UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA E INFORMÁTICA

“Interface Gráfica para um Sistema de Imagens por Ressonância Magnética”

Rodrigo Villares Portugal

Dissertação apresentada ao Instituto de Física de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências “Física Aplicada – opção Física Computacional”.

Orientador: Prof. Dr. Horácio Carlos Panepucci

OK

São Carlos – São Paulo
1999

Portugal, Rodrigo Villares.

Interface Gráfica para um Sistema de Ressonância Magnética /Rodrigo Villares Portugal. – São Carlos, 1998.

108 p.

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física de São Carlos, 1998.

Orientador: Prof. Dr. Horácio Carlos Panepucci

1. Interface com o usuário. 2. Ressonância Magnética.
I. Título

IFSC **UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO**

Instituto de Física de São Carlos
E-mail: wladerez@if.sc.usp.br

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
CEP 13560-250 - São Carlos - SP
Brasil

Fone (016) 273-9333

Fax (016) 272-2218

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
RODRIGO VILLARES PORTUGAL APRESENTADA AO INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO
CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM 28 DE SETEMBRO DE 1998.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Horácio Carlos Panepucci/IFSC-USP

Prof. Dr. Alberto Tannús/UIFSC-USP

Prof. Dr. Sérgio Shiguemi Furuie/INCOR

/

Aos meus pais e irmãs pelo amor, carinho e apoio que sempre me dedicaram.

Agradecimentos

Ao Prof. Panepucci, pela oportunidade de trabalhar em um projeto como este, que tantas oportunidades e ensinamentos tem me trazido.

À todos os companheiros de laboratório, em especial ao Mateus, Édson, Henrique e Kleber, pelo valoroso apoio e pelas diversas discussões durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos, que durante todos estes anos têm me apoiado e incentivado.

Ao CNPq pelo apoio financeiro através das bolsas de mestrado e do programa RHAE, concedidas para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	1
2	FORMAÇÃO DE IMAGENS POR RM	5
2.1	Spin Nuclear e Momento Magnético Nuclear	5
2.2	Frequência de Larmor e Ressonância.....	6
2.3	Magnetização de um voxel.....	8
2.4	Excitação e Relaxação do voxel.....	9
2.5	Como usar RM para fazer imagens	12
3	PROJETO TORM	17
3.1	TORM 005	17
3.2	TORM 05	20
4	METODOLOGIA	24
4.1	Análise do sistema.....	25
4.2	Desenvolvimento do Protótipo.....	28
4.3	Implementação, integração e testes.	29

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....30

5.1 Análise e especificação de requisitos 31

5.2 Elaboração do Protótipo 33

5.3 TORM GUI 35

5.4 TORM Image 52

5.5 PosProc..... 55

5.6 Servidor WWW do Grupo de MRI 56

6 CONCLUSÕES.....60

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....63

ANEXO A: REQUISITOS

ANEXO B: FORMATOS DE IMAGENS E DADOS UTILIZADOS

ANEXO C: CÁLCULO DAS DIREÇÕES DE LEITURA, FASE E SELEÇÃO

APÊNDICE I: MÓDULOS EXTERNOS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - POSSÍVEIS VALORES DE SPIN PARA UM ÁTOMO COM $I=1/2$.	5
FIGURA 2 - PRECESSÃO DO MOMENTO MAGNÉTICO NUCLEAR EM TORNO DE UM CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO.	6
FIGURA 3 – A) MOVIMENTO DE PRECESSÃO DO CAMPO MAGNÉTICO B_1 EM TORNO DE B_0 . B) MOVIMENTO DE PRECESSÃO DE μ EM TORNO DE B_0 E DE B_1 .	7
FIGURA 4 - EQUIVALÊNCIA ENTRE UM CAMPO MAGNÉTICO OSCILANTE AO LONGO DE UMA DIREÇÃO E DOIS CAMPOS MAGNÉTICOS GIRANDO EM SENTIDOS OPOSTOS.	8
FIGURA 5 - MAGNETIZAÇÃO M_0 DE UM VOXEL. ESTA É A MAGNETIZAÇÃO RESULTANTE DAS DIVERSAS MAGNETIZAÇÕES INDIVIDUAIS DOS ÁTOMOS QUE COMPÕE O VOXEL.	9
FIGURA 6 – A) MAGNETIZAÇÃO RESULTANTE DE UM VOXEL GIRANDO EM TORNO DO EIXO Y DEVIDO A PRESENÇA DE UM CAMPO MAGNÉTICO B_1 AO LONGO DESTA DIREÇÃO. B) COMPONENTES TRANSVERSAL E LONGITUDINAL DA MAGNETIZAÇÃO DO VOXEL.	10
FIGURA 7 - DESLOCAMENTO DA MAGNETIZAÇÃO M_0 DO VOXEL APÓS UM PULSO DE RF DE $\pi/2$ E π .	10
FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DA MAGNETIZAÇÃO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL DO VOXEL APÓS A APLICAÇÃO DO PULSO DE RF. T_1 E T_2 SÃO OS TEMPOS CARACTERÍSTICOS DESTAS EXPONENCIAIS.	11
FIGURA 9 – A) COMPONENTE Y DA MAGNETIZAÇÃO TRANSVERSAL, M_{Ty} . B) EVOLUÇÃO DA COMPONENTE Y DA MAGNETIZAÇÃO TRANSVERSAL AO LONGO DO TEMPO.	12
FIGURA 10 - RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE DOIS RECIPIENTES CONTENDO ÁGUA SUBMETIDOS A UM GRADIENTE DE CAMPO MAGNÉTICO.	13
FIGURA 11 - FIDS RELATIVOS ÀS COLUNAS 1 E 2 DA FIGURA 10. A DIFERENÇA ENTRE AS FREQUÊNCIAS DE OSCILAÇÃO DOS DOIS SINAIS É DEVIDO ÀS DIFERENTES INTENSIDADES DE CAMPO MAGNÉTICO.	14
FIGURA 12 - FID RESULTANTE DA COMBINAÇÃO DOS FIDS MOSTRADOS NA FIGURA 11	14
FIGURA 13 - APLICAÇÃO DOS GRADIENTES DE CAMPO G_z , PARA SELEÇÃO DO PLANO E G_y E G_x PARA A CODIFICAÇÃO DE FASE E FREQUÊNCIA, RESPECTIVAMENTE...	15
FIGURA 14 – REPRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA SPIN ECHO, MOSTRANDO OS PULSOS DE RF E GRADIENTES APLICADOS E O SINAL ADQUIRIDO.	16
FIGURA 15 - DIAGRAMA DO SISTEMA DE CONTROLE DO TORM 005.	17

FIGURA 16 – ESTRUTURA DE PROGRAMAS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DE UMA AQUISIÇÃO. OS RETÂNGULOS ARREDONDADOS SÃO OS MÓDULOS COM OS QUAIS O USUÁRIO DEVE INTERAGIR DIRETAMENTE.	19
FIGURA 17 - DIAGRAMA DO SISTEMA COMPUTACIONAL DO TORM 05, A SER INSTALADO NA SANTA CASA DE SÃO CARLOS.	21
FIGURA 18 – PROGRAMAÇÃO DO POSICIONAMENTO DA AQUISIÇÃO NO TORM 005.....	22
FIGURA 19 – PROGRAMAÇÃO DO POSICIONAMENTO DA AQUISIÇÃO NO TORM 05.....	22
FIGURA 20 - CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE COM O USUÁRIO INTEGRADO AO CICLO DE DESENVOLVIMENTO GERAL DO SOFTWARE DE CONTROLE DO SISTEMA.	24
FIGURA 21 – CICLO DE VIDA ESPIRAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE....	25
FIGURA 22 – EXEMPLO DE REGISTROS DO LÉXICO AMPLIADO DA LINGUAGEM, ELABORADO PARA O SISTEMA TORM 005. AS SETAS INDICAM A CIRCULARIDADE ENTRE O VOCABULÁRIO.....	27
FIGURA 23 – PROGRAMA LÉXICO AMPLIADO DA LINGUAGEM. ESTE, FOI UTILIZADO DURANTE A ETAPA DE ANÁLISE DE REQUISITOS PARA A AUTOMATIZAÇÃO DA CONSULTA AO LAL.	33
FIGURA 24 - DIGRAMA DE CAMADAS DA TORM GUI.....	39
FIGURA 25 - TELA DO SISTEMA DURANTE A REALIZAÇÃO DE UM EXAME.	41
FIGURA 26 - TELA DE PROGRAMAÇÃO DOS DADOS DO PACIENTE.	43
FIGURA 27 - TELA DE PROGRAMAÇÃO DOS DADOS DA AQUISIÇÃO. NESTA GUIA SÃO PROGRAMADOS OS DADOS REFERENTES AO POSICIONAMENTO.....	44
FIGURA 28 - JANELA DE VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS.....	46
FIGURA 29 – JANELA DE CONFIGURAÇÃO DO ASSISTENTE DE PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA.	47
FIGURA 30 – CLASSES UTILIZADAS NA CAMADA DE OBJETOS DA IU E A COMUNICAÇÃO ENTRE ELAS. AS INSTÂNCIAS DAS CLASSES QUE ESTÃO ACIMA POSSUEM INSTÂNCIAS DAS QUE ESTÃO IMEDIATAMENTE ABAIXO.....	48
FIGURA 31 - DIAGRAMA DE BLOCOS DOS MÓDULOS QUE COMPÕE A PRIMEIRA VERSÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DO TOMÓGRAFO.	53
FIGURA 32 – TORM IMAGE UTILIZADO NO SISTEMA PARA A VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS DE UM PHANTOM. SÃO MOSTRADAS AS JANELAS DE AJUSTE DE W/L E INFORMAÇÕES DA IMAGEM. A BARRA DE CONTROLE COLOCADA NA LATERAL ESQUERDA É UM DOS MÓDULOS QUE TEVE DE SER DESENVOLVIDO PARA POSSIBILITAR A INTEGRAÇÃO DOS PROGRAMAS.....	54
FIGURA 33 – PROGRAMA POSPROC, DESENVOLVIDO PARA UTILIZAÇÃO NO TORM 005. APÓS ADQUIRIDAS, AS IMAGENS SÃO MARCADAS E INFORMAÇÕES SÃO ADICIONADAS UTILIZANDO-SE ESTE PROGRAMA.	55

FIGURA 34 - ESTRUTURA INICIAL DO SITE IMPLEMENTADO PARA O PROJETO TORM. 57

FIGURA 35 - TELA UTILIZADA PARA VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS E INFORMAÇÕES DO EXAME SELECIONADO. O USUÁRIO PODE ENVIAR COMENTÁRIOS SOBRE AS IMAGENS..... 58

FIGURA 36 - DIAGRAMA SADT GERAL DA INTERFACE COM O USUÁRIO DO SISTEMA TORM05..... 79

FIGURA 37 - DIAGRAMA SADT DA REALIZAÇÃO DE UM EXAME..... 80

FIGURA 38 - DIAGRAMA SADT DA PROGRAMAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM EXAME. 80

FIGURA 39 - DIAGRAMA SADT DA EXECUÇÃO DA PRÉ AQUISIÇÃO..... 81

FIGURA 40 - DIAGRAMA SADT DA EXECUÇÃO DA AQUISIÇÃO..... 81

FIGURA 41 - DIAGRAMA SADT DO PROCESSAMENTO DE DADOS..... 82

FIGURA 42 - DIAGRAMA SADT DA VISUALIZAÇÃO DE EDIÇÃO DE IMAGENS..... 82

FIGURA 43 – INTEGRAÇÃO ENTRE O COMPONENTE TORMVBX E A INTERFACE COM O USUÁRIO. EMBORA AS FUNÇÕES DE CÁLCULO APAREÇAM SEPARADAMENTE ELAS ESTÃO INTEGRADAS AO MÓDULO TORMVBX. 2

FIGURA 44 – INTEGRAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES TORMOCX, TORM32, TORMACQ E A INTERFACE COM O USUÁRIO..... 3

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – SISTEMAS DE MRI ESTUDADOS DURANTE A ETAPA DE ANÁLISE E ESPECIFICAÇÃO DOS REQUISITOS	28
TABELA 2 – DOCUMENTOS ELABORADOS DURANTE A ETAPA DE ANÁLISE E ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	32
TABELA 3 – COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS GYROSCAN E SIGNA COM RELAÇÃO ÀS ASPECTOS DE SUAS INTERFACES COM O USUÁRIO.	37
TABELA 4 – ESTRUTURA DE UM ARQUIVO NO FORMATO DAT	83
TABELA 5 – HEADER DE CADA CONJUNTO DE DADOS EM UM ARQUIVO NO FORMATO DTF	84
TABELA 6 – ESTRUTURA DE UM ARQUIVO NO FORMATO PAC	85
TABELA 7 – HEADER DE CADA IMAGEM EM UM ARQUIVO NO FORMATO IMR.	85
TABELA 8 – EXEMPLO DE UM ARQUIVO TIFF GRAYSCALE PARA UMA IMAGEM DE TAMANHO 256X256 PIXELS, 25X25 CM, 256 TONS DE CINZA E SEM COMPRESSÃO.	87
TABELA 9- PARÂMETROS DE ATRIBUIÇÃO DOS CANAIS DE SAÍDA DOS GRADIENTES EM GDSET.PAR.	89
TABELA 10 – VALORES DOS PARÂMETROS DE SETANG.CMD USADOS PARA A MATRIZ DE CO-SENOS DIRETORES.	89
TABELA 11 – MÓDULOS EXTERNOS UTILIZADOS PELOS PROGRAMAS DESENVOLVIDOS COMO PARTE DESTE TRABALHO.	1

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento da interface com o usuário para um tomógrafo por ressonância magnética, a ser instalado na Santa Casa de São Carlos. O objetivo desta interface é permitir, ao usuário clínico, uma fácil e rápida operação do sistema. Os principais resultados obtidos foram a especificação dos requisitos, do sistema a ser desenvolvido, e uma implementação parcial da interface com o usuário.

Durante este projeto, também foram desenvolvidos dois outros programas: PosProc, que automatiza o pós-processamento de imagens, no sistema já instalado no IFSC, e TORM Image, um programa para visualização de imagens no formato IMR, também desenvolvido no grupo. Além disso, foi implementado um site na Internet, para divulgar aspectos relativos ao grupo de MRI do IFSC/USP - São Carlos e à própria técnica. Foi implementada uma versão inicial de uma ferramenta para avaliação clínica utilizando a Internet, projeto este que ainda está em andamento.

ABSTRACT

This work describes the development of a user interface to a magnetic resonance scanner, to be installed at Santa Casa in São Carlos. The objective of this interface is to allow, to the clinical user, an easy and fast operation of the system. The major results obtained were the requirement specification, of the system to be developed, and a partial implementation of the user interface.

During this project two other programs were also developed: PosProc, that automates the post-processing of images, in the system already installed in IFSC, and TORM Image, a visualization program for IMR images, a local standard. Furthermore, an Internet site was implemented to get across aspects related to the MRI group of IFSC/USP – São Carlos and the technique itself. It was implemented a primer version of an Internet clinical valuation web tool. This project is still going on.

1 INTRODUÇÃO

Até o início dos anos 80, a espectroscopia por ressonância magnética¹ (RM) era largamente utilizada como uma poderosa ferramenta para obtenção de informações químicas em materiais e in vivo. A partir daí, novos métodos e equipamentos começaram a ser desenvolvidos para possibilitar a visualização das informações obtidas através da RM em forma de imagens². Isto abriu uma nova linha de pesquisa nesta área, a de imagens por RM (Magnetic Resonance Imaging^{3,4,5,6} – MRI), ou simplesmente ressonância, como é conhecida no meio médico. Essa técnica permite a obtenção de imagens internas não invasivas sem a utilização de radiação ionizante e sem a necessidade de aplicação de contraste radiativo.

Desde então, a ressonância tem se mostrado uma poderosa técnica de diagnóstico por imagem, tornando-se cada vez mais difundida. As suas possibilidades vão muito além das disponíveis em Raios-X convencionais e na Tomografia Computadorizada por Raios-X (CT). As imagens obtidas com estas técnicas são essencialmente anatômicas e oferecem pouca informação sobre a funcionalidade e fisiologia dos órgãos e tecidos. Além disso, algumas patologias possuem propriedades de absorção de Raios-X similar a tecidos que estejam nas suas proximidades, fazendo com que não haja contraste entre a patologia e os tecidos adjacentes. Nestes casos, para serem visualizadas, as patologias precisam ser grandes o suficiente para alterarem o tamanho do órgão observado, ou evoluírem o suficiente para causarem alterações nas propriedades de absorção, o que muitas vezes pode significar um diagnóstico tardio.

Uma importante característica da RM, que a torna especialmente útil na obtenção de imagens clínicas, é a possibilidade de se observar uma única espécie atômica e poder distinguir entre elementos desta, em diferentes ligações químicas. Utilizando este princípio para a realização de imagens, podemos ter contraste entre diferentes tecidos e também entre diferentes ambientes químicos de um mesmo tecido. As imagens obtidas através desta técnica podem dar informações funcionais e fisiológicas, além de anatômicas. Desta maneira, a ressonância torna-se uma importante aliada no diagnóstico de patologias em tecidos moles e

causadoras de anomalias bioquímicas, além de poder propiciar um diagnóstico precoce.

Segundo Andrew⁷, as principais vantagens da tomografia por ressonância magnética nuclear são:

- Ausência de malefícios conhecidos: MRI é uma técnica não invasiva e não utiliza radiação ionizante;
- Discriminação de tecidos: consegue boa discriminação entre diferentes tecidos com mesma densidade;
- Discriminação patológica: consegue boa discriminação entre um tecido sadio e o mesmo tecido com alguma anomalia;
- Seleção do plano da imagem: pode adquirir imagens em qualquer orientação desejada;
- Penetração: a radiação eletromagnética utilizada penetra facilmente através dos ossos e demais tecidos sem atenuação significativa, permitindo, por exemplo, imagens do interior do crânio;
- Hidrogênio: MRI mede a distribuição e propriedades de átomos de hidrogênio, que é o elemento mais abundante nos sistemas vivos.

Podemos citar também, como uma vantagem, o fato de MRI ser uma técnica intrinsecamente volumétrica, ou seja, pode adquirir informações sobre volumes e não sobre planos. Isso faz com que a resolução na imagem seja isotrópica independente da direção escolhida.

Em 1983, o grupo de RM do Instituto de Física de São Carlos (IFSC-USP) começou suas pesquisas em MRI⁸. Inicialmente, foi desenvolvido um protótipo de um sistema de MRI que utilizava um magneto resistivo operando em 0,8 Tesla. As primeiras imagens deste sistema foram obtidas em março de 1983, sendo estas as primeiras do hemisfério sul. Em 1985, iniciou-se o desenvolvimento de um sistema que utilizaria um magneto supercondutor de 2,0 Tesla. Este seria capaz de obter imagens de objetos de até 15 cm de diâmetro e, em 1987, foram obtidas imagens in vivo de extremidades humanas. Em 1988, iniciou-se um projeto para a construção de um sistema de corpo inteiro, o TORM 005, assim chamado porque utilizaria um magneto resistivo de 0,05 Tesla. Este, por sua vez, seria capaz de acomodar uma pessoa em seu interior, possibilitando a obtenção de imagens de qualquer parte do corpo. As primeiras imagens de cabeça de voluntários foram obtidas no fim de 1988. Diversas melhorias e novas implementações foram feitas

neste sistema para que pudesse ser utilizado para a obtenção de diagnósticos clínicos. Em meados de 1992, iniciou-se o atendimento clínico a pacientes da região.

Atualmente, está em fase final de desenvolvimento um novo sistema, o TORM 05. O objetivo deste projeto é o desenvolvimento, construção, instalação e operação em ambiente clínico, de um sistema de MRI de 0,5 Tesla, o que será feito na Santa Casa de São Carlos. Além das vantagens advindas do aumento do campo magnético, este sistema permitirá importantes avanços na engenharia do produto pois, pela primeira vez, ele estará sendo instalado e operado num ambiente hospitalar.

