

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FFCLRP - DEPARTAMENTO DE FÍSICA E MATEMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA APLICADA À MEDICINA E
BIOLOGIA

Um biossusceptômetro supercondutor AC para quantificar o
ferro hepático

Antonio Adilton Oliveira Carneiro

**Tese apresentada à Faculdade de Filosofia,
Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP, como parte
das exigências para a obtenção do título de Doutor em
Ciências, Área: Física Aplicada à Medicina e Biologia.**

RIBEIRÃO PRETO -SP

2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FFCLRP - DEPARTAMENTO DE FÍSICA E MATEMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA APLICADA À MEDICINA E
BIOLOGIA

Um biossusceptômetro supercondutor AC para quantificar o
ferro hepático

Antonio Adilton Oliveira Carneiro

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Baffa Filho

RIBEIRÃO PRETO -SP

2001

Resumo

Este trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema para medir a magnetização de amostras paramagnéticas e diamagnéticas em grandes volumes. Sua principal aplicação tem sido a medida susceptométrica do tecido hepático para a quantificação da sobrecarga de ferro no fígado. Esse excesso de ferro no corpo é comum em pacientes talassêmicos e falcêmicos, que são regularmente submetidos a transfusões de sangue e, em pacientes com hemocromatose. Em pessoas normais, esse depósito de ferro pode conter entre 0,1 e 0,5 mg de ferritina (ftn) por grama de tecido úmido ($\text{mg ftn/g}_{\text{tecido úmido}}$). Quando com sobrecarga, pode alcançar até 30 mg $\text{ftn/g}_{\text{tecido úmido}}$. A contribuição diamagnética devido à presença dos tecidos biológicos (água, pele, gordura, músculo, nervo, osso, etc) é equivalente à contribuição paramagnética devido à presença de, aproximadamente, 6 mg $\text{ftn/g}_{\text{tecido úmido}}$ distribuídos no tecido hepático. Essa intensa contribuição diamagnética foi sensivelmente reduzida com o uso de uma bolsa de água acoplada ao torso. Medidas *in vitro* foram realizadas num *phantom*, composto de um tubo cilíndrico de acrílico preenchido com água e uma esfera de plástico, acoplada internamente ao cilindro, preenchida com solução de Fe^{3+} . O volume cilíndrico representa os tecidos e o esférico representa o fígado. Medidas *in vivo* foram realizadas com duas modalidades: com e sem o uso da bolsa de água sobre o torso. Essas medidas foram efetuadas em voluntários assintomáticos e pacientes talassêmicos sob tratamento no Hemocentro de Ribeirão Preto (HRP). A medida da magnetização foi realizada com um gradiômetro axial de segunda ordem, acoplado a um SQUID-RF. A amostra foi magnetizada com um campo magnético AC e homogêneo. Os resultados confirmaram a sensibilidade da técnica para quantificar níveis de ferro hepático em pacientes com sobrecarga, com eficiência de diferenciar níveis equivalentes àqueles encontrado(s) em pessoas normais. A automatização da instrumentação e a aquisição dos dados foram feitas em ambiente LabView e as simulações dos modelos, apresentadas juntamente com os processamentos dos sinais, foram realizadas em ambiente MatLab.

Abstract

This work consisted in the development of a system to measure the magnetization of large paramagnetic and diamagnetic samples. The main application was susceptometric measurements of the hepatic tissue for quantification of the iron overload. Iron excess is commonly observed in thalassemic and sickle cell anemia patients who have repeatedly received red blood cell transfusions for prevention or treatment of chronic complications and in patients with hemochromatosis. In normal subjects, iron concentration is usually between 0.1 and 0.5 mg of ferritin by gram of wet tissue (mg ftn/g_{wet tissue}). However, in individuals with the above diseases, it can reach up to 30 mg ftn/g_{wet tissue}. The diamagnetic contribution due to the presence of biological tissues (water, skin, fat, muscle, nerve, bone, etc) is equivalent to the paramagnetic contribution due to the presence of approximately 6 mg ftn/g_{wet tissue} distributed in the hepatic tissue. This intense diamagnetic contribution was markedly reduced by using a water bag coupled to the subject's torso. Measurements *in vitro* were performed in a phantom composed of a cylindrical acrylic tube, filled with pure water containing a plastic sphere placed off axis to simulate the liver position. The sphere was filled with a Fe³⁺ solution to simulate different iron concentration present in the liver. Measurements *in vivo* were performed in thalassemic patients undergoing treatment at the Hemocentro de Ribeirão Preto (HRP) and in normal subjects using two different modalities: with and without the use of the water bag on the torso. The measurements of the magnetization were made using a second order axial gradiometer coupled to a RF SQUID. The sample was magnetized using a homogeneous AC magnetic field. The results confirmed the sensitivity of the technique to quantify levels of hepatic iron in patients with overload, with efficiency of differentiating iron levels equivalent to that found in normal subjects. Automation of instrumentation and data acquisition were done in LabView (National Instruments) and susceptometric models simulations and the signal processing were done in MatLab environment.

