo baixos valores de *SAR* à superfície. Seguidamente procedeu-se à construção

dos blocos constituídos pelas antenas e pelos respetivos *match and tune networks*. Os oito blocos juntamente com um fantoma cilíndrico foram posicionados num suporte de plástico criado numa impressora 3D especificamente criado para este fim.

O dispositivo construído foi testado num sistema de ressonância magnética de 7.0T (frequência de 300MHz) e, por essa razão, existiu a necessidade de combinar no suporte oito antenas de 300MHz com capacidade de obter imagens de ressonância magnética a 7.0T. Este procedimento permite, posteriormente, avaliar a performance do aquecimento das antenas através de mapas de distribuição das temperaturas. De seguida foram criados oito antenas de 300MHz com um diferente design – *meander design* - através do software *CST Studio Suite 2012*. Estas antenas permitem a sua introdução no modelo entre os blocos com antenas de 500MHz. Após avaliação dos resultados da distribuição do campo eletromagnético concluiu-se que as novas antenas se encontravam aptas a serem utilizadas na aquisição de imagens de ressonância magnética a 7.0T, uma vez que apresentavam valores razoáveis no campo  $B_1$ . Importa ainda referir que estas novas antenas não iriam afetar o *hotspot* criado com as antenas de 500MHz. As antenas *meander* foram impressas e ajustadas para os 300MHz. Através de uma impressora 3D procedeu-se à alteração do suporte de forma a introduzir as antenas *meander* entre os blocos com antenas de 500MHz, em semelhança com a simulação.

*RF heating experiments* foram realizados num sistema de ressonância magnética de 7.0T usando o dispositivo construído, um gerador de sinais de radiofrequência, amplificador de radiofrequências personalizado e dois multiplicadores 1 para 4 juntamente com dez cabos longos de forma a dividir a energia pelas 8 antenas de 500MHz. O amplificador possuía dois canais, sendo que cada canal foi previamente calibrado para 500MHz e todas as perdas de energia em todos os componentes foram devidamente medidas com o auxílio de dois *power meters*. Com este *setup* foi apenas possível obter 27Watts por antena. Após análise dos mapas obtidos através da ressonância magnética foi concluído que esta quantidade de energia é bastante reduzida para a obtenção de resultados desejáveis. Esta baixa quantidade de energia deve-se exclusivamente ao deficiente funcionamento do amplificador que a 500MHz se encontrava no limite das suas capacidades, apresentando um comportamento deficiente e instável, reiniciando constantemente por razão alguma.

Uma nova abordagem foi executada e usando apenas um elemento foi possível direcionar 100Watts na antena durante 12 minutos. Em cada 2 minutos foram obtidas imagens de ressonância magnética e posteriormente foi obtido o mapa da distribuição de temperaturas. Após a análise deste mapa de distribuição de temperaturas foi possível observar o aquecimento resultante por parte deste elemento. Deste modo, concluiu-se que é possível validar as simulações eletromagnéticas através de *RF heating experiments* utilizando um amplificador de radiofrequências diferente com capacidade de operar eficientemente a uma frequência de 500MHz, fornecendo assim maior quantidade de energia por antena.

O projeto supracitado foi desenvolvido num sistema de ressonância Siemens de 7.0T situada no B.U.F.F (Berlin Ultrahigh Field Facility) no Max-Delbrueck Center for Molecular Medicine, Berlim, Alemanha.

**Palavras chave:** Hipertermia, Ressonância Magnética, Antenas RF, Simulações Electromagnéticas, SAR.

## Abstract

Radiofrequency (RF) hyperthermia is a clinical procedure that aims to raise the temperature of a region of the body with RF energy. An array of RF antennas can be used to deliver RF energy in the human body and can also be used to send/receive a RF signals that are used in magnetic resonance imaging (MRI). By combining MRI and RF antennas is possible to perform and monitorize RF hyperthermia. Recent studies showed that at high frequencies is possible to increase RF hyperthermia performance.

In this project was designed and evaluated an eight channel hybrid applicator for targeted RF heating and MR Imaging at 11.4T (500MHz). In this approach, eight channels were used for tailoring the electric field by means of constructive interferences. The applicator consists of eight building block antennas placed in a cylindrical array for RF heating and MRI at a frequency of 500MHz (proton *Larmor frequency* at 11.4T).

A building block antenna consists of a 500MHz bowtie dipole antenna inside a *Plexiglas* box, connected to a match and tune network. This applicator was tested in a 7.0T MRI System, therefore eight 300MHz (proton *Larmor frequency* at 7.0T) meander dipole antennas were added to the applicator in order to use MRI and MR thermometry technique to achieve the temperature distribution at 7.0T. The eight 300MHz antennas were placed between the 500MHz antennas boxes in a plastic holder printed in a 3D printer. For design and evaluate the performance of the antennas, electromagnetic field simulations were performed using CST Studio Suite 2012, CST GmbH, Darmstadt, Germany. By using simulations results specific absorption rate and  $B_1$  field were calculated on a phantom.

Using a custom power amplifier RF heating experiments were performed on a 7.0T Siemens MRI System placed at Berlin Ultrahigh Field Facility at the Max-Delbrueck Center for Molecular Medicine, Berlin, Germany.

**Keywords:** RF Hiperthermia, Magnetic Resonance, RF Antennas, Electromagnetic Field Simulations, SAR.