As atividades necessárias para o desenvolvimento deste novo equipamento podem ser divididas em dois grandes grupos:

- Hardware: a migração de um campo de 0,05T para um campo de 0,5T implica em uma alteração da frequência de operação, tornando necessário o desenvolvimento de novos módulos de hardware que operem em 21 MHz. Também será necessário o desenvolvimento de outros módulos para a implementação de características inexistentes no sistema anterior;
- Software: a utilização de uma plataforma computacional PC/Windows®* torna necessário a adaptação de módulos de software já existentes e o desenvolvimento de outros. Além disso, a utilização em um ambiente hospitalar traz novas exigências ao sistema de controle, antes inexistentes.

O desenvolvimento do software para o controle do tomógrafo está dividido nos seguintes grandes grupos:

- Funções de controle dos módulos de hardware;
- Funções de processamento de imagens;
- Sistema de banco de dados (SBD);
- Interface com o usuário (IU).

As funções de controle do hardware bem como as funções de processamento de imagens foram refeitas para se adequarem à nova plataforma computacional. O SBD foi desenvolvido para permitir que o armazenamento e consulta aos dados e imagens seja feito de uma maneira organizada e simples. Neste trabalho, denomina-se IU o programa que será utilizado, pelo usuário, para controlar o sistema. Este programa se comunicará outros módulos de hardware e

* Windows é marca registrada da Microsoft Corporation.

software, permitindo a operação do sistema através de uma única interface. Isto será uma evolução no projeto, pois para o controle dos sistemas anteriores é necessário que o usuário interaja com diversos módulos de software.

Devido a complexidade e quantidade de parâmetros envolvidos na programação de um exame de ressonância, a operação destes sistemas pode tornar-se bastante complicada. Cabe à IU tornar a utilização dos recursos do sistema mais rápida e simples possível.

Entre os modelos comerciais, podem ser encontrados diferentes tipos de IU, variando bastante em sua concepção, dependendo do fabricante. Neste trabalho, optou-se pela implementação de uma interface gráfica com o usuário (Graphical User Interface – GUI), baseada no padrão Windows®.

Para a implementação desta IU, foi feito um extenso trabalho de análise de requisitos envolvendo diversas instituições, modelos de sistemas comerciais, operadores clínicos, médicos e pesquisadores. O resultado desta análise, é um documento de especificação que abrange os mais diversos aspectos do sistema em desenvolvimento. O escopo deste trabalho, no entanto, se restringe ao desenvolvimento de uma IU que possua características básicas que permitam a aquisição e visualização de imagens adquiridas no sistema TORM 05.

Este documento está dividido em seis capítulos, três anexos e um apêndice. O capítulo 1 é esta introdução. No capítulo 2, serão discutidos os fundamentos básicos de MRI, para que se tenha uma idéia dos parâmetros envolvidos e da complexidade desta técnica. O capítulo 3 faz uma introdução ao projeto TORM, no qual se insere este trabalho, detalhando aspectos gerais sobre a arquitetura e software do sistema. O capítulo 4 explica a metodologia utilizada para o desenvolvimento da IU. Em seguida, no capítulo 5 são apresentados os resultados e feitas as discussões e análises a respeito do trabalho e dos resultados obtidos. As conclusões são apresentadas no capítulo 6.

2 FORMAÇÃO DE IMAGENS POR RM

A utilização da técnica de MRI é complexa, pois envolve a programação de diversos parâmetros para a aquisição de uma imagem clínica, que permita o diagnóstico de uma certa patologia. O perfeito entendimento, pelo usuário, de como cada um destes parâmetros pode afetar a imagem, é necessário para a correta utilização do sistema. Para que se entenda esta complexidade, deve-se compreender os princípios físicos de MRI envolvidos. Neste capítulo será feita uma breve discussão, abordando os principais aspectos físicos da obtenção de imagens por RM.

2.1 SPIN NUCLEAR E MOMENTO MAGNÉTICO NUCLEAR

Alguns núcleos atômicos possuem uma propriedade de fundamental importância para a ocorrência do fenômeno da ressonância magnética nuclear, o momento angular ou spin nuclear. Este é uma grandeza vetorial representada por $s = I\hbar$, onde I é o número quântico de spin e $\hbar$ é a constante de Planck dividido por 2π . Fazendo uma analogia clássica, é como se o núcleo atômico possuísse um movimento de rotação em torno do seu próprio eixo, dando origem a um momento angular análogo ao de uma partícula em movimento. Uma importante característica do momento angular é a de ser quantizado, ou seja, só pode assumir determinados valores e posições no espaço. Por exemplo, a Figura 1 mostra, para um átomo com $I=1/2$, as duas possíveis orientações (α e β) de s com relação a um eixo z .

Figura 1 - Possíveis valores de spin para um átomo com $I=1/2$.

Associado ao momento angular existe outra grandeza chamada momento magnético nuclear. Este é uma grandeza vetorial proporcional ao momento angular dada por $\mu = \gamma s$, onde γ é uma constante chamada fator giromagnético, que assume um valor único para cada espécie atômica. Esta característica faz com que a ressonância possa distinguir entre as diversas espécies atômicas de uma amostra analisada, excitando-se seletivamente e obtendo-se informações apenas da espécie desejada. No caso de MRI, é essa característica que permite a obtenção de imagens de um único elemento, embora nos tecidos analisados estejam presentes outros elementos com momentos magnéticos não nulos.

2.2 FREQUÊNCIA DE LARMOR E RESSONÂNCIA

Quando um átomo, que possua momento magnético nuclear, é colocado em um campo magnético estático B_0 , este produz um torque no momento magnético. Este torque, juntamente com momento angular nuclear, fazem com que o momento magnético realize um movimento de precessão em torno do campo magnético estático. A Figura 2 ilustra esta situação para o caso de um átomo de $I=1/2$. O campo magnético B_0 está na direção z, assim como a componente μ_z do momento magnético. As componentes μ_x e μ_y variam periodicamente a medida que

Figura 2 - Precessão do momento magnético nuclear em torno de um campo magnético estático.

μ gira em torno de B_0 .

A frequência de rotação do momento magnético é chamada frequência de Larmor e pode ser obtida através da equação abaixo:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

Como γ é uma constante para cada núcleo, tem-se, para cada espécie atômica, um ω_0 característico em um determinado campo estático. Isto é de fundamental importância para a utilização da RM, tanto em espectroscopia quanto para obtenção de imagens.

Uma outra característica importante, para a RM, é a interação deste átomo, que está na presença de um campo magnético estático, com ondas eletromagnéticas. A presença de um campo eletromagnético faz o momento magnético do átomo interagir não somente com o campo magnético estático B_0 , mas também com o campo magnético oscilante desta onda eletromagnética, aqui chamado B_1 . Este campo magnético B_1 pode ser colocado, convenientemente, girando em torno de B_0 no plano xy com a mesma frequência ω_0 (Figura 3A). Neste caso, tem-se a ressonância entre estes dois sistemas, ou seja, a onda eletromagnética é capaz de transmitir energia para o átomo, alterando o movimento de precessão de μ . Da mesma maneira que μ interage com B_0 e realiza uma precessão, ele também irá interagir com B_1 gerando um movimento de precessão em torno deste. Estes movimentos de precessão farão com que μ gire, num movimento espiral, em direção ao plano xy, como mostrado na Figura 3B.

Figura 3 – A) Movimento de precessão do campo magnético B_1 em torno de B_0 . B) Movimento de precessão de μ em torno de B_0 e de B_1 .

Devido aos valores de B_0 , geralmente utilizados para a realização de imagens por RM, e ao valor do fator giromagnético do hidrogênio, os valores de ω_0 estão na faixa de rádio-frequência (RF). Sendo assim, os pulsos de radiação eletromagnética utilizados para excitar o átomo são, normalmente, chamados de pulsos de RF.

Entretanto, para que isso ocorra, o campo B_1 precisa estar girando em torno de B_0 com uma velocidade angular ω_0 , ou seja, precisa ser um campo circularmente polarizado. Ao invés disso, normalmente é utilizado um campo linearmente polarizado no plano xy, ou seja, uma radiação que oscila apenas ao longo de um eixo. Entretanto, esta oscilação linear pode ser vista como o resultado da composição de dois campos magnéticos girando em sentidos opostos. Como

apenas um destes campos girantes será efetivo na interação com o momento magnético, o efeito final é o mesmo de uma polarização circular. A Figura 4 mostra o campo oscilante $2B_1 \cos(\omega t)$ na direção x. O valor deste varia entre $2B_1$ e $-2B_1$ na direção x. Este campo é equivalente à composição de dois campos B_1 que giram com velocidade ω em sentidos opostos. Um está girando sincronamente com o momento magnético (ω) e o outro está no sentido oposto ($-\omega$). Dessa maneira, o campo B_1 que possui velocidade $-\omega$ estará girando com uma velocidade -2ω com relação ao momento magnético do átomo. Devido à estas velocidades relativas entre os campos girantes e o momento magnético, apenas o campo B_1 que gira sincronamente será efetivo na sua interação com o momento magnético.

Figura 4 - Equivalência entre um campo magnético oscilante ao longo de uma direção e dois campos magnéticos girando em sentidos opostos.

Quando cessar a atuação de B_1 sobre o momento magnético do átomo, este irá começar a perder energia, através da interação entre os momentos magnéticos nucleares de átomos vizinhos. Isto iniciará uma evolução do momento magnético para retornar a sua posição de equilíbrio inicial. Este processo é chamado relaxação. Por se tratar de um fenômeno intrinsecamente associado a um volume de átomos, deve-se entender o comportamento destes, em conjunto, nas mesmas situações discutidas anteriormente.

2.3 MAGNETIZAÇÃO DE UM VOXEL

Até o momento foi discutida a situação que se aplica a um único átomo. No entanto, para a obtenção de uma imagem, considera-se um conjunto de átomos adjacentes, com características semelhantes, que representarão um único ponto na imagem. Este conjunto de átomos é chamado de voxel. Para cada voxel do tecido analisado, tem-se um comportamento semelhante ao que ocorre com cada átomo

individualmente. Quando a amostra a ser analisada é colocada em um campo magnético, as diferenças entre as populações dos estados α e β para um núcleo de $I=1/2$ (mostrados na Figura 1) darão origem à uma magnetização macroscópica M_0 , alinhada com B_0 . Esta é resultante da contribuição de todos os momentos magnéticos μ , que compõem o voxel. Como cada átomo deste volume terá o seu momento magnético orientado arbitrariamente em torno de B_0 (Figura 5), as contribuições de cada um no plano xy se anularão e a magnetização resultante só terá componente ao longo da direção de B_0 .

Figura 5 - Magnetização M_0 de um voxel. Esta é a magnetização resultante das diversas magnetizações individuais dos átomos que compõe o voxel.

2.4 EXCITAÇÃO E RELAXAÇÃO DO VOXEL

Quando um voxel é excitado através da aplicação de um pulso de RF, os momentos magnéticos dos átomos que o compõem irão iniciar o movimento de precessão em torno de B_1 . Isto fará com que a magnetização total também possua um movimento de precessão, como mostra a Figura 6A.

Figura 6 – A) Magnetização resultante de um voxel girando em torno do eixo y devido a presença de um campo magnético B_1 ao longo desta direção. B) Componentes transversal e longitudinal da magnetização do voxel.

A Figura 6B mostra a aplicação de um campo B_1 causando um deslocamento em M_0 e dando origem às componentes M_T , transversal a B_0 , e M_L , longitudinal a B_0 . É importante lembrar que assim como B_1 está girando em torno de B_0 no plano xy, M_0 e, conseqüentemente M_T , também estão. A posição final da magnetização, devido ao deslocamento θ , irá depender da duração e forma do pulso de RF, do fator giromagnético do átomo (γ) e da intensidade de B_1 .

A Figura 7 mostra a posição final da magnetização total para pulsos de $\pi/2$ e π . Estes pulsos são assim chamados porque causam uma rotação na magnetização de um ângulo de $\pi/2$ e π , respectivamente.

Figura 7 - Deslocamento da magnetização M_0 do voxel após um pulso de RF de $\pi/2$ e π .

Após a aplicação do pulso de RF a atuação de B_1 cessa e o sistema começa a relaxar. Em outras palavras, os átomos que compõe o voxel começam a voltar ao seu alinhamento original com relação a B_0 . Isto fará com que os valores de M_T e M_L também variem até atingirem seus valores iniciais. A Figura 8 mostra a evolução de M_T e M_L .

O valor de M_L cresce exponencialmente até M_0 e o valor de M_T decresce exponencialmente até tornar-se nulo. Cada uma destas relaxações tem um tempo característico associado denominados T_1 e T_2 . T_1 está associado à relaxação longitudinal e é aproximadamente o tempo que M_L demora para atingir $2/3$ do valor de M_0 . T_2 está associado à relaxação transversal e é, aproximadamente, o tempo que M_T demora para atingir $1/3$ do valor de M_0 .

Devido à natureza do mecanismo de relaxação, a transversal sempre irá ocorrer mais rapidamente que a longitudinal, conseqüentemente T_2 será sempre menor ou igual a T_1 . Estes valores dependem não apenas da espécie nuclear mas também da composição química do tecido analisado. Tipicamente, T_1 irá variar de 300 a 600 ms e T_2 de 30 a 80 ms para um campo magnético estático de 0,5 Tesla⁹.

Figura 8 - Evolução da magnetização longitudinal e transversal do voxel após a aplicação do pulso de RF. T_1 e T_2 são os tempos característicos destas exponenciais.

A variação da magnetização transversal do voxel pode ser medida ao longo de um eixo do plano xy. Na Figura 9A está representada a componente y da magnetização transversal. A medida que M_T gira em torno de B_0 , M_{Ty} varia de M_T a

$-M_T$. Este sinal, além de oscilatório é também decrescente em função da diminuição do valor de M_T com o tempo. O valor de M_{Ty} em função do tempo pode ser visto na Figura 9B, este sinal é chamado de Free Induction Decay ou simplesmente FID.

Figura 9 – A) Componente y da magnetização transversal, M_{Ty} . B) Evolução da componente y da magnetização transversal ao longo do tempo.

2.5 COMO USAR RM PARA FAZER IMAGENS

As imagens por ressonância magnética são basicamente mapas de densidade de hidrogênio. Estas poderiam se feitas utilizando qualquer outra espécie atômica que possua momento magnético. Entretanto, o hidrogênio é o elemento mais abundante no corpo humano e possui o maior fator giromagnético (γ), o que produz um sinal de maior intensidade. Estas duas características fazem com que seja o elemento mais adequado para imagens. Por se tratar de um mapeamento, é necessário que se consiga uma identificação espacial do posicionamento dos sinais emitidos ao longo da região analisada. Para se fazer este mapeamento, parte-se do princípio de que cada espécie atômica ressoa em uma frequência específica (ω_0) para um determinado campo magnético B_0 . Se este campo magnético estático variar ao longo da amostra, a frequência de Larmor dos átomos em estudo também irá variar.

Figura 10 - Resposta em frequência de dois recipientes contendo água submetidos a um gradiente de campo magnético.

A Figura 10 mostra o espectro de frequências obtido de duas amostras colocadas em uma região onde o campo magnético B_0 varia ao longo da direção x . A parte superior da figura mostra dois recipientes com água. A segunda parte mostra os valores do campo magnético ao longo da direção x , variando linearmente. Dizer que o campo magnético varia linearmente ao longo da direção x equivale a dizer que foi aplicado um gradiente de campo linear G_x . A parte inferior da figura mostra o espectro de RMN obtido dos dois recipientes. Como o campo magnético estático varia ao longo de x , cada coluna dos frascos dará uma resposta em frequências ligeiramente diferentes, introduzindo uma distribuição de frequências no sinal. Esta, possibilita a localização espacial de cada uma das colunas do frasco. Além disso, a intensidade do sinal é proporcional à quantidade de átomos na coluna correspondente àquela posição, indicando a altura da coluna.

Entretanto, o espectro mostrado na Figura 10 não é obtido diretamente, ao invés disso, mede-se o FID resultante das amostras acima. O espectro de RMN é obtido através da transformada de Fourier do FID. A transformada de Fourier mostra a distribuição em frequência do FID obtido ao longo da direção x . Este não é tão simples como o da Figura 9B, ao contrário, ele é a composição dos diversos FIDs gerados pelos átomos que estão submetidos a um mesmo campo magnético. Ou seja, cada coluna de átomos dos recipientes da Figura 10 estará emitindo um

mesmo FID, relativo ao campo magnético ao qual está submetido. A composição de todos estes FIDs resultará no FID efetivamente medido.

Figura 11 - FIDs relativos às colunas 1 e 2 da Figura 10. A diferença entre as frequências de oscilação dos dois sinais é devido às diferentes intensidades de campo magnético.

A Figura 11 mostra os FIDs que seriam gerados se fossem medidas somente as contribuições das colunas 1 e 2. Como o campo magnético estático na coluna 2 é maior do que na coluna 1 a frequência de oscilação do FID 2 é maior do que a do FID 1. Da mesma maneira, como a quantidade de átomos na coluna 2 é maior do que na coluna 1, a amplitude do sinal também é maior no FID 2 do que no FID 1. Apenas para ilustrar, O FID resultante destas duas contribuições é mostrado na Figura 12.

Figura 12 - FID resultante da combinação dos FIDs mostrados na Figura 11

O exemplo acima mostra como é feita a codificação espacial de uma amostra em uma direção. No entanto, para a aquisição de uma imagem é necessária a codificação em mais de uma direção. Isto não pode ser feito utilizando-se a técnica descrita acima, em duas direções simultaneamente. Isto porque, a aplicação simultânea de dois gradientes lineares, dá origem a um gradiente resultante, em uma diferente direção, mas ainda, uma única direção. Ao invés disso, o que é feito é a aplicação de gradientes de campo magnético, em

diferentes direções, sucessivamente. Desta maneira, o valor do campo magnético passa a depender da posição e do tempo.

Figura 13 - Aplicação dos gradientes de campo G_z , para seleção do plano e G_y e G_x para a codificação de fase e frequência, respectivamente.

A Figura 13 mostra como é feita a codificação espacial em uma imagem. Primeiramente, é aplicado um gradiente de seleção (G_z) perpendicular ao plano que se deseja obter a imagem. Este gradiente fará com que cada um dos planos perpendiculares a sua direção, possua uma frequência de ressonância característica. Juntamente com este gradiente, é aplicado um pulso de RF, com largura espectral estreita, nesta mesma frequência, de maneira que apenas os átomos do plano desejado sejam excitados. Após o início da relaxação da amostra, são aplicados gradientes nas direções dos eixos da imagem. São os gradientes de codificação de frequência e de codificação de fase (G_x e G_y). Após a aplicação do gradiente de codificação de fase, as magnetizações dos diversos voxels possuirão movimentos de precessão numa mesma frequência, porém com diferentes valores de fase. A seguir, é aplicado um gradiente perpendicular a este, que fará a codificação em frequência, e juntamente com a aplicação deste, é feita a leitura do sinal. Este ciclo será repetido diversas vezes, porém, com diferentes intensidades de gradientes de codificação de fase. Ao final de todas estas leituras, cada voxel possuirá uma única combinação de fase/frequência, que através de uma transformada bidimensional de Fourier será traduzida em uma posição na imagem. Ou seja, cada voxel está unicamente associado a um pixel da imagem e a intensidade do sinal deste, está associada à tonalidade de cinza do pixel. Para a melhoria da qualidade da imagem, podem ser feitas médias com mais de uma aquisição com o mesmo valor de gradiente de codificação de fase.

Para realizar-se uma aquisição de imagens, podem ser utilizados diversos formatos, durações, e intensidades de gradientes e pulsos, além de várias

composições na disposição destes ao longo da aquisição. A cada uma destas variações, com a qual seja possível obter imagens, dá-se o nome de sequência.