*Dedico este trabalho ao compadre
Cristóvão Cedraz, por despertar-me
para a ciência experimental*

Agradecimentos

Apesar da grande dificuldade de expressar a minha gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente, agradeço cordialmente às seguintes pessoas e instituições:

- à minha esposa, pelo seu intenso incentivo aos meus estudos, por sua compreensão e paciência nos momentos em que estive ausente e, finalmente, pela maravilhosa companheira que é;
- a toda a minha família, que sempre acreditou na minha competência e responsabilidade, principalmente aos meus pais, que foram os primeiros a compartilhar dessa minha busca de conhecimentos;
- à minha sogra, por sua dedicação na correção gramatical deste trabalho;
- ao Prof. Dr. Oswaldo Baffa, pela orientação, por toda a confiança que depositou em minha carreira e formação profissional e por sua valiosa amizade;
- aos Profs. Dr. Zago e Dr. Dimas da HRP, pelo auxílio e suporte com os pacientes talassêmicos;
- aos técnicos de departamento Marquinhos, Serginho, Aziani, Eldereis, Lorenço, Carlos, Élcio e Julho pelo apoio, dedicação e companheirismo;
- às secretárias Sônia, Rosângela e Gisele, pela amizade e dedicação;
- aos colegas do grupo, Agostinho, Eder e Dráulio pelas colaborações científicas e pelo companheirismo.
- a todos os outros amigos que, pelo espírito de companheirismo, apoiaram-me e incentivaram-me no dia-a-dia;
- a todos aqueles que se propuseram como voluntários para as medidas susceptométricas hepáticas;
- às enfermeiras Alexandra e Vera, pelo acompanhamento aos pacientes durante as medidas susceptométricas;
- à FAPESP, ao CAPES e CNPq, por terem proporcionado os subsídios necessários à realização deste trabalho;
- enfim, a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, estiveram presentes e disponíveis para me ajudar.

Índice

I – Introdução	1
II – Conceitos básicos.....	6
II.1 – O fígado: anatomia fisiológica e funcional	6
II.2 – O ferro no corpo humano	9
<i>II.2.1 – Causa da sobrecarga de ferro.....</i>	<i>13</i>
<i>II.2.2 – Remoção do excesso de ferro.....</i>	<i>15</i>
II.3 – Métodos de análises do nível de ferro no corpo humano.....	17
<i>II.3.1 – Concentração da proteína ferritina e/ou ferro ligado à proteína no plasma</i>	<i>17</i>
<i>II.3.2 – Biópsia da agulha</i>	<i>18</i>
<i>II.3.3 – Susceptometria magnética</i>	<i>19</i>
<i>II.3.4 – Imagem por ressonância magnética.....</i>	<i>19</i>
II.4 – A interação do campo magnético com a matéria	20
<i>II.4.1 – A magnetização.....</i>	<i>21</i>
<i>II.4.2 – Suscetibilidade de um material composto de N diferentes moléculas.....</i>	<i>23</i>
II.5 – Fluxo magnético sobre o sensor	24
II.6 –O biossusceptômetro supercondutor.....	27
II.7 – A Medida da suscetibilidade magnética no fígado.....	29
II.7.1 – Quantificação do ferro no tecido hepático através da medida susceptométrica.....	31
III – Simulações computacionais	33
III.1 – Resolução da integral de fluxo.....	33

