

Modelagem eletromagnética e térmica em aplicações biomédicas

Maíra Martins Garcia, M.Sc.

Maíra Martins Garcia

- **Pesquisadora na Universidade de Duisburg-Essen**

- Engenharia Elétrica Geral e Teórica (ATE), Prof. Dr. Daniel Erni
- **ATE-BioEM**: centro de pesquisa focado na investigação da interação de campos eletromagnéticos com organismos biológicos.

-> Desenvolvimento conceitual de um biossensor para detecção de estágios iniciais de câncer.



www.uni-due.de/ate-bioemcenter/



Fonte: www.britannica.com/biography/Luis-Garcia

- **Doutoranda na Universidade de Duisburg-Essen e Universidade de Ciências Aplicadas de Gelsenkirchen**

- Departamento de Engenharia Física, Prof. Dr. Waldemar Zylka
- **Grupo de Física e Engenharia Médica**: dedicado à biologia sistêmica, especialmente na modelagem do câncer e seu uso na medicina personalizada por meio de tecnologias de ressonância magnética, tomografia computadorizada e e outras técnicas.

-> Simulação e validação das distribuições de fluxo de energia e temperatura em *phantoms* durante imagens de ressonância magnética de alto campo

<https://www.w-hs.de/pme>

- **Universidade Federal de Sao Carlos – UFSCar**

- Bacharel em Engenharia Física.



- **Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB**

- Intern at the Biomedical MR Department (2013-2014):

Test and analysis of RF pulse characteristics for MRS in phantom and in vivo experiments.

1. Insertion of new RF pulses into MR Spectroscopy sequences (IDEA – C++).
2. Implementation at the 3T MRI scanner and analysis of new pulses during MRS acquisitions.



- **Universidade Federal do ABC – UFABC**

- Master project in Biomedical Engineering (2016-2018):

Modelling of radiofrequency (RF) coils for ultra-high field MRI (7T).

1. Computational model for electromagnetic and thermal analysis (COMSOL Multiphysics).
2. Experimental evaluation and validation of the simulations (S-parameters and B_1^+ distribution).



Engenharia na área biomédica

- Uso da tecnologia para melhorar e mudar a vida das pessoas:
 - Pesquisa e desenvolvimento de equipamentos médicos, hospitalares e odontológicos;
 - Planejamento do uso e manutenção dos equipamentos;
 - Desenvolvimento de *software* para auxiliar na utilização de dispositivos e no processamento de imagens de exames.
- Profissionais: Física, Biotecnologia, Física Médica, Engenharias: Biomédica, Elétrica, Mecânica e Física.

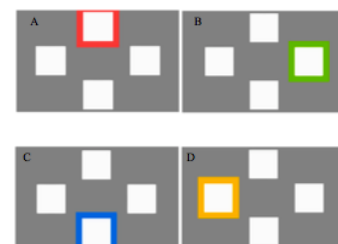
Fontes: sbm.ufabc.edu.br/wp-content/uploads/2013/01/2013_orteses-e-proteses-convencionais_v2.pdf



Órteses/próteses



Informática Médica



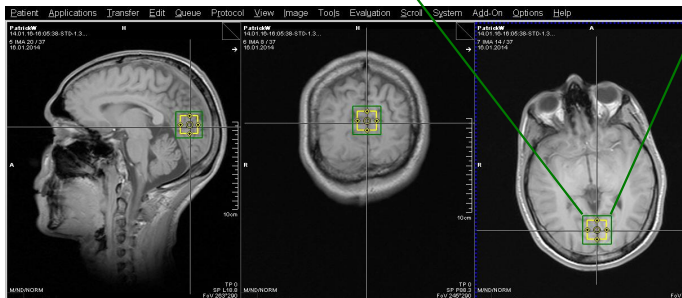
researchgate.net/publication/32672760_Extracao_d_e_Caracteristicas_em_Interfaces_Cerebro-Maquina_Utilizando_Metricas_de_Reddes_Complexas

IRM

- Imagem por Ressonância Magnética (IRM) e Espectroscopia por Ressonância Magnética (ERM).
- Informações anatômicas e bioquímicas de tecidos de forma não-invasiva e não-ionizante (energia de radiofrequência – RF).
- Brasil: primeira imagem do hemisfério sul (1984): IFSC-USP/ São Carlos.