Cada sequência apresenta diferentes características com relação à qualidade da imagem e tempo de aquisição. Além disso, possuem diversos parâmetros que devem ser ajustados, pelo operador do sistema, a cada vez que ela for executada. Entre estes parâmetros estão o tempo entre a aplicação do pulso de excitação e o início da leitura do sinal (TE), o tempo entre os ciclos de leitura (TR), a direção de codificação de fase, o tempo de espera antes de cada ciclo de leitura e o número de aquisições a ser feita para a realização de médias. Além destes parâmetros gerais, cada sequência pode apresentar parâmetros específicos para a sua programação. Como exemplo, a Figura 14 mostra a sequência Spin Echo, representando os pulsos, gradientes e sinal obtido, ao longo do tempo.

Figura 14 – Representação da sequência Spin Echo, mostrando os pulsos de RF e gradientes aplicados e o sinal adquirido.

Para a obtenção de uma boa imagem, o operador deve conhecer as características de cada sequência disponível no sistema, e saber a forma correta de programar cada um dos parâmetros para a identificação de uma patologia específica. Esta é uma tarefa complexa que pode ser facilitada através da utilização de uma boa IU. Sendo assim, esta deve permitir que o poder e a versatilidade oferecidos pela técnica de MRI sejam explorados ao máximo, ao mesmo tempo em que simplifica a utilização do sistema, tanto para novos usuários quanto para os mais experientes.

3 PROJETO TORM

3.1 TORM 005

O TORM 005¹⁰ é um tomógrafo de RM de 0,05 Tesla com magneto resistivo. O desenvolvimento deste sistema iniciou-se em 1988 e, já em 1992, operava clinicamente. Capaz de acomodar completamente uma pessoa em seu interior, este sistema pode obter imagens de qualquer parte do corpo humano.

A plataforma computacional deste sistema é composta por um MicroVax 3300 com sistema operacional microVMS 5.4-1, um Macintosh II-FX com sistema operacional Apple File System 7 e outros módulos de comunicação e aquisição de dados.

Figura 15 - Diagrama do sistema de controle do TORM 005.

O espectrômetro é responsável pelo controle e execução da aquisição. Isto inclui desde a geração dos gradientes até a digitalização e transferência dos dados.

Para isso, ele é programado através do microVax 3300, responsável pela criação dos programas de controle do espectrômetro, recebimento e processamento dos dados, processamento das imagens e transferência destas para o Macintosh. O Macintosh II-FX é utilizado para visualização e tratamento das imagens obtidas, além de ser utilizado como terminal de operação do microVax. As imagens adquiridas são armazenadas no formato PAC e TIFF e os dados, no formato DAT.* A transferência de dados e imagens é feita através de FTP, pela rede interna do IFSC, para qualquer outro computador. O fato desta rede estar ligada à Internet possibilita a transferência de dados também para computadores externos ao IFSC. Os dados e imagens ficam armazenados no próprio microVax e depois de algum tempo são passados para CDs. O sistema também possui uma impressora térmica, além de impressoras jato de tinta e laser. A Figura 15 mostra o diagrama do sistema de controle do TORM 005.

A interação do usuário com o sistema é feita através do Macintosh. Nele, o usuário tem acesso a uma janela de terminal do microVax e a um programa para tratamento de imagens. O terminal do microVax é utilizado para programação de aquisições, processamento de dados, transferência de arquivos e imagens para o Macintosh. O programa de tratamento de imagens é utilizado para visualização e para a obtenção das coordenadas de posicionamento das aquisições. Esta IU, por exigir a utilização de simultânea de diversos programas, além de recursos do sistema operacional, mostra-se complexa para usuários que tenham pouca experiência na utilização de computadores. Diversas alterações têm sido feitas nos últimos anos para torná-la mais amigável, entretanto existem limitações devido à natureza da plataforma computacional MicroVax/Macintosh.

A Figura 16 mostra os programas utilizado atualmente, para a realização de uma aquisição no TORM 005, e os dados passados entre eles. O programa NIH Image é utilizado para a visualização das imagens e para o cálculo dos parâmetros de posicionamento das imagens da próxima aquisição, o que é chamado prescrição geométrica. Após o cálculo, estes parâmetros são inseridos manualmente, pelo operador, no PROTO, juntamente com outros, como TR, TE, etc. O PROTO, por sua vez, gera um arquivo que contém todos os parâmetros necessários para a programação da nova aquisição. Este arquivo de protocolo (PTC), é lido pelo

* Os formatos PAC e DAT foram desenvolvidos no grupo de RM do IFSC. Ambos, juntamente com o formato TIFF Grayscale estão descritos no Anexo B.

programa SETUP, que gera os arquivos de parâmetros e comandos para o espectrômetro. Estes, são transferidos do MicroVax para o espectrômetro pelo comando GO, que também inicia a aquisição. Após o término desta, o usuário utiliza o comando PAC para processar os dados obtidos e transformá-los em imagens. A transferência destas, do MicroVax para o Macintosh, é feita pelo comando GAIA . Estas imagens são visualizadas no NIH Image, e o ciclo pode recomeçar. A complexidade desta IU traz prejuízos, principalmente, com relação ao tempo total de exame e ao treinamento de novos usuários.

Figura 16 – Estrutura de programas utilizados para a realização de uma aquisição.
Os retângulos arredondados são os módulos com os quais o usuário deve interagir diretamente.

Este mesmo processo é simplificado, no TORM 05, através da interação do usuário com apenas um módulo de programação de aquisições. Os demais módulos são eliminados ou tornam-se transparentes ao usuário.

3.2 TORM 05

O objetivo do projeto TORM 05 é o desenvolvimento, construção, instalação e operação hospitalar, de um sistema de MRI de 0,5 Tesla. Este sistema irá igualar-se, em qualidade de imagem e velocidade, aos mais modernos existentes hoje em dia.

A utilização de um magneto com campo 10 vezes maior que o TORM 005, trará um aumento na relação sinal/ruído que possibilitará a realização de exames em menos tempo e com maior resolução espacial. Este sistema utilizará como plataforma computacional um computador tipo IBM/PC com sistema operacional Windows®. A utilização desta plataforma tem como principais vantagens o baixo custo de instalação manutenção, além da facilidade de operação.

Neste novo sistema, o PC será responsável pelo gerenciamento e execução dos programas de controle e aquisição de imagens, bem como pela transferência destes para os respectivos módulos de hardware. Este micro será a console de operação do sistema e estará ligado ao espectrômetro. Um outro PC será responsável pelo sistema de visualização e tratamento de imagens e possibilitará a impressão das imagens em uma câmera multiformato. Embora a console de operação também possa realizar as operações de visualização e preparação das imagens para impressão, é interessante que haja uma outra somente para isso. Dessa maneira, enquanto um exame é preparado para impressão, outro exame pode ser iniciado, diminuindo assim, o tempo total de execução.

Um outro PC será utilizado como Sistema de Banco de Dados (SBD) e gateway. O objetivo da utilização do gateway é garantir que a comunicação entre a console de operação e o SBD não venha a ser interrompida por mal funcionamento da rede externa à sala de controle. Neste micro também serão conectados outros dispositivos que venham a ser necessários para o funcionamento do sistema, entre os quais podemos citar um ZIP drive, um gravador de CDs, uma impressora e um modem para a conexão do equipamento, que estará na Santa Casa de São Carlos, ao grupo de RMN do IFSC-USP São Carlos.

As imagens e dados obtidos serão transferidos da console de operação para o SBD ao fim de cada exame. Desta maneira, o acesso a estes poderá ser feito, via rede, de qualquer outro computador, sem interferir no funcionamento da console. Os acessos aos dados serão controlados pelo SBD. A Figura 17 mostra um diagrama do sistema computacional do TORM 05.

Figura 17 - Diagrama do sistema computacional do TORM 05, a ser instalado na Santa Casa de São Carlos.

A programação das aquisições é facilitada através da integração de vários módulos em uma única interface. O usuário faz a marcação gráfica da aquisição a ser realizada e especifica os demais parâmetros. Todo o resto, até a visualização das novas imagens adquiridas, é feito de maneira transparente.

O cálculo do posicionamento de uma nova aquisição fica simplificado, tanto para o usuário, quanto do ponto de vista do sistema. A Figura 18 mostra como é feita a programação do posicionamento de uma aquisição no TORM 005 e a Figura 19, no TORM 05.

Figura 18 – Programação do posicionamento da aquisição no TORM 005

No TORM 005, o programa NIH Image é utilizado para a obtenção do ângulo de inclinação das imagens com relação a uma das orientações principais (sagital, coronal ou transversal). Após o cálculo, esta inclinação é inserida, pelo operador, no programa PROTO, juntamente com a orientação com relação à qual ela foi marcada, a orientação principal da aquisição a ser feita e a direção de fase a ser utilizada. O ângulo de inclinação é convertido, pelo PROTO, em três ângulos de rotação, que indicam como girar o sistema de coordenadas do magneto para se obter a orientação da nova aquisição. Estes são, por sua vez, convertidos pelo programa SETUP, em uma matriz com os co-senos diretores das direções de fase, leitura e seleção, da aquisição a ser realizada.

Figura 19 – Programação do posicionamento da aquisição no TORM 05.

No TORM 05, a marcação de uma nova aquisição é feita visualmente sobre a imagem, de uma maneira mais simples que no NIH Image, e convertida em uma

matriz de co-senos diretores. Estes, definem a direção de fase, leitura e seleção da aquisição, com relação a um sistema de coordenadas fixo no paciente, de acordo com o padrão DICOM*.¹¹ O usuário deve informar, juntamente com outros parâmetros, a direção de fase da aquisição a ser feita, a posição do paciente (supino, decúbito lateral ou prono) e como ele foi colocado no tomógrafo (pés primeiro ou cabeça primeiro). Com estas informações, o sistema transforma a matriz anterior em outra cujos co-senos diretores das direções de fase, leitura e seleção estão relacionadas ao sistema de coordenadas do magneto. Esta é a matriz utilizada pelo espectrômetro para o posicionamento da aquisição.

* *Digital Imaging and Communications in Medicine*. Este é um padrão para comunicação de imagens médicas e informações associadas, que pode ser utilizado por diversas modalidades de equipamentos de imagens médicas.

4 METODOLOGIA

O processo de desenvolvimento adotado é uma adaptação do sugerido por Hix & Hartson¹², onde a IU é desenvolvida paralelamente ao restante da aplicação. A Figura 20 mostra o processo utilizado, onde os demais módulos, desenvolvidos paralelamente à IU, estão representados conjuntamente na parte superior.

Figura 20 - Ciclo de desenvolvimento da interface com o usuário integrado ao ciclo de desenvolvimento geral do software de controle do sistema.

O ciclo de desenvolvimento inicia-se com a análise dos requisitos do sistema a ser desenvolvido. Estes, podem ser utilizados para o desenvolvimento dos diversos módulos que o integram. Após esta análise, são elaborados documentos que especificam os requisitos a serem implementados no sistema.

Para o desenvolvimento da IU, é elaborado um protótipo baseado nos requisitos obtidos. Este protótipo é avaliado juntamente com usuários e os resultados desta avaliação levam a alterações nos requisitos e no protótipo. Este

ciclo é repetido até que se tenha um protótipo adequado às exigências dos usuários.

Inicia-se então, o desenvolvimento gradual da IU, baseado no protótipo obtido e nos requisitos especificados, implementado-se primeiramente os aspectos essenciais e agregando-se outros requisitos sucessivamente. A medida que a implementação prossegue, testes de integração vão sendo realizados. Deste modo, ao final de cada etapa tem-se um produto operacional e testado. Esta característica de implementação gradual foi inspirada em um ciclo de vida espiral¹³, onde o desenvolvimento passa por sucessivas etapas de planejamento, análise, engenharia e avaliação pelo usuário, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Ciclo de vida espiral para o desenvolvimento de software.*

A seguir, cada uma das etapas utilizadas no desenvolvimento da IU será descrita separadamente para um melhor entendimento.

4.1 ANÁLISE DO SISTEMA

A primeira etapa deste ciclo é a análise e especificação de requisitos do sistema. Esta, tem como objetivo a aquisição de conhecimento sobre tomografia por RM, análise dos requisitos do novo sistema e a especificação destes.

* PRESSMAN, R. S., 1992, p.29.

Em um primeiro momento desta etapa, foram estudados, paralelamente, o tomógrafo já em operação no grupo de RMN do IFSC (TORM 005), manuais e outros materiais impressos de tomógrafos comerciais, juntamente com os princípios de MRI.

Para o estudo do tomógrafo existente no grupo de RMN, foram utilizadas as seguintes técnicas:

- leituras de documentos, que consiste na leitura de material referente ao sistema;
- análises de protocolos, que engloba a análise e documentação do modo de operação do sistema;
- entrevistas não estruturadas, que constituem-se de conversas informais com um ou mais objetivos.

Os documentos selecionados para leitura foram os manuais de alguns dos módulos comerciais^{14,15,16} do TORM 005. Isto porque, o operador necessita interagir com estes módulos, durante a utilização do sistema. Destes documentos foram extraídas informações relativas à descrição geral dos aparelhos e de partes específicas, além das instruções para sua operação. A análise de protocolo foi feita acompanhando-se os exames clínicos realizados regularmente no grupo. Desta maneira, pôde-se adquirir informações específicas sobre como o equipamento deve ser utilizado e qual a função de cada uma das tarefas executadas. Durante este processo, foram feitas diversas entrevistas com vários membros do grupo, visando o esclarecimento de pontos específicos que estavam sendo pesquisados. Com os resultados obtidos nesta etapa, foram elaborados documentos com os protocolos de utilização do sistema e descrições dos módulos constituintes.

Após sua elaboração, este documento foi validado juntamente com o engenheiro Édson L. G Vidotto e, em seguida, os termos utilizados nos protocolos de operação e nas descrições foram revisados com o objetivo de eliminar redundâncias e padronizar o vocabulário utilizado. A partir do estudo deste documento, foi elaborado um Léxico Ampliado da Linguagem¹⁷ (LAL), ou seja, um dicionário que relaciona símbolos, suas noções e impactos. Os símbolos são nomes ou expressões utilizadas no domínio do problema. As noções são frases que dão uma idéia geral do símbolo. Os impactos mostram o efeito do uso ou ocorrência do símbolo. Durante a elaboração do LAL, busca-se a obtenção de um vocabulário mínimo suficiente para a análise do problema. Nas descrições de

noção e impacto, deve-se utilizar este mesmo vocabulário, gerando assim, uma circularidade* entre os registros do LAL. A Figura 22 ilustra a circularidade entre dois registros do LAL desenvolvido para o TORM 005. Para automatizar a utilização deste LAL, foi elaborado um programa em Microsoft® Visual Basic®,† que permite a busca e visualização de símbolos, juntamente com suas noções e impactos, o qual será descrito no Capítulo 5, Resultados e Discussões.

Figura 22 – Exemplo de registros do Léxico Ampliado da Linguagem, elaborado para o sistema TORM 005. As setas indicam a circularidade entre o vocabulário.

Nesta etapa, também foram estudados os fundamentos de RM e MRI, além das características de outros sistemas comerciais de MRI. O estudo de sistemas comerciais envolveu a leitura de documentos, análises de protocolos e entrevistas

* Embora esta palavra não exista na língua portuguesa, é este o termo utilizado, em Engenharia de Requisitos, para descrever esta característica do LAL. Sendo assim, optou-se por mantê-lo.

† Microsoft e Visual Basic são marcas registradas da Microsoft Corporation.

estruturadas e não estruturadas. Os documentos utilizados foram os manuais do usuário do sistema Signa^{18,19,20} da GE. A análise de protocolos e as entrevistas foram realizadas com os operadores e médicos responsáveis pelos sistemas mostrados na Tabela 1. Os formulários utilizados para as entrevistas estruturadas estão no Anexo A.

Tabela 1 – Sistemas de MRI estudados durante a etapa de análise e especificação dos requisitos

Sistema	Fabricante	Instituição
Gyrosan T5 (0,5 T)	Philips	Incor - USP
Gyrosan ACS15 (1,5 T)	Philips	Incor - USP
MRMAX (0,5T)	GE	Escola de Medicina -Unesp - Botucatu
MRMAX (0,5T)	GE	Beneficência Portuguesa
Signa (1,5T)	GE	Beneficência Portuguesa

Além do estudo dos sistemas citados acima, foram obtidas informações sobre equipamentos de outros fabricantes, durante as entrevistas com os operadores e médicos.

Ao final desta etapa, foi elaborado um documento de especificação de requisitos, composto por uma descrição textual dos requisitos funcionais e um modelo SADT^{21,22,23} (Structured Analysis and Design Technique) do ponto de vista do usuário. As tabelas com os principais requisitos e os diagramas SADT podem ser vistos no Anexo A

4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Nesta etapa foi elaborado um protótipo da IU, baseado no conhecimento adquirido devido à elaboração do LAL, ao estudo dos protocolos de operação, à observação de interfaces de sistemas comerciais e à leitura de manuais destes sistemas. A técnica utilizada foi o desenvolvimento de protótipo em papel, adaptada da sugerida por Rettig²⁴. Esta é uma técnica de baixa fidelidade, oposta às de alta fidelidade, como ferramentas multimídia, que permitem uma utilização real do protótipo no computador. A técnica sugerida determina que os diversos módulos da IU sejam desenhados em folhas de papel e utilizados para simular o funcionamento do sistema junto ao usuário. Dessa maneira, o protótipo pode ser avaliado e sofrer alterações rapidamente, aumentando assim a interação com o usuário.

Para este trabalho, os módulos da IU foram desenvolvidos em Visual Basic®, impressos em papel e colados sobre cartolina. Desta maneira, obteve-se um conjunto de cartões onde cada um representa um dos módulos que compõem a IU do sistema. Este protótipo foi avaliado em sessões com usuários, nas quais simulou-se o funcionamento do sistema, em diversas situações, de acordo com as ações do usuário. Estas sessões se repetiram com vários usuários para que novas sugestões fossem incorporadas ao protótipo e aos requisitos.

Inicialmente, foram realizadas seis sessões de avaliação do protótipo no grupo de RM, com diferentes usuários do sistema TORM 005. Entre as sessões e também durante estas, eram feitas alterações no protótipo, adequando-o às sugestões do usuário. Ao final destas, todo o protótipo foi reavaliado de maneira a refletir as principais considerações feitas a respeito.

Iniciou-se, então, um ciclo de avaliações externas, sendo duas realizadas no Incor e uma no Hospital das Clínicas da USP/São Paulo (HC). Estas foram gravadas em fitas "K7" para posterior análise. Novamente, durante as sessões, e também entre estas, foram feitas alterações no protótipo para que as sugestões fossem incorporadas. Ao final deste ciclo de sessões, as gravações foram revisadas, elaborando-se um documento com diversas observações relativas ao protótipo e à operação do sistema como um todo. Mais uma vez, o protótipo foi revisado de maneira a refletir as sugestões recebidas.

O documento de especificação de requisitos foi alterado, ao final desta etapa, passando a refletir o resultado da avaliação do protótipo e as informações obtidas.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO, INTEGRAÇÃO E TESTES.

Utilizando os módulos já implementados em Visual Basic®, iniciou-se a codificação do programa. Esta foi feita utilizando-se os requisitos levantados durante a fase inicial, observando-se a funcionalidade especificada.

A implementação é feita em etapas, de acordo com as prioridades levantadas durante a etapa de análise de requisitos. A integração com as funções de controle dos módulos de hardware e processamento de imagens ocorre a medida que é feita a implementação, assim como são executados os testes necessários. Em seguida, outros requisitos já definidos são incorporados à IU seguindo-se o mesmo ciclo de implementação, integração e testes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através deste trabalho, diversos resultados foram alcançados. O primeiro deles, e o mais importante, foi a aquisição de conhecimentos a respeito de sistemas de MRI e a análise e codificação destes em documentos gerados durante a especificação de requisitos. Baseado nestes, implementou-se uma versão inicial para a IU do sistema. Além disso, também foram elaborados outros programas e desenvolvidas outras atividades, os quais serão descritos e discutidos neste capítulo.