III.2 – Detalhes de alguns arranjos susceptométricos	35
<i>III.2.1 – Detector gradiométrico axial de segunda ordem</i>	<i>36</i>
<i>III.2.2 – Detector gradiométrico planar de primeira ordem.....</i>	<i>41</i>
III.3 – O modelo geométrico do torso simulador.....	46
III.4 – O Fluxo magnético sobre as bobinas detectoras na medida susceptométrica do fígado.....	48
III.5 - Avaliação das incertezas na determinação do ferro hepático	54
<i>III.5.1 – Incerteza na avaliação da ferritina devido às dispersões nos parâmetros dos tecidos.....</i>	<i>55</i>
<i>III.5.2 – Incerteza na avaliação da ferritina devido às dispersões nos parâmetros dos pulmões.....</i>	<i>56</i>
<i>III.5.3 – Incerteza na avaliação da ferritina devido às dispersões nos parâmetros do fígado.....</i>	<i>58</i>
<i>III.5.4 – Incerteza na avaliação da ferritina devido às dispersões na instrumentação.....</i>	<i>59</i>
IV – O sistema susceptométrico	64
IV.1 – O módulo de excitação e detecção.....	64
IV.2 – O módulo de posicionamento.....	66
<i>IV.2.1 – O sistema pneumático para o deslocamento da cama.....</i>	<i>67</i>
<i>IV.2.2 – O sistema de fixação do paciente sobre a cama.....</i>	<i>68</i>
IV.3 – O módulo de aquisição e de análise dos dados.....	69
IV.4 – Avaliação e calibração do sistema susceptométrico	70
IV.5 – Acoplamento com água entre o sensor e o torso.....	78
IV.6 – Resposta do susceptômetro simulada para diferentes partes do torso.....	81
<i>IV.6.1 – Estimativa das incertezas nas medidas in vivo</i>	<i>85</i>

IV.7 – Magnetização da amostra usando-se o campo terrestre	85
V – Biópsia magnética do ferro hepático	89
V.1 – Medidas <i>in vivo</i> sem a bolsa de água	90
V.2 – Medidas <i>in vivo</i> com a bolsa de água	95
VI – Resultado e Discussão	102
VII – Conclusão	111
VII.1 – Proposta para trabalhos futuros	113
VIII – Referências	115
Apêndice A	124
Apêndice B	127

Lista de figuras

Figura II.1: Detalhes anatômicos do posicionamento do fígado e órgãos vizinhos	6
Figura II.2: Perfil da superfície parietal do fígado e das divisões fisiológicas	7
Figura II.3: Diferentes formas geométricas do fígado humano	7
Figura II.4: Esquema simplificado do ciclo de ferro normal no corpo humano	10
Figura II.5: Detalhes da molécula de ferritina	11
Figura II.6: Esquema do acoplamento do transformador de fluxo a um SQUID	28
Figura II.7: Bobinas gradiométricas	28
Figura II.8: Esquema da medida susceptométrica na região do fígado	30
Figura III.1: Geometria das espiras usadas nas bobinas do sistema susceptométrico... 35	
Figura III.2: Detalhes do acoplamento entre um detector gradiométrico de segunda ordem e uma bobina de excitação não homogênea.....	37
Figura III.3: Mapa das linhas de isossensibilidade de um susceptômetro composto de um detector gradiométrico de segunda ordem e excitação magnética não homogênea.....	38
Figura III.4: Mapa das linhas de isossensibilidade de um susceptômetro composto de um detector gradiométrico de segunda ordem e excitação magnética homogênea	39
Figura III.5: Fluxo magnético sobre o susceptômetro de campo homogêneo.....	40
Figura III.6: Fluxo magnético sobre o susceptômetro de campo não homogêneo	41
Figura III.7: Mapa das linhas de isossensibilidade de um susceptômetro composto de um detector gradiométrico planar de primeira ordem e excitação homogênea.....	42
Figura III.8: Mapa das linhas de isossensibilidade de um susceptômetro composto de um detector gradiométrico planar de primeira ordem e excitação não homogênea	43
Figura III.9: Perfil do fluxo magnético sobre as bobinas sensoras dos susceptômetros apresentado na figura III.9 e figura III.10	44
Figura III.10: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.9	44
Figura III.11: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.10	45
Figura III.12: Modelo geométrico do torso usado no cálculo da integral de fluxo, representando a medida susceptométrica do ferro hepático	47
Figura III.13: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.4 , simulado para diferentes distâncias entre o torso e a bobina sensora	50
Figura III.14: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.3 , simulado para diferentes distâncias entre o torso e a bobina sensora	50