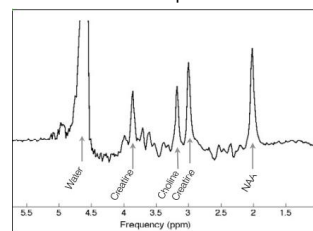


IRM scanner: 7T MRI em Sao Paulo.

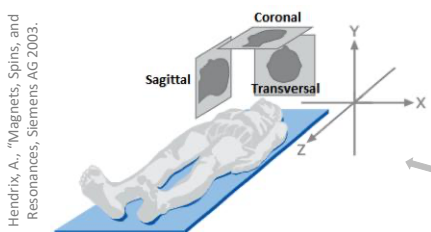


IRM: O sinal da imagem se origina dos prótons de hidrogênio.

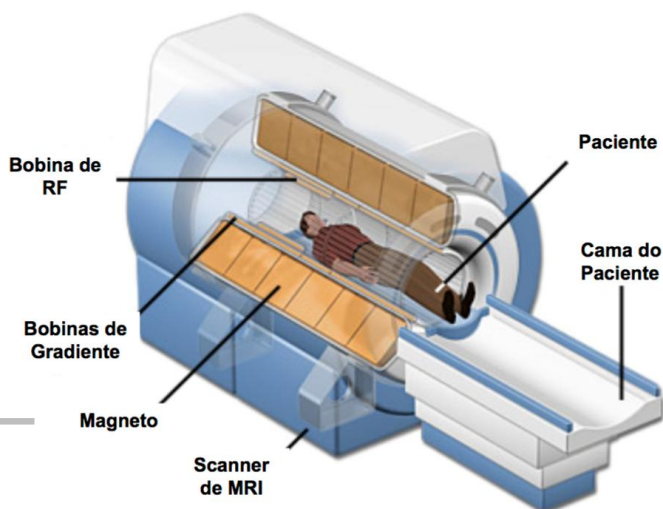
ERM: O sinal da espectroscopia se origina de prótons em ambientes quimicamente diferentes.



IRM



Hendrix, A., "Magnets, Spins, and Resonances, Siemens AG 2003.



- Equipamentos clínicos:
 $B_0 = 1.5T$ and $3T$.
- IRM Ultra-high field ($B_0 \geq 7T$).

- $1 T = 10000$ Gauss
- Campo magnético da terra ~ 0.5 Gauss

Fonte: PAPOTI, D. Equipamentos de IRM. Curso de Física Médica II, 2017. Notas de Aula, UFABC

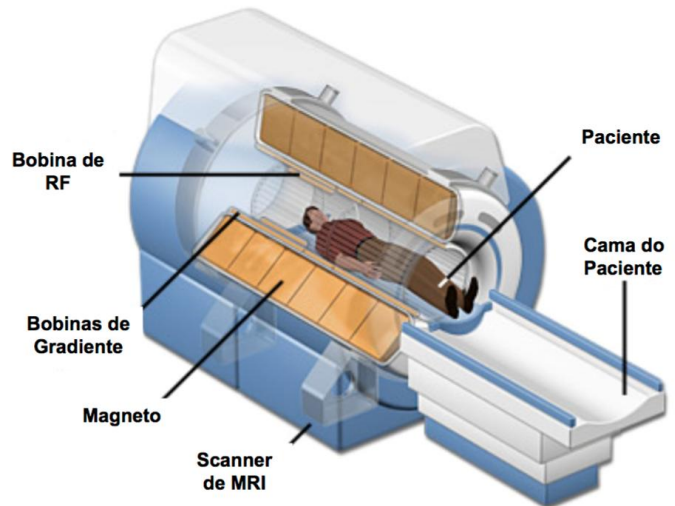
IRM

Transmissão (Tx)
and recepção (Rx)
de sinal

B_0 (T)	ω_0 (MHz)
1.5	63.87
3	127.74
7	298.06



Moore J. and Zouridakis G. Biomedical Technology and devices Handbook, CRC Press, USA (2004)