Primeiramente, serão discutidos os resultados obtidos durante a etapa de análise e especificação de requisitos. Estes incluem, além da documentação, o programa Léxico Ampliado da Linguagem que automatiza a consulta ao Léxico elaborado nesta etapa.

Em seguida, serão discutidos aspectos relativos à elaboração do protótipo, tais como vantagens, desvantagens e resultados obtidos.

Dando prosseguimento, será apresentada a TORM GUI, a IU desenvolvida para o sistema TORM 05. Esta, foi especificada baseada nos diversos requisitos adquiridos durante a etapa de análise, entretanto, foi implementada com um conjunto mínimo destes. Apesar disso, a estrutura do programa foi elaborada de maneira a permitir que manutenções evolutivas, necessárias para a implementação dos demais requisitos, sejam feitas sem grandes impactos sobre o código já desenvolvido.

Após a discussão da TORM GUI, será apresentado o programa TORM Image, desenvolvido para a visualização de imagens no formato IMR.

Em seguida, será apresentado o programa PosProc, que realiza o pós-processamento das imagens obtidas pelo sistema TORM 005 e foi desenvolvido paralelamente, durante a etapa de análise de requisitos.

Ao longo deste trabalho, houve também, um grande esforço no sentido de criar e manter um site na Internet, com o objetivo de divulgar o projeto TORM e a técnica de MRI. Além disso, algumas implementações iniciais foram desenvolvidas com o objetivo de utilizar a Internet como meio para a realização de diagnósticos

remotos em exames de MRI. Uma breve discussão sobre este trabalho será feita após a apresentação do PosProc.

Os programas PosProc, TORM GUI e TORM Image utilizam componentes desenvolvidos pelo engenheiro Mateus José Martins, que serão discutidos no Apêndice I. Estes implementam o acesso à placa de aquisição de dados, realizam o processamento das imagens e tratamento de arquivos nos formatos PAC, DAT, DTF e IMR, descritos no Anexo B.

5.1 ANÁLISE E ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

A Tabela 2 mostra os documentos elaborados durante a etapa de análise e especificação de requisitos, com uma breve descrição a respeito de cada um. Entretanto, os resultados desta etapa vão muito além da elaboração dos documentos que especificam quais as principais características do programa a ser desenvolvido. Esta etapa contribuiu significativamente para a formação do aluno, dando-lhe condições para a obtenção de um entendimento global sobre o sistema TORM 005 e uma visão crítica a respeito de sistemas de MRI. Este aspecto teve um papel fundamental nas etapas seguintes do desenvolvimento da IU.

Os documentos Descrição do TORM 005, Protocolos de utilização do TORM 005 e Léxico Ampliado da Linguagem foram elaborados em conjunto com o mestre Henrique Freire e encontram-se como apêndices à sua dissertação de mestrado.²⁵ Pelo fato de já terem sido publicados e devido ao seu volume (69 páginas), não foram incluídos neste trabalho. Os demais documentos foram elaborados separadamente e se encontram no Anexo A.

Para automatizar a utilização do LAL, elaborou-se um programa em Visual Basic® 3.0, também em conjunto com o mestre Henrique Freire, que permite a consulta a todos os símbolos, juntamente com as noções e impactos associados. Além de servir como uma ferramenta para a análise de requisitos do sistema, este programa, mostrado na Figura 23, foi o primeiro contato com a programação em Visual Basic®. Com ele o usuário pode criar novos léxicos ou trabalhar com arquivos já existentes. Em cada arquivo podem ser inseridos novos símbolos, com suas respectivas noções e impactos. O usuário também pode fazer buscas por um símbolo específico.

Tabela 2 – Documentos elaborados durante a etapa de análise e especificação de requisitos

Documento	Descrição
Descrição do TORM 005	Possui dez diagramas, representando os módulos do sistema com os quais o usuário necessita interagir, e a descrição de oitenta e sete itens relativos a estes módulos.
Protocolos de utilização do TORM 005	Contém os protocolos de utilização do TORM 005, divididos em dois grupos: no primeiro, 16 subsistemas são descritos separadamente, indicando-se suas localizações, funções, pré-requisitos para o funcionamento, modo para serem ligados , modo de operação e modo para serem desligados; no segundo, são descritas sequências para se ligar e desligar o sistema TORM 005, realizar o procedimento de shimming e a aquisição por Spin Echo.
Léxico ampliado da linguagem	Possui 175 registros contendo os símbolos, com suas noções e impactos, todos extraídos dos protocolos de utilização.
Diagramas SADT	Descrevem os aspectos básicos da utilização de um sistema de MRI para a aquisição de imagens.
Especificação de requisitos funcionais	Documento com a especificação de 111 requisitos divididos nos seguintes grupos: realização do exame, tratamento de imagens, programação de protocolos clínicos, funções gerais do sistema, controle de qualidade, impressão, transferência de dados e consultas ao SBD.

Outra importante questão abordada durante esta etapa foi a língua a ser utilizada na elaboração da IU. Esta poderia ser português ou inglês. O português possibilitaria uma maior facilidade durante a etapa de treinamento de novos usuários e uma maior facilidade de entendimento do sistema. Entretanto, poderia ser uma barreira para usuários acostumados com outros sistemas, ou mesmo para que usuários treinados neste sistema pudessem vir a trabalhar com outros sistemas. O inglês, por sua vez, é uma língua padrão nas máquinas. Por se estar

desenvolvendo um único equipamento, que espera-se inserir competitivamente junto aos demais já existentes, optou-se por utilizar a língua padrão das máquinas comerciais, ou seja, o inglês.

Figura 23 – Programa Léxico Ampliado da Linguagem. Este, foi utilizado durante a etapa de análise de requisitos para a automatização da consulta ao LAL.

Ao término desta etapa, havia sido adquirido um conhecimento básico sobre a operação de sistemas de MRI e sobre as características necessárias para sua operação. A partir daí, foi elaborada uma primeira versão do protótipo da IU do sistema.

5.2 ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO

Nesta etapa elaborou-se e aperfeiçoou-se o protótipo para a IU do sistema em desenvolvimento, utilizando-se uma técnica de baixa fidelidade, ou prototipagem rápida. As técnicas de alta fidelidade, em comparação com as de baixa fidelidade, possibilitam melhor visualização, por parte do usuário, das características do programa, possibilitando assim uma melhor avaliação do protótipo. Entretanto, de uma maneira geral, diversas vantagens podem ser apontadas na utilização de técnicas de baixa fidelidade:

- Protótipos de alta fidelidade demoram muito mais tempo para serem elaborados e alterados do que os de baixa fidelidade. Como o protótipo deve passar por várias sessões de avaliação com usuários, sofrendo alterações entre elas, os protótipos de baixa fidelidade permitem uma maior interação com o usuário em menos tempo;
- Os usuários de protótipos de alta fidelidade tendem a se concentrar em detalhes como cores, fontes utilizadas e tamanho de botões. Neste momento, a preocupação do analista está voltada a tópicos mais gerais, como o fluxo na utilização do programa, aspecto geral dos controles e grupos de controles e as terminologias utilizadas. Da mesma maneira, o analista que está desenvolvendo o protótipo pode acabar se voltando para a implementação de detalhes ao invés de se preocupar com as questões principais. Os protótipos de papel fazem com que isto não aconteça, visto que os desenhos das janelas são feitos a mão;
- O esforço empenhado para a elaboração de um protótipo utilizando uma ferramenta de desenvolvimento pode levar o analista a se afeiçoar ao seu trabalho, tornando a aceitação de mudanças mais difícil. Os usuários tendem a se sentir intimidados a sugerirem mudanças radicais, uma vez que fica claro o enorme esforço despendido na criação do protótipo.
- Um protótipo de alta fidelidade, que funcione como um programa, pode levar o usuário a crer que o trabalho de implementação do aplicativo está num estágio avançado, quando na verdade nem foi iniciado. Após os testes do protótipo, quando é iniciada a fase de implementação, todo o desenvolvimento é “recomeçado”, o que pode sugerir uma aparente perda de produtividade. Esta impressão errônea, por parte do usuário, pode vir a prejudicar o desenvolvimento do programa. Nos protótipos de baixa fidelidade, fica claro para o usuário qual o estágio de desenvolvimento do trabalho.

A técnica sugerida envolvia a elaboração do protótipo em papel e a avaliação deste, junto a usuários, através de um grupo de analistas. As sessões de avaliação, onde cada um dos membros do grupo teria uma diferente função, deveriam ser filmadas para posterior análise. Esta técnica teve de ser adaptada devido à impossibilidade de se ter diversos membros no grupo de avaliação e de se filmar as sessões. Além disso optou-se por fazer o desenho dos módulos do

protótipo em Visual Basic® ao invés de fazê-los à mão, conforme discutido a seguir.

A utilização do Visual Basic® na confecção dos módulos permitiu que, ao final da avaliação, estes fossem utilizadas na etapa seguinte, a implementação da funcionalidade. Entretanto houve certa dificuldade, durante a avaliação do protótipo, para que o usuário se concentrasse nos aspectos gerais em questão e se desvinculasse dos aspectos de acabamento da interface (cores, fontes, etc). Então, para evitar que o usuário se sentisse intimidado, foram feitos esclarecimentos no início das entrevistas, deixando-o à vontade para sugerir mudanças, mesmo que radicais. Procurou-se explicar os objetivos gerais da entrevista, que o protótipo apresentado constituía-se apenas de desenhos e que nada havia sido implementado até o momento. Dessa maneira, qualquer mudança sugerida poderia ser incorporada com facilidade. Mesmo assim, durante as sessões de avaliação, notou-se que o usuário tentava encontrar saídas conciliatórias para a resolução de problemas da IU. Estas situações eram contornadas sugerindo-se alterações e, eventualmente, desenhando-se estas sobre os módulos.

Concluída esta etapa, o protótipo havia sido avaliado por usuários com diferentes níveis de conhecimento e habituados a diferentes sistemas comerciais. Baseado nestes resultados iniciou-se o desenvolvimento da TORM GUI

5.3 TORM GUI

Neste capítulo, será apresentada a TORM GUI, a IU desenvolvida para o sistema TORM 05. As características aqui descritas representam parte do que foi especificado na análise de requisitos. Basicamente, esta versão da IU permite ao usuário realizar aquisições utilizando a sequência Spin Echo, visualizar e salvar as imagens obtidas.

Permitir a operação para a aquisição de imagens que levem a um diagnóstico, deve ser o objetivo primário de qualquer IU de sistemas de diagnóstico por imagem. Entretanto, em ambientes clínicos, existem também, requisitos relativos ao tempo de obtenção destas imagens. Associado a estes está, além de características técnicas de hardware e software, a rapidez de utilização do sistema pelo usuário. Sendo assim, durante o projeto desta IU, buscou-se garantir rapidez na realização de um exame e rapidez no treinamento de novos usuários.

Durante a análise de requisitos, verificou-se que os equipamentos estudados exigem, do usuário, habilidade na utilização de sistemas computacionais

e que os operadores entrevistados tinham pouca ou nenhuma experiência anterior com algum tipo de computador. Estes relataram dificuldades durante o treinamento para a utilização dos sistemas. Em parte, esta dificuldade pode ser atribuída à complexidade da técnica de MRI, mas também se deve à complexidade de operação dos sistemas estudados. A dificuldade durante o treinamento, implica em um maior período no qual o usuário utilizará o equipamento ineficientemente, até tornar-se experiente o suficiente para poder operá-lo rapidamente. Por outro lado, observou-se também, que o sistema Signa, tido pelos entrevistados como um sistema de fácil utilização por usuários iniciantes e, conseqüentemente, de fácil treinamento, torna-se “burocrático” para usuários mais experientes, exigindo uma quantidade excessiva de tarefas para a programação de uma aquisição.

A partir daí, observa-se que a facilidade de utilização de um sistema é um atributo subjetivo e está extremamente ligado ao nível de conhecimento que o usuário tem deste. Isto torna a rapidez de treinamento e utilização do sistema, intimamente ligada ao nível de conhecimento que o usuário tem do equipamento e da técnica utilizada. Sendo assim, para que o desenvolvimento da IU atinja os objetivos de rapidez de utilização e treinamento, é necessário que ela possa se adaptar ao nível de conhecimento do usuário.

Os sistemas comerciais de MRI possuem diferentes modelos de interfaces com o usuário. Estas variam de empresa para empresa e, algumas vezes, entre os próprios modelos de uma mesma empresa. O sistema Gyroscan da Philips, por exemplo, utiliza consoles onde os parâmetros são editados como em uma tabela. O controle do sistema é feito através do teclado e de diversas teclas de função. O sistema Signa da GE, por outro lado, utiliza um monitor touch-screen com uma interface gráfica que segue um padrão próprio. Modelos da Siemens utilizam uma interface gráfica no padrão X-Windows com mouse e teclado para a interação do usuário com o sistema. Em modelos mais recentes são encontradas interfaces desenvolvidas para a plataforma computacional Microsoft Windows®. A Tabela 3 compara dois sistemas estudados com relação a alguns aspectos de suas interfaces com o usuário.

Tabela 3 – Comparação entre os sistemas Gyroscan e Signa com relação à aspectos de suas interfaces com o usuário.

Característica	Gyroscan	Signa
Fabricante	Philips	GE
Concepção geral	Utiliza duas consoles, uma com teclado e monitor para programação de aquisições e outra, com dois monitores e um extenso teclado de funções. Um monitor é utilizado para a programação das aquisições e o outro para a visualização e tratamento de imagens.	Utiliza uma única console com um monitor Touch Screen, para a programação de aquisições, e um outro monitor para a visualização e tratamento de imagens.
Programação dos parâmetros	Os parâmetros são digitados em uma extensa tabela, como num editor de planilhas. A movimentação ao longo da lista é feita através do teclado.	O valor de cada parâmetro é selecionado em uma lista apresentada no monitor Touch Screen. Estes são distribuídos em várias páginas, que podem ser trocadas através da utilização de botões no próprio monitor. O teclado é utilizado para digitar nomes e valores que não constem nas listas apresentadas.
Programação de aquisições enquanto outra está sendo realizada	O usuário utiliza a console auxiliar para programar uma fila de aquisições a serem realizadas.	O usuário pode programar a próxima aquisição, série ou exame utilizando o monitor Touch Screen da mesma maneira descrita anteriormente.
Complexidade de utilização	Grande, devido à utilização do teclado de funções.	Pequena, pois as “páginas” mostradas orientam o usuário.

Facilidade de treinamento	Pequena	Grande
Tempo de programação por um usuário experiente	Curto, pois todas as funções estão disponíveis no teclado.	Longo, pois o usuário precisa chegar às “páginas” nas quais deseja fazer alterações ou utilizar comandos.

A interface com o usuário, para o TORM 05, está sendo desenvolvida no padrão Microsoft Windows® de maneira a se adequar à nova plataforma computacional e permitir a utilização amigável do sistema. Este padrão de interface, já bastante difundido através de outros aplicativos de uso corrente, como editores de texto e planilhas de cálculos, permitirá que novos usuários aproveitem, para a operação do sistema, habilidades já adquiridas na operação de outros programas. Através da implantação dessas e outras características que serão descritas a seguir, espera-se obter rapidez e facilidade de uso do sistema, rapidez no treinamento de novos usuários e capacidade de adequação ao nível de conhecimento do usuário.

Durante a especificação de requisitos, abordou-se a consulta a exames já existentes, o processamento de imagens, as funções de gerenciamento do sistema, os procedimentos de controle de qualidade do sistema, entre outros. A implementação, no entanto, foi feita tendo-se em vista a aquisição de imagens, sua avaliação e armazenamento, o que será detalhadamente descrito a seguir.

5.3.1 Estrutura do Programa

Estruturalmente, o software da IU está dividido em três camadas. Cada uma delas só possui comunicação com as camadas adjacentes. O objetivo desta estruturação é tornar o programa modular, facilitando sua implementação e manutenção. A Figura 24 mostra esta estrutura de camadas e suas relações.

Figura 24 - Digrma de camadas da TORM GUI.

A camada de Interface com o Usuário da TORM GUI é a camada com a qual o usuário interage diretamente. Nela estão todas as janelas visíveis do sistema. A camada de objetos implementa o modelo de dados utilizado, sendo responsável pelo armazenamento e validação dos dados. A camada de comunicação com o sistema utiliza os módulos de software* que possibilitam a programação do espectrômetro e permitem a aquisição e processamento dos dados obtidos. A seguir, as camadas que compõem a interface com o usuário, serão descritas separadamente.

5.3.2 A Interface com o Usuário

A Figura 25 mostra a tela do sistema durante a realização de um exame, na qual podemos identificar cinco regiões. Acima, tem-se a Barra de Menu que inclui a Barra de Título e os nomes dos menus que estão acessíveis. À esquerda, tem-se a Barra de Tarefas, composta por botões com as principais tarefas disponíveis. À direita, a Janela de Informações exibe os principais dados do exame corrente e uma árvore com os componentes do exame que está sendo realizado. Abaixo a

Barra de funções indica a utilização das teclas de função de acordo com o contexto em que o programa se encontra. E ao centro, resta uma área livre para utilização pelos demais formulários.

5.3.2.1 Barra de Menu

A Barra de Menu possui a barra de título e os menus que implementam as diversas funções do sistema. O menu será sensível ao contexto.

5.3.2.2 Barra de Tarefas

A Barra de Tarefas está dividida em duas partes. A parte superior mostra os grupos de atividades gerais do sistema: realização de exame, acesso ao sistema de base de dados (SBD) e manutenção. A parte inferior mostra as tarefas que são realizadas em cada um dos grupos de atividades anteriores. Sendo assim, o conjunto de botões mostrado na parte inferior, depende da tarefa selecionada na parte superior.

Durante a realização de um exame, a parte inferior da barra mostra botões para o acesso a informações do paciente, escolha de protocolo clínico, informações do exame, informações da série, informações da aquisição, tela de revisão dos dados, tela de visualização das imagens e encerramento do exame.

* Estes módulos são descritos no Apêndice I.

TORM05

TORM05 View Tools

Exam

Maintenance

Database

Patient Info

Protocols

Exam Info

Series Info

Scan Info

Review Screen

View

Close Study

Exam ID:

Date:

Name:

Age:

Sex:

Weight:

Sequence:

TE:

TR:

NEX:

FOV (freq.):

FOV (phase):

Scan Thickness:

Interscan Space:

Slice:

Acq. Matrix:

Echo:

Scan Time:

Recep. Coil Type:

Trans. Coil Type:

Options:

Exam Description:

Study1

Parameters

Default

Parameters

Default

Parameters

F1

F2

F3

F4

F5

F6

F7

F8

F9

F10

F11

F12

Figura 25 - Tela do sistema durante a realização de um exame.

Dentre as tarefas de manutenção do sistema podem ser citadas: controle de qualidade, cadastramento de novos usuários e implementação de protocolos clínicos. As tarefas de acesso ao SBD visam a consulta aos dados de pacientes e exames já realizados. Todas estas tarefas pertencem ao conjunto de requisitos especificados que serão implementados numa próxima versão da IU.

A utilização desta barra permite ao usuário uma rápida visão das atividades disponíveis, além de situá-lo em um conjunto de atividades afins. Por exemplo, no caso da aquisição de imagens, permite um rápido acesso às diversas etapas que compõem a sua programação. Além disso, funciona como um resumo das operações a serem realizadas e indica a ordem em que devem ser feitas. Isto permite que uma tarefa seja situada sequencialmente com relação às outras, o que é um aspecto muito importante durante o treinamento de novos usuários pois garante maior facilidade de assimilação das etapas do processo.

5.3.2.3 Janela de Informações

A Janela de Informações possui os principais dados do exame que está sendo realizado. Acima, tem-se informações gerais do paciente, do exame, da

série e da aquisição. Abaixo, há uma janela que mostra, em forma hierárquica, a estrutura do exame com suas séries, aquisições e imagens.

5.3.2.4 Barra de Funções

A Barra de Funções será utilizada pelo usuário para visualizar e permitir acesso direto às funções do sistema. Parte dos botões será utilizada para funções que são independentes do contexto (ex: menu Ajuda), outros serão sensíveis ao contexto. As mesmas funções atribuídas aos botões também serão atribuídas às teclas de função. Possibilitando ao usuário utilizar a Barra de Funções como uma referência visual para as teclas de função.