Figura III.15: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.5 , simulado para diferentes distâncias entre o torso e a bobina sensora	51
Figura III.16: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.6 , simulado para diferentes distâncias entre o torso e a bobina sensora	51
Figura III.17: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.4 , simulado para diferentes distâncias entre o torso e o sensor e esse espaço preenchido com água.	53
Figura III.18: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura III.3 , simulado para diferentes distâncias entre o torso e o sensor e esse espaço preenchido com água.	54
Figura IV.1: Esquema simplificado do sensor magnético usado no sistema susceptométrico.....	66
Figura IV.2: Detalhes do sistema pneumático desenvolvido para fazer o deslocamento vertical de uma cama	68
Figura IV.3: Colchão de bolinhas de isopor usado na fixação do paciente e/ou voluntário: (a) forma normal – sem molde; (b) forma moldada por um torso	69
Figura IV.4: Esquema simplificado do sistema susceptométrico	70
Figura IV.5: Ruído do sistema susceptométrico medido na saída do SQUID	72
Figura IV.6: Ruído do sistema susceptométrico medido na saída do <i>lock-in</i>	72
Figura IV.7: O <i>phantom</i>	73
Figura IV.8: Resposta do susceptômetro para diferentes concentrações de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ em um volume esférico.....	74
Figura IV.9: Resposta do sistema susceptométrico para concentrações de ferro III solvido em água, equivalente ao nível de ferritina hepática em indivíduos normais	75
Figura IV.10: Curva de calibração do sistema.....	77
Figura IV.11: Resposta do susceptômetro para o <i>phantom</i> com água.....	77
Figura IV.12: Variação do fluxo magnético, simulado sobre o sensor gradiométrico para diferentes diâmetros de uma coluna de 30 cm de água posicionada inicialmente a 0.012 m da bobina sensora e deslocada 0.1 m.....	79
Figura IV.13: Perfil do acoplamento da bolsa de água ao torso	79
Figura IV.14: Perfil do fluxo magnético sobre o sensor gradiométrico para medidas susceptométricas realizadas: a) apenas no <i>phantom</i> cilíndrico com água; b) no <i>phantom</i> com o acoplamento da bolsa de água; c) sem amostra.....	80
Figura IV.15: Resposta do sistema susceptométrico para solução de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ com concentrações equivalentes ao nível de ferritina hepática em indivíduos normais (0,1 – 0,5 mgftn/g _{tecido}), usando-se a bolsa de água sobre o <i>phantom</i>	81
Figura IV.16: Mapa das linhas de isossensibilidade do susceptômetro apresentado na figura IV.4	82
Figura IV.17: Fluxo magnético sobre o susceptômetro da figura IV.4 , simulado para diferentes distâncias entre o torso e a bobina sensora	83