Fonte: PAPOTI, D. Equipamentos de IRM. Curso de Física Médica II, 2017. Notas de Aula, UFABC

IRM

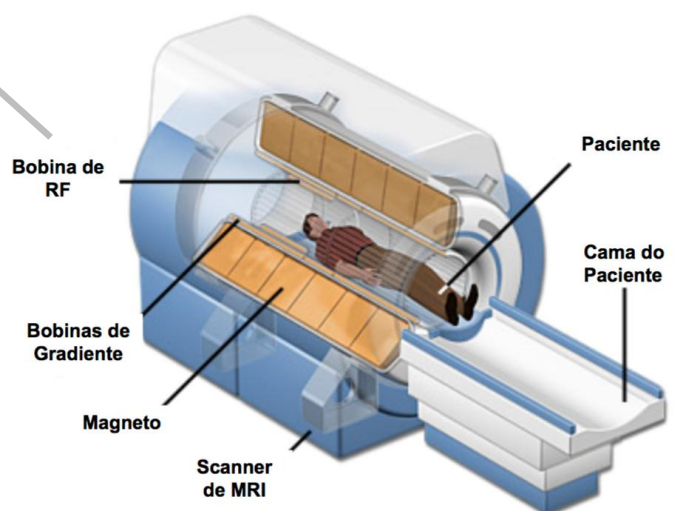
Transmissão (Tx)

- Produzir B_1 perpendicular a B_0 .
- Alta homogeneidade de campo.

Recepção (Rx)

- Recepção do sinal.
- Alta taxa de sinal ruído.

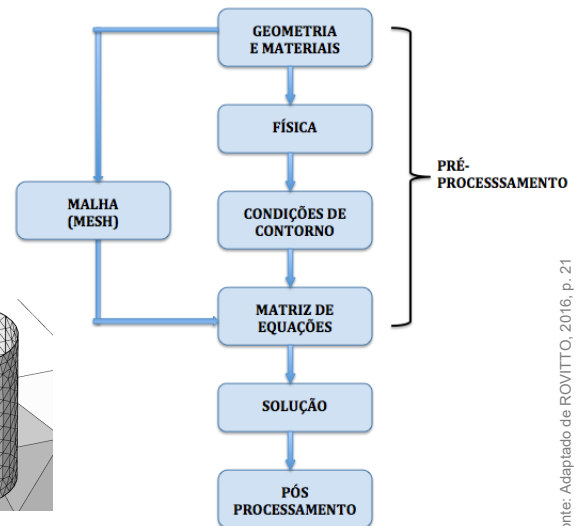
- **Em campos ultra-altos**, os campos elétricos (E) e magnéticos (B_1) são altamente complexos e espacialmente não uniformes.
- **O corpo do paciente** absorve parcialmente a energia de RF transmitida, devido à resposta eletromagnética dos tecidos.
- **A energia absorvida em excesso pode resultar no aquecimento dos tecidos.**



Fonte: PAPOTI, D. Equipamentos de IRM. Curso de Física Médica II, 2017. Notas de Aula, UFABC

Modelagem eletromagnética e térmica em IRM

- Softwares especializados: COMSOL, ANSYS, SIM4LIFE, CST Studio, etc.
- COMSOL e ANSYS são baseados no método dos elementos finitos (FEM).
- Dividem uma geometria complexa em pequenas partes (elementos), onde as equações diferenciais do problema são resolvidas numericamente.
- Permitem prever como campos elétricos, magnéticos ou distribuição de temperatura se comportam em diferentes condições e materiais.