Este elemento da interface ainda não se encontra disponível porque necessita que a IU esteja num estágio mais avançado de desenvolvimento, para uma adequada implementação.

5.3.2.5 Janelas de Programação de Parâmetros

Estas janelas são exibidas na região central da IU de acordo com a seleção na Barra de Tarefas. Enquanto os outros elementos, já discutidos, da IU são fixos, estas aparecem de acordo com o contexto. À seguir será feita uma breve discussão de cada uma delas.

5.3.2.5.1 Informações do Paciente

Nesta janela, o usuário pode informar ou consultar os principais dados do paciente. A consulta poderá ser feita a partir do momento que for implementada a comunicação com o SBD. A partir daí, os dados poderão ser inseridos na base de dados, antes do exame e, durante este, serão mostrados para o operador. Esta janela possui duas guias: uma referente aos dados gerais do paciente, tais como nome, sexo, peso, etc; a outra referente aos dados clínicos do paciente, como histórico, restrições e observações.

5.3.2.5.2 Protocolos

Esta janela permitirá ao usuário a utilização de protocolos clínicos previamente definidos. Estes protocolos são conjuntos de parâmetros do exame, série, aquisição e visualização, utilizados para a realização de um exame de uma anatomia e patologia específicas. Nesta janela, os protocolos estão agrupados em guias que indicam a anatomia e, dentro de cada guia encontram-se botões para cada um dos protocolos criados.

Figura 26 - Tela de programação dos dados do paciente.

A utilização de protocolos clínicos previamente definidos agiliza a utilização do sistema e facilita o treinamento. Isto porque a maioria dos parâmetros pode ser otimizada para uma determinada anatomia e patologia. Durante a realização da maior parte dos exames, após selecionar um protocolo, o usuário tem apenas que ajustar os parâmetros de posicionamento da aquisição.

5.3.2.5.3 Parâmetros do Exame

Os parâmetros do exame estão associados aos dados gerais do exame. São eles: nome do médico que requisitou o exame, nome do operador, nome do radiologista responsável, hipótese diagnóstica e descrição do exame.

5.3.2.5.4 Parâmetros da Série

Os parâmetros da série estão associados ao posicionamento do paciente. São eles: posição, entrada e landmark.

5.3.2.5.5 Parâmetros da Aquisição

Esta janela está dividida em oito guias, que agrupam os diversos parâmetros associados à aquisição de um conjunto de imagens.

As guias utilizadas são as seguintes: Mode, Timing, Region, Acquisition Time, Other, Advanced, Explicit, e Reconstruction. A Figura 27 mostra a guia Region onde os parâmetros de posicionamento da aquisição são programados. Isto poderá ser feito sobre uma imagem ou na guia Explicit utilizando as coordenadas do plano central com relação ao paciente.

The screenshot displays the 'IORMOS' software interface, specifically the 'Region' tab for acquisition parameter programming. The interface is divided into several sections:

- Left Sidebar:** Contains menu options: Exam, Maintenance, Database, Patient Info, Protocols, Exam Info, Series Info, Scan Info, Review Screen, View, and Close Study.
- Top Bar:** Shows the current tab 'Region' and other tabs: Mode, Timing, Acquisition Time, Other, Advanced, Explicit, and Reconstruction.
- Main Area:** Features a large central image of a brain scan. To its right is a grid of smaller images. Below the main image are input fields for various parameters:
 - Slice Thickness:** Radio buttons for 5 mm, 7 mm, 10 mm, 15 mm, and an 'Other' field with a value of 15.
 - Inter-slice Spacing:** Radio buttons for 0 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, and an 'Other' field with a value of 2.
 - Number of Slices:** Radio buttons for 5, 10, 16, 20, and an 'Other' field with a value of 12.
 - FOV (Frequency):** Radio buttons for 200 mm, 250 mm, and an 'Other' field with a value of 250.
 - FOV % (Phase):** A field with a value of 2.
- Right Sidebar:** Contains fields for Exam ID, Date, Name, Age, Sex, Weight, Sequence, TE, TR, NEX, FOV (freq.), FOV (phase), Scan Thickness, Interscan Space, # Slices, Acq. Matrix, Echo, Scan Time, Recep. Coil Type, Trans. Coil Type, and Options.
- Bottom Bar:** A row of function keys labeled F1 through F12.

Figura 27 - Tela de programação dos dados da aquisição. Nesta guia são programados os dados referentes ao posicionamento.

Nestas guias, os parâmetros que possuem valores típicos, são apresentados como mostrado na parte inferior da Figura 27. Além destes, o usuário pode utilizar outros valores através da caixa de texto ao lado. Dessa maneira, o sistema informa ao usuário quais os valores mais utilizados para um determinado parâmetro e pode facilitar a verificação do valor selecionado, uma vez que esta pode ser feita pela posição da seleção ao invés da leitura do valor do parâmetro. A cada alteração de valor feita pelo usuário, há uma validação antes que o novo valor seja mostrado na caixa de texto. Espera-se que este recurso auxilie no treinamento e aumente a rapidez de utilização do sistema.

A implementação dos valores típicos foi feita de maneira a possibilitar a sua alteração durante a execução do programa. Isto é necessário pois para cada tipo

de sequência escolhida pelo usuário, pode haver um conjunto de valores típicos para cada um dos parâmetros.

5.3.2.5.6 Janela de Revisão

Nesta janela são exibidos os principais parâmetros da série e da aquisição de maneira a fornecer ao usuário uma idéia geral da aquisição que pretende realizar. Este pode alterar qualquer um dos parâmetros mostrados sem necessidade de voltar à janela correspondente. Esta janela favorece a operação por usuários experientes que, após selecionarem um protocolo, podem alterar apenas alguns dados e executar a aquisição utilizando uma única janela. Desta maneira, à medida que o usuário passa a conhecer melhor o sistema e os parâmetros da aquisição, ele naturalmente passa a programar uma aquisição utilizando menos janelas do que um usuário inexperiente.

Esta janela também tem o propósito de efetivamente garantir que o operador, mesmo que não tenha visualizado outras janelas, verifique os principais parâmetros da aquisição antes de executá-la. Isto porque, é nesta janela que o usuário executa o comando que inicia a aquisição das imagens. Sendo assim, fica garantido que antes do início de uma aquisição, o operador visualizou os principais parâmetros desta.

5.3.2.5.7 Janela de Visualização

Esta janela, utilizada para visualização das imagens do exame, está dividida em duas partes. À direita, uma barra de imagens e, à esquerda, o controle de Window Width (W) e Window Level (L). Na barra são colocadas as imagens da aquisição corrente. O usuário deve utilizá-la para selecionar qual imagem deseja ver ampliada na região central.

Figura 28 - Janela de visualização de imagens.

Os ajustes de W e L são semelhantes aos ajustes de contraste e brilho respectivamente. O padrão RGB, utilizado pelos monitores de vídeo, permite a visualização de 256 tons de cinza. A imagem obtida no sistema possui 65536 níveis de intensidade. Sendo assim, é necessário que seja feita uma normalização dos dados para a visualização da imagem. Esta normalização pode ser feita de maneira homogênea ao longo de toda a escala, dividindo-a em 256 regiões. Entretanto, isto pode causar prejuízos para a análise clínica da imagem. Por isto, define-se uma janela sobre a escala de níveis de intensidade da imagem. A largura (W) e a posição (L) desta janela definem quais os valores de intensidade serão normalizados. Os valores fora da janela serão convertidos em preto e branco. Dessa maneira, o operador pode ressaltar, na imagem, a patologia ou anatomia desejada.

Os ajustes de W e L são feitos independentemente para cada imagem mostrada na barra. Após a visualização, todas as imagens são salvas em um único arquivo IMR.

5.3.2.6 O Assistente de Programação

O assistente de programação permite ao usuário personalizar o uso do sistema, através da configuração da sequência de utilização das janelas descritas anteriormente. Cada uma destas janelas possui botões “Next” e “Back” (parte inferior da Figura 27) que permitem a movimentação entre guias e janelas sucessivas.

Através do Assistente de Programação, o usuário pode definir quais guias pretende utilizar para a programação de um exame e se movimentar por elas utilizando os botões “Next” e “Back”. Este assistente permite a adequação do sistema ao nível de conhecimento e treinamento do usuário.

Figura 29 – Janela de configuração do Assistente de Programação do sistema.

Em cada uma das guias, os botões “Next” e “Back” levam à próxima ou à última guia selecionada na lista, a partir da posição corrente. Estes botões ficam desabilitados caso não haja uma guia nesta situação.

Este recurso faz com que a programação de exames se torne mais rápida, além de permitir que o modo de utilização do sistema seja adequado ao nível de conhecimento de cada usuário. Nas próximas versões, além de ser utilizado para a

programação de aquisições, o Assistente também será implementado para outras atividades, tais como rotinas de controle de qualidade e programação de protocolos clínicos.

5.3.3 Objetos

Esta camada, composta de classes referentes às diversas entidades, implementa a estrutura de dados da interface com o usuário. Além disso, parte do processamento dos dados é feito nesta camada, utilizando-se as funções da DLL TORM32

Há classes para dados do estudo (clsStudy), série (clsSeries), aquisição (clsScan) e imagem (clsImage). A Figura 30 mostra o relacionamento entre estes objetos. Parâmetros do estudo incluem os associados ao exame, tais como nome do radiologista responsável, operador e pré-diagnóstico, além dos associados ao paciente, tais como nome e idade. Os parâmetros da série estão associados ao posicionamento do paciente dentro do sistema. Os parâmetros da aquisição englobam todos os dados necessários para a programação da aquisição de um conjunto de imagens. Estes variam de acordo com a sequência utilizada para a aquisição. Os dados referentes à imagem são, por exemplo, os valores dos pixels, window width e window level.

A hierarquia apresentada na Figura 30 mostra que uma instância da classe clsStudy possui uma ou mais instâncias de clsSeries e assim sucessivamente.

Figura 30 – Classes utilizadas na camada de objetos da IU e a comunicação entre elas. As instâncias das classes que estão acima possuem instâncias das que estão imediatamente abaixo.

As classes `clsScan`, `clsSeries` e `clsStudy` implementam os diversos parâmetros que são mostrados e lidos na camada de interface com o usuário. A interação entre estas duas camadas, objetos e interface, foi implementada de tal maneira que, cada alteração de um parâmetro, realizada pelo usuário na interface, reflita imediatamente na camada de objetos, onde este parâmetro é validado. Em seguida, outros parâmetros que necessitem de ajustes, em função daquele, também são alterados. Caso o novo valor do parâmetro não seja permitido, ocorre um erro interno na classe e nenhuma alteração é feita nem na classe nem na interface com o usuário. Se o parâmetro for aceito pela classe, as alterações realizadas neste e em outros parâmetros são visualizadas na interface com o usuário.

Cada parâmetro destas classes possui as seguintes propriedades: `enabled`, `valid`, `min`, `max`, `value` e `changed`. Estas são necessárias para que a camada de interface com o usuário possa obter outras informações relativas aos parâmetros.

A propriedade `enabled` indica se o parâmetro está habilitado. Isto é essencial na implementação da classe `clsScan` pois, cada sequência de aquisição pode possuir um diferente conjunto de parâmetros necessários à sua programação. A classe implementa todos os parâmetros necessários a todas as sequências e só habilita aqueles relativos à sequência corrente. A propriedade `valid` indica se o valor armazenado é válido ou não. Isto é especialmente útil no caso de parâmetros que não podem ser pré-assumidos e devem ser informados pelo usuário. Entre eles estão o nome do paciente, altura e peso. As propriedades `min` e `max` indicam os valores mínimos e máximos de parâmetros numéricos, `value` indica o valor do parâmetro e `changed` indica se ele foi alterado a partir de um protocolo pré-existente.

Esta implementação facilita o trabalho de manutenção corretiva e evolutiva. Isto porque, além de separar os dados da interface com o usuário, implementa uma interface homogênea entre estas camadas.

Outro importante aspecto da camada de objetos está no fato dos dados relativos ao posicionamento dos planos da aquisição seguirem o padrão DICOM. Aos planos estão associadas direções de fase, leitura e seleção, armazenadas através de seus co-senos diretores com relação a um sistema de coordenadas fixo no paciente. A vantagem deste sistema está em ser independente da posição de entrada do paciente no equipamento. Além disso, o SBD ao qual a IU será

integrada futuramente, foi desenvolvido utilizando este mesmo padrão. Além dos parâmetros de posicionamento, diversos outros parâmetros foram utilizados para que se tivesse um conjunto mínimo de dados que atenda à especificação DICOM e portanto, seja facilmente integrável ao SBD e a outros sistemas que utilizem este padrão de comunicação.

5.3.4 Comunicação com o Sistema

Esta camada é responsável pela programação das aquisições e recebimento dos dados. Parte do processamento das imagens também é feito nesta camada. Para programação do sistema são utilizados comandos enviados pela porta serial do PC ao espectrômetro, através do módulo de comunicação SPECTOS. Para recebimento dos dados utiliza-se o TORMOCX. Este é programado com os parâmetros da aquisição e permite o tratamento de um evento de fim de coleta. Além disso, o TORMOCX pode ser programado para realizar parte do processamento das imagens.

Antes de transferir a programação da sequência a ser utilizada, para o espectrômetro, esta camada deve utilizar o programa SETUP para verificar os parâmetros e gerar os arquivos a serem transferidos. Como já foi discutido anteriormente, a TORM GUI utiliza um conjunto de parâmetros de posicionamento diferente do SETUP. Será necessário, para possibilitar uma eficiente utilização desta IU, que o SETUP seja alterado, passando a receber este novo conjunto de parâmetros.

Posteriormente, os arquivos são transferidos e a sequência é iniciada. A partir daí a IU passa a poder monitorar o estágio em que a aquisição se encontra, sem no entanto, poder controlá-la. Esta monitoração será feita para informar ao usuário o tempo necessário para o fim da aquisição.

Parte do processamento dos dados pode ser feito pelo TORMOCX durante a coleta de dados. Isto faz com que o tempo total de processamento, após a aquisição dos dados, seja reduzido. O TORMOCX também possui um módulo de simulação que permite o desenvolvimento e testes da IU sem a necessidade da conexão real com o sistema. Neste caso, ao invés de dados do sistema, o TORMOCX utiliza arquivos com dados de aquisição e todo o procedimento se passa como se uma aquisição real estivesse ocorrendo.

5.3.5 Estágio atual da implementação

Conforme descrição anterior, neste projeto realizou-se a implementação de um conjunto mínimo dos requisitos especificados. Neste item, será feito um resumo destas implementações.

Todos os formulários necessários à IU foram implementados durante a elaboração do protótipo. Por se tratar de um protótipo de papel, não houve a implementação da funcionalidade dos formulários, somente sua camada visual. Em termos funcionais, foram implementados, após a elaboração do protótipo, a Barra de Tarefas, nos aspectos que se referem à aquisição, alguns itens da Barra de Menus, a Janela de Informações, as janelas de programação de parâmetros e o Assistente de Programação. Basicamente, estas implementações permitem a navegação pelas janelas de programação do exame, a aquisição de imagens no modo de simulação, a visualização e a transferência destas para arquivos no formato IMR.

Os objetos referentes aos dados do paciente, exame, série, aquisição e imagem foram completamente implementados, nestes estão incluídas, inclusive, características que ainda não estão sendo utilizadas, devido ao estágio de desenvolvimento da interface.

Implementou-se a programação do TORMOCX para o recebimento e processamento dos dados adquiridos, além das comunicações que permitem a programação do espectrômetro. Entretanto, estas não foram utilizadas em condições reais pois dependem de alterações no programa SETUP.

Esta implementação ficou aquém das expectativas existentes no início do projeto, em termos de funcionalidade. Isto foi devido, principalmente, à extensa fase de análise de requisitos e desenvolvimento do protótipo e à dificuldade encontrada na definição da metodologia de trabalho a ser utilizada. Antes do estabelecimento desta metodologia, tentou-se utilizar a técnica JSD²⁶ para a especificação de requisitos funcionais do sistema e mais tarde tentou-se utilizar a técnica SADT para especificação do programa a ser desenvolvido. A técnica JSD se mostrou inadequada por não possuir estruturas de controle que indicassem quando uma ou mais tarefas seriam realizadas, fazendo com que os diagramas ficassem vagos e inexpressivos, à medida que aumentava o seu nível de detalhamento. A utilização de SADT para a especificação do programa mostrou-se demasiadamente complexa, não somente devido a características inerentes à

técnica, mas também à complexidade do problema. Neste momento do projeto, optou-se, pela eliminação desta etapa e início da codificação.

Durante a implementação desta IU, alguns módulos, que devem trabalhar integrados à IU, foram sendo desenvolvidos paralelamente por outros membros do grupo. Estes módulos se referem, principalmente, à comunicação com o espectrômetro, à interação com o SBD e à prescrição gráfica dos parâmetros de novas aquisições. Destes, somente os módulos de comunicação com o espectrômetro foram incorporados. Devido ao cronograma de implantação do sistema na Santa Casa de São Carlos, a integração total dos demais módulos e o desenvolvimento de outros, necessários para a operação clínica, seria inviável. Por isso, optou-se por fazer uma integração destes módulos como programas independentes, ao invés de um único programa integrado, e o desenvolvimento de novos módulos e programas, necessários para atender às necessidades desta opção. Este conjunto está em fase final de desenvolvimento e será utilizado como a primeira versão do sistema computacional do tomógrafo. Neste contexto, foi desenvolvido como parte deste trabalho, o TORM Image, que será descrito a seguir.

5.4 TORM IMAGE

O TORM Image é um programa de visualização e tratamento de imagens compatível com o formato IMR*. Este foi elaborado para ser utilizado em conjunto com outros módulos, desenvolvidos paralelamente por outros membros do grupo, na primeira versão do sistema de controle do tomógrafo†. Esta versão é composta de seis módulos distintos que são mostrados na Figura 31. Os dados referentes ao paciente, exame e série são informados através do módulo DataTORMini. No módulo Proto é feita a programação dos parâmetros de aquisição. O módulo Collect realiza a aquisição, processamento dos dados e visualização das imagens, a medida que vão sendo obtidas. Após uma aquisição inicial de imagens, o usuário pode utilizar o módulo SelectionGUI para marcar novas aquisições em cima de uma imagem já adquirida. As informações de posicionamento desta nova marcação são passadas automaticamente para o módulo Proto. Para a visualização e impressão das imagens utiliza-se o módulo TORM Image. Para controlar o acesso

* O formato IMR está descrito no Anexo B.

† A Barra de Controle e o DataTORMini foram desenvolvidos pelo mestre Henrique Freire, o Proto e

do usuário aos demais módulos é utilizada a Barra de Controle. A comunicação entre estes programas baseia-se na utilização de arquivos de inicialização do Windows® (*.ini).

Figura 31 - Diagrama de blocos dos módulos que compõe a primeira versão do sistema de controle do tomógrafo.

O TORM Image pode funcionar integrado ou não a este sistema de aquisição. Quando sozinho, permite a visualização e manipulação de imagens no formato IMR. Quando integrado, permite, além destas funções, o acesso aos exames realizados juntamente com as respectivas imagens posicionadoras. Sobre estas, são visualizadas as marcações das imagens adquiridas. O desenvolvimento deste programa também foi necessário para que as imagens geradas pudessem ser distribuídas no formato IMR, juntamente com um programa de visualização compatível. Para o processamento das imagens e manipulação dos arquivos IMR, o programa utiliza a DLL TORM32.

As características gerais deste programa são:

- Visualização de múltiplas imagens de um ou mais arquivos IMR;
- Salvar um conjunto de imagens abertas em um arquivo IMR;
- Visualizar os dados não processados, em formato DAT;
- Gerar imagens a partir de arquivos no formato DAT;
- Alteração dos valores de Window Width e Window Level para visualização das imagens;
- Exportar as imagens no formato TIFF²⁷ e BMP;
- Visualizar as informações dos headers das imagens;
- Abrir todas as imagens de uma aquisição, juntamente com a imagem posicionadora.

o Collect pelo engenheiro Mateus José Martins e o SelectionGUI pelo engenheiro Kleber Naccarato.