Figura IV.18: Equivalente em ferritina no fígado para a contribuição magnética, gerado pela presença dos pulmões, estimado para várias distâncias entre o eixo de simetria axial do gradiômetro e o início dos pulmões	84
Figura IV.19: Sistema desenvolvido para vibrar a amostra no campo terrestre para a medida da suscetibilidade magnética, usando-se o sensor SQUID-RF	86
Figura IV.20: Resposta do sistema para a medida da susceptibilidade magnética usando-se o campo terrestre para a magnetização da amostra	87
Figura IV.21: Medida susceptométrica realizada num conjunto de soluções de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, com diferentes concentrações.....	88
Figura V.1: Esquema do posicionamento e do procedimento de medida da suscetibilidade magnética “in vivo”, realizada em ambos o lados do torso (esquerdo e direito), com a pessoa deitada em decúbito lateral	91
Figura V.2: Resposta do susceptômetro para medida da susceptometria hepática realizada sem o uso de uma bolsa de água	92
Figura V.3: Resposta do sistema susceptométrico versus a distância sensor-torso, para as medidas realizadas no lado direito e no lado esquerdo do torso.....	93
Figura V.4: Quantidade de ferritina avaliada no fígado de pessoas normais e com sobrecarga de ferro, usando-se a biópsia magnética sem o uso de uma bolsa de água entre o sensor e o torso.....	94
Figura V.5: Resposta do susceptômetro para as aquisições repetidas em um mesmo voluntário.....	97
Figura V.6: Resposta do susceptômetro para uma medida feita num voluntário normal e num paciente talassêmico com sobrecarga de ferro ($\sim 4 \text{ mg ftn/g}_{\text{tecido úmido}}$).....	97
Figura V.7: Diagrama das concentrações de ferro avaliadas no fígado de pessoas normais e com sobrecarga de ferro, com a técnica susceptométrica, fazendo-se uso de uma bolsa de água entre o sensor e o torso.....	100
Figura V.8: Nível de ferritina avaliado no fígado de pessoas assintomáticas e com sobrecarga de ferro, através da medida susceptométrica realizada em ambos os lados do torso, com a bolsa de água acoplada a ele	100
Figura VI.1: Comparação entre os níveis de ferro hepático avaliados com as duas formas indicadas pelas expressões V.1 e V.2 para os pacientes	103
Figura VI.2: Diagrama das concentrações de ferro hepático em pacientes talassêmicos, quantificadas pela biópsia magnética usando-se os dois diferentes métodos de avaliação apresentados pelas expressões V.1 e V.2.....	103
Figura VI.3: Diagrama da variação do sinal susceptométrico com e sem o uso de cancelamento ativo.....	105
Figura VI.4: Correlação entre o ferro avaliado pela biópsia magnética e a ferritina no plasma avaliada pelo Hemocentro de Ribeirão Preto	106
Figura VI.5: Correlação entre o ferro avaliado pela biópsia magnética e a quantidade total de ferro recebido por massa do corpo, anualmente	107

Figura VI.6: Correlação entre a quantidade de ferro avaliada pela biópsia magnética e a dose total de quelante (desferal) recebido por massa do corpo, anualmente.....	107
Figura VI.7: Correlação entre a ferritina avaliada no plasma e a quantidade total de ferro recebida por massa do corpo, anualmente.....	108
Figura VI.8: Correlação entre a ferritina avaliada no plasma e a dose total de quelante (desferal) recebida por massa do corpo, anualmente.....	108
Figura VI.9: Correlação entre a quantidade total de ferro recebida e a dose total de quelante recebida por massa do corpo, anualmente.....	109
Figura B.1: Detalhes da eletrônica de cancelamento ativo e de sua conexão ao sistema susceptométrico.....	129
Figura B.2: Tela principal do programa de controle e aquisição do susceptômetro	131
Figura B.3: Tela do programa de controle do <i>lock-in</i>	131
Figura B.4: Tela do programa de controle e aquisição do susceptômetro.....	132

Lista de tabelas

Tabela II.1: Valores estimados da suscetibilidade volumétrica dos principais constituintes do torso humano.....	23
Tabela III.1: Incertezas na avaliação do nível de ferro no tecido hepático	60
Tabela III.2: Variação da concentração de ferritina no tecido hepático, avaliada variando-se a geometria do fígado.....	62
Tabela IV.1: Descrição dos parâmetros do sistema de magnetização	65
Tabela IV.2: Incertezas na avaliação do nível de ferro no tecido hepático para a medida susceptométrica	85
Tabela V.1: Dados das medidas susceptométricas realizadas em voluntários (V) assintomáticos e pacientes (P), sem o uso de uma bolsa de água.....	94
Tabela V.2: Dados das medidas susceptométricas realizadas em voluntários assintomáticos (V) e pacientes (P), com o uso da bolsa de água	99
Tabela V.3: Medidas da biópsia magnética do ferro hepático, repetidas 6 vezes no mesmo voluntário assintomático, em horários e dias diferentes	101
Tabela VI.1: Resultados da quantificação do ferro hepático, usando-se a biópsia magnética em pessoas assintomáticas e com sobrecarga de ferro	109
Tabela VII.1: Comparação entre os principais parâmetros do susceptômetro desenvolvido e os do comercializado pela <i>Tristan Technologies</i>	113