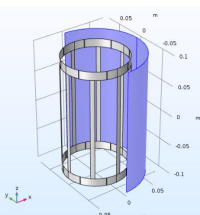


Exemplo: bobina RF
birgcage Tx/Rx para 7T:

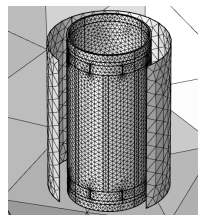
- Diâmetro: 10 cm;
- Altura: 16.4 cm.
- EM shielding apparatus.



- Prof. Dr. Daniel Papoti



- Prof. Dr. Tiago Ribeiro



Fonte: Adaptado de ROVITTO, 2016, p. 21

04.09.2025

VIII SEFIS UFMS, Maíra Martins Garcia

9



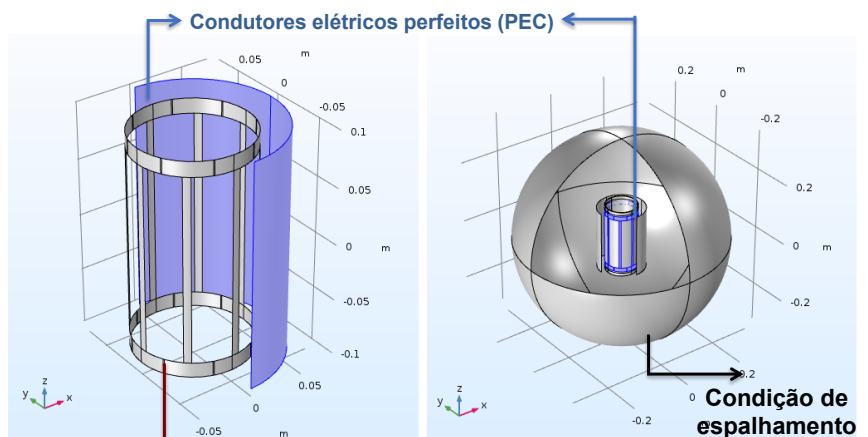
Modelagem EM e térmica em IRM



- Criar um *workflow* para auxiliar no desenvolvimento de bobinas de RF e assegurar a segurança do paciente.

- **1: Análise Modal**
- Atribuição da física e condições de contorno.

Modo	ω_0 (MHz)
0	527,6
1	298,7
2	212,6
3	179,8
4	169,61



15 $C_{\text{fixo}} = 4,3\text{pF}$ e 1 variável $5\text{pF} \leq C_{\text{var}} \leq 15\text{pF}$

04.09.2025

VIII SEFIS UFMS, Maíra Martins Garcia

10

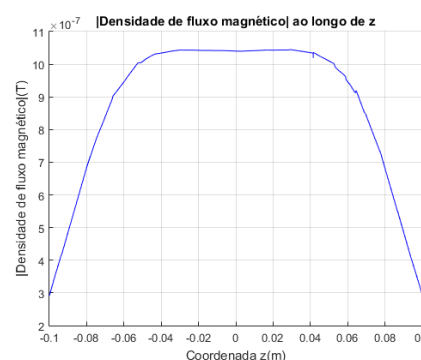
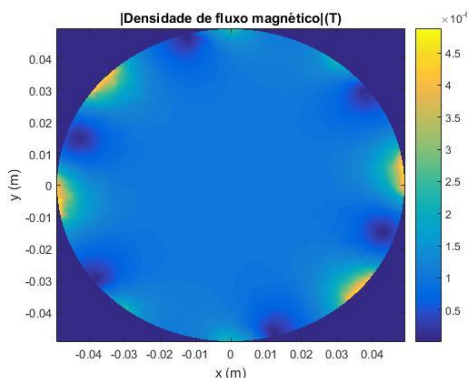
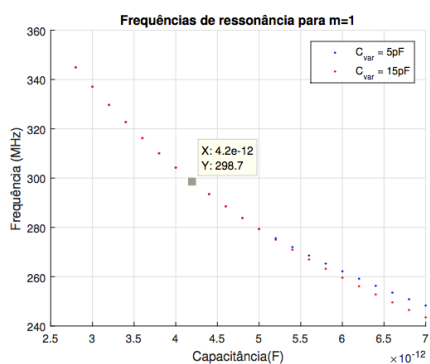


Modelagem EM e térmica em IRM



➤ Criar um *workflow* para auxiliar no desenvolvimento de bobinas de RF e assegurar a segurança do paciente.