Figura 32 – Torm Image utilizado no sistema para a visualização de imagens de um phantom. São mostradas as janelas de ajuste de W/L e informações da imagem. A Barra de Controle colocada na lateral esquerda é um dos módulos que teve de ser desenvolvido para possibilitar a integração dos programas.

Um aspecto interessante, neste programa, é o modo como são feitas as marcações sobre a imagem posicionadora. É utilizada a mesma informação que o SETUP usa para gerar os arquivos de programação do espectrômetro. O processamento ocorre de maneira semelhante e, a partir daí, calcula-se qual a direção de seleção utilizada para a aquisição das imagens. Os planos de aquisição são marcados perpendiculares a esta, seguindo a mesma ordem utilizada pelo espectrômetro. A Figura 32 mostra o TORM Image funcionando integrado ao sistema. A Barra de Controle está colocada na lateral esquerda do programa. A imagem posicionadora tem marcada sobre ela, as demais imagens mostradas e a direção de seleção. O procedimento para o cálculo desta direção está descrito no Anexo C.

5.5 POSPROC

O PosProc é o programa utilizado para o pós-processamento das imagens no sistema TORM 005. Este programa foi desenvolvido em Visual Basic® 3.0 juntamente com o mestre Henrique Freire e o engenheiro Mateus José Martins.

Para a utilização clínica, as imagens geradas pelo sistema TORM 005 precisam ser impressas e entregues ao paciente. Para isso, é necessário que se coloque sobre cada imagem informações a respeito da instituição onde foram realizadas e os parâmetros utilizados para a sua aquisição. Além disso, a marcação das imagens adquiridas deve ser mostrada sobre a imagem posicionadora. Inicialmente, este trabalho era feito manualmente pelo operador do sistema, utilizando as funções de edição de imagens do programa NIH Image. A utilização do PosProc permite que todo este processamento seja feito automaticamente a partir de informações gravadas, pelo sistema, em arquivos específicos durante a aquisição. Ao usuário cabe apenas informar a posição do paciente e seu nome.

Figura 33 – Programa PosProc, desenvolvido para utilização no TORM 005. Após adquiridas, as imagens são marcadas e informações são adicionadas utilizando-se este programa.

O PosProc utiliza o arquivo de log gerado pelo sistema, durante a aquisição, e os arquivos das imagens obtidas no formato PAC. Após a escolha de uma aquisição, o usuário pode visualizar as imagens com os parâmetros de aquisição e

informações sobrepostos à mesma, inclusive a posicionadora com a marcação das demais imagens. O programa permite que estas sejam salvas em formato BMP ou impressas em uma impressora térmica.

A elaboração deste programa significou uma redução significativa no tempo de preparação das imagens a serem entregues aos pacientes, trazendo benefícios para os operadores e usuários do sistema.

5.6 SERVIDOR WWW DO GRUPO DE MRI

Nos últimos anos, a Internet tem sido uma grande aliada na disseminação de conhecimentos, revolucionando o modo de acesso a informação. Na área de Internet e saúde tem surgido diversos projetos que visam a educação e informação da sociedade e da comunidade de profissionais de saúde. Parte deste trabalho de mestrado envolveu a implementação de um site na Internet e elaboração de um conjunto de páginas para divulgação do grupo de MRI de São Carlos e dos resultados do projeto TORM. O objetivo é contribuir criando, na Internet, um ponto de referência em Imagens por Ressonância Magnética (MRI). A implementação deste site visava também, possibilitar a realização de diagnósticos remotos em imagens por RM, utilizando a Internet. Para isso, foi implementado um conjunto de páginas que permitiria, a um especialista, a avaliação de imagens e o envio de comentários, via Internet.²⁸

A implementação do site compreendeu várias etapas, desde a montagem física do equipamento até a elaboração das páginas. Foi utilizado inicialmente o sistema operacional Windows NT[®] 3.51 e o Internet Information Server[®] (IIS)²⁹ 1.0 *como servidor WWW.

* Windows NT e Internet Information Server são marcas registradas da Microsoft Corporation.

Figura 34 - Estrutura inicial do site implementado para o projeto TORM.

A Figura 34 mostra a estrutura de informação do site desenvolvido. Ao todo foram desenvolvidas 10 páginas que continham informações sobre o grupo e imagens do projeto TORM. Em particular, elaborou-se 75 imagens de diversas anatomias e patologias e diferentes contrastes. Foi elaborada uma página com um conjunto de 45 imagens sagitais, sendo 15 por T1, 15 por T2 e 15 por densidade, sendo que as aquisições de cada contraste foram feitas com imagens exatamente na mesma posição. A elaboração destas páginas envolveu a utilização do sistema para a aquisição das imagens.

Atualmente, um outro equipamento vem sendo utilizado como servidor WWW, com sistema operacional Windows NT[®] 4.0 e servidor Internet Information Server[®] 3.0. Nesta nova etapa do trabalho, está sendo orientado o aluno Fábio Bettega, para elaboração e manutenção do site. Apesar das mudanças ocorridas, as informações e imagens implementadas no site, como parte deste trabalho, ainda podem ser encontradas na versão atual.

Figura 35 - Tela utilizada para visualização de imagens e informações do exame selecionado. O usuário pode enviar comentários sobre as imagens.

Para a realização de diagnóstico remoto, desenvolveu-se um conjunto de páginas HTML³⁰ que permite a um especialista selecionar um exame para visualização, através da consulta de informações a seu respeito. Em seguida, na janela de visualização, o usuário tem acesso aos parâmetros utilizados em cada aquisição e às imagens disponíveis. Nesta mesma janela, o usuário pode escrever e enviar seus comentários, os quais são adicionados a uma página, juntamente com a identificação do exame, o nome do usuário, a data e horário do envio. Para esta implementação foram desenvolvidos, além das páginas HTML, alguns scripts CGI³¹ (Common Graphical Interface), elaborados em PERL.³² A segurança de acesso aos dados e imagens disponíveis no servidor baseia-se nos recursos do Windows NT® e do IIS®. A Figura 34 mostra o conjunto de páginas onde o usuário faz a avaliação das imagens e envia os seus comentários.

Esta versão utilizava imagens no formato GIF, convertidas a partir das imagens no formato PAC, para que as imagens pudessem ser visualizadas em navegadores Internet. Por sua vez, as páginas que continham informações sobre os exames e aquisições precisavam ser previamente elaboradas, utilizando

informações dos arquivos de log do sistema de aquisição. Este sistema de diagnóstico, embora possuísse uma concepção simples e de fácil utilização, exigia muito trabalho para ser preparado. Para cada exame realizado, as imagens deviam ser processadas e um conjunto de páginas ser preparado. Isto inserido em uma rotina clínica de aquisição de imagens, tornaria-se inviável. Além disso, as imagens eram mostradas com a mesma normalização e ajuste de brilho/contraste da imagem PAC. Nos casos em que estes fossem inadequadamente ajustados, impediriam o especialista de dar o seu parecer. Outra ressalva a este sistema refere-se à segurança dos dados, que apesar de ter sido implementada no servidor, não o foi para a transferência destes pela rede, ocorrendo em formato conhecido (HTML e GIF) e não encriptado.

Devido às razões expostas acima, este projeto foi redefinido para que possuísse como principais características:

- Capacidade de ajuste de W e L das imagens no cliente;
- Troca encriptada de dados entre cliente e servidor;
- Utilização dos arquivos de imagem no formato IMR;
- Consulta aos dados do exame e aquisições sem necessidade de elaboração de páginas específicas.

Para isto, está sendo feita a orientação do aluno Fábio Bettega de maneira a elaborar-se um Applet, em linguagem Java³³, que permita a implementação das características descritas acima.

Com este trabalho, estaremos possibilitando que os resultados obtidos pelo sistema a ser instalado na Santa Casa de São Carlos, venham a ser discutidos e avaliados em conjunto, por especialistas locais e de outras regiões do país.

6 CONCLUSÕES

De uma maneira geral, este trabalho contribuiu para a aquisição de um melhor conhecimento a respeito dos usuários, do modo de operação e das características dos sistemas comerciais de MRI. Além disso, pela maneira como foi desenvolvido e pelas demais tarefas realizadas ao longo do trabalho, diversos outros importantes resultados foram obtidos. Para serem analisadas, as contribuições deste trabalho podem ser vistas sob duas principais perspectivas: as contribuições para formação do aluno e as contribuições para o projeto TORM.

Como contribuições para o aluno temos, principalmente, a aquisição de conhecimento sobre a operação de sistemas de MRI e suas interfaces com o usuário, além do consequente desenvolvimento de uma opinião crítica nesta área. Isto foi possível devido, principalmente, à etapa de análise e especificação de requisitos e à etapa de elaboração do protótipo, nas quais pôde-se entrar em contato com sistemas comerciais e com os usuários destes.

Neste projeto, o desenvolvimento da maior parte das atividades foi feito em grupo, como pôde ser visto ao longo do capítulo 5, Resultados e Discussões. Para isso, os projetos eram divididos em partes e implementados separadamente, por diferentes membros do grupo. Embora cada um destes tenha sua principal área de atuação, as discussões, na maior parte das vezes, envolviam todos os membros do grupo de programação. Isto, aliado aos conhecimentos adquiridos durante a etapa de análise e especificação de requisitos, fez com que houvesse uma efetiva participação em diversas decisões do projeto. Esta experiência foi muito valiosa pois aprendeu-se como dividir e gerenciar a realização de grandes tarefas e como conciliar metas individuais com as metas globais do projeto. Em vários momentos, também tiveram que ser conciliadas metas operacionais do projeto TORM, que possuem prazos definidos, com metas acadêmicas do programa de mestrado. Outra característica do ambiente de desenvolvimento do grupo de MRI é a utilização de diversas ferramentas e linguagens de desenvolvimento. Isto fez com que, durante as discussões periódicas, fosse adquirida uma experiência com relação à diferentes aspectos destas linguagens e ferramentas.

Através do desenvolvimento do servidor WWW, houve o estudo de aspectos relativos às linguagens e outros assuntos na área de Internet. Além disso, possibilitou a orientação de um aluno no projeto que se seguiu, sendo esta extremamente valiosa para o autor.

Como resultados deste trabalho para o projeto TORM, destacam-se a elaboração dos requisitos do sistema, a implementação parcial da TORM GUI, o desenvolvimento dos aplicativos PosProc e TORM Image e a implantação do servidor WWW.

A especificação dos requisitos foi importante pois, além de formalizar e documentar um conhecimento já existente no grupo, incorporou novos aspectos a este. Através desta, também permitiu-se que o desenvolvimento da TORM GUI pudesse ser implementado gradualmente, no sentido de ter-se versões sucessivamente mais completas.

A implementação da TORM GUI, embora parcial, já inclui características que garantem a *rapidez na realização de um exame e rapidez no treinamento de novos usuários*, tendo estas, sido colocadas como de fundamental importância no desenvolvimento da IU. A versão implementada permite a programação de um exame, aquisição e armazenamento dos resultados. Além disso, o foco da implementação foi centrado no usuário clínico, que dentre os tipos especificados na análise de requisitos (clínico, pesquisador, gerente de sistema, engenheiro de manutenção) era o que menos possuía experiência com sistemas computacionais. Este é portanto, o tipo de usuário para o qual as considerações à respeito da IU se tornam mais significativas. Para auxiliar no treinamento e facilitar a utilização do sistema por este tipo de usuário foi elaborado um Assistente para a programação de exames. Este serve para adequar o sistema ao nível de conhecimento e treinamento do usuário. Além disso, o programa incorpora características do padrão Windows e de outros sistemas comerciais dando ao usuário um ambiente conhecido e intuitivo. Em modelos comerciais mais recentes pode-se observar semelhanças da IU com relação ao projeto aqui desenvolvido. A implementação da TORM GUI foi feita em camadas de maneira a facilitar a manutenção e principalmente a evolução do programa. Diversos aspectos foram desenvolvidos de maneira a permitir que futuras alterações da interface sejam feitas sem grande impacto no que já está desenvolvido.

A metodologia de desenvolvimento utilizada mostrou-se adequada ao trabalho em grupo e ao nível de especificação de requisitos. Em particular, a utilização de protótipos foi extremamente produtiva.

O desenvolvimento do servidor WWW (<http://mri.if.sc.usp.br>) implementou um novo canal de comunicação com a sociedade e a comunidade científica. Além disso, significou o surgimento de uma nova área de atuação para o grupo de MRI de São Carlos, a de aplicações da Internet em saúde, mais precisamente a realização de diagnóstico remoto via Internet.

Além da TORM GUI, também foram desenvolvidos outros dois aplicativos: PosProc e TORM Image. O primeiro foi desenvolvido em conjunto com outros membros do grupo e é utilizado para o pós-processamento das imagens obtidas no sistema TORM 005. O segundo serve para a visualização de imagens no padrão IMR.

As principais atividades que podem ser implementadas a partir deste trabalho são as de desenvolvimento e testes da IU e de diagnóstico remoto através da Internet. Com relação à implementação da IU, tem-se como tarefas imediatas, a integração dos módulos de marcação geométrica das aquisições, que foram desenvolvidos paralelamente, a implementação dos módulos para criação e utilização de protocolos clínicos e a integração com o SBD. A cada etapa do desenvolvimento, podem ser realizados testes com usuários do sistema na Santa Casa de São Carlos, propiciando uma avaliação da facilidade de utilização do sistema e permitindo que as necessárias correções sejam feitas. Com relação ao diagnóstico remoto, é necessário o desenvolvimento de módulos de visualização e tratamento de imagens para serem utilizados em navegadores Internet. Também precisam ser desenvolvidos os meios de conexão destes ao SBD.

Dessa maneira, podemos concluir que tanto do ponto de vista do aluno quanto em relação ao projeto TORM, este trabalho foi bastante proveitoso, atingindo objetivos definidos e outros que nem haviam sido especificados. Através dos resultados deste trabalho, espera-se ter dado uma importante contribuição para a obtenção de um sistema de MRI que possa operar eficientemente em um ambiente hospitalar.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- ¹ GIL, V. M. S.; GERALDES, C. F. G. C. *Ressonância magnética nuclear: fundamentos, métodos e aplicações*. Lisboa, Ed. Calouste Gulbenkian, 1987. Cap.2, p.39-62: Bases físicas da espectroscopia RMN.
 - ² PYKETT, I. L. NMR imaging in medicine. *Scientific American*, v.246, n.5, p.54-64, 1982.
 - ³ PANEPUCCI, H. C.; TANNÚS, The principles of magnetic resonance imaging. São Carlos, IFSC, 1994 (Apostila).
 - ⁴ GIL, V. M. S.; GERALDES, C. F. G. C. *Ressonância magnética nuclear: fundamentos, métodos e aplicações*. Lisboa, Ed. Calouste Gulbenkian, 1987. Cap.12, p.917-964: Imagem médica por RMN.
 - ⁵ HOUSE, W. V. Theoretical basis for NMR imaging. In: PARTAIN, C. L. et al., *Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Imaging*, Sounders, 1983. Cap 5, p.60-72.
 - ⁶ PARTAIN, L. C. et al. The physical basis for NMR imaging. In: PARTAIN, C. L. et al., *Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Imaging*, Sounders, 1983. Cap 6, p.73-93.
 - ⁷ ANDREW, E. R. Perspectives in NMR imaging. In: PARTAIN, C. L. et al., *Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Imaging*, Sounders, 1983. Cap 1, p.9-10.
 - ⁸ PANEPUCCI, H. C. et. al. Novas imagens do corpo: tomografia por ressonância magnética nuclear. *Ciência Hoje*, v.4, n.20, p.46-56, 1985.
 - ⁹ PANEPUCCI, H. C.; TANNÚS, A. *The Principles of Magnetic Resonance Imaging*. São Carlos, IFSC, 1994 (Apostila). P.4.
 - ¹⁰ MARTINS, M. J. *Desenvolvimento de um tomógrafo de ressonância magnética: integração e otimização*. São Carlos, 1995. Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.
 - ¹¹ American College of Radiology; National Electrical Manufacturers Association. *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM): Version 3.0. Draft Standard*, ACR-NEMA Committee, Working Group VI, Washington, DC, 1993.
 - ¹² HIX, D.; HARTSON, H. R. *Developing user interfaces: ensuring usability through product & process*, John Wiley & Sons, 1993. Cap. 4, p.95-115.

-
- ¹³ PRESSMAN, R. S. *Software Engineering – A practitioner's approach*, McGraw-Hill, 1992. Cap. 1, p.29-30.
- ¹⁴ OXFORD MAGNET TECHNOLOGY. *Gradient Coil Power Supplies*.
- ¹⁵ HITACHI. *Instruction Manual for 0.05 Tesla Resistance Type Magnet for MRI*. 1986.
- ¹⁶ ANALOGIC. *AN8031 AN8033 Technical Reference Manual*. 1987.
- ¹⁷ LEITE, J. C. S. P. *Engenharia de Requisitos*. Notas de aula. Jan. 1994.
- ¹⁸ GE MEDICAL SYSTEMS. *Your Signa System*. 3ª rev. 1993.
- ¹⁹ GE MEDICAL SYSTEMS. *Scanning*. 3ª rev. 1993.
- ²⁰ GE MEDICAL SYSTEMS. *Display and Archive*. 3ª rev. 1993.
- ²¹ MARCA, D. A.; MCGOWAN, C. L. *SADT Structured Analysis and Design Technique*. McGraw-Hill, 1988.
- ²² ROSS, D. T. Applications and extensions of SADT. *Computer*, p.25-34, abr. 1985.
- ²³ ROSS, D. T. Structured Analysis (SA): A language for communicating ideas. *IEEE Trans. Software Engineering*, v.SE-3, n.1, p.16-34, jan. 1977.
- ²⁴ RETTIG, M. Prototyping for tiny fingers. *Comm. of the ACM*, v.37, n.4, p.21-27, 1994.
- ²⁵ FREIRE, H. J. P. *Proposta de um sistema de banco de dados para tomografia por ressonância magnética nuclear*. São Carlos, 1997. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ²⁶ JACKSON, M. A. *System Development*. Prentice-Hall, 1983.
- ²⁷ ALDUS CORPORATION. *TIFF 6.0 Specification*.
<http://www.aldus.com/supportservice/devrelations/PDFS/TN/TIFF6.pdf> , Jul. 1992.
- ²⁸ PORTUGAL, R. V.; PANEPUCCI, H. C. Ferramenta web para avaliação clínica de imagens de tomografia de ressonância magnética. In: FÓRUM NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE, Campos do Jordão. Anais. 1996.
- ²⁹ MICROSOFT CORPORATION. *Installation and planning guide: Microsoft Internet Information Server*. 1995.
- ³⁰ CASTRO, M. A. S. *Tutorial HTML*.. <http://www.icmsc.sc.usp.br/manuals/HTML/> , Jul. 1998.
- ³¹ NCSA. *The Common Gateway Interface*. <http://hoohoo.ncsa.uiuc.edu/cgi/> , Jul. 1998.

-
- ³² CHRISTIANSEN, T. *Perl Language Page*. <http://language.perl.com/> , Jul. 1998.
- ³³ SUN MICROSYSTEMS. *The Source fo Java Technology*. <http://java.sun.com/> , Jul. 1998.

ANEXO A: REQUISITOS

Neste anexo serão apresentados a lista de requisitos do sistema, os formulários utilizados nas entrevistas estruturadas e os diagramas SADT obtidos. Os requisitos estarão divididos em grupos de atividades: realização de exame, tratamento de imagens, programação de protocolos clínicos, sistema, controle de qualidade, impressão, transferência de dados e consultas ao SBD.