Resumo

Este trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema para medir a magnetização de amostras paramagnéticas e diamagnéticas em grandes volumes. Sua principal aplicação tem sido a medida susceptométrica do tecido hepático para a quantificação da sobrecarga de ferro no fígado. Esse excesso de ferro no corpo é comum em pacientes talassêmicos e falcêmicos, que são regularmente submetidos a transfusões de sangue e, em pacientes com hemocromatose. Em pessoas normais, esse depósito de ferro pode conter entre 0,1 e 0,5 mg de ferritina (ftn) por grama de tecido úmido ($\text{mg ftn/g}_{\text{tecido úmido}}$). Quando com sobrecarga, pode alcançar até 30 $\text{mg ftn/g}_{\text{tecido úmido}}$. A contribuição diamagnética devido à presença dos tecidos biológicos (água, pele, gordura, músculo, nervo, osso, etc) é equivalente à contribuição paramagnética devido à presença de, aproximadamente, 6 $\text{mg ftn/g}_{\text{tecido úmido}}$ distribuídos no tecido hepático. Essa intensa contribuição diamagnética foi sensivelmente reduzida com o uso de uma bolsa de água acoplada ao torso. Medidas *in vitro* foram realizadas num *phantom*, composto de um tubo cilíndrico de acrílico preenchido com água e uma esfera de plástico, acoplada internamente ao cilindro, preenchida com solução de Fe^{3+} . O volume cilíndrico representa os tecidos e o esférico representa o fígado. Medidas *in vivo* foram realizadas com duas modalidades: com e sem o uso da bolsa de água sobre o torso. Essas medidas foram efetuadas em voluntários assintomáticos e pacientes talassêmicos sob tratamento no Hemocentro de Ribeirão Preto (HRP). A medida da magnetização foi realizada com um gradiômetro axial de segunda ordem, acoplado a um SQUID-RF. A amostra foi magnetizada com um campo magnético AC e homogêneo. Os resultados confirmaram a sensibilidade da técnica para quantificar níveis de ferro hepático em pacientes com sobrecarga, com eficiência de diferenciar níveis equivalentes àqueles encontrado(s) em pessoas normais. A automatização da instrumentação e a aquisição dos dados foram feitas em ambiente LabView e as simulações dos modelos, apresentadas juntamente com os processamentos dos sinais, foram realizadas em ambiente MatLab.

Abstract

This work consisted in the development of a system to measure the magnetization of large paramagnetic and diamagnetic samples. The main application was susceptometric measurements of the hepatic tissue for quantification of the iron overload. Iron excess is commonly observed in thalassemic and sickle cell anemia patients who have repeatedly received red blood cell transfusions for prevention or treatment of chronic complications and in patients with hemochromatosis. In normal subjects, iron concentration is usually between 0.1 and 0.5 mg of ferritin by gram of wet tissue (mg ftn/g_{wet tissue}). However, in individuals with the above diseases, it can reach up to 30 mg ftn/g_{wet tissue}. The diamagnetic contribution due to the presence of biological tissues (water, skin, fat, muscle, nerve, bone, etc) is equivalent to the paramagnetic contribution due to the presence of approximately 6 mg ftn/g_{wet tissue} distributed in the hepatic tissue. This intense diamagnetic contribution was markedly reduced by using a water bag coupled to the subject's torso. Measurements *in vitro* were performed in a phantom composed of a cylindrical acrylic tube, filled with pure water containing a plastic sphere placed off axis to simulate the liver position. The sphere was filled with a Fe³⁺ solution to simulate different iron concentration present in the liver. Measurements *in vivo* were performed in thalassemic patients undergoing treatment at the Hemocentro de Ribeirão Preto (HRP) and in normal subjects using two different modalities: with and without the use of the water bag on the torso. The measurements of the magnetization were made using a second order axial gradiometer coupled to a RF SQUID. The sample was magnetized using a homogeneous AC magnetic field. The results confirmed the sensitivity of the technique to quantify levels of hepatic iron in patients with overload, with efficiency of differentiating iron levels equivalent to that found in normal subjects. Automation of instrumentation and data acquisition were done in LabView (National Instruments) and susceptometric models simulations and the signal processing were done in MatLab environment.