1: Análise Modal

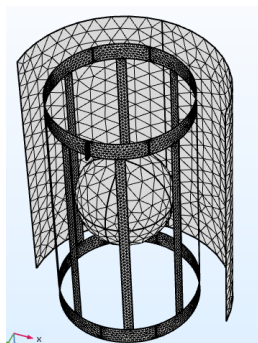


Modelagem EM e térmica em IRM

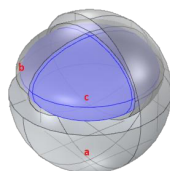


➤ Criar um *workflow* para auxiliar no desenvolvimento de bobinas de RF e assegurar a segurança do paciente.

2: Driven mode simulations: Análise eletromagnética e térmica



Phantom homogêneo (músculo)



Phantom complexo

Tecidos	ϵ_r [1]	σ [S/m]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kg.K]	K [W/m.K]	ω_b [1/s]
Músculo	58,24	0,77	1090	3421	0,49	$3,4 \times 10^{-4}$
Osso	13,45	0,08	1908	1313	0,32	$3,9 \times 10^{-5}$
Cerebral	51,98	0,59	1043	3639	0,48	$3,4 \times 10^{-3}$

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho}$$

ρ – densidade;
 σ – condutividade.

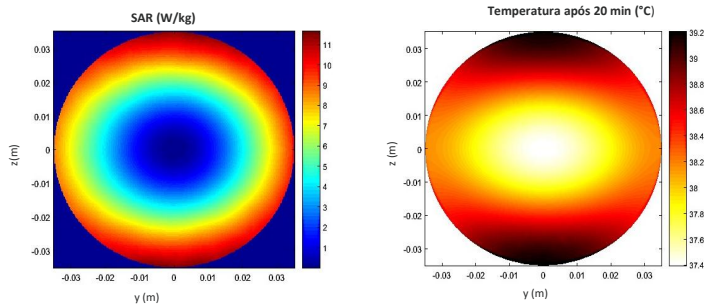
$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot k \nabla T + q_m + \omega_b \rho_b c_b (T_a - T) + Q$$

K – Condutividade térmica; C_p – Calor específico; ω_b – Perfusão; q_m – Taxa de geração de calor do metabolismo; Q – Taxa de geração de calor por uma fonte externa (SAR).

Modelagem EM e térmica em IRM

- 2: Driven mode simulations: Análise eletromagnética e térmica

Phantom homogêneo (músculo)



Output

DE GRUYTER

Current Directions in Biomedical Engineering 2019;5(1):525-528

Maíra M. Garcia^a, Tiago R. Oliveira, Daniel Papoti, Khalil T. Chaim, Maria C. G. Otaduy, Daniel Erni, and Waldemar Zyka

Experimental and numerical investigations of a small animal coil for ultra-high field magnetic resonance imaging (7T)

<https://doi.org/10.1515/cdbme-2019-0132>

Keywords: ultra-high field MRI, electromagnetic simulation, small animal RF coil, SAR, MRI safety.