REQUISITOS

Realização de Exame

Identificação do Exame A cada novo exame realizado o sistema deve gerar um identificador único e sequencial. Este identificador deve poder ser visualizado pelo operador durante o exame.
Entrada de Dados do Paciente O sistema deve permitir ao usuário que informe um conjunto mínimo de dados necessários ao exame.
Listar/Selecionar Paciente O sistema deve permitir ao usuário que importe da Base de Dados para o Exame corrente os dados de um paciente já cadastrado.
Visualizar Histórico do Paciente Caso o paciente possua histórico cadastrado no sistema, o usuário deve poder visualizá-lo.
Entrada de Dados do Exame O sistema deve permitir ao usuário que informe dados relativos ao exame.
Listar/Selecionar Exame O sistema deve permitir que o usuário tenha acesso a uma lista de exames programados e selecione o de interesse.
Listar/Selecionar Protocolos O sistema deve permitir que o usuário tenha acesso a uma lista de protocolos que podem ser utilizados no exame e selecione o de interesse.
Visualizar Dados do Protocolo A partir do momento que for selecionado um protocolo a Info Screen deve ser preenchida com dados daquele protocolo, independente de qual outra janela esta sendo mostrada.
Alterar Dados do Protocolo O sistema deve permitir que os dados do protocolo selecionado sejam alterados somente para utilização no exame.
Listar/Selecionar Série O sistema deve permitir que o usuário tenha acesso a uma lista de séries disponíveis no sistema e selecione uma delas para ser utilizada no exame.
Listar/Selecionar Aquisição O sistema deve permitir que o usuário tenha acesso a uma lista de aquisições disponíveis no sistema e selecione uma delas para ser utilizada no exame.
Listar/Selecionar Séries e Aquisições do Exame Corrente

O sistema deve permitir ao usuário que visualize todas as séries e aquisições programadas para o exame corrente, e selecione a que deseja realizar. Isto se aplica a exames pré-programados.
<p>Listar/Selecionar Séries e Aquisições do Protocolo Corrente</p> <p>O sistema deve permitir ao usuário que visualize todas as séries e aquisições programadas para o protocolo corrente, e selecione a que deseja realizar.</p>
<p>Realizar Aquisição</p> <p>O sistema deve permitir que várias séries contendo várias aquisições cada sejam realizadas dentro de um exame.</p>
<p>Receber Notificações de Fim de Aquisição/Série</p> <p>O usuário deve poder escolher se quer receber notificações do sistema ao fim de cada aquisição, cada série ou não quer receber notificações.</p>
<p>Reiniciar Exame Interrompido</p> <p>O sistema deve permitir que um Exame que tenha sido interrompido por qualquer motivo, possa ser reiniciado a partir da última informação coerente obtida.</p>
<p>Gerar Descrição do Exame</p> <p>Ao término do exame o sistema deverá gerar um descrição do exame. Esta descrição deve conter as aquisições realizadas com os principais parâmetros utilizados.</p>
<p>Possibilitar Conexões a um Exame Restrito</p> <p>No caso de haver necessidade de um exame em andamento ser acompanhado por pessoas em outros locais, o sistema deve permitir que as imagens sejam transmitidas para um ou mais computadores.</p>
<p>Possibilitar Impressão Durante um Exame</p> <p>Durante visualização de imagens deve haver opções que permitam ao usuário imprimir as imagens que estão sendo mostradas.</p>
<p>Programar a Frente</p> <p>O sistema deve permitir que o usuário programe as próximas aquisições, séries e exames. O usuário deve poder visualizar o que está programado.</p>
<p>Necessidade de Dados</p> <p>O sistema deve garantir que todos os exames finalizados possuam um conjunto mínimo de dados definidos pelo gerente de sistemas.</p>
<p>Teclas de Wizard</p> <p>O sistema deve possuir teclas que permitam ao usuário percorrer um Wizard pré-programado.</p>
<p>Review Screen</p> <p>Após a programação do exame o usuário deve ver uma janela com um resumo dos parâmetros programados.</p>
<p>Visualizar Estatísticas</p> <p>O sistema deve permitir que o usuário visualize estatísticas realizadas sobre a imagem.</p>
<p>Realizar Saturação</p> <p>O sistema deve permitir que o usuário marque uma região de pré-saturação. A pré-saturação pode ser interna ou externa ao FOV. Também deve ser possível a realização de saturação durante a aquisição.</p>
<p>Programar Coordenadas</p> <p>O sistema deve permitir que o usuário visualize as coordenadas e o ângulo, do corte central, que estão sendo programados. Caso deseje ele deve poder alterar estes valores através do teclado.</p>
<p>Programar FOV</p> <p>O sistema deve permitir a programação de FOV retangulares.</p>
<p>Gating</p> <p>O sistema deve permitir a visualização dos monitorações cardíacas e respiratórias e o ajuste do trigger. Isto deve ser possível de ser feito logo no início do exame.</p>
<p>Valores dos Campos a Serem Preenchidos</p> <p>O sistema deve indicar para o usuário quais os tipos de dados e os valores esperados em cada campo.</p>
<p>Pré-Scan</p> <p>O sistema deve permitir a realização de pré-scan automático ou manual.</p>

Tratamento de Imagens

Modo de Visualização O sistema deve permitir que o usuário utilize a tela inteira ou o View Screen para visualização de imagens.
Mostrar Imagem Após a Reconstrução O sistema deve permitir que as imagens sejam mostradas imediatamente após a reconstrução ou somente quando o usuário desejar.
Fatores de Zoom e Offset O sistema deve permitir a definição de fatores de zoom (positivos e negativos) e offset ou o ajuste à região disponível para as imagens serem mostradas após a reconstrução. Estes fatores são aplicados a todas as imagens que forem ser visualizadas. Após o sistema mostrar as imagens estes valores podem ser alterados em cada uma.
Múltiplas Imagens O sistema deve permitir que o usuário defina como deve ser mostrado um conjunto de imagens no monitor. Isto pode ser feito simultaneamente ou paginadamente.
Dados O sistema deve permitir visualizar diversos dados. O usuário pode escolher quais deles devem ser mostrados.
Ajuste da Escala de Tons de Cinza O sistema deve permitir que o usuário ajuste quantos níveis deve ter a escala de tons de cinza e se ela deverá ser visualizada ou não.
Fixar W/L para o Scan O sistema deve permitir que o usuário fixe determinados valores de Window Width e Window Level para todas as imagens do Scan.
Listar Imagens O sistema deve permitir a visualização da lista de imagens (Image Bar) da aquisição corrente. O usuário poderá escolher se esta lista virá ordenada pelo número de echo, localização ou número da imagem.
Selecionar Imagens O sistema deve permitir que o usuário selecione uma imagem para visualização, edição ou exercer outra ação.
Realizar Estatística O sistema deve permitir a realização de estatísticas sobre a imagem ou uma região selecionada.
Referência Cruzada O sistema deve permitir a realização de referência cruzada entre uma imagem e uma aquisição da mesma série.
Aplicar Zoom em uma Região Selecionada O sistema deve permitir que se aplique um zoom a uma região selecionada pelo usuário.
Definir Região de Interesse O sistema deve permitir que o usuário selecione uma região sobre a imagem nos seguintes formatos: retangular, circular, polígono irregular e irregular livre.
Medir Distâncias O sistema deve permitir a medição de distâncias em uma imagem e entre imagens da mesma série.
Medir Ângulos O sistema deve permitir a medição de ângulos em uma imagem e entre imagens da mesma série.
Escala de Tamanho O sistema deve permitir a visualização da escala de tamanho sobre a imagem.
Escala de Tons de Cinza O sistema deve permitir a visualização da escala de tons de cinza na imagem.
Visualizar Dados com a Imagem O sistema deve permitir visualizar dados na própria imagem. Estes podem ser os mesmos do item 3.2.1.5.

Eliminar Cantos
O sistema deve permitir que os cantos das imagens sejam eliminados tornando-as arredondadas nos cantos.
Editar Imagens
O sistema deve permitir que o usuário edite as imagens disponíveis. O usuário deve poder desfazer todas as edições que tenha feito.
Flip
Realizar flip em uma imagem selecionada.
Rotação
O sistema deve permitir que o usuário gire a imagem de um ângulo qualquer em torno do centro.
Escrever
Escrever em uma região de uma imagem selecionada.
Desenhar
Traçar retas, círculos, retângulos e desenhos livres em uma imagem selecionada.
Alterar Textos e Desenhos
O sistema deve permitir que o usuário altere os desenhos ou textos criados. Estas alterações podem ser resize e move para os desenhos e edição, resize e move para os textos.
Apagar Textos e Desenhos
Permite apagar textos e desenhos sem alterar a imagem original.
Ajustar W/L da Imagem
Fixar determinados valores de Window Width e Window Level para a imagem corrente.
Retornar Imagem ao Normal
A imagem é visualizada da maneira original desfazendo-se todas as edições realizadas. Como valores de Window Width e Window Level são colocados os valores correntes para o Scan.
Rodar linhas ou colunas da imagem
O sistema deve permitir que o usuário selecione uma linha ou coluna a partir da qual a imagem deve ser “rodada”.
Limpar regiões da imagem
O sistema deve permitir ao usuário limpar regiões da imagem.

Programação de Protocolos Clínicos

Controle de Acesso
Para cada protocolo, série ou aquisição criada, deve ser criado um controle de acesso do tipo que identifique o usuário ao qual pertence e as permissões dadas por ele.
Criar Séries/Aquisições
O sistema deve permitir ao usuário a criação de novas séries/aquisições.
Alterar Séries/Aquisições
O usuário deve poder alterar uma série/aquisição existente em um protocolo.
Importar Séries e Aquisições Existentes
O sistema deve permitir que o usuário utilize séries e aquisições já programadas para a programação ou edição de um protocolo.
Apagar Séries/Aquisições
O sistema deve permitir ao usuário que apague uma série/aquisição de um protocolo.
Criar Protocolo
O sistema deve permitir que o usuário crie novos protocolos.
Criar/Alterar Nome do Protocolo
O sistema deve permitir que o usuário dê um nome para um protocolo ou altere o seu nome.
Apagar Protocolo
O usuário deve poder apagar um protocolo selecionado na lista de protocolos.
Importar Exame já Realizado para Protocolo
O sistema deve permitir que os dados pertinentes de um exame já realizado sejam incorporados a um protocolo.
Listar/Selecionar Protocolos Existentes
O sistema deve permitir a visualização dos protocolos existentes.

Fixar Valores de Window Width (W) e Window Level (L)
O sistema deve permitir ao usuário que ajuste o valor default de window width e window level para um protocolo.
Definir Estatísticas a Serem Realizadas
O sistema deve permitir que o usuário defina quais tipos de estatísticas deve ser realizadas e os pontos ou regiões na qual devem ser aplicadas sobre a imagem.

Sistema

Cadastrar Novo Usuário ou Grupo
O sistema deve permitir ao gerente de sistema que cadastre novos usuários ou grupos de usuários no sistema.
Alterar Propriedades de Usuário ou Grupo
O sistema deve permitir ao gerente de sistema que altere as propriedades de um usuário ou grupo de usuários cadastrados.
Eliminar Usuário ou Grupo
O sistema deve permitir que o gerente de sistema elimine usuários ou grupo de usuários do sistema.
Manutenção
O sistema deve permitir ao gerente de sistema e a outros usuários autorizados pelo gerente de sistema que tenham acesso à ferramentas do sistema e a outros recursos do Windows®.
Diagnóstico Inicial
O sistema deve fazer um diagnóstico básico para a operação sempre que for iniciado.
Iniciar Executando Diagnóstico
O sistema deve permitir que seja realizado um diagnóstico do sistema antes o usuário começar a operar. Isto deve ser feito após a identificação do usuário. Esta opção só deve ser acessível a usuários com permissão dada pelo gerente de sistema.
Iniciar Sem Executar Diagnóstico
O sistema deve permitir ao usuário que não execute o diagnóstico e coloque o sistema imediatamente em operação, após sua identificação.
Iniciar Interrompendo Diagnóstico Noturno
O sistema deve permitir ao usuário que interrompa o diagnóstico noturno para colocar o sistema em operação. Após a interrupção o sistema deve mostrar a janela de login.
Realizar Shutdown do Sistema
O sistema é totalmente finalizado para que todos os equipamentos sejam desligados, inclusive o computador. Esta opção só deve ser acessível a usuários com permissão dada pelo gerente de sistema.
Realizar Shutdown do Computador
O sistema é finalizado para que o computador seja desligado. Esta opção só deve ser acessível a usuários com permissão dada pelo gerente de sistema.
Reiniciar o Sistema
O computador é reiniciado.
Executar Logout e Logar como Outro Usuário
O sistema é finalizado e retorna para a janela de login.
Executar Diagnóstico
O sistema é finalizado e retorna para a janela de login. Em background é realizado o processo de diagnóstico. Esta opção só deve ser acessível a usuários com permissão dada pelo gerente de sistema.
CTRL+ALT+DEL
Caso o usuário pressione CTRL + ALT + DEL o sistema deve mostrar uma das seguintes janelas: a mesma utilizada pelo Windows® ou a janela de Shutdown descrita acima.

Controle de Qualidade

Criar Teste O sistema deve permitir que o usuário crie protocolos para serem utilizados para controle de qualidade.
Realizar Aquisição O sistema deve permitir que o usuário realize um estudo utilizando o phantom padrão com o protocolo já programado.
Visualizar Imagens e Dados O sistema deve permitir que o usuário visualize as imagens resultantes da aquisição realizadas e os dados das análises feitas sobre as imagens.
Verificar Validade O sistema deve verificar se os dados estão na faixa permitida pelo usuário. Caso não estejam o usuário deverá ser informado.
Salvar Dados O sistema deve salvar as imagens e os dados para posterior referência.
Mostrar Gráficos O sistema deve permitir ao usuário que visualize os resultados de outros testes de controle de qualidade realizados anteriormente.

Impressão

Permitir Múltiplos Dispositivos de Impressão O sistema deve permitir que as imagens sejam fotografadas em câmeras multi-formato ou 35 mm, filmadas em VCR, e impressas em impressoras disponíveis local ou remotamente.
Selecionar Dispositivo O usuário deverá informar qual o dispositivo será utilizado, entre os disponíveis local ou remotamente.
Fazer Testes de Qualidade O sistema deve possuir um conjunto de imagens padrão para serem utilizadas no procedimento de controle de qualidade dos dispositivos de impressão.
Definir Formato de Impressão O usuário deverá informar ao sistema qual o formato a ser utilizado para impressão.
Imprimir Simultaneamente O sistema deve permitir que o usuário imprima imagens que estão sendo visualizadas na sua console ao mesmo tempo que as visualiza. A exposição das imagens pode ser sequencial ou aleatória.
Imprimir em Batch O sistema deve permitir que o usuário programe um conjunto de imagens para posterior impressão.
Filmar VCR O sistema deve permitir ao usuário que filme em um VCR o que está sendo visualizado na View Screen ou na tela inteira.
Alocação dos Dispositivos de Impressão O sistema deve controlar a alocação dos dispositivos de impressão de maneira que usuários em diferentes estações possam utilizá-los sem haver mistura de imagens.

Transferência de Dados

Tipos de Dados O sistema deve permitir a transferência de dados entre estações utilizando dados em formato comercial ou interno.
Listar/Selecionar SGBD O sistema deve permitir ao Gerente de Sistemas que selecione em que estação está o SGBD a ser utilizado.
Listar/Selecionar Base Deve haver uma BD default para o sistema operar. Além disso o sistema deve permitir que o usuário

selecione a Base de Dados que deseja atuar, através da escolha em uma lista.
Transferir Registros O sistema deve permitir ao gerente de sistema a transferência de registros entre bases de dados e a criação de BD.
Localizar Registro não Presente na Base Atual O sistema deve ser capaz de localizar um registro de paciente/exame que não esteja na Base de Dados corrente. Após localizá-lo o sistema deve ser capaz de torná-lo disponível para o usuário.
Alterar Dados O sistema deve permitir à usuários autorizados a alteração de dados de exames concluídos. Cada usuário poderá ou não alterar determinados tipos de dados.

Consultas ao SBD

Selecionar Dados O sistema deve permitir que o usuário selecione quais os dados do exame deseja visualizar juntamente com a imagem.
Listar/Selecionar Exame O sistema deve permitir ao usuários selecionar qual exame deseja visualizar a partir de uma listagem de exames.
Listar/Selecionar Imagens O sistema deve permitir que o usuário, após selecionar um exame, selecione quais as imagens deseja visualizar.
Cadastrar Paciente O sistema deve permitir que dados de paciente sejam cadastrados antes ou durante a execução do exame, em qualquer estação que tenha acesso ao servidor.
Importar Dados do Paciente O sistema deve permitir ao usuário que importe da Base de Dados para o Exame corrente os dados de um paciente já cadastrado.

QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS NAS ENTREVISTAS ESTRUTURADAS

Questionário sobre aspectos gerais do equipamento

Local: _____Data: _____

Obs: _____

=====

Há mais de um tipo de usuário utilizando o Sistema Computacional? Qual tipo? (Marcar os que são usuários - U - e os que o sistema reconhece - S)

- Engenheiro de Manutenção (EM)	U	S
- Operador (OP)	U	S
- Radiologista (RA)	U	S
- Outro 1 (OT1): _____	U	S
- Outro 2 (OT2): _____	U	S
- Outro 3 (OT3): _____	U	S

Nível de auxílio do Sistema

Qual o tipo de auxílio disponível no sistema?

☐ Help sensitivo ☐ Tutorial ☐ Nenhum
☐ Help por consulta ☐ Manuais On-Line

Quais destes reconhecem o nível do usuário?

☐ Help sensitivo ☐ Tutorial ☐ Nenhum
☐ Help por consulta ☐ Manuais On-Line

Quem determina a quais níveis de auxílio cada um deve ter acesso?

☐ EM ☐ OP ☐ RA ☐ OT1 ☐ OT2 ☐ OT3

O nível de auxílio do sistema é orientado:

☐ a usuário ☐ ao tipo de usuário ☐ não tem

Segurança do sistema e condições extremas

Como o sistema responde a:

Erros do usuário na entrada de dados: _____

Falhas de operação do usuário: _____

Queda de força: _____

Disco cheio durante exame: _____

Falha de hardware com possibilidade de danos à pessoa: _____

Falha de hardware com possibilidade de danos ao sistema: _____

Falha de software com possibilidade de danos à pessoa: _____

Falha de software com possibilidade de danos ao sistema: _____

Qual o tempo de reinicialização do sistema nas falhas que o comprometem? _____

Como é feito o controle de acesso aos dados? _____

Como é feito o controle de acesso ao sistema? _____

Existe preocupação com a segurança física do sistema? Como é feita? _____

Módulos do sistema (colocar observações e descrição na frente)

() Console _____

() Terminal p/ visualização de imagens _____

☐ Câmera multi formato _____

☐ Unidade de fita _____

☐ _____

☐ _____

Dados

Qual a capacidade de armazenamento de dados do sistema?

_____ imagens _____ dias - semanas - meses

Existe um padrão de comunicação de dados com outros sistemas?

☐ Sim ☐ Não

É um padrão: ☐ aberto ☐ fechado

Questionário sobre o usuário

Questionário Individual Nome: _____

Que tipo de usuário está utilizando o Sistema Computacional?

Tipo de Usuário: EM OP RA OT1 OT2 OT3

Conhecimento do hardware envolvido:

☐ Nenhum ☐ Módulos externos ☐ Módulos internos ☐ Componentes

Conhecimento do software:

☐ Operação ☐ Manutenção ☐ Estrutural superficial ☐ Estrutural profunda

Conhecimento de RMN:

☐ Nenhum ☐ Básico ☐ Intermediário ☐ Avançado

Conhecimento clínico (diagnóstico):

☐ Nenhum ☐ Superficial ☐ Profundo

Domínio em outras áreas:

☐ Clínica ☐ Computação ☐ Hardware ☐ _____

Conhece outras máquinas de RMN? Quais?