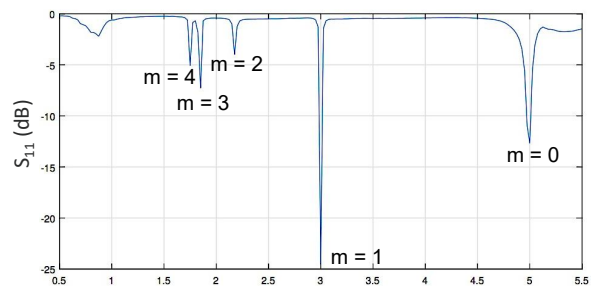
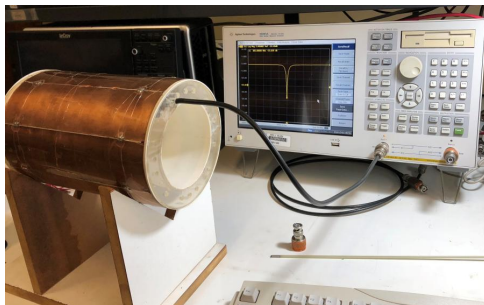
Abstract: The purpose of this work was to develop and investigate a radiofrequency (RF) coil to perform image studies on small animals using the 7T magnetic resonance imaging (MRI) system, installed in the imaging platform in the autopsy room (Portuguese acronym PISA), at the University of São Paulo, Brazil, which is the unique 7T MRI scanner installed in South America. Due to a high demand to create new

1 Introduction

Magnetic resonance imaging is a non-invasive and non-ionizing imaging technique, which uses energy in the radiofrequency range. The transmission and reception of the RF signal

Validação da modelagem

- Análise dos Modos de Ressonância
- Analisador de redes CIERMag (IFSC/USP).

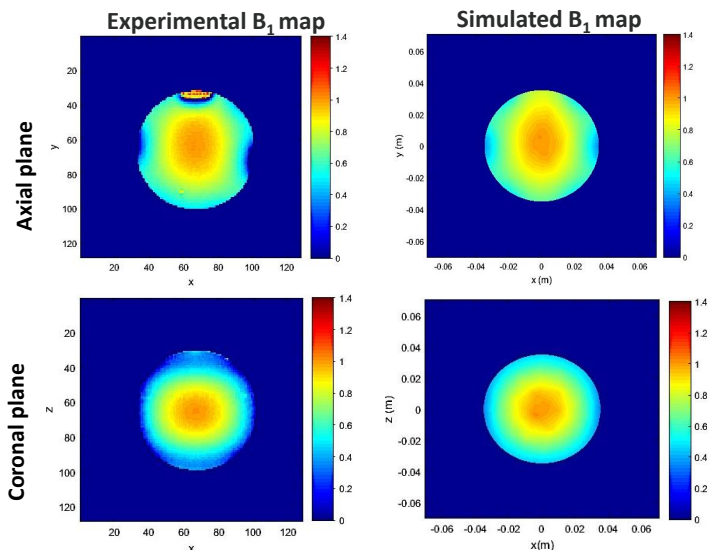


Validação da modelagem

- **Análise experimental:**



- SA2RAGE pulse sequence (SIEMENS)

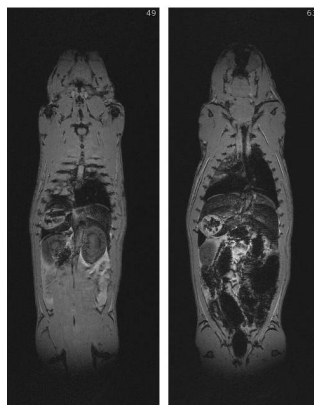


Validação da modelagem

- **Análise experimental:**



- **Images of a rat:**

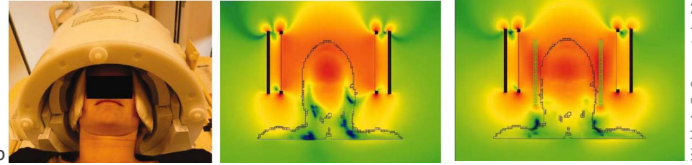


- As imagens apresentam boa qualidade e não apresentam artefatos relacionados à não homogeneidade do campo.