☐ Philips _____ ☐ GE _____

☐ Siemens _____ ☐ Bruker _____

Formação acadêmica: _____

Já teve contato com computador anteriormente? ☐ Sim ☐ Não

Atividades realizadas:

☐ Aquisição de imagens ☐ Desenv. Sequências p/ obtenção de imagens

☐ Diagnóstico do sistema ☐ Desenv. de Sequências p/ calibração

☐ Elaboração de laudo ☐ Desenv. de prot. p/ tratamento de dados

☐ Desenv. de módulos do sistema ☐ Desenv. de prot. de exames

☐ Desenv. de módulos de hard. ☐ Manutenção de hardware

☐ Análise de imagens ☐ Manutenção de Software

☐ Inicializar o sistema

☐ _____

☐ _____

☐ _____

Obs: _____

Qual tipo de treinamento existente?

Existe uma periodicidade de treinamento? Qual? _____

Primeiro Treinamento: _____ Local: _____

Objetivo: _____

() Aulas teóricas () Treinamento prático () Exames monitorados

() _____

() _____

Nível de dificuldade: () Alto () Médio () Baixo

Tempo de duração: _____

Obs: _____

Outro Treinamento: _____ Local: _____

Objetivo: _____

() Aulas teóricas () Treinamento prático () Exames monitorados

() _____

() _____

Nível de dificuldade: () Alto () Médio () Baixo

Tempo de duração: _____

Obs: _____

Interface

Equipamento: _____

Quais são as características desta interface que lhe agradam:

Quais são as características desta interface que lhe desagradam:

Este equipamento orienta as atividades a serem realizadas? Como? _____

Como a interface poderia ser mais amigável: _____

Quais sugestões/evoluções podem ser feitas no sistema? _____

SADT

Figura 36 - Diagrama SADT geral da interface com o usuário do sistema TORM05.

Figura 39 - Diagrama SADT da execução da pré aquisição.

Figura 40 - Diagrama SADT da execução da aquisição.

Figura 41 - Diagrama SADT do processamento de dados.

Figura 42 - Diagrama SADT da visualização de edição de imagens.

ANEXO B: FORMATOS DE IMAGENS E DADOS UTILIZADOS

DAT

O formato DAT foi desenvolvido, pelo engenheiro Mateus José Martins do grupo de ressonância do IFSC, para armazenamento e troca de dados de aquisição do tomógrafo. Este formato armazena as partes reais e imaginárias, dos dados obtidos, com 32 bits cada. Cada registro possui 64 bits, onde os primeiros 32 são o valor da parte real do número e os seguintes são a parte imaginária. A estrutura deste arquivo é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Estrutura de um arquivo no formato DAT

Offset	Tipo	Descrição
0000	16 bits sem sinal	Número de colunas – 1.
0002	16 bits sem sinal	Número de linhas – 1.
0004	Dado (32 bits)	Parte real, coluna 1, linha 1.
0008	Dado (32 bits)	Parte imaginária, coluna 1, linha 1.
000C	Dado (32 bits)	Parte real, coluna 2, linha 1.
0010	Dado (32 bits)	Parte imaginária, coluna 2, linha 1.
...	...	...
0812	Dado (32 bits)	Parte real, coluna 1, linha 2.
...	...	...
7FF10	Dado (32 bits)	Parte imaginária, coluna 256, linha 256.

DTF

O formato DTF foi desenvolvido, no grupo de ressonância do IFSC, para armazenamento e troca de dados de aquisição do tomógrafo. Este formato armazena as partes reais e imaginárias, dos dados obtidos, com 32 bits cada,. Da mesma maneira descrita para o formato DAT.

Este formato possibilita a inclusão de inúmeros conjuntos de dados em um mesmo arquivo. No início deste há um header que identifica o arquivo, e em seguida é inserido um header para cada conjunto de dados. A Tabela 5 mostra o header que é inserido para cada conjunto de dados de um arquivo no formato DTF.

Tabela 5 – Header de cada conjunto de dados em um arquivo no formato DTF

Tipo	Descrição
Char [2]	Dois bytes (“DH”) que identificam o header do conjunto de dados.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Tamanho do header.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número de linhas.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número de colunas
Inteiro, 16 bits sem sinal	Flags utilizados para o processamento dos dados.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número do echo ao qual pertence.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número do plano na aquisição.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número da aquisição à qual pertence.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número da série à qual pertence.
Inteiro, 16 bits com sinal	Número de médias feitas para a aquisição dos dados.
Inteiro, 16 bits com sinal	Offset do plano adquirido com relação ao isocentro do magneto.
Inteiro, 32 bits com sinal	Tamanho do Field of View de leitura.
Inteiro, 32 bits com sinal	Tamanho do Field of View de fase.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Reservado

PAC

O formato PAC foi desenvolvido, também pelo engenheiro Mateus José Martins do grupo de ressonância do IFSC, para armazenamento e troca de dados das imagens adquiridas no sistema. Este formato armazena os pixels da imagem, com 8 bits cada, como mostrado na Tabela 6. Isto pode ser feito pois a imagem tem que ser normalizada para se adequar à dinâmica do padrão RGB.

Tabela 6 – Estrutura de um arquivo no formato PAC

Offset	Tipo	Descrição
0000	16 bits sem sinal	Número de colunas – 1.
0002	16 bits sem sinal	Número de linhas – 1.
0004	Pixel (8 bits)	Valor do pixel da coluna 1, linha 1.
0005	Pixel (8 bits)	Valor do pixel da coluna 2, linha 1.
...	...	...
0103	Pixel (8 bits)	Valor do pixel da coluna 1, linha 2.
...	...	...
10004	Pixel (8 bits)	Valor do pixel da coluna 256, linha 256.

IMR

O formato IMR foi desenvolvido, no grupo de ressonância do IFSC, para armazenamento e troca de dados de imagens obtidas no tomógrafo. Este formato permite o armazenamento dos dados da imagem em 16 bits, ou seja, 65536 tons de cinza. Desta maneira, as imagens podem ser armazenadas sem a perda de dinâmica que ocorre na conversão para o formato PAC.

Este formato possibilita a inclusão de inúmeras imagens em um mesmo arquivo. No início deste há um header que identifica o arquivo, e em seguida é inserido um header para cada conjunto de dados da imagem. Os dados da imagem são valores de 16 bits, sem sinal, armazenados linha a linha. A Tabela 7 mostra o header que é inserido para cada imagem de um arquivo no formato IMR.

Tabela 7 – Header de cada imagem em um arquivo no formato IMR.

Tipo	Descrição
Char [2]	Dois bytes (“IH”) que identificam o header da imagem.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Tamanho do header.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número de linhas.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número de colunas
Inteiro, 16 bits sem sinal	Window Width para abertura da imagem.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Window Level para abertura da imagem.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Flags para o processamento da imagem.

Inteiro, 16 bits sem sinal	Número do echo ao qual a imagem pertence.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número do plano da imagem na aquisição.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número da aquisição à qual a imagem pertence.
Inteiro, 16 bits sem sinal	Número da série à qual a imagem pertence.
Inteiro, 16 bits com sinal	Offset do plano da imagem com relação ao isocentro do magneto.
Inteiro, 32 bits com sinal	Valor máximo entre os pixels da imagem.
Inteiro, 32 bits com sinal	Valor mínimo entre os pixels da imagem.
Inteiro, 32 bits com sinal	Valor de background da imagem.
Ponto flutuante, 32 bits	Fator de normalização utilizado na imagem.
Inteiro, 32 bits com sinal	Tamanho do Field of View de leitura.
Inteiro, 32 bits com sinal	Tamanho do Field of View de fase.

TIFF GRAYSCALE

TIFF é um formato de arquivo para armazenamento e troca de imagens, criado pela Aldus Corporation, em 1986, juntamente com fabricantes de scanners e desenvolvedores de programas. Este formato utiliza tags para o armazenamento de informações e dados referentes à imagem, sendo assim, um formato extensível. Este formato comporta os seguintes tipos de dados de imagem:

- Bilevel;
- Grayscale;
- Palette-color;
- Full-color.

Para a utilização com as imagens geradas pelo TORM Image foi utilizada a especificação TIFF para dados Grayscale com 256 tons de cinza.

A Tabela 8 mostra o exemplo de um arquivo TIFF para uma imagem de tamanho 256x256 pixels, 25x25 cm, 256 tons de cinza e sem compressão.

Tabela 8 – Exemplo de um arquivo TIFF Grayscale para uma imagem de tamanho 256x256 pixels, 25x25 cm, 256 tons de cinza e sem compressão.

Offset	Valor	Descrição
0000	4949	Byte Order (little-endian)
0002	2A00	42
0004	0800 0000	1 st IFD Offset
0008	0C00	Number Of Directory Entries
000A	FE00 0400 0100 0000 0000 0000	New Subfile Title
0016	0001 0400 0100 0000 0001 0000	Image Width
0022	0101 0400 0100 0000 0001 0000	Image Length
002E	0201 0300 0100 0000 0800 0000	Bits Per Sample
003A	0301 0300 0100 0000 0100 0000	Compression
0046	0601 0300 0100 0000 0100 0000	Photometric Interpretation
0052	1101 0400 0100 0000 AE00 0000	Strip Offset
005E	1601 0400 0100 0000 0001 0000	Rows Per Strip
006A	1701 0400 0100 0000 0000 0100	Strip Byte Counts
0076	1A01 0500 0100 0000 9E00 0000	X resolution
0082	1B01 0500 0100 0000 A600 0000	Y resolution
008E	2801 0300 0100 0000 0300 0000	Resolution Unit
009A	0000 0000	Next IFD Offset
009E	0001 0000 1900 0000	X resolution
00A6	0001 0000 1900 0000	Y resolution
00AE	Image data (1 byte per pixel)	Strip

Alguns deste campos estão relacionados a outros, são eles:

- RowsPerStrip: número de linhas por strip, ou seja o número de linhas da imagem (ImageLength).
- StripByteCounts: número de bytes na Strip, ou seja ImageLength * ImageWidth.
- Xresolution: número de pixels por ResolutionUnit na direção ImageWidth.
- Yresolution: número de pixels por ResolutionUnit na direção ImageLength.

ANEXO C: CÁLCULO DAS DIREÇÕES DE LEITURA, FASE E SELEÇÃO

O AN9100 utiliza uma matriz de co-senos diretores para o cálculo dos gradientes de saída dos canais x, y, z, conforme a equação abaixo:

$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \\ G_z \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} a_{xr} & a_{xp} & a_{xs} \\ a_{yr} & a_{yp} & a_{ys} \\ a_{zr} & a_{zp} & a_{zs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_r \\ G_p \\ G_s \end{bmatrix} \quad [1]$$

Onde G_r é o valor do gradiente de leitura, G_p é o valor do gradiente de fase e G_s é o valor do gradiente de seleção. Os elementos a são os co-senos diretores que definem as direções dos gradientes de leitura, fase e seleção. Sendo assim:

$$\begin{aligned} \bar{g}_r &\equiv (a_{xr} \quad a_{yr} \quad a_{zr}) \\ \bar{g}_p &\equiv (a_{xp} \quad a_{yp} \quad a_{zp}) \\ \bar{g}_s &\equiv (a_{xs} \quad a_{ys} \quad a_{zs}) \end{aligned}$$

Os valores de saída G_x , G_y , G_z , podem ser colocados em qualquer um dos três canais de saída de gradientes do AN9100. Esta ordem de saída é definida pelos parâmetros 8, 9 e 10 da tabela GDSET.PAR. Esta tabela é gerada pelo programa SETUP. A Tabela 9 mostra os valores destes parâmetros onde g_x , g_y e g_z podem assumir os valores 1, 2 ou 3 indicando qual o canal de saída a ser utilizado por G_x , G_y , G_z respectivamente.

Tabela 9- Parâmetros de atribuição dos canais de saída dos gradientes em GDSET.PAR.

Número do Parâmetro	Valor do Parâmetro
8	g_x
9	g_y
10	g_z

O SETUP.EXE também gera uma tabela, SETANG.CMD, que contém os valores da matriz de co-senos diretores. Os valores são colocados nesta tabela como mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores dos parâmetros de SETANG.CMD usados para a matriz de co-senos diretores.

Número do Parâmetro	Valor do Parâmetro
2	a_{xr}
3	a_{xp}
4	a_{xs}
5	a_{yr}
6	a_{yp}
7	a_{ys}
8	a_{zr}
9	a_{zp}
10	a_{zs}

A Equação 1 define também a matriz de transformação do sistema de coordenadas da imagem para o sistema de coordenadas do magneto. Dado um ponto (x_i, y_i, z_i) com relação ao sistema de coordenadas da imagem, suas coordenadas com relação ao sistema de coordenadas do magneto serão:

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} a_{xr} & a_{xp} & a_{xs} \\ a_{yr} & a_{yp} & a_{ys} \\ a_{zr} & a_{zp} & a_{zs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad [3]$$

Para calcular os elementos da matriz de transformação que será utilizada, o SETUP usa três ângulos, ϕ , θ e β , informados pelo usuário. Estes definem rotações que serão feitas em torno dos eixos z, y e novamente z do magneto. Estas rotações são definidas pelas matrizes A, B e C.

$$A \equiv \begin{bmatrix} \cos(\phi) & \text{sen}(\phi) & 0 \\ -\text{sen}(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B \equiv \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\text{sen}(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

$$C \equiv \begin{bmatrix} \cos(\beta) & \text{sen}(\beta) & 0 \\ -\text{sen}(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A multiplicação destas 3 matrizes dará a matriz de co-senos diretores a ser utilizada.

$$CBA \equiv \begin{bmatrix} \cos(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) - \text{sen}(\phi)\text{sen}(\beta) & \text{sen}(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) + \cos(\phi)\text{sen}(\beta) & -\text{sen}(\theta)\cos(\beta) \\ -\cos(\phi)\cos(\theta)\text{sen}(\beta) - \text{sen}(\phi)\cos(\beta) & -\text{sen}(\phi)\cos(\theta)\text{sen}(\beta) + \cos(\phi)\cos(\beta) & \text{sen}(\theta)\text{sen}(\beta) \\ \cos(\phi)\text{sen}(\theta) & \text{sen}(\phi)\text{sen}(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

Onde a primeira coluna é o versor da direção de leitura, a segunda coluna é o versor da direção de fase e a terceira coluna é o versor da direção de seleção.

$$\begin{aligned}\vec{r} &\equiv (\cos(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) - \sin(\phi)\sin(\beta) \quad -\cos(\phi)\cos(\theta)\sin(\beta) - \sin(\phi)\cos(\beta) \quad \cos(\phi)\sin(\theta)) \\ \vec{l} &\equiv (\sin(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) + \cos(\phi)\sin(\beta) \quad -\sin(\phi)\cos(\theta)\sin(\beta) + \cos(\phi)\cos(\beta) \quad \sin(\phi)\sin(\theta)) \\ \vec{s} &\equiv (-\sin(\theta)\cos(\beta) \quad \sin(\theta)\sin(\beta) \quad \cos(\theta))\end{aligned}$$

Ainda temos que levar em consideração que isso só vale caso os valores de saída G_x , G_y , G_z , sejam atribuídos respectivamente aos canais x, y e z do gerador de gradientes. Ou seja, os valores dos parâmetros 8, 9 e 10 da tabela GDSET.PAR, devem ser 1, 2, 3, respectivamente. Se isto não ocorrer, haverá uma mudança na ordem das linhas da matriz $(CBA)^{-1}$, que alterará as coordenadas das direções de leitura, fase e seleção. Por exemplo, caso os valores dos parâmetros sejam 3, 2, 1, a matriz de saída final será:

$$CBA \equiv \begin{bmatrix} \cos(\phi)\sin(\theta) & \sin(\phi)\sin(\theta) & \cos(\theta) \\ -\cos(\phi)\cos(\theta)\sin(\beta) - \sin(\phi)\cos(\beta) & -\sin(\phi)\cos(\theta)\sin(\beta) + \cos(\phi)\cos(\beta) & \sin(\theta)\sin(\beta) \\ \cos(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) - \sin(\phi)\sin(\beta) & \sin(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) + \cos(\phi)\sin(\beta) & -\sin(\theta)\cos(\beta) \end{bmatrix}$$

E os versores serão:

$$\begin{aligned}\vec{r} &\equiv (\cos(\phi)\sin(\theta) \quad -\cos(\phi)\cos(\theta)\sin(\beta) - \sin(\phi)\cos(\beta) \quad \cos(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) - \sin(\phi)\sin(\beta)) \\ \vec{l} &\equiv (\sin(\phi)\sin(\theta) \quad -\sin(\phi)\cos(\theta)\sin(\beta) + \cos(\phi)\cos(\beta) \quad \sin(\phi)\cos(\theta)\cos(\beta) + \cos(\phi)\sin(\beta)) \\ \vec{s} &\equiv (\cos(\theta) \quad \sin(\theta)\sin(\beta) \quad -\sin(\theta)\cos(\beta))\end{aligned}$$

Estes cálculos são particularmente úteis para se marcar sobre uma imagem posicionadora o conjunto de imagens adquiridas, pois este é perpendicular à direção de seleção. Para isso, deve-se lembrar que após o processamento a imagem posicionadora pode sofrer rotações e flips e estas mesmas operações devem ser aplicadas à direção de seleção.

APÊNDICE I: MÓDULOS EXTERNOS

Os programas desenvolvidos ao longo deste trabalho utilizam módulos externos para o processamento de imagens e comunicação com o sistema. Estes foram desenvolvidos pelo engenheiro Mateus J. Martins, do grupo de RM do IFSC/USP. A Tabela 11 mostra os módulos utilizados por cada um dos programas desenvolvidos e a seguir, cada um deles é discutido separadamente.

Tabela 11 – Módulos externos utilizados pelos programas desenvolvidos como parte deste trabalho.

Programa	Módulos Utilizados
Interface com o Usuário (16 bits)	TORMVBX.VBX SPECTOS.EXE
Interface com o Usuário (32 bits)	TORMOCX.OCX TORM32.DLL SPECTOS.EXE
PosProc	TORMVBX.VBX
TORM Image	TORM32.DLL

SPECTOS

O Spectos é um programa utilizado para comunicação com o espectrômetro (AN9100). Este, foi escrito em C para o microVax pela Analogic, fabricante do AN9100, com o objetivo de ser utilizado para testes. Ele foi utilizado no TORM 005 e posteriormente adaptado para a plataforma PC/Windows®, para ser utilizado no TORM 05.

Este módulo utiliza a porta serial do computador para enviar dados e comandos que programam a execução do espectrômetro.

TORMVBX

O TORMVBX é um módulo de extensão para o Visual Basic (VBX), que controla a placa de aquisição e possui funções de processamento de dados e imagens. A utilização de um VBX ao invés de uma DLL se tornou necessária para

que houvesse uma chamada assíncrona do módulo para a IU, quando fosse finalizada a aquisição de dados.

Este módulo foi utilizado no início da implementação da IU, juntamente com o Visual Basic® 3.0 e Visual Basic® 4.0, quando o desenvolvimento era feito em 16 bits. Nesta época também foi desenvolvido o PosProc, discutido no item 5.5 deste trabalho, utilizando-se o TORMVBX. A Figura 43 mostra a integração existente entre a IU, o TORMVBX e a placa de aquisição.

Figura 43 – Integração entre o componente TORMVBX e a interface com o usuário. Embora as funções de cálculo apareçam separadamente elas estão integradas ao módulo TORMVBX.

TORMOCX, TORM32 E TORMACQ

Com a necessidade da migração para 32 bits foi desenvolvido o TORMOCX, o TORMACQ e o TORM32. O TORMOCX é responsável pelo controle da placa de aquisição de dados. Para isso ele faz chamadas para um Virtual Device, o TORMACQ. O TORM32 é uma DLL responsável pelo processamento dos dados e imagens.

Tanto o TORMVBX como o TORMOCX possuem modos de operação de simulação. Neste modo, os dados são adquiridos de arquivos de dados ao invés da placa de aquisição. Isto possibilitou o desenvolvimento e testes da IU sem a necessidade de integração ao sistema.

A integração e comunicação destes módulos pode ser vista na Figura 44.

Figura 44 – Integração entre os componentes TORMOCX, TORM32, TORMACQ e a interface com o usuário.