Outras aplicações

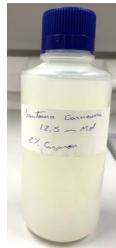
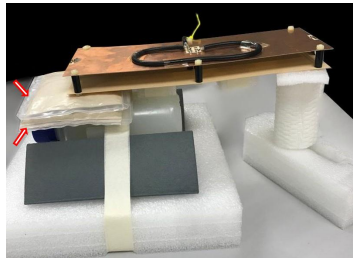
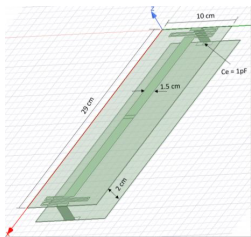
- Dielectric pads

- Estratégia para melhorar a eficiência e a homogeneidade de B_1^+ .
- Materiais com constantes dielétricas elevadas (alta permissividade ϵ_r).
- As correntes de deslocamento no material dielétrico produzem um campo secundário que aumenta o B_1^+ total.



Wiebb A. G. Concepts in Magnetic Resonance, 38A(4), 148-184, 2011.

- Nossa pesquisa:



Output

DE GRUYTER Current Directions in Biomedical Engineering 2020,6(3): 20203007

Maira M. Garcia*, Maryam Vatanchi, Khalil T. Chaim, Maria C. G. Otaduy, Andreas Rennings, Daniel Erni, and Waldemar Zylika

Investigating the influence of dielectric pads in 7T magnetic resonance imaging – simulated and experimental assessment

<https://doi.org/10.1515/cdbme-2020-3007>

Abstract: Dipole radiofrequency (RF) elements have been successfully used to compose multi-channel RF coils for ultra-high fields (UHF) magnetic resonance imaging (MRI). As

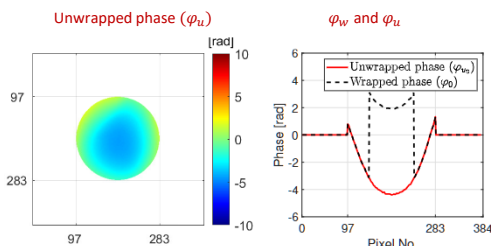
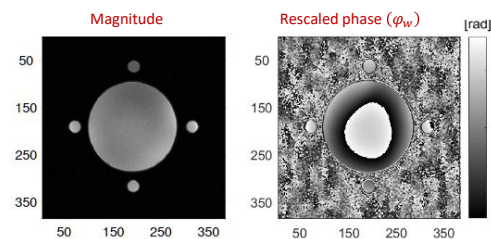
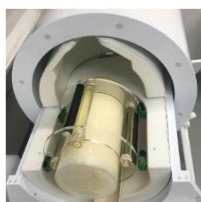
lations suggest that SAR distribution will change when using the pads.

Keywords: 7T MRI, dielectric pads, experiment, electromagnetic simulation, dipole RF coil, phantom, B_1 , homogene-

Outras aplicações

- Validação térmica:

- Temperatura pode ser medida:
- Localmente, usando termômetros não-magnéticos.
- Especialmente, usando o scanner de IRM como uma ferramenta.



Output

Maira M. Garcia*, Tiago R. Oliveira, Khalil T. Chaim, Maria C. G. Otaduy, Christian Bruns, Jan T. Svejda, Johannes Bernarding, Daniel Erni, and Waldemar Zylika

Thermal measurements of a muscle-mimicking phantom during ultra-high field magnetic resonance imaging

<https://doi.org/10.1515/>

Abstract: At ultra-high field MRI ($B_0 \geq 7T$), it is crucial to predict and control the patient safety. Commonly patient safety is controlled by the power deposited in the tissue (specific

measuring temperature maps using the PRF shift method. The accuracy of the PRF shift method increased when the B_0 drift effects were quantified and dismissed, indicating a PRF reading accuracy differing less than 0.5 °C from the thermocouple

Output

DE GRUYTER De Gruyter Journal YYYY: zap

Research Article

Maira M. Garcia*, Tiago R. Oliveira, Khalil T. Chaim, Christian Bruns, Maria C. G. Otaduy, Johannes Bernarding, Daniel Erni, and Waldemar Zylika

Measurement and advanced data post-processing of proton resonance frequency shift in 7T MRI to obtain local temperature in a tissue-mimicking phantom

Obrigada!

Contato: maira.martins-garcia@uni-due.de